



---

# **DIPLOMARBEIT**

---

Herr  
**Patrick Kaltenböck**

**Charakteristiken und  
Laufeigenschaften von  
Wälzlagern unter besonderer  
Berücksichtigung des  
Herstellprozesses anhand eines  
Harddrehversuches**

Mittweida, 2013



Fakultät Wirtschaftswissenschaften

---

# **DIPLOMARBEIT**

---

## **Charakteristiken und Laufeigenschaften von Wälzlagern unter besonderer Berücksichtigung des Herstellprozesses anhand eines Harddrehversuches**

Autor:  
**Herr Patrick Kaltenböck**

Studiengang:  
**Wirtschaftsingenieurwesen**

Seminargruppe:  
**KW09w2VA**

Erstprüfer:  
**Prof. Dr. rer. oec. Johannes N. Stelling**

Zweitprüfer:  
**Prof. Dr. rer. pol. Andreas Hollidt**

Einreichung:  
**Mittweida, 15.07.2013**

Verteidigung/Bewertung:  
**Mittweida, 2013**

Faculty of Economics and Business  
Administration

---

## **DIPLOMA THESIS**

---

# **Characteristics and operating characteristics of rolling bearings under special consideration of the manufacturing process based on a hard turning experiment**

author:

**Mr. Patrick Kaltenböck**

course of studies:

**Business Administration and Engineering**

seminar group:

**KW09w2VA**

first examiner:

**Prof. Dr. rer. oec. Johannes N. Stelling**

second examiner:

**Prof. Dr. rer. pol. Andreas Hollidt**

submission:

**Mittweida, 15.07.2013**

defence/evaluation:

**Mittweida, 2013**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Kaltenböck Patrick:

Charakteristiken und Laufeigenschaften von Wälzlagern unter besonderer Berücksichtigung des Herstellprozesses anhand eines Hartdrehversuches. - 2013. – MMXIII, 101 Seiten.

V S. Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2013

## **Referat:**

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit der Charakterisierung und Laufeigenschaften von Wälzlagern. Die Wälzlagerhersteller geraten durch die angespannte wirtschaftliche Lage und der umkämpften Märkte, zunehmend unter Druck. Die Hauptkriterien der Unternehmen sind eine gleichbleibende hohe Qualität mit marktkonformen Preisen, sowie kürzere Lieferzeiten, um Ihre Positionierung am Weltmarkt zu sichern. Um weitere Marktanteile zu gewinnen und einen Vorsprung auszubauen, wurde eine Wälzlagerfertigung am Standort Steyr realisiert. In dieser Diplomarbeit wird das Tribologische - System Wälzlager und der damit verbundene Herstell- und Fertigungsprozess beschrieben. Das daraus erarbeitete fundierte Wissen ermöglicht eine wirtschaftliche und produktive Fertigung von speziellen Wälzlagergrößen.



# Inhalt

<b>Inhalt</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 <i>Problemstellung</i> .....	1
1.2 <i>Zielsetzung</i> .....	2
1.3 <i>Methodisches Vorgehen</i> .....	3
<b>2 Grundlagen der Wälzlagertechnik</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>Stand der Technik</i> .....	5
2.2 <i>Einteilung Gleitlager und Wälzlager</i> .....	8
2.2.1 <i>Unterteilung zwischen Lager und Führungen</i> .....	8
2.2.2 <i>Funktion und Wirkung von Gleitlagerungen</i> .....	12
2.2.2.1 <i>Einteilung der Gleitlager</i> .....	15
2.2.2.2 <i>Bauarten der Gleitlager</i> .....	16
2.2.3 <i>Funktion und Wirkung von Wälzlagerungen</i> .....	18
<b>3 Charakterisierung und Laufeigenschaften von Wälzlagern</b> .....	<b>21</b>
3.1 <i>Tribologisches - System Wälzlager</i> .....	21
3.1.1 <i>Definition der Tribologie</i> .....	21
3.1.1.1 <i>Wissenschaft:</i> .....	23
3.1.1.2 <i>Technik:</i> .....	23
3.1.1.3 <i>Wirtschaft:</i> .....	24
3.1.2 <i>Tribologie der Wälzlager</i> .....	25
3.2 <i>Bestandteile der Wälzlagertechnik</i> .....	28
3.2.1 <i>Erforderliche Grundsatzüberlegungen</i> .....	28
3.2.2 <i>Auswahl der Lagerart</i> .....	29
3.2.3 <i>Bezeichnungssystem der Wälzlager</i> .....	30
3.2.3.1 <i>Allgemeines</i> .....	30

---

3.2.3.2	Wälzlagnormen .....	30
3.2.3.3	Bezeichnungssystem von Normlagern.....	31
3.2.3.4	Vorsetzzeichen.....	32
3.2.3.5	Basiskennzeichen .....	32
3.2.3.6	Nachsetzzeichen.....	34
3.3	<i>Funktionselemente des Wälzlagers</i> .....	35
3.3.1	Lagerringe .....	35
3.3.2	Wälzkörper .....	36
3.3.3	Käfige .....	37
3.4	<i>Mechanische Belastungen des Wälzlagers</i> .....	39
3.4.1	Punkt- und Linienberührung .....	39
3.5	<i>Einteilung der Wälzlager</i> .....	41
3.6	<i>Bauarten der Wälzlager</i> .....	43
3.6.1	Rillenkugellager .....	43
3.6.2	Zylinderrollenlager .....	43
3.6.3	Kegelrollenlager.....	44
3.6.4	Nadellager .....	45
<b>4</b>	<b>Gestaltung von Wälzlagerungen</b> .....	<b>47</b>
4.1	<i>Allgemeines zu Lagerungen</i> .....	47
4.2	<i>Lageranordnungen und Kombinationen von Lagern</i> .....	48
4.2.1	Fest- und Loslagerung.....	48
4.2.2	Angestellte Lagerung.....	49
4.2.3	Schwimmende Lagerung.....	51
4.2.4	Direktlagerung .....	52
<b>5</b>	<b>Herstellprozess und Fertigungsprozess von Wälzlageren</b> .....	<b>53</b>
5.1	<i>Werkstoffe und deren Eigenschaften</i> .....	53
5.1.1	Werkstoffe für Wälzlagering und Wälzkörper .....	54
5.1.2	Käfigwerkstoffe .....	55
5.1.3	Dichtungswerkstoffe .....	56
5.2	<i>Grundlagen der Fertigungstechnik</i> .....	57
5.2.1	Definition und Kriterien .....	57
5.3	<i>Übersicht der Fertigungsverfahren</i> .....	59
5.3.1	Urformen.....	61
5.3.2	Umformen.....	62
5.3.3	Trennen .....	63
5.3.4	Zerspanungstechnik .....	63



---

5.3.4.1	Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmten Schneiden .....	64
5.3.4.1.1	Weichdrehen .....	65
5.3.4.1.2	Hartdrehen: .....	66
5.3.4.1.3	Einteilung der Drehverfahren .....	67
5.3.4.2	Fertigungsverfahren mit geometrisch unbestimmten Schneiden .....	68
5.3.4.2.1	Schleifen .....	69
5.3.4.2.2	Honen .....	74
5.3.5	Fügen.....	77
5.3.6	Beschichten .....	78
5.3.7	Ändern der Stoffeigenschaften .....	79
5.3.7.1	Wärmebehandlung.....	80
5.3.7.1.1	Temperaturführung .....	80
5.3.7.1.2	Glühen und Spannungsarmglühen .....	82
5.3.7.1.3	Härten.....	83
5.4	<i>Fertigungsprozess von Wälzlagerrollen</i> .....	88
<b>6</b>	<b>Hartdrehversuch der Lagerbauform NCF18/560.....</b>	<b>91</b>
6.1	<i>Problemstellung der Fertigung</i> .....	91
6.2	<i>Ist – Situation</i> .....	92
6.3	<i>Versuchsaufbau AR-NCF18/560-V</i> .....	93
6.3.1	Erkenntnisse des Hartdrehers .....	94
6.3.1.1	Messdaten Lieferant .....	95
6.3.1.2	Vergleich der Messdaten .....	96
6.3.2	Erkenntnisse der mechanischen Fertigung .....	97
6.4	<i>Kostenvergleich der Fertigungsverfahren</i> .....	98
6.5	<i>Versuchsergebnisse</i> .....	99
<b>7</b>	<b>Schluss .....</b>	<b>101</b>
7.1	<i>Ergebnisse</i> .....	101
7.2	<i>Maßnahmen</i> .....	101
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung .....</b>	<b>XXIX</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das methodische Vorgehen der Diplomarbeit .....	3
Abbildung 2: Arten von Lagern und Führungen .....	8
Abbildung 3: Lager für verschiedene Bewegungsformen .....	9
Abbildung 4: Arten von Lagern in ihrer Hauptfunktion .....	10
Abbildung 5: Arten von Relativbewegungen beim Einwirken einer Kraft $F$ .....	11
Abbildung 6: Wirkprinzip eines Wälzlagers im Vergleich zum Gleitlager .....	11
Abbildung 7: Druckverteilung im hydrodynamischen Gleitlager .....	12
Abbildung 8: Stribeck-Kurve der Gleitlager .....	14
Abbildung 9: Bauarten der Gleitlager .....	16
Abbildung 10: Kippsegmentlagerung in kombinierter Ausführung .....	17
Abbildung 11: Grundsätzlicher Aufbau eines Kugellagers und Rollenlagers .....	19
Abbildung 12: Käfigführung .....	19
Abbildung 13: Radiallager (Ringlager) und Axiallager (Scheibenlager) .....	20
Abbildung 14: Dimensionen der heutigen Technik .....	21
Abbildung 15: Schematische Darstellung eines tribologischen Systems .....	26
Abbildung 16: Legende zu Matrix der Lagerarten .....	30
Abbildung 17: Durchmesser- und Breitenreihe .....	31
Abbildung 18: Bezeichnungsschema von Normlagern .....	31
Abbildung 19: Basiskennzeichen von Lagerungen .....	32

---

Abbildung 20: Explosionsdarstellung eines Wälzlagers - Rillenkugellager .....	35
Abbildung 21: Laufringe und Laufscheiben .....	36
Abbildung 22: Wälzkörpergeometrien .....	37
Abbildung 23: Käfigformen .....	38
Abbildung 24: Führungsarten von Käfigen .....	38
Abbildung 25: Punkt- und Linienberührung .....	40
Abbildung 26: Druckverteilung bei Zylinderrollen .....	40
Abbildung 27: Klassifikation der Wälzlagergrundbauformen .....	42
Abbildung 28: Rillenkugellager, einreihig .....	43
Abbildung 29: Zylinderrollenlager .....	44
Abbildung 30: Kegelrollenlager .....	45
Abbildung 31: Fest- und Loslager Anordnung .....	49
Abbildung 32: X-, O- und Tandem-Anordnung bei Wälzlagern .....	50
Abbildung 33: Schwimmende Lageranordnung .....	51
Abbildung 34: A-S-I Methode .....	58
Abbildung 35: Gliederung der 6 Hauptgruppen nach DIN8580 .....	60
Abbildung 36: Verfahren des Spanens mit geometrisch bestimmten Schneiden..	65
Abbildung 37: Drehverfahren .....	67
Abbildung 38: Werkzeuge mit geometrisch unbestimmter Schneide .....	68
Abbildung 39: Einteilung der Schleifverfahren .....	70
Abbildung 40: Außenrund-Schuhschleifen (Gleichlauf).....	71

---

Abbildung 41: Innenrund-Schuhschleifen (Gleichlauf) .....	71
Abbildung 42: Gleich- und Gegenlaufschleifen .....	72
Abbildung 43: Konditionieren und deren Aufgabe.....	73
Abbildung 44: Prinzip der Superfinish-Bearbeitung mit Stein und Band .....	76
Abbildung 45: Temperaturführung beim Wärmebehandeln .....	81
Abbildung 46: Temperaturverlauf beim Härten .....	83
Abbildung 47: Zeitlicher Ablauf einer Wärmebehandlung .....	84
Abbildung 48: Abkühlkurven der Medien .....	85
Abbildung 49: Herstellprozess der Wälzlager .....	89
Abbildung 50: Hartdrehzeichnung mit 0,3mm Schleifaufmaß .....	93
Abbildung 51: Hartdrehzeichnung mit 0,5mm Schleifaufmaß .....	94
Abbildung 52: Abweichungen mit 0,3mm Aufmaß .....	95
Abbildung 53: Abweichungen mit 0,5mm Aufmaß .....	95
Abbildung 54: Messdatenvergleich mit 0,3mm Aufmaß.....	96
Abbildung 55: Messdatenvergleich mit 0,5mm Aufmaß.....	96

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Gleitlager nach Kriterien .....	15
Tabelle 2: Aufgabenstellung der Tribotechnik .....	24
Tabelle 3: Technische Funktion und dazugehörige tribotechnische Bauteile .....	27
Tabelle 4: Matrix der Lagerarten .....	29
Tabelle 5: Einteilung der Wälzlager nach Kriterien .....	41
Tabelle 6: Werkstoffe der Käfige .....	55
Tabelle 7: Urformverfahren der Hauptgruppe 1 .....	61
Tabelle 8: Umformvorgänge der Hauptgruppe 2 .....	62
Tabelle 9: Trennen der Hauptgruppe 3 .....	63
Tabelle 10: Fügen der Hauptgruppe 4 .....	77
Tabelle 11: Beschichten der Hauptgruppe 5 .....	78
Tabelle 12: Ändern der Stoffeigenschaften der Hauptgruppe 6 .....	79
Tabelle 13: Schleifzeiten- und kosten mit Sicherheitsaufmaß .....	92
Tabelle 14: Schleifzeiten- und kosten ohne Sicherheitsaufmaß .....	98
Tabelle 15: Kostenvergleich der Fertigungsverfahren .....	98

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AR</b>	Außenring
<b>Bd.</b>	Band
<b>BIP</b>	Bruttoinlandprodukt
<b>BO</b>	Bordscheibe
<b>bzgl.</b>	bezüglich
<b>bzw.</b>	beziehungsweise
<b>ca.</b>	circa
<b>CD</b>	kontinuierliches Abrichten engl. continuous dressing
<b>d.h.</b>	das heißt
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>etc.</b>	et cetera
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>EUR</b>	Euro
<b>evtl.</b>	eventuell
<b>F<sub>a</sub></b>	Axialkraft
<b>F<sub>r</sub></b>	Radialkraft
<b>f.</b>	folgende
<b>ff.</b>	fortfolgende
<b>F&amp;E</b>	Forschung und Entwicklung
<b>HRC</b>	Härteprüfung nach Rockwell
<b>i. Allg.</b>	im Allgemeinen

---

<b>IR</b>	Innenring
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>Kap.</b>	Kapitel
<b>KF</b>	Käfig
<b>KSS</b>	Kühlschmierstoffe
<b>M</b>	Drehmoment
<b>NC</b>	Nummerische Steuerung engl. numerical control
<b>RB</b>	Kugel engl. ball
<b>RC</b>	Zylinderrolle engl. cylindrical roller
<b>TTS</b>	Tribotechnisches System
<b>u.a.</b>	unter anderem
<b>USA</b>	United States of America
<b>- V</b>	Vollrollig (Nachstetzzeichen)
<b>Vgl.</b>	Vergleiche
<b>V&amp;E</b>	Versuch und Entwicklung
<b>WST</b>	Werkstück
<b>WZ</b>	Werkzeug
<b>z.B.</b>	Zum Beispiel





# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Die Fa. NKE Austria GmbH stellt seit 1996, mit Hauptsitz in Steyr/Österreich, Wälzlager der Premium Klasse her.

Gerade in den letzten Jahren hat sich das Unternehmen NKE, neben den klassisch etablierten Wälzlagerherstellern, zur anerkannten Alternative am Premiummarktsektor hochgearbeitet. NKE will in den kommenden Jahren die Marktposition weiter festigen und ausbauen. Das wird durch besseren Kundenservice, mehr Flexibilität und hoher Qualität erreicht.

Um die Marktanteile am Weltmarkt für die Zukunft zu sichern, ist es unumgänglich, eine zukunftsweisende Marktstrategie vorzuweisen. Durch den weltweiten ökologischen Wandel der Energieversorger, kam es im europäischen und im asiatischen Raum zu einem verstärkten Wachstum von Windparks. Mitunter durch diesen weltwirtschaftlichen Trend, konnte das Unternehmen expandieren und in den letzten Jahren eine spanende Fertigung von Wälzlagerkomponenten am Standort Steyr errichten.

Durch diese Marktausrichtung ist es nötig, die Wirtschaftlichkeit und die Effizienz der mechanischen Fertigung zu evaluieren und die Maßnahmen zielgerichtet auszuführen. Durch die Evaluierung wurde festgestellt, dass das Aufmaß für den Schleifprozess optimierungsbedürftig ist.

Mit dem Ziel die Fertigungsabläufe wirtschaftlicher zu gestalten, stellt sich die Frage, dieser Diplomarbeit, wie folgt dar.<sup>1</sup>

Könnte das Hartdrehen der Wälzlagerringe, vor der Schleifoperation ein wirtschaftlich mögliches Verfahren für das Unternehmen sein?

---

<sup>1</sup> Vgl. Zinkner, Martin: Die Einleitung einer Wissenschaftlichen Arbeit, 2009, online im Internet: <http://www.studieren.at/articles/442/1/Die-Einleitung-einer-wissenschaftlichen-Arbeit/Seite1.html>.

## 1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Diplomarbeit besteht darin, die notwendigen Vorbereitungen der Wälzlagerauswahl, sowie die Planung und Durchführung einer spanenden Fertigung von Wälzlagerkomponenten anhand eines Fertigungsversuches, zu beleuchten.

Zuallererst werden die Begriffe der Wälzlagertechnik erklärt und abgegrenzt. In weiterer Folge, erfolgt die Definition und Darstellung der Wälzlagerarten und Bauformen.

Im Verlauf der Diplomarbeit werden die Erkenntnisse aus der Wälzlagertechnik und deren Einfluss auf den Herstellprozess dargestellt. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Betrachtung der Wälzlagerherstellung und den damit verbundenen Methoden und Verfahren.

Diese Zusammenhänge werden in dieser Diplomarbeit anhand eines Hartdrehversuches detailliert dargestellt.

Am Beispiel Hartdrehen eines Außenrings wird der Frage nachgegangen, welcher der Fertigungsprozesse zur Herstellung von Wälzlagerringen das betriebswirtschaftliche und produktiv beste Ergebnis bietet.

Das daraus resultierende Ergebnis ist maßgeblich für einen langfristigen Erfolg des Unternehmens. NKE sieht in diesem Bereich ein sehr großes Potenzial die Kundenzufrieden, Kundenbindung durch Gewährleistung der Produktqualität und Flexibilität zu erhöhen.

## 1.3 Methodisches Vorgehen

Der Leser wird in dieser Diplomarbeit in mehreren Schritten an die Wälzlagertechnik, den Herstellprozess und seine Verfahren herangeführt. Diese Schritte werden in der folgenden Abbildung dargestellt.

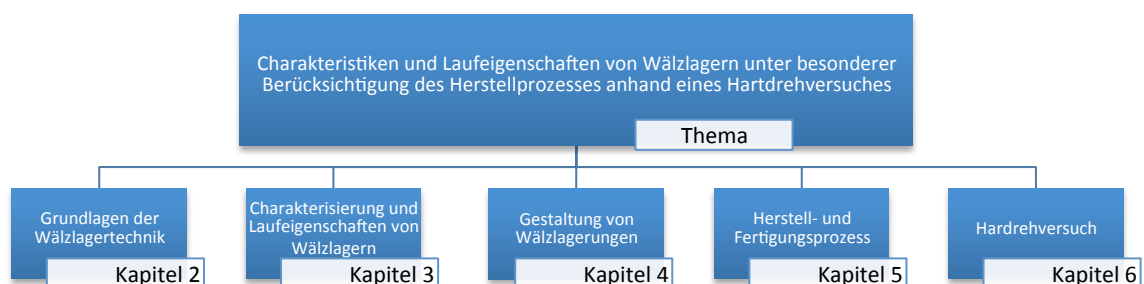


Abbildung 1: Das methodische Vorgehen der Diplomarbeit

In den Kapiteln zwei und drei, wird das Thema der Diplomarbeit in die wichtigsten Begriffe und Grundlagen zerlegt, diese werden definiert, beschrieben und charakterisiert. Es erfolgt eine Abgrenzung der Begrifflichkeiten und Einschränkung auf zwei Lagerbauarten. Im Kapitel vier erfolgt die Darstellung von Wälzlagerungen und deren Variantenvielfalt.

In Kapitel fünf und sechs wird auf die spezifischen Grundlagen des Herstellprozesses von Wälzlagerringen eingegangen. Im Besonderen werden die einzelnen Fertigungsschritte definiert und näher erläutert. Speziell im Kapitel sechs werden die Ergebnisse des Harddrehversuches versus Schleifoperation eines Zylinderrollenlageraußenrings, in die Arbeit einfließen.

Der Schluss dieser Diplomarbeit fasst die wichtigsten Aspekte zusammen und bezieht Stellung zu den Ergebnissen, Erkenntnissen aus dem Versuchsaufbau.

Diese werden mit einem kritischen Blick betrachtet, um mögliche Maßnahmen als Abrundung der Arbeit darzustellen.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Vgl. Zinkner, Martin: Der Schluss einer Wissenschaftlichen Arbeit, 2009, online im Internet: <http://www.studieren.at/articles/493/1/Der-Schluss-einer-wissenschaftlichen-Arbeit/Seite1.html>.

## 2 Grundlagen der Wälzlagertechnik

### 2.1 Stand der Technik

Seit frühen Zeiten muss den Menschen das Funktionsprinzip der Gleit- und Wälzlager bekannt gewesen sein. Speziell in den naiven, natürlichen Erscheinungsformen wie im Gleiten auf eisigen Boden und im Rollen des Baumstammes als Alternative zum Heben und Tragen.<sup>3</sup> Nur so konnte der Kräftebedarf beim Transport von Lasten erheblich reduziert werden. Aus der losen Rolle, welche unter das Transportgut gelegt wurde, entstand über lange Zeit hinaus das erste Rad.<sup>4</sup>

Die Vormachtstellung des Gleitlagers war mit dem relativ einfachen Aufbau aus Zapfen und Büchsen zu begründen. Diese Stellung muss sich auf natürliche Weise mit der Erfindung des Wagenrades bereits vor einigen tausend Jahren ergeben haben. Die Herstellung der Gleitlager war mit technisch primitiven Geräten immer möglich und die Wartung minimal bis überflüssig.

Das Wälzlager war von Anfang an in der Herstellung anspruchsvoller. Die Herstellung verlangte bereits einen gehobenen Stand der Technik in der Werkstoff-, Fertigungs- und Prüftechnik, ebenso war die Schmierung und Wartung unumgänglich. In der Geschichte des Wälzlagers können wir uns an sieben Meilensteine orientieren, welche wie folgt unterteilt werden.

Der erste Meilenstein kann mit einer ausführlichen Beschreibung der rollenden Reibung von Leonardo da Vinci gesetzt werden. Er hat das erste Gleitlager geschaffen, wobei Wellen aus Holz mit eisernen Lagerzapfen versehen wurden und diese wiederum in Eisenbuchsen liefen.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> Vgl. Köttritsch, H.; Albert, M.: Wälzlager – Theorie und Praxis, Springer Verlag, Wien 1987, S. 1.

<sup>4</sup> Vgl. FAG Kugelfischer Georg Schäfer KGaA: Wälzlager auf den Wegen des technischen Fortschritts, 2. Auflage, R.Oldenbourg Verlag, München/Wien 1986, S. 7.

<sup>5</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 25.

Der zweite Meilenstein stellt die Herstellung des Fahrrades in den siebziger Jahren des 18. Jahrhunderts dar. Während man sich sowohl in England als auch in Deutschland noch mit der rationalen Herstellung von Kugeln in großen Zahlen befasste, wurden in den USA schon große Anstrengungen unternommen, die „neuen“ Kugeln und Rollenlager auch im Maschinenbau einzusetzen.<sup>6</sup> Dort beschäftigten sich schon mehrere Unternehmen mit der Herstellung von Lagern und lieferten diese an die Eisenbahnen und an Walzwerke.<sup>7</sup> Die Handwerksbetriebe der Textil-, Holz- und Metallverarbeitung entwickelten sich immer mehr zu Industriebetrieben mit einem vermehrten Bedarf an Maschinen und damit auch an Kugellagern. Unter dem zunehmenden Druck der Wirtschaftlichkeit, Funktionsfähigkeit, der Betriebssicherheit und Lebensdauer musste das Lager laufend verbessert werden. Das war wiederum nur möglich durch eine systematische Erforschung der technischen-physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Vorgänge im Gleitlager.<sup>8</sup>

Der dritte Meilenstein ist zweifelsfrei die Erfindung einer Kugelfräsmaschine, auch als „Kugelmühle“ bezeichnet, erfunden im Jahre 1890 von Friedrich Fischer. Dadurch konnten erstmalig in der Kugellagergeschichte, gehärtete Kugeln, gleich groß und gleich rund, bearbeitet werden. Natürlicherweise griff die wachsende Fahrradindustrie sofort auf die „Fischerschen“ Kugeln zu.

Die klassische Forschungsarbeit von Herrn Stribeck über die Tragfähigkeit, die Reibung, die Bauarten und deren zweckmäßige Verwendung von Kugellagern, legte den vierten Meilenstein fest.<sup>9</sup> Diese Forschungsarbeit war die Basis der ersten Werknorm über Kugellager-Hauptabmessungen im Jahre 1900. Im Laufe der nächsten 12 Jahren entstanden die noch heute etablierten Bauformen. Durch die stürmische Entwicklung der Automobilindustrie, wurde die Massenfertigung von Kugellagern in Europa forciert, während in Amerika das Kegelrollenlager den Vorrang hatte. Die Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten von Kugellagern und Wälzlagern zwang die Wälzlagerhersteller zu umfangreichen Forschungsarbeiten.

---

<sup>6</sup> Vgl. Köttritsch, H.; Albert, M.: Wälzlager – Theorie und Praxis, Springer Verlag, Wien 1987, S. 1.

<sup>7</sup> Reuleaux, F.: Über die neuen amerikanischen Rollenlager und die damit erzielten Ersparnisse an Reibung, 42. Ausgabe, 1898, S. 495.

<sup>8</sup> Vgl. FAG Kugelfischer Georg Schäfer KGaA: Wälzlager auf den Wegen des technischen Fortschritts, 2. Auflage, R.Oldenbourg Verlag, München/Wien 1986, S. 21.

<sup>9</sup> Vgl. Stribeck, R.: Kugellager für beliebige Belastungen, Julius Springer Verlag, Berlin 1901, S. 51 - 74.

Der fünfte Meilenstein wurde mit der Prägung des Begriffes „Lebensdauer“ von Herrn A. Palmgren im Jahre 1924 gesetzt.<sup>10</sup> Diese neue Berechnungs- und Auslegungsmethode von Lagern, wurde ganzheitlich akzeptiert und führte zu erschwerten statischen Auswertungen. Die „Statistische Theorie über die Festigkeit der Werkstoffe“ schuf Herr Weibull im Jahre 1939 die Basis des sechsten Meilensteins. Es dauerte bis zum Jahr 1962, dass aus den Berechnungsmethoden die erste anerkannte, internationale Normempfehlung, die ISO/R 281<sup>11</sup>, eingeführt wurde.

In den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg, begann die sprunghafte Entwicklung der Technik auf allen Gebieten und mit ihr stiegen auch die Ansprüche hinsichtlich Präzision, Qualität, Lebensdauer und der Laufruhe der Wälzlager. Der Lagerbedarf nahm weltweit gigantische Ausmaße an. Das Wälzlager ist somit ein sehr zuverlässiges Maschinenelement geworden und ist durch kein anderes rollendes Element ersetzbar. Der letzte und siebte Meilenstein in der historischen Kette ist die internationale Norm ISO 281/1 – 1977<sup>12</sup>, zur Berechnung der „Modifizierten nominellen Lebensdauer“ und dem Nachweis, dass Wälzlager unter Einhaltung der exakt definierten Randbedingungen, eine ebenso definierte Dauerfestigkeit besitzen wie andere Maschinenelemente.<sup>13</sup>

Das Wälzlager hat die Schlüsselfunktion in fast jeder sich drehenden Maschine übernommen und ohne Übertreibung gilt der Slogan:

„Jede Maschine ist so gut wie ihr Wälzlager.“<sup>14</sup>

---

<sup>10</sup> Vgl. Palmgren, A.: Die Lebensdauer von Kugellagern, VDI Zeitschrift, 68. Ausgabe, April 1924, S. 339 – 341.

<sup>11</sup> ISO/R 281 – 1962 Rolling bearings: Methods of evaluating dynamic load ratings.

<sup>12</sup> ISO 281/1 – 1977 Rolling bearings: Dynamic load ratings and rating life – Part 1: Calculation methods.

<sup>13</sup> Vgl. Köttritsch, H.; Albert, M.: Wälzlager – Theorie und Praxis, Springer Verlag, Wien 1987, S. 3.

<sup>14</sup> Vogelpohl, G.: Betriebssichere Gleitlager – Berechnungsverfahren für Konstruktion und Betrieb, 2. Auflage, Band 1, Springer Verlag, 1967, S. 265

## 2.2 Einteilung Gleitlager und Wälzlager

In diesem Kapitel werden einführend die grundlegenden Aufgaben und Einsatzbereiche von Lager und Führungen behandelt, bevor auf die Funktionsweise und Wirkung von Gleit- und Wälzlagerungen eingegangen wird.

### 2.2.1 Unterteilung zwischen Lager und Führungen

Im allgemeinen Maschinen-, Anlagen- und Industriebau stellen Führungen und Lager eine erhebliche Rolle dar. Sie haben die Aufgabe, relativ zueinander bewegte Teile und Baugruppen mit ihren Kräfteinwirkungen auf die einzelnen Bauteile aufzunehmen und deren Lage im Raum zu sichern. Da sich einzelne Lager und Führungen durch die verschiedenen Ausführungsvarianten und Bewegungsfreiräume voneinander unterscheiden, besteht eine Lagerung immer aus einer mehrfachen Kombination von Lagern und Führungen gemäß Abbildung 2, um die geforderten Trag- und Führungsfunktionen zu erreichen.<sup>15</sup>

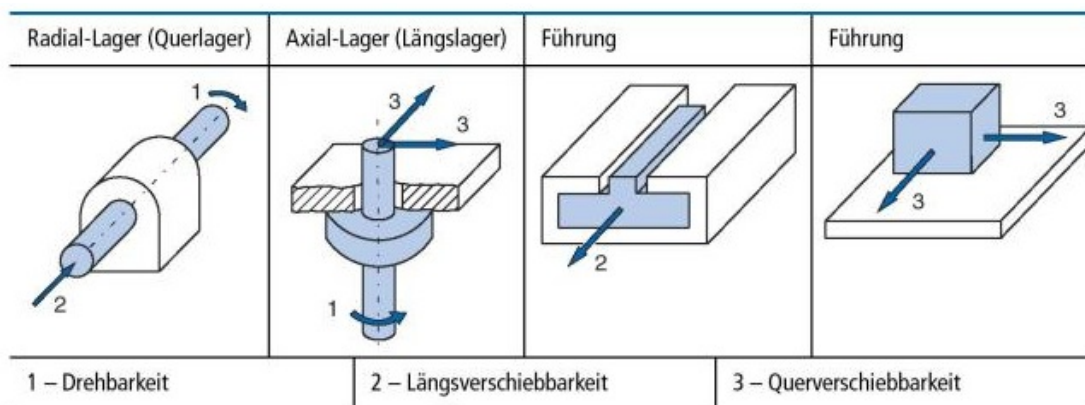


Abbildung 2: Arten von Lagern und Führungen<sup>16</sup>

Im Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau werden hauptsächlich Lager verwendet, da diese als Hauptmerkmal eine freie Drehung um eine Längsachse erlauben. Während Führungen üblicherweise alle Drehbewegungen einschränken und nur eine Längsverschiebbarkeit zulassen. Demzufolge lassen sich

<sup>15</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 21.

<sup>16</sup> Fronius, S.: Maschinenelemente – Antriebselemente, VEB Verlag, Berlin 1971.



Lagerungen nach Abbildung 2 in zwei Grundformen unterscheiden, in Radial- und Axial-Lager.<sup>17</sup>

Lagerungen ermöglichen im Maschinenbau eine Relativbewegung von Maschinenteilen und stellen in der Getriebelehre eine konkrete Ausformung von Gelenken dar. Diese Lagerarten und deren Bewegungsformen werden in Abbildung 3 dargestellt.<sup>18</sup>



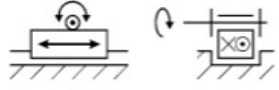
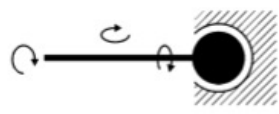
Lagerart	Symbol	Freiheitsgrad
Linearlager		1
Drehlager		1
Dreh-Schubgelenk		2
Gelenklager		3

Abbildung 3: Lager für verschiedene Bewegungsformen<sup>19</sup>

- Linearlager erlauben translatorische Bewegungen.
- Drehlager ermöglichen rotatorische Bewegungen.
- Dreh-Schubgelenken, stellen axial verschiebbare Drehlager dar.
- Gelenklager und Gelenkköpfe lassen Drehbewegungen um eine Vielzahl von Achsen zu.

Ebenso übernehmen Lager die Hauptaufgaben „Tragen“ und „Führen“ vollkommen unabhängig von der Lagerbauart. Jedoch in den meisten Fällen treten diese in Kombination auf.<sup>20</sup>

<sup>17</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 21.

<sup>18</sup> Vgl. Steinhilper, W.; Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1985-2012, Kap. 11, S. 71.

<sup>19</sup> Ebenda, S. 71.

- Bei der Hauptfunktion „Tragen“ steht im Vordergrund, Kräfte und Momente zwischen relativ zueinander beweglichen Teilen zu übertragen. Wobei entsprechend der Richtung der zu übertragenden Kräfte, zwischen Radial-Lagern, Axial-Lagern und Schräglagern unterschieden wird.<sup>21</sup>
- Bei der Hauptfunktion „Führen“ geht es um die genaue Festlegung der gegenseitigen Lage der relativ zueinander beweglichen Teile. Hierbei dienen Loslager der Führung in radialer Richtung, Festlager zusätzlich oder ausschließlich der axialen Festlegung, wie in Abbildung 4 dargestellt.

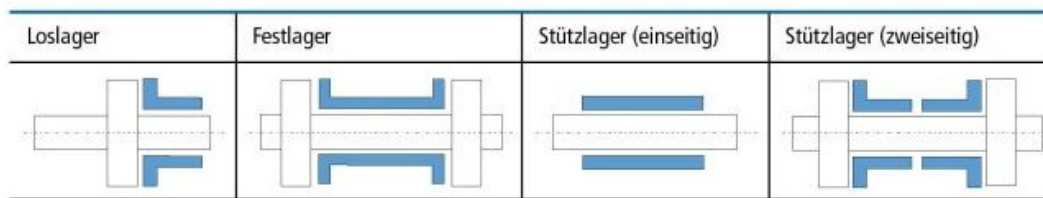


Abbildung 4: Arten von Lagern in ihrer Hauptfunktion<sup>22</sup>

In der Praxis liegt in der Regel durch die verschiedensten Einsatzbereiche eine Kombination der beiden Hauptfunktionen Tragen und Führen vor, jedoch sind diese je nach Anwendung mehr oder weniger wichtig. Unabhängig von der Lagerart unterscheidet man die Relativbewegungen Gleiten<sup>23</sup>, Stoßen, Rollen und Bohren auf eine Bezugsfläche unter Einwirkung einer Kraft  $F$  gemäß Abbildung 5. Dabei stellen das Rollen und das Bohren die Grenzfälle dar.

<sup>20</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 21.

<sup>21</sup> Vgl. Steinhilper, W.; Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1985-2012, Kap. 11, S. 71.

<sup>22</sup> Fronius, S.: Maschinenelemente – Antriebselemente, VEB Verlag, Berlin 1971.

<sup>23</sup> Vgl. Muhs, D.; Wittel H.; Jannasch D.; Voißek J.: Roloff / Matek – Maschinenelemente, Normung, Berechnung und Gestaltung, 17. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, Mai 2005, S. 71.

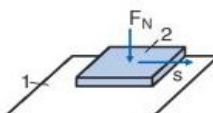
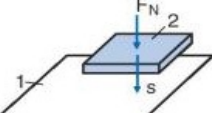
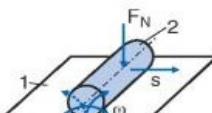
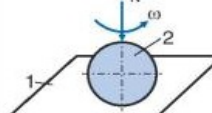
<p><b>Gleiten</b> – gekennzeichnet durch tangenciales Fortschreiten der makroskopischen Berührungsstelle in der Bezugsfläche</p>	<p><b>Stoßen</b> – gekennzeichnet durch normales Nähern der makroskopischen Berüh- rungsstelle an die Bezugs- fläche</p>	<p><b>Rollen und Wälzen</b> – gekennzeichnet durch ungestörtes oder gestör- tes Nähern der makrosko- pischen Berührungsstelle an die Bezugsfläche</p>	<p><b>Bohren</b> – gekennzeichnet durch Verharren der makrosko- pischen Berührungsstelle bei Rotationsbewegung in der Bezugsfläche</p>
			
<p>1 Bezugsfläche 2 Bewegter Körper</p>		<p>s Weg des Körperschwerpunkts ω Momentane Winkelgeschwindigkeit</p>	

Abbildung 5: Arten von Relativbewegungen beim Einwirken einer Kraft  $F$  <sup>24</sup>

Anhand dieser typischen Relativbewegungen werden die Lager und Führungsarten grundlegend in zwei Wirkprinzipien, dem Gleitlager und Gleitführungen <sup>25</sup>, sowie dem Wälzlager und Wälzführungen <sup>26</sup>, unterschieden. <sup>27</sup>

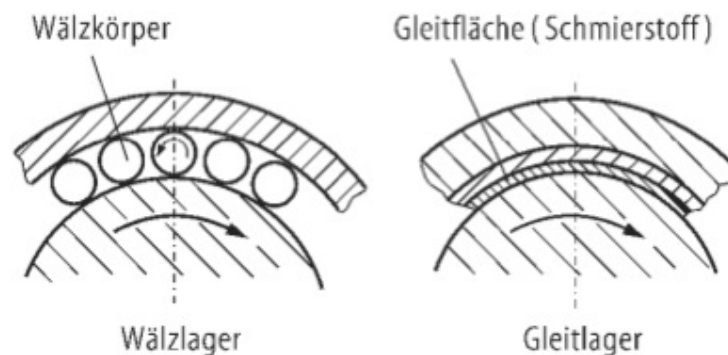


Abbildung 6: Wirkprinzip eines Wälzlagers im Vergleich zum Gleitlager <sup>28</sup>

<sup>24</sup> Fronius, S.: Maschinenelemente – Antriebselemente, VEB Verlag, Berlin 1971.

<sup>25</sup> Vgl. Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 1279.

<sup>26</sup> Vgl. Dobler, H.; Doll, W.; Fischer, U.; Günter W.; Heinzler M.; Ignatowitz E.; Vetter R.: Fachkunde Metall – Mechanische Technologie, 52. Auflage, FS Fachbuch, Verlag Europa-Lehrmittel, 2003, S. 376.

<sup>27</sup> Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S.22.

<sup>28</sup> Vgl. Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 482.

Im Folgenden wird ausführlich auf die beiden für den Maschinen-, Anlagen- und Industriebau wichtigsten Lagerungen, die Gleitlagerung „Gleitlager“ und die Wälzlagerung „Wälzlager“ eingegangen.

## 2.2.2 Funktion und Wirkung von Gleitlagerungen

Gleitlager sollen zwei Maschinenteile, die sich relativ zueinander bewegen, möglichst genau, reibungsarm und verschleißfrei führen und die dabei auftretenden Kräfte zwischen den Reibpartnern übertragen.<sup>29</sup> Je nach Richtung und Art der Kräfte werden hydrostatisch oder hydrodynamisch belastete Radial- für Querkräfte und Axialgleitlager für Längskräfte unterschieden. Neben dem Radiallager als Traglager und Axiallagern als Stützlager kommt noch das Führungslager, welches die Welle lediglich in ihrer Lage führt und keine definierbaren Kräfte aufnehmen, in der Literatur vor.<sup>30</sup> Dabei werden Gleitlager mit Öl, Fett oder Festschmierstoffen, welche auch von dem Lagerwerkstoffen stammen können, geschmiert.

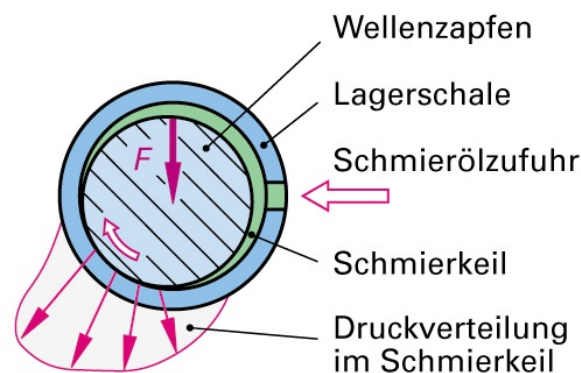


Abbildung 7: Druckverteilung im hydrodynamischen Gleitlager<sup>31</sup>

Hydrodynamische Gleitlager, gemäß Abbildung 7, sind durch ihre große Schmierfläche unempfindlicher gegen Stöße<sup>32</sup> und Erschütterungen und wirken

<sup>29</sup> Vgl. Künne; B.: Köhler/Rögnitz – Maschinenteile 2, 10. Auflage, Vieweg & Teubner Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, 2008, S. 66.

<sup>30</sup> Vgl. Decker, K.-H.; Kabus, K.: Maschinenelemente – Funktion, Gestaltung und Berechnung, 18. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2011, S. 409.

<sup>31</sup> Vgl. Dobler, H.; Doll, W.; Fischer, U.; Günter, W.; Heinzler, M.; Ignatowitz, E.; Vetter, R.: Fachkunde Metall – Mechanische Technologie, 52. Auflage, FS Fachbuch, Verlag Europa-Lehrmittel, 2003, S. 366.

schwingungs- und geräuschkämpfend, sodass Gleitlagerungen allgemein ruhiger als Wälzlagerungen laufen. Sie vertragen geringe Verschmutzungen und erreichen bei permanenter Flüssigkeitsreibung, richtiger Werkstoffwahl und einwandfreier Wartung, praktisch eine unbegrenzte Lebensdauer. Gleitlager können auch bei sehr hohen und bei niedrigen Gleitgeschwindigkeiten eingesetzt werden. Der Aufbau ist relativ einfach und bedingt durch die fehlenden Wälzkörper ist der Platzbedarf gering. Nachteilig sind bei Gleitlagern, das hohe Anlaufreibmoment, der verschleißbehaftete Betrieb bei niedrigen Drehzahlen und die erhöhte Reibung gegenüber den Wälzlagern. Es besteht eine hohe Anforderung an die Oberflächengüte und es kann auch nur eine begrenzte Auswahl von Lagerwerkstoffen verwendet werden. Basierend auf ihrem Wirkprinzip, werden gegenüber dem Wälzlager, nur Axial- „oder“ Radialkräfte aufgenommen.<sup>33</sup>

Die einwandfreie Funktion eines hydrodynamischen Gleitlagers hängt im wesentlichen vom Zusammenwirken der Lagerbauteile, bestehend aus Grundkörper (Lagerschale), Gegenkörper (Welle oder Zapfen) und dem Schmierstoff (Öl, Fett), ab. Während des Betriebes treten Reibzustände der Festkörperreibung im Stillstand, der Mischreibung beim Anlaufen und der Flüssigkeitsreibung im stationären Zustand auf.<sup>34</sup>

Dazu gibt die Stribeck-Kurve, gemäß Abbildung 8, einen guten Überblick über die in Gleitlagern vorkommenden Reibzustände.

---

<sup>32</sup> Vgl. Böge, A.: Vieweg Handbuch Maschinenbau: Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 18. Auflage, Vieweg & Sohn Verlag / GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden 2007, Kapitel I, S. 154.

<sup>33</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 23.

<sup>34</sup> Ebenda, S. 27.

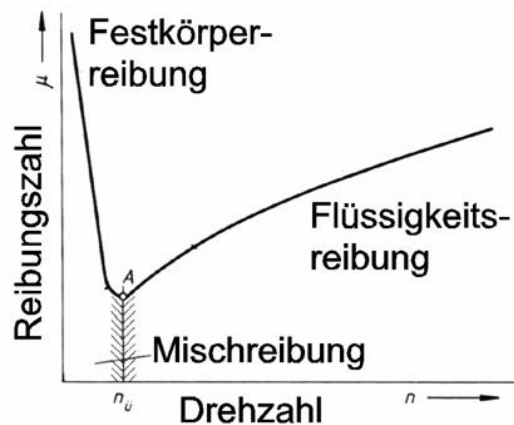


Abbildung 8: Stribeck-Kurve der Gleitlager<sup>35</sup>

Beim Anfahren aus dem Stillstand wird die Festkörperreibung überwunden und zunächst das Gebiet der Grenzreibung durchlaufen. Das Reibungsverhalten wird hier von den Werkstoffen und den Oberflächenrauigkeiten der Reibpartner, sowie von den Schmierstofffilmen bestimmt.

Mit zunehmender Gleitgeschwindigkeit wird die Schmierung mehr und mehr wirksam. Bei der Mischreibung liegen die Grenz- und Flüssigkeitsreibung nebeneinander vor. Die Reibungszahl  $\mu$  erreicht innerhalb des Mischreibungsbereichs bei dem Punkt A ein Minimum. Der Übergang von der Mischreibung in den Zustand der Flüssigkeitsreibung erfolgt erst kurz nach dem Durchlaufen von Punkt A. Nur bei der Flüssigkeitsreibung findet eine vollkommene Trennung der Oberflächen durch den Schmierfilm statt, so dass keinerlei Verschleiß<sup>36</sup> auftritt. Der Betriebszustand des Gleitlagers sollte von A weit genug entfernt liegen, damit beim An- und Auslauf die zu Verschleiß führenden Gebiete der Misch- und Grenzreibung möglichst schnell durchfahren werden und sich das Lager nicht zu stark erwärmt.<sup>37</sup>

<sup>35</sup> Vgl. Steinhilper, W.; Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1985-2012, Kap. 11, S. 72.

<sup>36</sup> Vgl. Muhs, D.; Wittel, H.; Jannasch, D.; Voißek, J.: Roloff / Matek – Maschinenelemente, Normung, Berechnung und Gestaltung, 17. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, Mai 2005, S. 527.

<sup>37</sup> Vgl. Steinhilper, W.; Sauer, B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1985-2012, Kap. 11, S. 83.

### 2.2.2.1 Einteilung der Gleitlager

Gleitlager lassen sich nach folgenden Kriterien einteilen:

Tabelle 1: Einteilung der Gleitlager nach Kriterien<sup>38</sup>

<b>Kraftrichtung:</b>	<b>radial, axial</b>
Verwendung:	Motor, Getriebe, Turbinen
Ausführung:	Augen-, Deckel-, Stehlager
Werkstoff:	Weißmetall, Bronze, Sintermetalle
Schmiermittel:	Öl, Fett, Luft
Schmierprinzip:	hydrostatisch, hydrodynamisch, aerostatisch

Je nach Einsatzfall und Anforderungen wurden unterschiedliche Bauformen entwickelt.

---

<sup>38</sup> Vgl. Künne, B.: Einführung in die Maschinenelemente Gestaltung – Berechnung – Konstruktion, 2. Auflage, Verlag B. G. Teubner, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001, S. 127.

### 2.2.2.2 Bauarten der Gleitlager

Bei Gleitlagern wird grundsätzlich zwischen den Bauarten Axial- und Radiallager unterschieden, gemäß Abbildung 9.

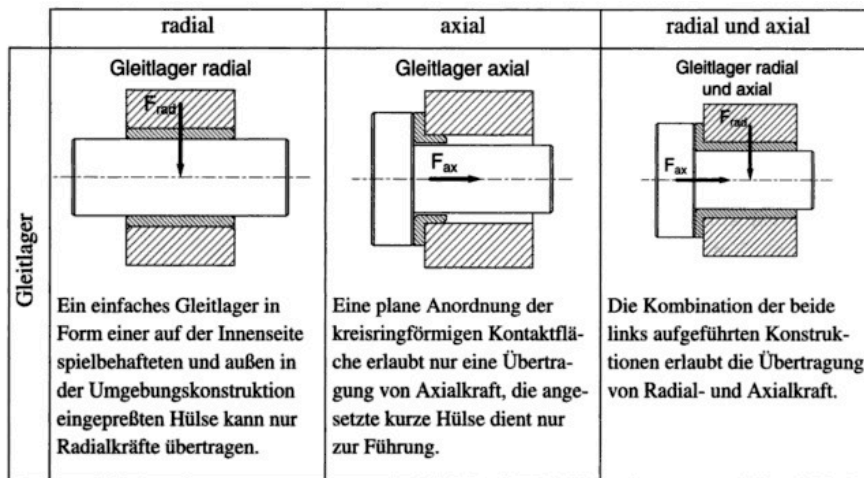


Abbildung 9: Bauarten der Gleitlager<sup>39</sup>

Bei Radiallagern werden die Lagerbuchsen in zwei Halbschalen geteilt oder ungeteilt und jeweils mit oder ohne axiale Gleitflächen ausgeführt, wie in Abbildung 9 dargestellt. Die Buchsen und Halbschalen der Axial- und Radiallagern können sowohl dick- als auch dünnwandig sein.

- Dickwandige Buchsen und Schalen sind sehr formstabil. Bei ihnen wird die gewünschte Gleitflächengeometrie auch bei einem geringem Presssitz im Gehäuse gewährleistet. Die Schalen werden in der Regel aus einem einzigen Lagerwerkstoff hergestellt. Buchsen werden in der Regel aus einem Rohr oder aus Stangenmaterial produziert.
- Dünnwandige Buchsen und Schalen erreichen erst nach dem Einbau ins Gehäuse ihre endgültige Form. Im freien Zustand sind sie unrund und nicht formstabil. Sie werden meistens aus einem Bandabschnitt mittels gängiger Verfahren wie Biegen, Pressen oder Rollen hergestellt. Die Schichtdicke des Lagerwerkstoffes sollte so gering wie möglich und so dick als nötig sein, wobei durch eine genügende Verschleißdicke die Einbettfähigkeit von Verschleiß- und Schmutzpartikeln gegeben ist.

<sup>39</sup> Vgl. Hinzen, H.: Maschinenelemente 1, Band 1, 2. Ausgabe, Oldenbourg Verlag, 2007, S. 83.



Als Axiallager werden z.B. das Axialsegmentlager<sup>40</sup>, siehe Abbildung 9, verwendet. Die Stirnfläche des Zapfens gleitet auf einer Spurplatte, diese Platte besteht aus einem entsprechenden Gleitwerkstoff. Der Schmierstoff wird dabei von innen zugeführt und ermöglicht einen verschleißarmen Betrieb.<sup>41</sup>

Neben den oben genannten Standardbauformen gibt es auch noch spezielle Bauformen wie beispielsweise das Magnetlager und das Kippsegmentlager, dargestellt in Abbildung 10.

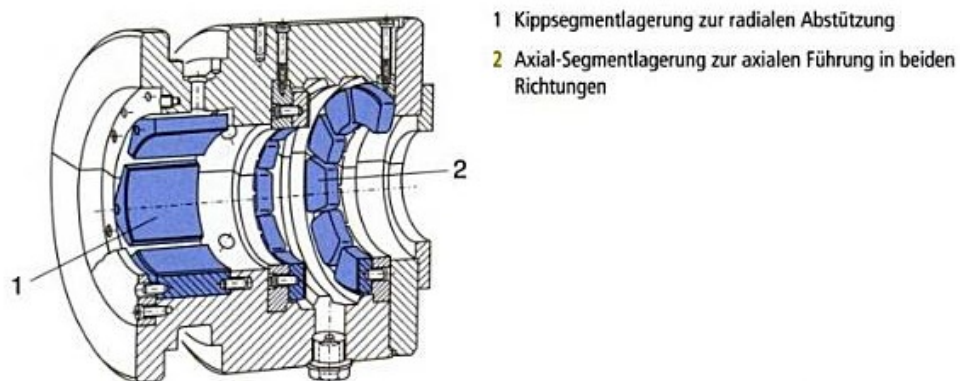


Abbildung 10: Kippsegmentlagerung in kombinierter Ausführung<sup>42</sup>

Gleitlager werden in Maschinen und Geräten für viele Anwendungsbereiche und für Lagerungen mit hohen Anforderungen bezüglich Betriebssicherheit, Lebensdauer und Belastung verwendet.<sup>43</sup> Hauptsächlich werden Gleitlager in folgenden Bereichen genutzt: Verbrennungsmotoren (Kurbelwellen-, Pleuell-, Kolbenbolzen- und Nockenwellenlager), Kolbenverdichter und -pumpen, Getriebe, Dampf- und Wasserturbinen, Generatoren, Kreisel- und Zahnradpumpen, Werkzeugmaschinen, Schiffe, Walzwerke, Pressen, aber auch in Führungen und Gelenken (häufig bei Mischreibung und trockener Reibung) bei niedrigen

<sup>40</sup> Vgl. Steinhilper, W.; Sauer, B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1985-2012, Kap. 11, S. 83.

<sup>41</sup> Vgl. Decker, K.-H.; Kabus, K.: Maschinenelemente – Funktion, Gestaltung und Berechnung, 18. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2011, S. 451.

<sup>42</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 24.

<sup>43</sup> Vgl. Haberhauer, H.; Bodenstern, F.: Maschinenelemente – Gestaltung, Berechnung, Anwendung, 16. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011, S. 310.

Geschwindigkeiten, in der Land- und Hauswirtschaftstechnik, Bürotechnik und Unterhaltungselektronik.<sup>44</sup>

### 2.2.3 Funktion und Wirkung von Wälzlagerungen

Wälzlager sind genormte Maschinenelemente<sup>45</sup>, dieser Fachbegriff leitet sich aus der Funktion „Walzen“ der Einzelteile des Lagers ab und ist der Überbegriff des Rollens mit kleinem Gleitanteil.<sup>46</sup> Wälzlager übertragen wie auch Gleitlager Kräfte zwischen den relativ zueinander bewegenden Maschinenelementen. Sie dienen zur Sicherung der Lage und zur Übertragung der dabei auftretenden, wirkenden, äußeren Kräfte am Maschinenelement. Diese Kräfte sind vom Wälzlager aufzunehmen und auf das Fundament, Gehäuse oder ähnliche Bauteile zu übertragen. Diese beschriebene Baugruppe wird allgemein als Lagerung bezeichnet.<sup>47</sup>

In der Regel besteht ein Wälzlager aus zwei Laufringen, dem Innenring und Außenring, gemäß Abbildung 11, den Wälzkörpern und einem Käfig. Die Wälzkörper können je nach Anwendungsfall und Stärke der Lastaufnahme ein- oder zweireihig angeordnet sein. Bei Axiallagern nennt man die Laufringe, zwischen denen die Wälzkörper laufen, Scheiben (Gehäuse- und Wellenscheiben).<sup>48</sup>

Als Wälzkörper werden je nach Ausführungsvariante und Bauform Kugeln, Zylinder-, Kegel- und Tonnenrollen oder sogenannte Nadeln verwendet.<sup>49</sup>

---

<sup>44</sup> Vgl. Steinhilper, W.; Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1985-2012, Kap. 11, S. 79.

<sup>45</sup> NKE Austria GmbH: Hauptkatalog – Produktkatalog, 5. Auflage, Katalognummer 2011/10, S. 11.

<sup>46</sup> Vgl. Kötttritsch, H.; Albert, M.: Wälzlager – Theorie und Praxis, Springer Verlag, Wien 1987, S. 4.

<sup>47</sup> Vgl. Muhs, D.; Wittel, H.; Jannasch, D.; Voißek, J.: Roloff / Matek – Maschinenelemente, Normung, Berechnung und Gestaltung, 17. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, Mai 2005, S. 450.

<sup>48</sup> Vgl. Künne; B.: Köhler/Rögnitz – Maschinenteile 2, 10. Auflage, Vieweg & Teubner Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, 2008, S. 127.

<sup>49</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 126.

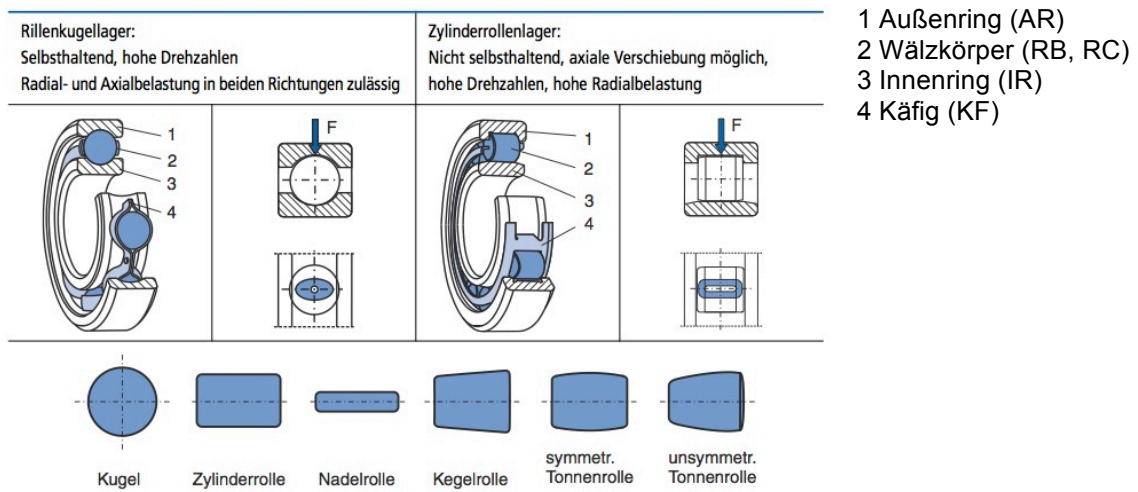


Abbildung 11: Grundsätzlicher Aufbau eines Kugellagers und Rollenlagers<sup>50</sup>

Der Käfig hat die Funktion, die Wälzkörper nach der Montage gleichmäßig über den Umfang verteilt zu führen, das Herausfallen der Wälzkörper bei zerlegbaren Lagern zu verhindern und die gegenseitige Berührung der einzelnen Wälzkörper zu verhindern, wie in Abbildung 12 dargestellt ist.

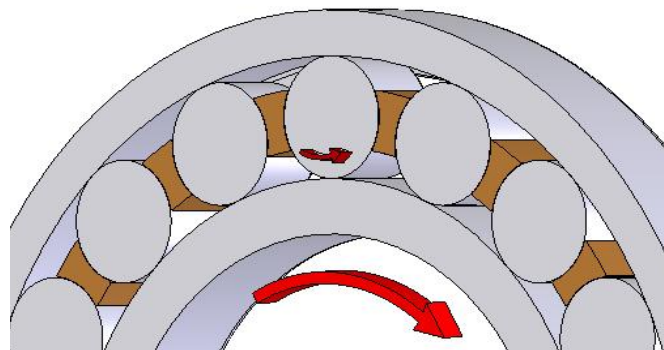


Abbildung 12: Käfigführung<sup>51</sup>

Wälzlager sind sowohl für die Aufnahme von axialer als auch radialer Belastungen bzw. Kräfte ( $F_r$ ,  $F_a$ ) geeignet.<sup>52</sup> Grundsätzlich lassen sich Wälzlager nach ihrer hauptsächlichen Lastaufnahme in Radiallager und Axiallager einteilen, für bestimmte Anwendungsfälle ist auch eine kombinatorische Lastaufnahme möglich. Die Radial- und Axiallager werden jeweils als Kugellager oder als Rollenlager

<sup>50</sup> Ebenda, S. 127.

<sup>51</sup> NKE Austria GmbH: Bearing College Unterlagen, Modul1, Abschnitt 1.1, S. 13.

<sup>52</sup> Vgl. Zeitschrift – Antriebstechnik: Sonderausgabe – Die gesamte Antriebstechnik in 100 Tabellen, Nr. ZL 4000, A636-11, SH, 2012, S. 156.

ausgeführt. Radiallager sind vornehmlich zur Aufnahme von Querkräften geeignet, können aber auch in gewissem Umfang Axialkräfte aufnehmen. Axiallager können hingegen nur Kräfte in axialer Richtung aufnehmen.

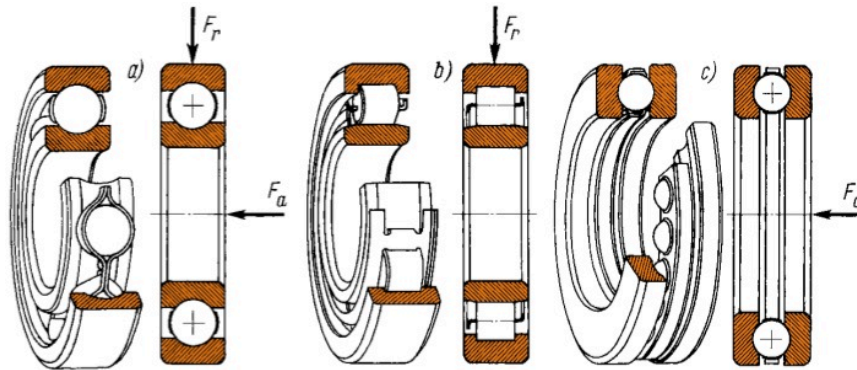


Abbildung 13: Radiallager (Ringlager) und Axiallager (Scheibenlager) <sup>53</sup>  
 a) Radial-Rillenkugellager, b) Zylinderrollenlager, c) Axial-Rillenkugellager

Durch ihren präzisen Aufbau sind Wälzlager gegenüber Gleitlagern sehr empfindlich gegen stoßartige Belastungen. Die Staubempfindlichkeit erfordert eine sorgfältige Abdichtung und die Montage muss fachkundig und mit großer Sorgfalt erfolgen, da sonst ein zu großes Lagergeräusch, oder ein zu kleines Lagerspiel, die Gefahr des Blockierens und damit der vorzeitige Lagerausfall, auftreten kann.<sup>54</sup>

Der Aufwand für die Wartung ist sehr gering, da infolge des geringen Schmierstoffverbrauchs eine Dauerschmierung in sehr vielen Fällen möglich ist. Dank geringer Einbaubreiten, können kleine Baugrößen realisiert werden. Seine große Verbreitung im Maschinenbau verdankt das Wälzlager dem Umstand, dass es im zusammengebauten Zustand als eine Einheit geliefert wird. Ebenso ist infolge der umfassenden Normung, die Austauschbarkeit und eine rasche Ersatzteilbeschaffung gegeben. Die Massenproduktion ermöglicht wiederum kostengünstige Wälzlager mit hoher Präzision und hoher Qualität zu fertigen.<sup>55</sup>

<sup>53</sup> Vgl. Decker, K.-H.; Kabus, K.: Maschinenelemente – Funktion, Gestaltung und Berechnung, 18. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2011, S. 462.

<sup>54</sup> Vgl. Hering, H.; Modler, K.-H.: Grundwissen des Ingenieurs, 14. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2007, S. 431.

<sup>55</sup> Vgl. Haberhauer, H.; Bodenstern, F.: Maschinenelemente – Gestaltung, Berechnung, Anwendung, 16. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011, S. 351.

## 3 Charakterisierung und Laufeigenschaften von Wälzlagern

### 3.1 Tribologisches - System Wälzlager

#### 3.1.1 Definition der Tribologie

Die Tribologie ist eine interdisziplinäre Ingenieurwissenschaft, die für eine Vielzahl der technischen Bereiche von erheblicher Bedeutung ist. Die Dimensionen der heutigen Technik, in Abbildung 14 dargestellt, umfassen die Makro-, Mikro- und Nanotechnik.

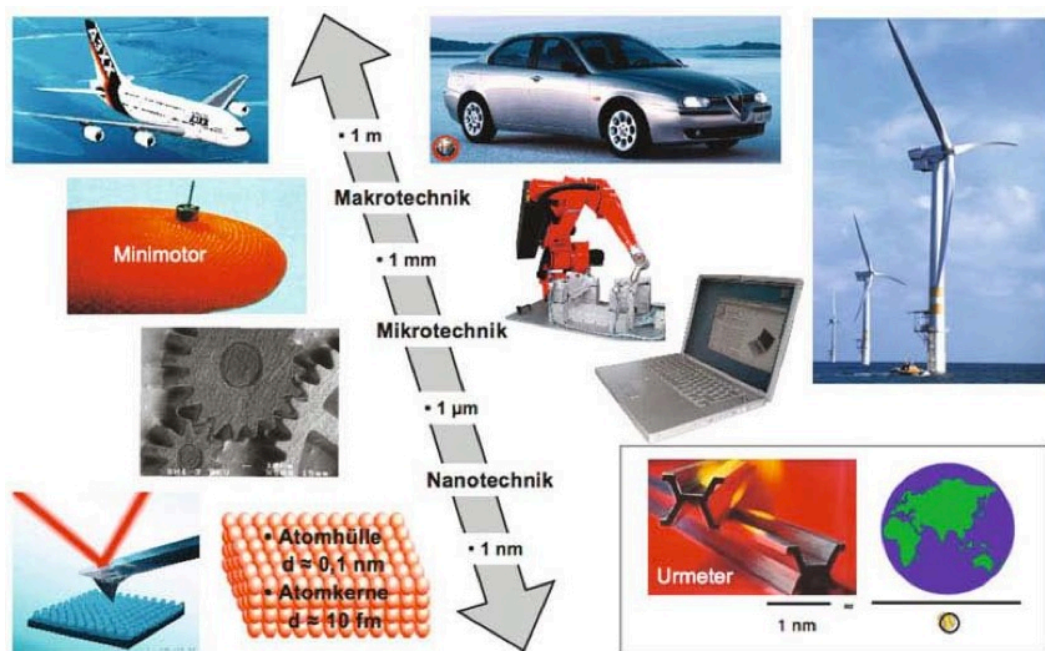


Abbildung 14: Dimensionen der heutigen Technik<sup>56</sup>

- Die Makrotechnik ist die Technik der Maschinen, Apparate, Geräte und technischen Anlagen, welche sich im Bereich von cm und m befinden.

<sup>56</sup> Habig, K.; Czichos, H.: Tribologie – Handbuch, Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik, 3. Auflage, Vieweg u. Teubner Verlag, Wiesbaden 2010, S. 1.

- Die Mikrotechnik mit kleinsten Bauteilabmessungen ist das Gebiet der Feintechnik und der Mikrosystemtechnik.<sup>57</sup>
- Die Nanotechnik nutzt die Effekte der Physik und Materialwissenschaft. Diese wurden begründet durch Richard P. Feynman, Physik-Nobelpreisträger im Jahre 1965.<sup>58</sup>

Das heutige Wissenschafts- und Technikgebiet der Tribologie wurde erst Mitte des 20. Jahrhunderts zur volkswirtschaftlichen Bedeutung von Reibung und Verschleiß mit folgenden Definitionen begründet:

- Tribology is the science and technology of interacting surfaces in relative motion and of related subjects and practices.<sup>59</sup>

Im deutschen Sprachgebrauch lautet die Tribologie-Definition wie folgt:

- Tribologie ist die Wissenschaft und Technik von Wirkflächen in Relativbewegung und zugehöriger Technologien und Verfahren.<sup>60</sup>

In der Ingenieurwissenschaft kann die Tribologie wie folgt definiert werden:

- Die Tribologie ist ein interdisziplinäres Fachgebiet zur Optimierung mechanischer Technologien durch Verminderung von reibungs- und verschleißbedingter Energie- und Stoffverluste.<sup>61</sup>

---

<sup>57</sup> Vgl. Frühauf, J.: Werkstoffe der Mikrotechnik, Carl Hanser Verlag, München/Wien 2005, S.14.

<sup>58</sup> Vgl. Habig, K.; Czichos, H.: Tribologie – Handbuch, Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik, 3. Auflage, Vieweg u. Teubner Verlag, Wiesbaden 2010, S. 1.

<sup>59</sup> Vgl. GfT Arbeitsblatt 7: Tribologie - Definition, Begriffe, Prüfung, S. 3.

<sup>60</sup> Habig, K.; Czichos, H.: Tribologie – Handbuch, Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik, 3. Auflage, Vieweg u. Teubner Verlag, Wiesbaden 2010, S. 4.

<sup>61</sup> Vgl. Skerra, B.: Taschenbuch Molchtechnik, Vulkan-Verlag GmbH, 2003, S.42.

Nach einer Übersicht über die Definition der Tribologie werden die Aufgaben der Tribologie in Wissenschaft, Technik und Wirtschaft dargestellt.

### 3.1.1.1 Wissenschaft:

Nach den Gesetzen der Thermodynamik benötigen alle makroskopischen technischen Prozesse zu ihrer Durchführung Energie.<sup>62</sup> Dieser Grundsatz gilt auch für die Funktion von Gleit- oder Rollelementen im Anlagenbau. Jedoch entsteht, mit den dynamischen Bewegung der einzelnen Körper, Reibung und Verschleiß. Diese „Reibungseffekte“ werden oft vernachlässigt oder werden nur als „Störung“ betrachtet. Da sowohl die Reibung und Verschleiß häufig unerwünschte, jedoch komplexe Vorgänge sind, musste die herkömmliche Betrachtungsweise erweitert werden.<sup>63</sup> Dazu erfolgte in den letzten Jahren die Erweiterung der Tribologie bis in "Nano-Dimensionen" und hat somit nach den ersten Reibungsuntersuchungen von Leonardo da Vinci, zu einer „Renaissance der Reibung“ geführt.

Die wissenschaftliche Aufgabe der Tribologie ist die Erforschung der Mechanismen und Pfade der Energiedissipationen in Reibkontakten und der auslösenden Prozesse der zum Verschleiß führenden Materialveränderungen.<sup>64</sup>

### 3.1.1.2 Technik:

Zahlreiche Aufgaben der Technik, wie aus der Übersicht in Abbildung 14 ersichtlich, können nur durch die Relativbewegungen der Wirkflächen, d. h. durch Tribotechnik, realisiert werden, wie z. B.

- Kinematik: *Bewegungserzeugung, Bewegungsübertragung oder -hemmung*
- Dynamik: *Kraftübertragung*
- Arbeit, mechanische Energie: *Übertragung und Umwandlung mechanischer Energie*
- Transportvorgänge: *fester, flüssiger oder gasförmiger Medien/Stoffe*
- Formgebung: *Spanende und spanlose Fertigung*<sup>65</sup>

---

<sup>62</sup> Vgl. Strunz, M.: Instandhaltung – Grundlagen, Strategien, Werkstätten, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2012, S.97.

<sup>63</sup> Vgl. Steinhilper, W.; Sauer, B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1985-2012, Kap. 10, S. 3.












<sup>64</sup> Habig, K.; Czichos, H.: Tribologie – Handbuch, Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik, 3. Auflage, Vieweg u. Teubner Verlag, Wiesbaden 2010, S. 5.

Damit erstrecken sich die Aufgaben der Tribologie auf folgende wesentliche Bereiche der Technik:

- Entwicklung, Konstruktion, Fertigung, Wartung und Instandhaltung, Maschinenbau, Feintechnik, Produktionstechnik, Antriebstechnik, Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrttechnik usw.<sup>66</sup>

Die in Tabelle 2 zusammengefassten Aufgabenstellungen der Tribotechnik tragen zur Optimierung maschinentechnischer Systeme bei.

Tabelle 2: Aufgabenstellung der Tribotechnik<sup>67</sup>

Ziele tribologischer Maßnahmen zur Optimierung maschinentechnischer Systeme	Häufigkeit der Zielnennungen von Anwendern (100 % = 978 Nennungen)
1. Lebensdauerverlängerung	 32
2. Wartungsfreiheit	 22
3. Belastungs/Drehzahl-Steigerung	 9
4. Produktionsverbesserung	 8
5. Minderung elektr. Verlustleistung	 7
6. Verminderung von Leckage, Abdichtung	 6
7. Geräuschreduzierung	 5
8. Hochtemperaturanwendung	 4
9. Vibrationsreduzierung	 4
10. Gewichtsreduzierung	 2
11. Sonstiges	 1

### 3.1.1.3 Wirtschaft:

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Tribologie hatte in den letzten Jahren einen deutlichen Zuwachs. Die beträchtlichen Einsparungsmöglichkeiten durch verstärkte Forschung und Anwendung der tribologischen Kenntnisse, werden durch eine Vielzahl von Studien in verschiedenen Industrieländern belegt.

Reibung, Verschleiß und Korrosion verschlingen in den Industrieländern, wie in Deutschland, etwa 2 - 7% des Bruttoinlandproduktes (BIP). Umgerechnet auf die

<sup>65</sup> Vgl. Habig, K.; Czichos, H.: Tribologie – Handbuch, Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik, 3. Auflage, Vieweg u. Teubner Verlag, Wiesbaden 2010, S. 5.

<sup>66</sup> Ebenda, S.5.

<sup>67</sup> Ebenda, S. 6.



Bundesrepublik Deutschland bedeutet dies rund 100 Milliarden € volkswirtschaftlicher Verluste (insbesondere an Rohstoffen und Energie) in jedem Jahr.<sup>68</sup> In Österreich gehen geschätzte 5% des Bruttoinlandproduktes durch Verschleißerscheinungen verloren.<sup>69</sup>

### 3.1.2 Tribologie der Wälzlager

Bei der Dimensionierung von Maschinenelementen, auch Wälzlagern, ist häufig die Forderung zu erfüllen, dass im Betriebszustand ein Minimum an Reibung und Verschleiß auftritt, sowie die verschleißbedingten Material- und Energieverluste gering sind. In der Praxis gibt es aber auch Anwendungen, wo eine verstärkte Reibung erwünscht ist, wie z.B. bei Bremsen. Zusätzlich zu diesen anwendungsbedingten Anforderungen, wird ein möglichst wartungs- und störungsfreier Betrieb gefordert. Die Zusammenhänge dieser sehr komplexen Vorgänge werden im Fachgebiet „Tribologie“ behandelt<sup>70</sup>, welches wie folgt definiert werden kann:

*Tribologie ist die Wissenschaft und Technik von aufeinander einwirkenden Oberflächen in Relativbewegung. Sie umfasst das Gesamtgebiet von Reibung und Verschleiß,<sup>71</sup> einschließlich Schmierung, und schließt entsprechende Grenzflächenwechselwirkungen sowohl zwischen Festkörpern als auch zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten oder Gasen ein.<sup>72</sup>*

---

<sup>68</sup> Vgl. Die Presse: „Damit alles wie geschmiert läuft“, Zeitungsartikel, 31.10.2009.

<sup>69</sup> Vgl. Die Presse: „Wenn es nicht wie geschmiert läuft: Im Kampf gegen die Reibung“, Zeitungsartikel, 16.12.2008.

<sup>70</sup> Vgl. Muhs, D.; Wittel, H.; Jannasch, D.; Voißek, J.: Roloff / Matek – Maschinenelemente, Normung, Berechnung und Gestaltung, 17. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, Mai 2005, S. 312.

<sup>71</sup> Vgl. Kuhn, E.: Zur Tribologie der Schmierfette, Expert Verlag, 2009, S. 7.

<sup>72</sup> Vgl. GfT Arbeitsblatt 7: Tribologie - Definition, Begriffe, Prüfung, S. 3.

Ein Tribotechnisches System (TTS) beinhaltet alle, an einer tribologischen Beanspruchung beteiligten Komponenten und deren Eigenschaften. Welches immer aus einem Grundkörper und Gegenkörper, sowie Zwischenstoff und Umgebungsmedium besteht<sup>73</sup>, gemäß Abbildung 15.

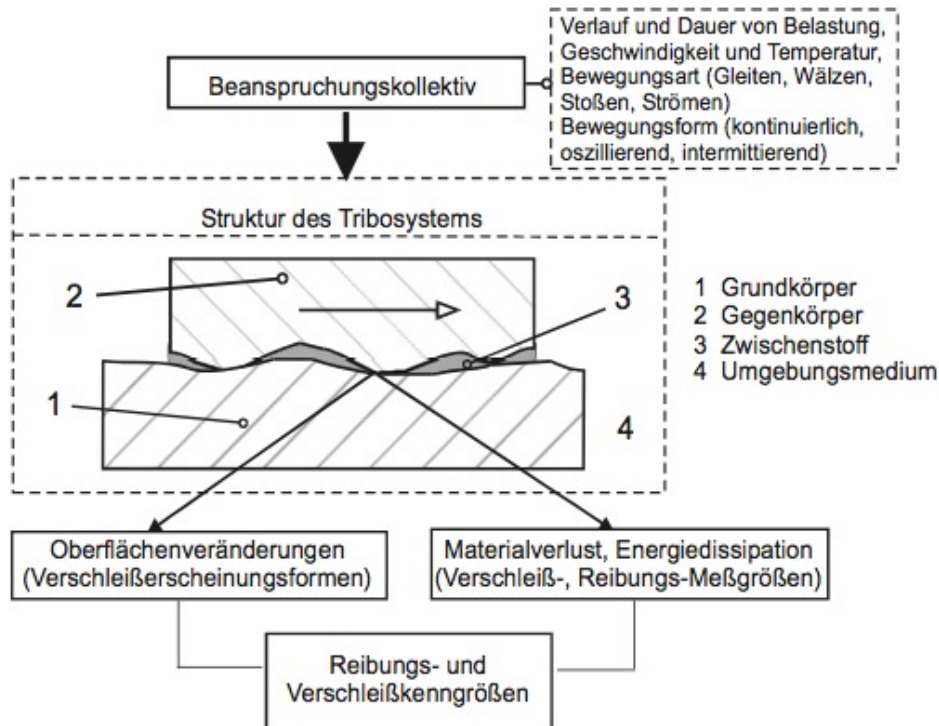


Abbildung 15: Schematische Darstellung eines tribologischen Systems<sup>74</sup>

Je nach ihrer Hauptaufgabe werden die TTS<sup>75</sup> primär in energie-, stoff- oder informationsdeterminierte Systeme eingeteilt, wie in Tabelle 3 dargestellt. Somit dienen Wälzlager und Führungen der Aufnahme und Weiterleitung von Kräften und ermöglichen dabei eine Rotations- bzw. Translationsbewegung, d.h. sie sind energiedeterminiert, siehe dazu Tabelle 3. Auch Drehmoment und Drehzahl ändernde Getriebe sind energiedeterminierte Systeme. Stoffdeterminierte Systeme sind z.B. Rohrleitungen zum Transport von Stoffen, sowie Walzen zum Umformen von Werkstücken. Für die signal- bzw. informations- determinierten

<sup>73</sup> Vgl. Bartz, W.: Handbuch der Tribologie und Schmierungstechnik – Tribologie und Schmierung bei der Massivumformung, Expert Verlag, 2004, S. 1.

<sup>74</sup> Vgl. GfT Arbeitsblatt 7: Tribologie - Definition, Begriffe, Prüfung, S. 6.

<sup>75</sup> Vgl. Wifl Österreich: Tribologie – Konstruktive Richtlinien zur Reibungs-, Verschleiß- und Schmiertechnik, Broschüre Nr. 277, S. 18ff.

TTS soll hier beispielhaft das Schaltrelais stehen, mit dem Signale übertragen werden.<sup>76</sup>

Tabelle 3: Technische Funktion und dazugehörige tribotechnische Bauteile<sup>77</sup>

Funktionen	tribotechnische Bauteile und Systeme	Systemart
Kraft leiten und Bauteil führen	Gleitlager, Wälzlager, Führungen, Passungen, Rad/Schiene, Reifen/Straße	energie determiniert
Drehmoment leiten	Kupplung, kraftschlüssige Wellen-Nabe-Verbindung	energie determiniert
Drehmoment ändern	Zahnrad-, Riemen-, Ketten-, Reibradgetriebe	energie determiniert
Informationen übertragen	Relais, Schleifring, Kurvengetriebe (Steuergetriebe)	signal- bzw. informations determiniert
Material transportieren	Förderband, Rohrleitung, Rutsche	stoff determiniert
Material zerspanen	Dreh-, Fräs-, Schleif-, Bohr-, Säge-, Räumwerkzeug	stoff determiniert

Das Tribologische - System Wälzlager besteht aus dem Grundkörper, dem Innen- und Außenring, einem Gegenkörper, dem Wälzkörper (der Kugel, Rolle, Nadel) und dem Zwischenstoff, dem Schmierstoff, dargestellt in Abbildung 15. Sowie den Betriebsbedingungen und den Umgebungsfaktoren wie Temperatur, Schmutz und Vibrationen.<sup>78</sup>

Das Umgebungsmedium ist in den meisten Anwendungsfällen der Wälzlager, die Luft, in manchen speziellen Anwendungen kann es auch Öl oder Gas sein. Falls das Wälzlager im Vakuum zum Einsatz kommt, wie z.B. bei Weltraumanwendungen, existiert kein Umgebungsmedium.

<sup>76</sup> Vgl. Steinhilper, W.; Sauer, B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1985-2012, Kap. 10, S. 6.

<sup>77</sup> Ebenda.

<sup>78</sup> Vgl. Kleinlein, E.: Einsatz von Wälzlagern bei extremen Betriebs- und Umgebungsbedingungen, Expert Verlag, 1998, S. 50f.

## 3.2 Bestandteile der Wälzlagertechnik

Eine Wälzlagerung umfasst nicht nur die Wälzlager, sondern auch die anschließenden Bauteile wie Wellen und Gehäuse. Daneben kommt dem Schmierstoff eine große Bedeutung zu. Außerdem müssen in den meisten Fällen auch Dichtungen verwendet werden, um das Austreten von Schmierstoffen und das Eindringen von Feuchtigkeit, Schmutzpartikeln und festen Fremdstoffen zu verhindern.

Die Wälzlagerung beschränkt sich demnach nicht nur auf die Wahl der geeigneten Lagerart und auf die Bestimmung der Lagergröße, sondern erfordert eine Reihe von noch zusätzlichen Arbeitsschritten. Die Art und Menge des Schmierstoffes sind zu bestimmen, Einbaupassungen und die Lagerluft muss festgelegt werden, je nach Anwendungsfall. Es sind die Einzelteile und Anschlussteile zweckmäßig zu gestalten und erwünschte Dichtungen sind auszuwählen. Dabei wirkt sich jede einzelne Entscheidung auf die spätere Funktion, die Zuverlässigkeit und die Wirtschaftlichkeit der Lagerung aus. Der erforderliche Aufwand, bei der Festlegung der einzelnen Kriterien, hängt im Wesentlichen davon ab, ob auf vorhandene Erfahrungen mit vergleichbaren Aufgabenstellungen zurückgegriffen werden kann. Wenn die entsprechenden Erfahrungen fehlen, außergewöhnliche Anforderungen vorliegen oder wenn eventuelle Folgekosten der Lagerung besonders zu beachten sind, dann erhöht sich naturgemäß der Aufwand für den Lagerentwurf und die Lagerauswahl gestaltet sich meist als sehr schwierig.

In den folgenden Kapiteln der Wälzlagertechnik werden die erforderlichen, grundlegenden Angaben zur Wälzlagerung und der Lagerbestimmung beschrieben.<sup>79</sup>

### 3.2.1 Erforderliche Grundsatzüberlegungen

Um eine Lagerung in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht zweckmäßig auswählen zu können, muss man folgende Aspekte betrachten:

- Definition der auftretenden Belastungsarten (Kräfte, Momente) und Auswahl einer geeigneten Lagerbauart
- Höhe und Ausprägung der wichtigsten lebensdauer- und funktionsbestimmenden Parameter

---

<sup>79</sup> Vgl. Fa. SKF: Hauptkatalog - Produktkatalog, Katalog 4000/IV T, 1994, S. 3.

- Zusammenhänge zwischen Lagerart, Belastung, Betriebsbedingungen, Wartung, Lebensdauer
- Einfluss einer fachgerechten Montage und Schmierung auf die Funktionsfähigkeit von Lagern<sup>80</sup>

### 3.2.2 Auswahl der Lagerart

Jede Lagerart weist auf Grund ihrer Bestandteile charakteristische Eigenschaften auf, die für einen bestimmten Anwendungsfall mehr oder weniger geeignet erscheint.

Rillenkugellager beispielsweise, nehmen Radialbelastungen und auch Axialbelastungen auf. Darum werden diese bevorzugt in kleinen bis mittleren Elektromotoren eingebaut. Pendelrollenlager wiederum sind sehr belastbar und unempfindlich gegenüber Winkel- oder Fluchtungsfehlern. Diese Lagerart wird daher häufig vorgesehen, wenn hohe Belastungen, Verformungen und Schiefstellungen im Betrieb auftreten, wie im Groß- und Schwermaschinenbau.

Da aber in vielen Fällen bei der Auswahl der Lagerart mehrere Faktoren berücksichtigt und gegeneinander abgewogen werden müssen, lassen sich zu diesem Thema keine allgemeingültigen Regeln aufstellen. Die anschließende Matrix gibt einen Überblick über die Lagerarten und deren Eignung.<sup>81</sup>

Tabelle 4: Matrix der Lagerarten<sup>82</sup>

Lagerarten/Merkmale	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
Radiale Lasten	••	•	•••	•••	•••	•	••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•	
Axiale Lasten	••	•	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••
Kombinierte Lasten	••	•	•••	•••	•••	••	•	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	•
Hohe Geschwindigkeit	••••	•••	••••	••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	•
Hohe Genauigkeit	••••																						
Geringes Drehmoment	••••																						
Steifigkeit					•••			•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••	•••				•••	•••	•••	•••	
Winkelausrichtung	•••	•	•	•	•	•	•••	••	•	••	••	•	••	•	••	•	•••	•••	••	••	••	••	•••
Fähigkeit zur Selbstjustierung							*								*		*					*	
Festlager	*			*	*	*	*				*			*	*								
Loslager	*			*	*	*	*	*	*			*		*	*								
Kegelige Bohrung im Innerring							*		*						*								
Anmerkungen		A	B		C	D		E	F	G	H		I	J							K	L	

<sup>80</sup> NKE Austria GmbH: Hauptkatalog – Produktkatalog, 5. Auflage, Katalognummer 2011/10, S. 70.

<sup>81</sup> Vgl. Fa. SKF: Hauptkatalog - Produktkatalog, Katalog 4000/IV T, 1994, S. 14.

<sup>82</sup> NSK Motion & Control: Wälzlager für Industriegetriebe: damit die Kraft gut rüberkommt, Produktbroschüre, S. 9.

← Nur eine Richtung	<b>1</b> Einreihige Rillenkugellager	<b>11</b> Zylinderrollenlager mit Winkerring	<b>18</b> Axial-Schäggkugellager, zweiseitig wirkend
↔ Beide Richtungen	<b>2</b> Schülterkugellager	<b>12</b> Nadelrollenlager	<b>19</b> Axial-Zylinderrollenlager
●●●● Sehr gut geeignet	<b>3</b> Einreihige Schräggkugellager	<b>13</b> Kegelrollenlager	<b>20</b> Axial-Kegelrollenlager
●●● Gut geeignet	<b>4</b> Zweireihige Schräggkugellager	<b>14</b> Zwei- und mehrreihige Kegelrollenlager	<b>21</b> Axial-Pendelrollenlager
●● Unter Umständen geeignet	<b>5</b> Duplex Schräggkugellager	<b>15</b> Pendelrollenlager	
● Schlecht geeignet	<b>6</b> Vierpunktlager	<b>16</b> Axial-Rillenkugellager	
* Nicht geeignet	<b>7</b> Pendelrollenlager	<b>17</b> Axial-Rillenkugellager mit einstellbarer Unterlegscheibe	
* Anwendbar	<b>8</b> Zylinderrollenlager		
* Anwendbar, aber axiale Ausdehnung/Verschiebbarkeit muss gewährleistet sein	<b>9</b> Zweireihige Zylinderrollenlager		
	<b>10</b> Zylinderrollenlager mit einseitigem Bord		
<b>A</b> Üblicherweise werden zwei Lager gegenüber montiert.	<b>C</b> Kombination von DF- und DT-Lagersätzen ist möglich, jedoch keine Verwendung am freien Ende. Das erwünschte Lagerspiel muss eingestellt werden.	<b>F</b> Einschließlich NNU-Typ	<b>J</b> KH- und KV-Typen sind ebenso erhältlich, jedoch ist die Verwendung am freien Ende nicht möglich.
<b>B</b> Druckwinkel von 15°, 25°, 30° und 40°. Üblicherweise werden zwei Lager gegenüber montiert.	<b>D</b> Druckwinkel von 35°	<b>G</b> Einschließlich NF-Typ	<b>K</b> Einschließlich Axial-Nadellager
	<b>E</b> Einschließlich N-Typ	<b>H</b> Einschließlich NUP-Typ	<b>L</b> Mit Öl-Schmierung empfohlen
		<b>I</b> Üblicherweise werden zwei Lager gegenüber montiert. Das erwünschte Lagerspiel muss eingestellt werden.	

Abbildung 16: Legende zu Matrix der Lagerarten<sup>83</sup>

### 3.2.3 Bezeichnungssystem der Wälzlager

#### 3.2.3.1 Allgemeines

Die Bezeichnungen von Wälzlagern und Wälzlagerzubehör bestehen aus Kombinationen von Buchstaben und Zahlen, die nach einem logischen Prinzip aufgebaut sind. Das Bezeichnungssystem ist so gestaltet, dass verschiedene Teile der Bezeichnung Bauart, Größe und Eigenschaften des Lagers exakt wiedergeben. Neben den Standardlagern, deren Bezeichnungen weitgehend genormt sind, existiert eine Reihe von Sonderlagern bzw. von Normlagern in Sonderausführungen, deren Bezeichnungssystem je nach Hersteller stark variiert.<sup>84</sup>

#### 3.2.3.2 Wälzlagernormen

In der Norm DIN 623<sup>85</sup>, sind Grundlagen des Bezeichnungssystems für Wälzlager und Lagerzubehör festgehalten. Bauarten, Hauptabmessungen und Toleranzen von Normlagern sind durch international anerkannte Standards definiert, beispielsweise durch ISO 15, ISO 355 und ISO 104 bzw. in der DIN 616 und DIN ISO 355. Bei Kegelrollenlagern existiert parallel zum Bezeichnungsschema nach DIN 720 ein eigenes Bezeichnungssystem nach DIN ISO 355. Die in diesen

<sup>83</sup> NSK Motion & Control: Wälzlager für Industriegetriebe: damit die Kraft gut überkommt, Produktbroschüre, S. 9.

<sup>84</sup> Vgl. Böttcher; Forberg: Technisches Zeichnen, 23. Auflage, Leipzig und Beuth Verlag, 1998, S. 277.

<sup>85</sup> DIN 623-1:1993-05: Wälzlager; Grundlagen; Bezeichnung, Kennzeichnung

Normen enthaltenen Maßpläne definieren Querschnitte sowie Hauptabmessungen der gebräuchlichsten Lagerbauformen nach mathematischen Regeln.<sup>86</sup>

Dabei wurden jedem Bohrungsdurchmesser mehrere mögliche Querschnitte zugeordnet, daher spricht man hierbei auch von Durchmesserreihen und Breitenreihen, wie in Abbildung 17 dargestellt.

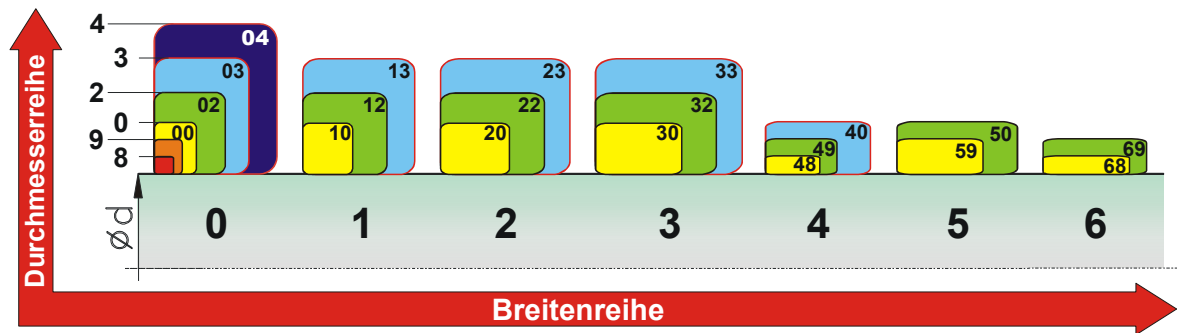


Abbildung 17: Durchmesser- und Breitenreihe<sup>87</sup>

### 3.2.3.3 Bezeichnungssystem von Normlagern

Auf der Einteilung in Durchmesserreihen und Breitenreihen basiert das Bezeichnungssystem von Normlagern.

Das Bezeichnungsschema umfasst, gemäß Abbildung 18:

- Vorsetzzeichen
- Basiskennzeichen
- Nachsetzzeichen

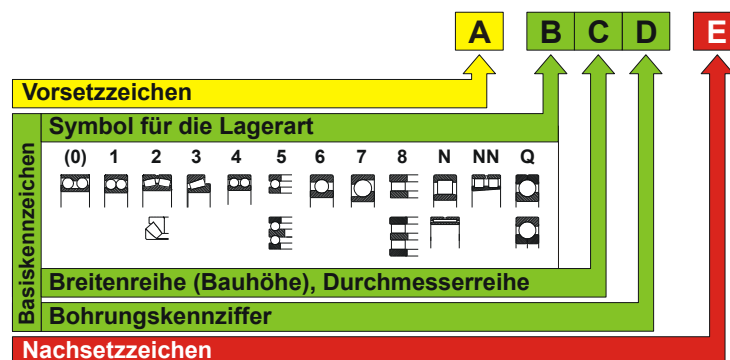


Abbildung 18: Bezeichnungsschema von Normlagern<sup>88</sup>

<sup>86</sup> Vgl. NKE Austria GmbH: Bearing College Unterlagen, Modul1, Abschnitt 1.3, S. 2.

<sup>87</sup> NKE Austria GmbH: Bearing College Unterlagen, Modul1, Abschnitt 1.3, S. 3.

### 3.2.3.4 Vorsetzzeichen

Vorsetzzeichen bezeichnen üblicherweise einzelne Teile von Wälzlagern oder untrennbar verbundene Baugruppen.<sup>89</sup>

#### Beispiele für Lagerteile:

Bei einigen zerlegbaren Lagerbauarten wie beispielsweise bei Zylinderrollenlagern oder Nadellagern, werden manchmal nur einzelne Ringe verwendet. In diesen Fällen werden die Teile durch folgende Vorsetzzeichen bezeichnet:

#### L . . . freier Ring

z.B. LNU314-E Innenring eines Zylinderrollenlagers NU314E

#### IR . . . freier Ring

z.B. IR40X50X20 Separater Nadellager - Innenring

#### R . . . Ring mit Wälzkörpersatz

z.B. RNU314-E Außenring mit Rollensatz eines Zylinderrollenlagers NU314E

### 3.2.3.5 Basiskennzeichen

Das Basiskennzeichen bezeichnet Bauart, Ausführung und Größe eines Lagers.

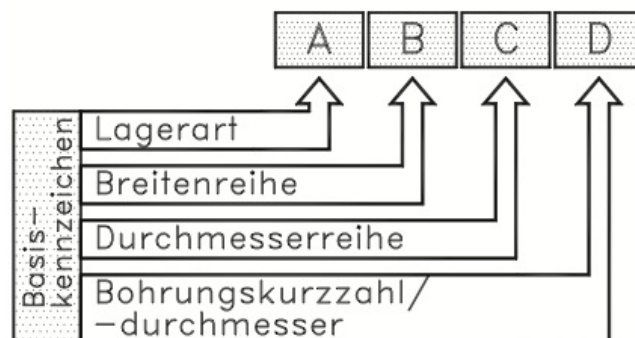


Abbildung 19: Basiskennzeichen von Lagerungen<sup>90</sup>

<sup>88</sup> NKE Austria GmbH: Hauptkatalog – Produktkatalog, 5. Auflage, Katalognummer 2011/10, S. 27.

<sup>89</sup> Vgl. Köttritsch, H.; Albert, M.: Wälzlager – Theorie und Praxis, Springer Verlag, Wien 1987, S. 37.



Standardlager haben üblicherweise Basiskennzeichen, die entweder nur aus einer Zahlenfolge oder einer Kombination von Buchstaben und Ziffern bestehen. Sie bezeichnen

- Art und Querschnitt des Lagers (Lagerreihe)

- Lagergröße (Bohrung)

Die **Lagerart** wird durch die ersten Symbole des Basiskennzeichens bezeichnet. Lagerarten können sowohl durch Zahlen oder Buchstaben oder auch durch Kombinationen von Zahlen und Buchstaben bezeichnet werden. In einigen Fällen wird bei bestimmten Lagerarten die Ziffer der Lagerart, teilweise auch die erste Ziffer der Kennzahl der Maßreihe (die Breitenreihe) weggelassen.

Das Symbol für die **Lagerreihe** beinhaltet Informationen zur Lagerart und die Zuordnung eines Lagers zu einer bestimmten Breiten- und Durchmesserreihe bzw. bei Axiallagern zur Bauhöhe und Durchmesserreihe. Die einzelnen Lagerreihen werden durch Ziffern oder Buchstaben oder durch eine Kombination von Ziffern und Buchstaben identifiziert.

Im Normalfall wird der **Bohrungsdurchmesser** eines Lagers im Basiskennzeichen als zweistellige Bohrungskennzahl angegeben. Die Bohrungskennzahl wird im Anschluss an das Symbol der Lagerreihe geschrieben gemäß Abbildung 18 und Abbildung 19.

Die Bohrungskennzahl ergibt, mit 5 multipliziert, den Bohrungsdurchmesser in Millimeter.<sup>91</sup>

Beispiele:

**6205** Einreihiges Rillenkugellager,

Bohrung **05** x 5 = 25mm

**NU2336** Einreihiges Zylinderrollenlager

Bohrung **36** x 5 = 180mm

---

<sup>90</sup> Vgl. Dahlke, H.: Handbuch Wälzlagertechnik - Bauarten, Gestaltung, Betrieb, Vieweg Teubner Verlag, 1994, S. 12.

<sup>91</sup> Vgl. NKE Austria GmbH: Bearing College Unterlagen, Modul1, Abschnitt 1.3, S. 7.

### 3.2.3.6 Nachsetzzeichen

Nachsetzzeichen werden im Anschluss an das Basiskennzeichen geschrieben. Sie geben detaillierte Hinweise auf Einzelheiten der Lagerkonstruktion, sofern diese von einer definierten Standardausführung abweichen.

Nachsetzzeichen müssen immer in Zusammenhang mit dem zugehörigen Lager oder der betreffenden Lagerart betrachtet werden. So kann beispielsweise der Buchstabe „E“ je nach Lagerart komplett unterschiedliche Bedeutungen haben. Nicht alle Nachsetzzeichen sind genormt. Viele Details, speziell in der Ausführung von Dichtungen oder Käfigvarianten, werden nach eigenen Werknormen benannt.

Folgende Eigenschaften und Merkmale werden, sofern diese von der jeweiligen Standardausführung abweichen, durch Nachsetzzeichen bezeichnet:<sup>92</sup>

- Innenkonstruktion
- Ergänzung der äußeren Grundform (durch Dichtungen, Deckscheiben, Ringen)
- Käfig (verschieden Werkstoffe)
- Maß-, Form- und Laufgenauigkeit
- Lagerluft
- Laufruhe
- Maßstabilität
- Schmierfett (insbesondere bei gedichteten Lagern)
- Sondervereinbarung (Kundenbezeichnungen)<sup>93</sup>

Beispiele:

6207- <b>ZZ</b>	Rillenkugellager mit Deckscheiben auf beiden Seiten
6208- <b>2RSR</b>	Rillenkugellager mit schleifenden Dichtungen auf beiden Seiten
NCF18/560- <b>V</b>	Zylinderrollenlager ohne Käfig, vollrollig. <sup>94</sup>

<sup>92</sup> NKE Austria GmbH: Hauptkatalog – Produktkatalog, 5. Auflage, Katalognummer 2011/10, S. 31.

<sup>93</sup> Vgl. Köttritsch, H.; Albert, M.: Wälzlager – Theorie und Praxis, Springer Verlag, Wien 1987, S. 38.

### 3.3 Funktionselemente des Wälzlagers

Ein Wälzlager, gemäß Abbildung 20, besteht in der Regel aus zwei Laufringen oder bei Axiallagern Laufscheiben, zwischen denen die zumeist durch einen Käfig gehaltenen Wälzkörper laufen. Bei verschiedenen Lagerarten kommen Dichtungen und Deckscheiben zum Einsatz.

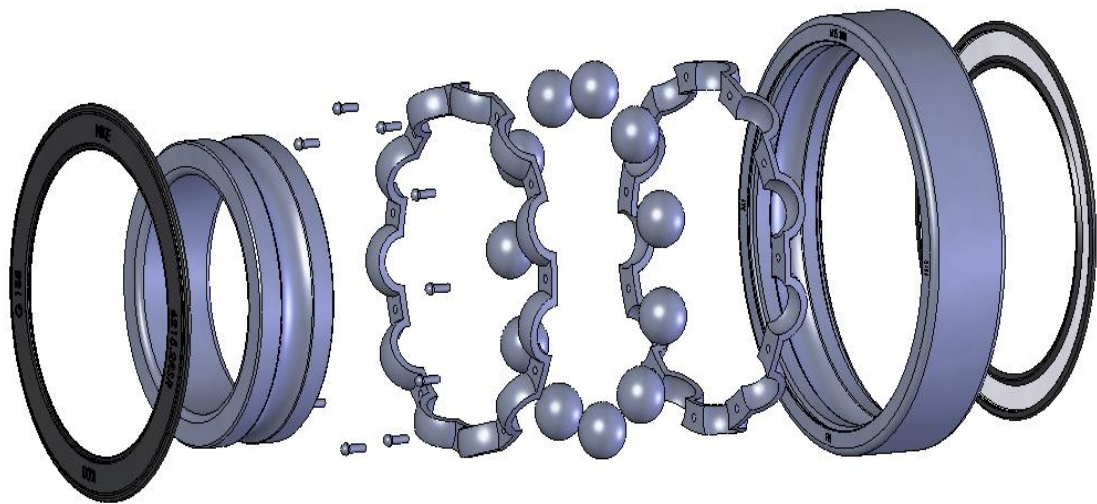


Abbildung 20: Explosionsdarstellung eines Wälzlagers - Rillenkugellager

#### 3.3.1 Lagerringe

Die Lagerringe dienen zur Übertragung von Kräften und Momenten sowie zur Befestigung des Lagers auf der Welle bzw. im Gehäuse. Sie weisen auf der Innenseite (Außenring) oder der Außenseite (Innenring) ein- oder mehrreihige Laufbahnen auf, auf denen die Wälzkörper laufen und zu einem geringen Anteil „Gleiten“. Je nach Wälzlagerbauart können radiale, axiale oder kombinierte Kräfte aufgenommen werden, wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben.

---

<sup>94</sup> Vgl. Schäffler Gruppe KG: INA – FAG Hauptkatalog – Wälzlager, 1. überarbeitet Auflage, Oktober 2008, S. 210.

In Abbildung 21 sind Beispiele für Lagerringe angeführt.<sup>95</sup>

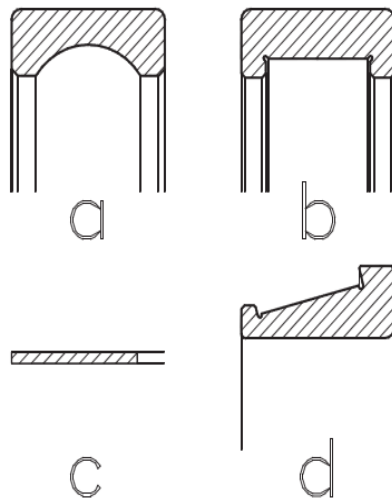


Abbildung 21: Laufringe und Laufscheiben<sup>96</sup>

- a) ein Außenring eines einreihigen Rillenkugellagers
- b) ein Außenring eines einreihigen Zylinderrollenlagers
- c) eine Axialscheibe für einen Axialnadelkranz
- d) ein Innenring eines einreihigen Kegelrollenlagers

### 3.3.2 Wälzkörper

Die Wälzkörper unterscheidet man in Kugeln und in verschiedene Bauformen von Rollen, wie z.B. Zylinderrollen, Kegelrollen, Tonnenrollen und Nadelrollen.

Die Wälzkörper dienen der Kraftübertragung und geben der jeweiligen Wälzlagerbauart ihren Namen (z.B. Rillenkugellager, Zylinderrollenlager, Nadellager,...). In Abbildung 22 sind alle möglichen Wälzkörpergeometrien dargestellt.<sup>97</sup>

<sup>95</sup> Vgl. NKE Austria GmbH: Hauptkatalog – Produktkatalog, 5. Auflage, Katalognummer 2011/10, S. 12.

<sup>96</sup> Ebenda.

<sup>97</sup> Vgl. Fritz, F.: Modellierung von Wälzlagern als generische Maschinenelemente einer Mehrkörpersimulation, Bd. 14, Dissertation, KIT Scientific Publishing, 2011, S. 24.

Die Unterscheidung zwischen Kugel- und Rollenlagern und der sich daraus ergebenden Punkt- und Linienberührung (siehe Kapitel 3.4.1), fließt auch in die Wälzlagerauswahl und deren Berechnung mit ein.<sup>98</sup>

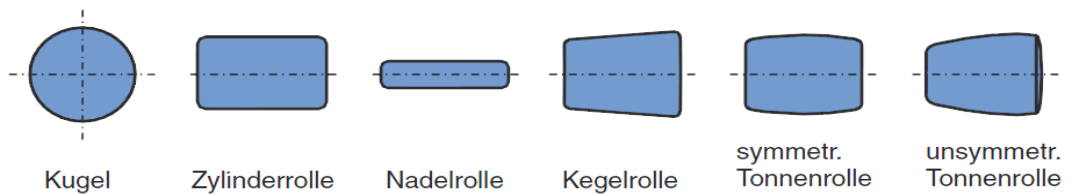


Abbildung 22: Wälzkörpergeometrien<sup>99</sup>

### 3.3.3 Käfige

Der Käfig dient als Abstandhalter und verhindert gegenseitiges Berühren der Wälzkörper, siehe dazu auch Kapitel 2.2.3. Er sichert die Wälzkörper gegen Herausfallen, führt diese, besonders in der unbelasteten Zone, und hält sie in Position. Der Käfig dient des weiteren in manchen Anwendungen als Schmierstoffreservoir. Der Käfig überträgt jedoch in keinem Fall Kräfte.

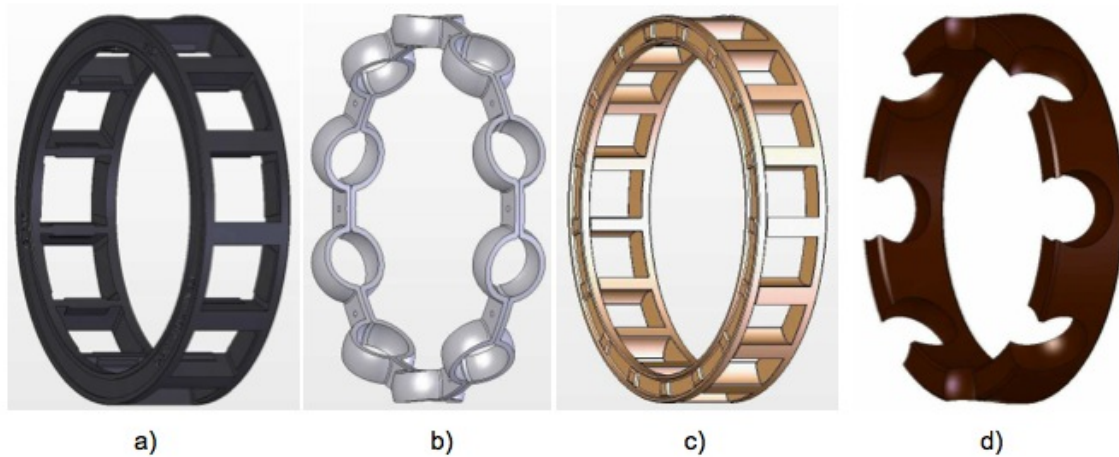
Bauformen / Ausführungsformen:

- Fensterkäfig
- Schnappkäfig
- Nietkäfig<sup>100</sup>

<sup>98</sup> Vgl. NKE Austria GmbH: Hauptkatalog – Produktkatalog, 5. Auflage, Katalognummer 2011/10, S. 13.

<sup>99</sup> Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 127.

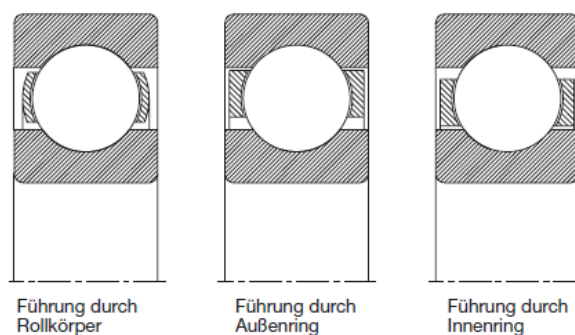
<sup>100</sup> Vgl. Kammer der Technik: Die Technik, Band 11, Verlag Technik, 1956, S. 649.

Abbildung 23: Käfigformen<sup>101</sup>

- a) Fensterkäfig aus Kunststoff
- b) Nietkäfig aus Stahl
- c) Nietkäfig aus Messing
- d) Schnappkäfig aus Kunststoff

Bei Käfigen unterscheidet man neben der Bauform auch die Führungsarten:

- Wälzkörpergeführt (M-Käfig)
- Außenringgeführt (MA-Käfig)
- Innenringgeführt (MB-Käfig)<sup>102</sup>

Abbildung 24: Führungsarten von Käfigen<sup>103</sup>

<sup>101</sup> Vgl. NKE Austria GmbH: Bearing College Unterlagen, Modul1, Abschnitt 1.1, S. 9.

<sup>102</sup> FAG: FAG Wälzlagerkäfige – Bezeichnung, Ausführung, Werkstoff; Technische Information TI Nr. WL95-4D; 2000; S. 3.

## 3.4 Mechanische Belastungen des Wälzlagers

### 3.4.1 Punkt- und Linienberührung

Berührt eine Kugel eine ebene Fläche, so wie es im Kugellager der Fall ist, so berühren sie sich in unbelastetem Zustand theoretisch nur in einem Punkt. Deshalb spricht man auch von Punktberührung. Unter Belastung verformt sich die Kugel elastisch und es entsteht zwischen Kugel und Fläche eine vergrößerte Berührfläche in Form einer Ellipse wie in Abbildung 25 dargestellt. Dadurch, dass so kleine Berührflächen entstehen, besitzt das Kugellager nur eine geringe Reibung und eignet sich daher besonders gut für hohe Drehzahlen. Die kleinen Berührflächen haben jedoch den Nachteil, dass sie eine geringe Tragfähigkeit aufweisen aufgrund der hohen spezifischen Flächenpressung.<sup>104</sup>

Bei Rollenlager spricht man im unbelasteten Zustand von Linienberührung zwischen der Rolle und einer ebenen Fläche.<sup>105</sup> Unter Belastung verformt sich die Rolle elastisch und bildet mit der ebenen Fläche eine annähernde rechteckige Berührungsfläche wie Abbildung 25 dargestellt. Im Vergleich zur Punktberührung bei Kugellagern sind bei der Linienberührung bei Rollenlagern<sup>106</sup> die Berührungsflächen größer und weisen somit größere Tragfähigkeiten auf. Durch die größeren Berührungsflächen tritt bei Rollenlagern jedoch eine größere Reibung auf, was sie für hohe Drehzahlen eher ungeeignet macht.

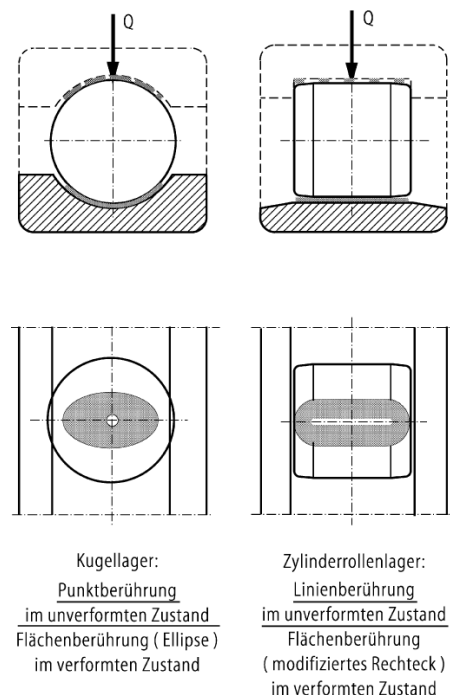
---

<sup>103</sup> FAG: FAG Wälzlager – Grundlagen, Bauarten, Ausführung, Technische Information TI Nr. WL43-1190D, 2002, S. 5.

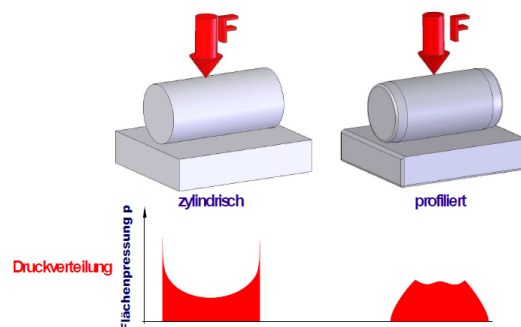
<sup>104</sup> Vgl. Hoenow, G.; Meißner, T.: Entwerfen und Gestalten im Maschinenbau, Bauteile – Baugruppen – Maschinen, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2007, S. 65.

<sup>105</sup> Vgl. Birkhofer, H.; Kümmerle, T.: Feststoffgeschmierte Wälzlager – Einsatz, Grundlagen und Auslegung, Springer – Verlag, Berlin/Heidelberg 2012, S. 68.

<sup>106</sup> Vgl. Hiersig, Heinz M.: Lexikon Maschinenbau, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1995, S. 725.

Abbildung 25: Punkt- und Linienberührung<sup>107</sup>

Rollenlager sind aufgrund der Länge der Berührfläche empfindlicher gegen Schiefstellungen der Rollen, da diese zu Spannungsspitzen in der Randzone führen. Diese Spannungsspitzen versucht man mittels profilierten Rollen und Laufringen abzuschwächen (logarithmisches Profil).<sup>108</sup>

Abbildung 26: Druckverteilung bei Zylinderrollen<sup>109</sup>

<sup>107</sup> Vgl. Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 482.

<sup>108</sup> Vgl. Johannides, E.; Beswick, J.-M.: Moderne Wälzlagertechnik, 1. Auflage, Vogel Verlag, Würzburg 1991, S. 275-277.

<sup>109</sup> Vgl. NKE Austria GmbH: Bearing College Unterlagen, Modul1, Abschnitt 1.1, S. 10.



### 3.5 Einteilung der Wälzlager

Wälzlager lassen sich nach folgenden Kriterien einteilen:

Tabelle 5: Einteilung der Wälzlager nach Kriterien<sup>110</sup>

Kraftrichtung:	radial, axial, kombiniert
Verwendung:	Werkzeugmaschinen, Seilrollen, Hauptspindeln, Kräne, Schienenfahrzeuge, Getriebe
Ausführung:	Radial-, Axial-, Kugel-, Rollen-, Kegellager
Werkstoff Kugeln:	Stahl, Keramik
Werkstoff Käfig:	Stahlblech, Kunststoff, Messing
Schmiermittel:	Öl, Fett

Je nach Einsatzfall und Anforderungen kommen die unterschiedlichsten Bauarten zum Einsatz.

Die grobe Einteilung der Wälzlager erfolgt im Wesentlichen nach folgenden Gesichtspunkten:

- a) **nach der Grundform der Wälzkörper** wie z.B. in Kugellager, Zylinderrollenlager, Nadellager, Kegellager und Tonnenlager.<sup>111</sup>
- b) **nach der vorliegenden Belastbarkeit und Lastrichtung.** Dazu ist ein wesentliches Merkmal der Lager der Druckwinkel bzw. Lastwinkel, je nach Winkellastverteilung wird noch in Axial- und Radiallager unterteilt.<sup>112</sup>

<sup>110</sup> Vgl. Künne, B.: Einführung in die Maschinenelemente Gestaltung – Berechnung – Konstruktion, 2. Auflage, Verlag B. G. Teubner, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001, S. 351f.

<sup>111</sup> Vgl. NKE Austria GmbH: Hauptkatalog – Produktkatalog, 5. Auflage, Katalognummer 2011/10, S. 16.

<sup>112</sup> Vgl. Muhs, D.; Wittel, H.; Jannasch, D.; Voißek, J.: Roloff / Matek – Maschinenelemente, Normung, Berechnung und Gestaltung, 17. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, Mai 2005, S. 452.

- c) **nach deren Verwendung** in Normlager (Standardlager) für den allgemeinen Maschinenbau oder Sonderlager mit spezifischen Eigenschaften für Spezialanwendungen.<sup>113</sup>
- d) **nach der Montierbarkeit** in zerlegbare Lager, bei denen zumindest ein Lagerring unabhängig vom Anderen eingebaut werden kann und **in nicht** zerlegbare Lager, die immer als Einheit zu behandeln sind.<sup>114</sup>

Daraus ergeben sich, durch sämtliche Variationen die Wälzlagergrundbauformen, gemäß Abbildung 27.

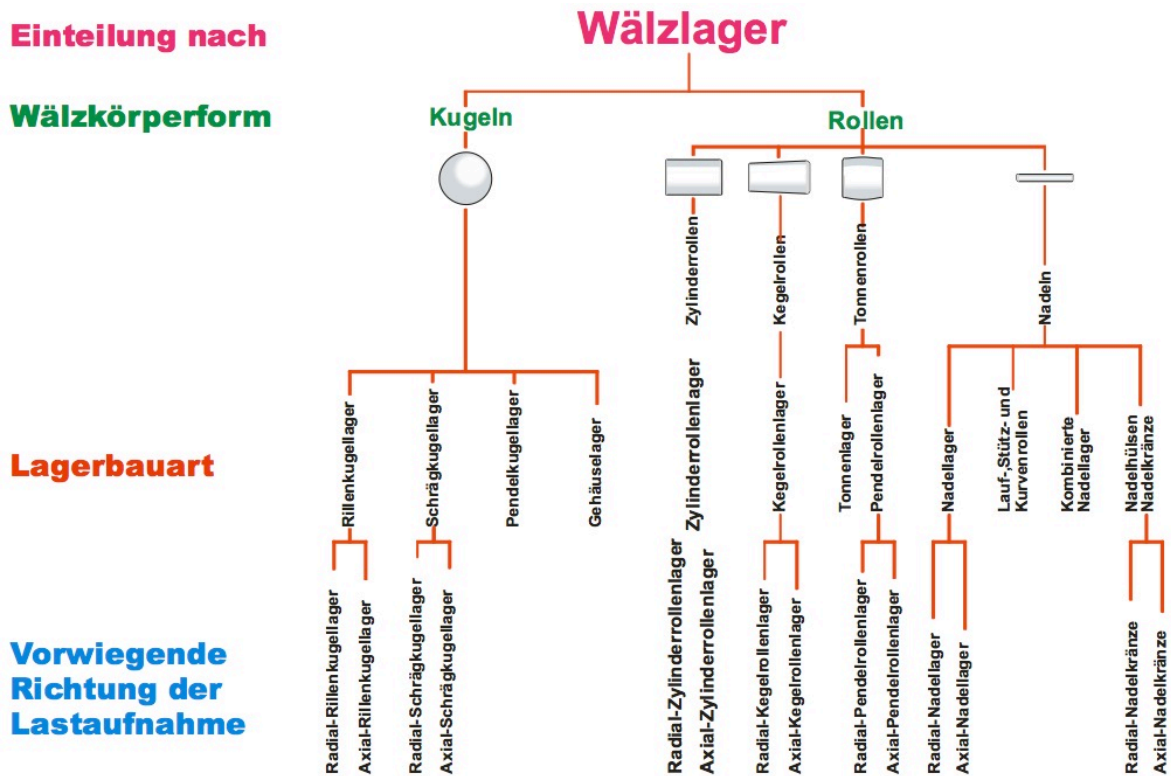


Abbildung 27: Klassifikation der Wälzlagergrundbauformen<sup>115</sup>

<sup>113</sup> NKE Austria GmbH: Hauptkatalog – Produktkatalog, 5. Auflage, Katalognummer 2011/10, S. 16.

<sup>114</sup> Ebenda.

<sup>115</sup> NKE Austria GmbH: Bearing College Unterlagen, Modul1, Abschnitt 1.2, S. 2.

## 3.6 Bauarten der Wälzlager

Die Wälzlagertechnik umfasst eine Vielzahl von Wälzlagerarten welche in dieser Arbeit nicht näher erläutert werden, da dies den Umfang einer Diplomarbeit überschreiten würde. In dieser Arbeit werden die am weitesten verbreiteten Ausführungen wie Rillenkugellager, Zylinderrollenlager, Kegelrollenlager und Nadellager beschrieben.

### 3.6.1 Rillenkugellager

Das Rillenkugellager ist zwar überwiegend für Radialkräfte vorgesehen, jedoch aufgrund seiner Geometrie ist die Aufnahme von axialen Kräften, gerade auch bei höheren Drehzahlen, erlaubt.<sup>116</sup>

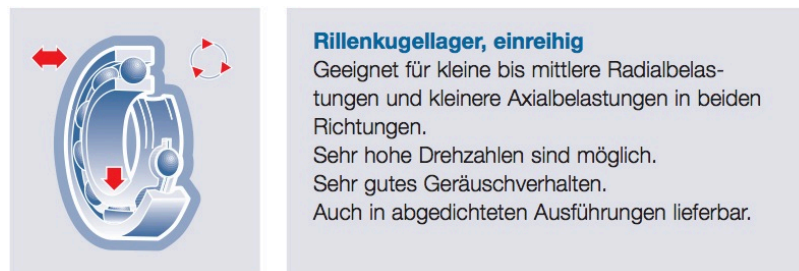


Abbildung 28: Rillenkugellager, einreihig<sup>117</sup>

### 3.6.2 Zylinderrollenlager

Die Entwicklung der Rollenlager erfolgte zeitlich nach den Kugellagern.<sup>118</sup> Die Zylinderrollenlager eignen sich besonders gut zur Aufnahme hoher Radialkräfte und je nach Ausführung auch für Axialkräfte und hohe Drehzahlen. Sie haben

---

<sup>116</sup> Vgl. Bozina, P.: Handbuch Werkzeugmaschinen, Berechnung, Auslegung, Konstruktion, Carl Hanser Verlag, München/Wien, 2006, S. 272.

<sup>117</sup> NSK Motion & Control: Wälzlager für Industriegetriebe: damit die Kraft gut überkommt, Produktbroschüre, S. 8.

<sup>118</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 131.

deshalb bei gleichen Abmessungen eine größere Tragfähigkeit als Rillenkugellager und sind für Stoßbelastungen besser geeignet.<sup>119</sup>

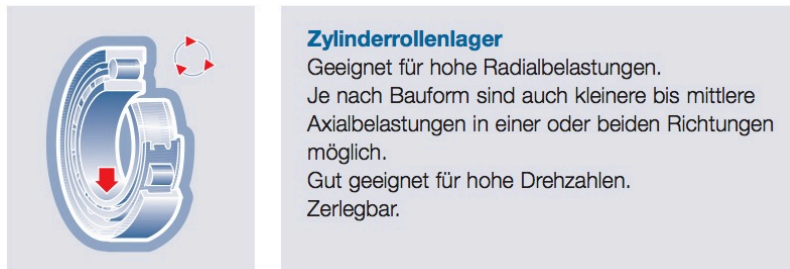


Abbildung 29: Zylinderrollenlager<sup>120</sup>

In manchen Wälzlagerausführungen wird auf einen Käfig verzichtet und der dadurch verfügbare Platz kann mit Wälzkörpern gefüllt werden. Hierbei spricht man von vollrolligen oder vollkugeligen Lagern. Diese vollrolligen oder vollkugeligen Ausführungen weisen die größtmögliche Tragfähigkeit auf, erzeugen jedoch durch die gegenseitige Berührung der Wälzkörper eine höhere Reibung. Durch die höhere vorhandene Reibung weisen vollrollige Zylinderrollenlager eine niedrigere Richtdrehzahl auf. Es werden ein- und zweireihige Ausführungen der vollrolligen Zylinderrollenlager gefertigt. Für den Hartdrehversuch in Kapitel 6, wird ein vollrolliges Zylinderrollenlager der Bauform NCF18/560-V verwendet.

### 3.6.3 Kegelrollenlager

Kegelrollenlager sind radial und axial gleichermaßen hoch belastbar, da sie über kegelförmige Laufbahnen verfügen.<sup>121</sup> Der Außenring ist abnehmbar und erlaubt einen leichten Ein- und Ausbau der Lager. Bedingt durch die kegelförmigen Laufbahnen, bewirken Radialkräfte immer innere Axialkräfte, weshalb Kegelrollenlager üblicherweise paarweise in X- oder O- oder Tandem - Anordnung zueinander eingebaut werden, nähere Details zu den Lageranordnungen sind in

<sup>119</sup> Vgl. Weck, M.: Werkzeugmaschinen 2 – Konstruktion und Berechnung, 8. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 2006, S. 422f.

<sup>120</sup> NSK Motion & Control: Wälzlager für Industriegetriebe: damit die Kraft gut überkommt, Produktbroschüre, S. 9.

<sup>121</sup> Vgl. Braess, H.-H.; Seiffert, U.: Vieweg Handbuch – Kraftfahrzeugtechnik, 6. Auflage, Vieweg & Teubner Verlag, Wiesbaden 2011, S. 868.

Kapitel 4.2 beschreiben.<sup>122</sup> Kegelrollenlager sind bezogen auf die Tragfähigkeit die preisgünstigsten Lager.

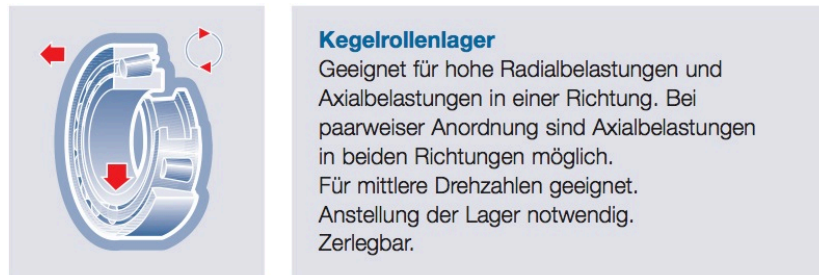


Abbildung 30: Kegelrollenlager<sup>123</sup>

### 3.6.4 Nadellager

Nadellager sind eine Sonderbauart des Zylinderrollenlagers und verfügt demzufolge über vergleichbare Eigenschaften. Diese Lager haben im Vergleich zum Zylinderrollenlager eine sehr geringe Bauhöhe für eine relativ große radiale Tragfähigkeit.<sup>124</sup>

Die allgemeinen Maschinen-, Anlagen- und Industriebauer, nutzten diese Vielseitigkeit der Wälzlager und deren unterschiedlichsten Bauarten und Varianten, zu ihren Vorteilen. Sie werden immer dann eingesetzt, wenn eine wartungsfreie und betriebssichere Lagerung unter normalen bis schwierigen Anforderungen verlangt wird,<sup>125</sup> wie z.B. in Getriebe, Elektromotoren, Ventilatoren und Pumpen. In der Regel eignen sich Wälzlager auch sehr gut für Lagerungen welche häufig aus dem Stillstand angefahren oder bei kleinen Drehzahlen mit

---

<sup>122</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 133.

<sup>123</sup> NSK Motion & Control: Wälzlager für Industriegetriebe: damit die Kraft gut überkommt, Produktbroschüre, S. 9.

<sup>124</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 133.

<sup>125</sup> Vgl. Bozina, P.: Berechnung von Maschinenelementen, 2. Auflage, Expert Verlag, 2002, S. 203.

hohen Belastungen und kombinierten Kräften möglichst reibungsarm und sicher arbeiten sollen, wie z.B. in Drehtürme, Kranlaufräder und Laufrollen.<sup>126</sup>

---

<sup>126</sup> Vgl. Haberhauer, H.; Bodenstein, F.: Maschinenelemente – Gestaltung, Berechnung, Anwendung, 16. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011, S. 350.

## 4 Gestaltung von Wälzlagerungen

### 4.1 Allgemeines zu Lagerungen

Bei der Gestaltung von Lagerstellen muss der Konstrukteur von Beginn an einige Regeln beachten. Die konstruktive Ausführung einer statisch bestimmten Lagerung besteht immer aus zwei Lagern. Zur Vermeidung von Verformungen und Durchbiegungen kann auch eine Lagerung mit mehr als zwei Lagern erforderlich sein. Somit stellen wir fest, dass bei der Gestaltung von Lagerungen die Lagerauswahl, sowie die Kombination unterschiedlicher Lagertypen sowie Passungen, Bohrungslagen und Wellensitze<sup>127</sup> unter Beachtung der folgenden Punkte zu berücksichtigen sind:

- Die Festlegung der Lagerringe zur sicheren Kraftübertragung durch Absätze, Sicherungsringe, Wellenmuttern oder Deckel.
- Die Auswahl einer geeigneten Tolerierung von der Gehäusebohrung und der Anschlusswelle.
- Die Verhinderung von Relativbewegungen zwischen den Lagerringen und dem jeweiligen Wellen- und Gehäusesitz.
- Das Einbauen der Lager in eine möglichst steife Umgebungsstruktur um Verformungen der Lagerringe zu vermeiden.
- Die Möglichkeiten zur beschädigungsfreien Montage und Demontage unter Sicherstellung der Einstellerfordernisse.<sup>128</sup>

---

<sup>127</sup> Vgl. Klapp, E.: Apparate- und Anlagentechnik: Planung, Berechnung, Bau und Betriebsstoffe, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2002, S. 547f.

<sup>128</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 165.

## 4.2 Lageranordnungen und Kombinationen von Lagern

Für die Lagerung eines umlaufenden Maschinenteils wie z.B. einer Welle, sind im Allgemeinen zwei Lager erforderlich, die es gegenüber dem stillstehenden Teil wie z.B. dem Gehäuse, in radialer und axialer Richtung abstützen und führen.

In Abhängigkeit des Einbausfalls, der Belastungsart, der erforderlichen Laufgenauigkeit und dem vertretbaren Aufwand, kann dies erfolgen in einer:

- Lagerung mit Fest- und Loslager
- Lagerung mit gegenseitig angestellten Lagern (X-Anordnung, O-Anordnung und Tandemanordnung)
- Schwimmenden Lagerung
- Direktlagerung<sup>129</sup>
- Kombinierte Lagerung<sup>130</sup>

### 4.2.1 Fest- und Loslagerung

Für die meisten Anwendungsfälle ist die Festlager-Loslager-Anordnung zweckmäßig, wie in Abbildung 31 dargestellt. Die Fest-Loslager-Konstruktion gleicht mit ihrem Loslager die unterschiedlichen axialen Abstände der Lagersitze aus,<sup>131</sup> welche durch die Fertigungsgenauigkeiten oder durch Wärmeausdehnungen entstehen. Der einfachste und beste Längenausgleich wird durch die Verwendung von N- oder NU – Zylinderrollenlager, oder entsprechender Nadellager erreicht.<sup>132</sup>

---

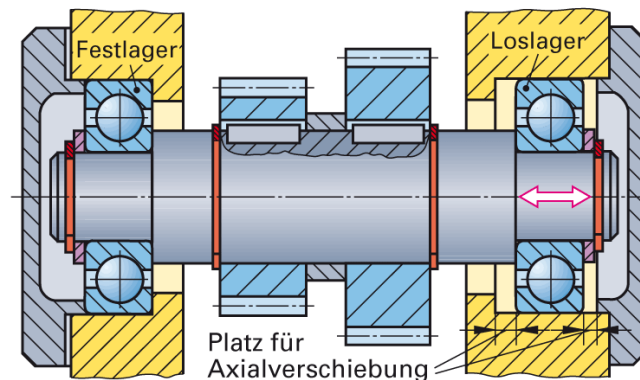
<sup>129</sup> Vgl. Fa. SKF: Hauptkatalog - Produktkatalog, Katalog 4000/IV T, 1994, S. 98.

<sup>130</sup> Vgl. Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre, Grundlagen, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 2007, S. 315.

<sup>131</sup> Vgl. Muhs, D.; Wittel H.; Jannasch D.; Voißek J.: Roloff / Matek – Maschinenelemente, Tabellen, Bd. 2, Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, Mai 2005, S. 487.

<sup>132</sup> Vgl. Dahlke, H.: Handbuch Wälzlagertechnik - Bauarten, Gestaltung, Betrieb, Vieweg Teubner Verlag, 1994, S. 5.



Abbildung 31: Fest- und Loslager Anordnung<sup>133</sup>

Andere Lagerbauarten lassen sich nur dann als Loslager einsetzen, wenn ein Lagerring, durch die entsprechende Passungsauswahl, verschiebbar montiert wird. Die Auswahl der Festlagerbauart hängt von der Höhe der Axialkraft und den Genauigkeitsanforderungen ab. Die wesentlichen Vorteile dieser Anordnung sind die einfache Montierbarkeit und die kostengünstige Fertigung. Von Nachteil sind die geringe axiale Steifigkeit, sowie das konstruktiv bedingte axiale Spiel, welches zu gefährlichen Axialschwingungen bei maximalen Belastungen führen kann.

#### 4.2.2 Angestellte Lagerung

Eine angestellte Lagerung in X-Anordnung oder O-Anordnung, besteht aus zwei spiegelbildlich angeordneten Schrägkugel- oder Kegelrollenlagern, bei denen durch Verschiebung eines Lagerringes auf seinem Lagersitz, die notwendige Vorspannung oder das gewünschte Spiel eingestellt wird.<sup>134</sup> Die Vorteile sind Spielfreiheit und eine hohe Steifigkeit, da zwei Wälzlager zugleich tragen. Im Vergleich zur Festlager-Loslager-Anordnung ist der Fertigungs- und Montageaufwand größer. Aus der eingestellten axialen Vorspannung entsteht immer eine erhöhte Lagerreibung. Hauptanwendungen sind Lagerungen von Stirn- und Schneckenrädern. Bei der Einstellung der Axialluft ist besonders die Wärmedehnung im Einsatz zu berücksichtigen.<sup>135</sup> Bei gleichen Werkstoffen und

<sup>133</sup> Vgl. Dobler, H.; Doll, W.; Fischer, U.; Günter, W.; Heinzler, M.; Ignatowitz, E.; Vetter, R.: Fachkunde Metall – Mechanische Technologie, 52. Auflage, FS Fachbuch, Verlag Europa-Lehrmittel, 2003, S. 370.

<sup>134</sup> Vgl. Dahlke, H.: Handbuch Wälzlagertechnik - Bauarten, Gestaltung, Betrieb, Vieweg Teubner Verlag, 1994, S. 5.

<sup>135</sup> Vgl. Reif, K.: Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, 27. Auflage, Vieweg Teubner Verlag, Wiesbaden 2011, S. 257.

einem Temperaturgefälle von der Welle zum Gehäuse wird die Axialluft vermindert und dies kann bei Nichtbeachtung zu einem frühzeitigen Lagerausfall führen.<sup>136</sup>

Bei der angestellten Lagerung in O-Anordnung wird die Anstellung über die Innenringe vorgenommen. Damit verfügt die O-Anordnung über ein sehr geringes Kippspiel und Kippmomente. Das Hauptanwendungsgebiet sind fliegende Lagerungen.<sup>137</sup>

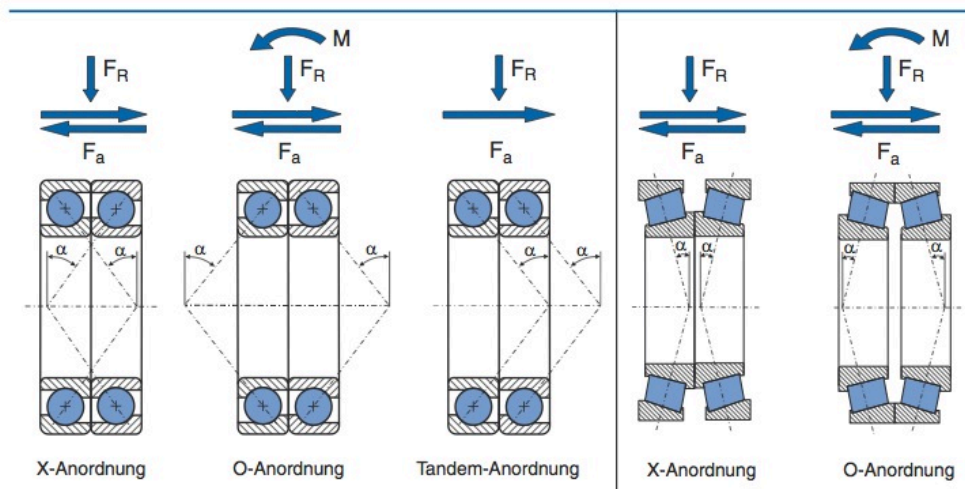


Abbildung 32: X-, O- und Tandem-Anordnung bei Wälzlagern<sup>138</sup>

Ergänzend zur X- und O-Anordnung ist noch die Tandemanordnung von Schrägkugellagern im Einsatz, gemäß Abbildung 32, bei der große Axialkräfte und Drehmomente nur in einer Lastrichtung aufgenommen werden können. Im Vergleich dazu lassen sich Kegelrollenlager nur in X- oder O-Anordnung zu einem kompakten Festlager paaren.<sup>139</sup>

<sup>136</sup> Vgl. Ackermann, J.: Wälzlager – Bauarten, Eigenschaften, neue Entwicklungen, Bd. 55, Verlag Moderne Industrie, 1990, S. 41

<sup>137</sup> Vgl. Oetlie, T.: Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieb, Bd. 216, Herbert Utz Verlag, 2008, S. 9.

<sup>138</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 169.

<sup>139</sup> Ebenda.

### 4.2.3 Schwimmende Lagerung

Diese Lagerung ist eine fertigungsgünstige Lösung und kann angewendet werden, wenn keine eng tolerierte axiale Führung der Welle oder Achse gefordert wird. Bei dieser Lagerung werden die Lager auf der Welle und dem Gehäuse spiegelbildlich diagonal, axial angeordnet und gesichert. Bei Verwendung von Zylinderrollenlager der Bauform NJ erfolgt der Längenausgleich innerhalb des Zylinderrollenlagers. Beide Lager der schwimmenden Lagerung, wie in Abbildung 33 dargestellt, nehmen Axialkräfte nur in einer Richtung aufnehmen. Das Axialspiel ist nach konstruktiven Bedingungen festzulegen, jedoch ist durch Verwendung von Zylinderrollenlagern, das Axialspiel oder Führungsspiel durch die gewählte Bauform eingeschränkt.<sup>140</sup>

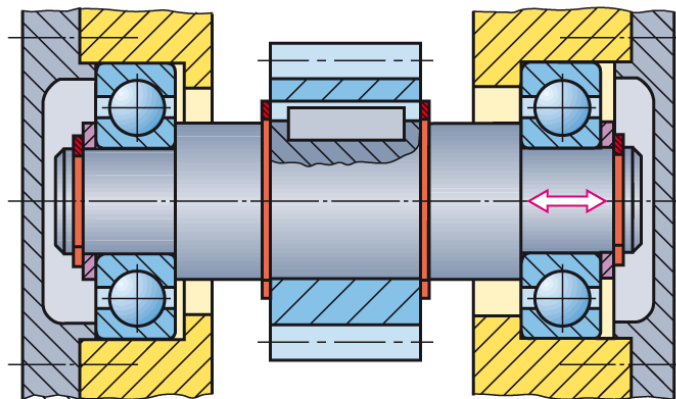


Abbildung 33: Schwimmende Lageranordnung<sup>141</sup>

Konstruktion und Montage einer schwimmenden Lagerung sind sehr einfach, von Nachteil sind die nicht vorhandene Steifigkeit in axialer Richtung und die Schwingungsanfälligkeit.<sup>142</sup> Anwendungsbeispiele für axial nicht geführte

---

<sup>140</sup> Ebenda.

<sup>141</sup> Vgl. Dobler, H.; Doll, W.; Fischer, U.; Günter, W.; Heinzler, M.; Ignatowitz, E.; Vetter, R.: Fachkunde Metall – Mechanische Technologie, 52. Auflage, FS Fachbuch, Verlag Europa-Lehrmittel, 2003, S. 370.

<sup>142</sup> Vgl. Hinzen, H.: Basiswissen Maschinenelemente, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2009, S. 185.

Lagerungen sind Seilrollen und Zahnräder mit Pfeilverzahnung, die axial geführte Ausführung kommt in Elektromotoren und Haushaltsgeräten zum Einsatz.<sup>143</sup>

#### **4.2.4 Direktlagerung**

Die Direktlagerungen kommen zur Anwendung, wenn der zur Verfügung stehende Einbauraum so vorgesehen ist, dass dieser kein komplettes Wälzlager aufnehmen kann und zerlegbare Lager ohne Laufbahnringe einzusetzen sind.<sup>144</sup>

Bei allen Lagerkombinationen kann die jeweilige axiale Festlegung unter Beachtung der Zugänglichkeit, Zerlegbarkeit und Montierbarkeit der Einzelkomponenten erfolgen.

---

<sup>143</sup> Vgl. Schlecht, B.: Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 170.

<sup>144</sup> Vgl. ATZ, Automobiltechnische Zeitschrift, Bd. 75, Verlag Frank, 1973, S. 284.

## 5 Herstellprozess und Fertigungsprozess von Wälzlager

In diesem Kapitel werden dem Leser die Wälzlagerherstellung und die dazu genutzten Fertigungsmethoden näher beschrieben. In dieser Arbeit wird speziell auf zwei Fertigungsprozesse, dem Hartdrehen und Schleifen von Wälzlagering, hingewiesen, da diese für den Versuchsaufbau in Kapitel 0 die Grundlage bilden. Auf die unterschiedlichsten Fertigungsmethoden und dem Zusammenbau bzw. der Montage der Wälzlager wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen, da dies den Umfang einer Diplomarbeit überschreiten würde.

### 5.1 Werkstoffe und deren Eigenschaften

Wälzlager gehören zu den am höchsten belasteten Maschinenelementen und entsprechend hoch sind dafür die Anforderungen an die eingesetzten Werkstoffe. Diese Anforderungen gelten im Besonderen an die Wälzlagererelemente.

An den Berührstellen zwischen den Wälzkörpern und der Lagerringe treten im Betrieb sehr hohe Druckspannungen (Hertzsche Pressungen) bei der Kraftübertragung auf, siehe dazu Kapitel 3.4.1. Dazu verursachen die praktischen Betriebsbedingungen wie z.B. Schmierstoffmangel und Verunreinigung, einen hohen Verschleiß und führen zur Erwärmung des Wälzlagers. Daher muss der Wälzlagerstahl neben sehr guten Festigkeitseigenschaften, hoher Härte und großer Zähigkeit auch noch beste Verschleißseigenschaften und Maßhaltigkeit besitzen.<sup>145</sup>

Die Funktionstüchtigkeit bzw. Eignung eines Stahles für Wälzkörper und Lagerringe, wird darüber hinaus nach folgenden Kriterien beurteilt:

- Chemische Zusammensetzung
- Statische Festigkeitswerte
- Gefügebildung
- Homogenität des Grundwerkstoffes

---

<sup>145</sup> Vgl. Bartz, W.: Keramiklager, Werkstoffe-Gleit- und Wälzlager – Dichtungen, Expert Verlag, 2003, S. 189.

- Eigenspannung im Material
- Makroskopischer Reinheitsgrad
- Mikroskopischer Reinheitsgrad
- Bearbeitungsmöglichkeiten<sup>146</sup>

Die Festigkeit muss sehr hohen Kontaktspannungen zwischen den Lagerelementen genügen, es können Hertzsche Pressungen bis 4600 N/mm<sup>2</sup> auftreten.<sup>147</sup>

Das Gefüge des gehärteten und angelassenen Stahles soll eine feinmuschelige, zeilenfreie und spannungsfreie Struktur aufweisen. Die Reinheit des Grundmaterials ist für die Lebensdauer des Wälzlagers von großer Bedeutung und gibt Aufschluss über die im Stahl enthaltenden nichtmetallischen Einschlüsse.<sup>148</sup>

Die Tragfähigkeit der Wälzlager beruht darauf, dass die wälzbeanspruchten Werkstoffe sehr rein und ausreichend hart und zäh sind. Dies wird durch entsprechende Erschmelzungsverfahren und Vergüten (Härten und anschließendes Anlassen) erreicht. Dazu müssen Standard-Wälzlagerstähle durchhärtbar, einsatzhärtbar oder für Flamm- und Induktionshärtung geeignet sein.<sup>149</sup>

### 5.1.1 Werkstoffe für Wälzlagering und Wälzkörper

Wälzlagerstähle für Kugeln, Rollen, Nadeln, Ringe und Scheiben von Wälzlagern, sind hohen örtlichen Wechselbeanspruchungen und Verschleißeinflüssen ausgesetzt. Die verwendeten Stähle müssen deshalb einen besonders hohen Reinheitsgrad aufweisen. Sie müssen gut warm und kalt umformbar, als auch gut zerspanbar sein. Weiterhin sind eine hohe Härteannahme und die Maßbeständigkeit der Erzeugnisse wichtig.

---

<sup>146</sup> Vgl. Köttritsch, H.; Albert, M.: Wälzlager – Theorie und Praxis, Springer Verlag, Wien 1987, S. 13.

<sup>147</sup> Vgl. Wiesniewski, M.: Elastohydrodynamische Schmierung, Grundlagen und Anwendungen, Expert Verlag, 2000, S. 157.

<sup>148</sup> Vgl. Dahlke, H.: Handbuch Wälzlagertechnik - Bauarten, Gestaltung, Betrieb, Vieweg Teubner Verlag, 1994, S. 179.

<sup>149</sup> Vgl. Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 486.

Zur Verwendung in Wälzlagern kommen entweder die in Europa bevorzugten durchhärtbaren Stähle wie z. B. der 100Cr6<sup>150</sup>, oder die in Amerika bevorzugten Einsatzstähle wie z. B. der 17MnCr5 oder 16CrNiMo6. Die durchhärtbaren Stähle werden auf hohe Oberflächenhärten in der Regel zwischen 58 auf 64 HRC (Härte Rockwell Cone) vergütet. Die Einsatzstähle wiederum bieten durch die Randaufkohlung den Vorteil, bessere Zähigkeitseigenschaften im Kern aufzuweisen.

Für Wälzkörper mit größeren Durchmessern werden Vergütungsstähle wie z. B. der 43CrMo4 eingesetzt. Die Härte der Wälzkörper liegt in der Regel einen Härtegrad höher als die Wälzlagerringe.

Für nichtrostende Lager werden hochlegierte Chromstähle wie z.B. der X45Cr13 oder X89CrMoV18-1, verwendet. Die erreichbare Oberflächenhärte ist mit rund 1% Kohlenstoffgehalt niedriger als bei den durchhärtbaren Stählen.<sup>151</sup>

### 5.1.2 Käfigwerkstoffe

Der Käfig besteht in den häufigsten Fällen aus folgenden Werkstoffen:

Tabelle 6: Werkstoffe der Käfige<sup>152</sup>

Werkstoffe:	Anwendung:
Stahlblech	für Standardanwendungen, Betriebstemperatur < 300 °C
Messing	hohe Drehzahlen, hohe Belastungen
Aluminium	bei hohen Drehzahlen
Kunststoff PA 66 GF	Stahlblech, Kunststoff, Messing
Schmiermittel:	Öl, Fett

Die Käfige werden in Regel unterteilt in Blechkäfige und Massivkäfige.

<sup>150</sup> Vgl. VDI - Bericht: Gleit- und Wälzlagerungen, Nr. 1706, S. 13.

<sup>151</sup> Vgl. Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 274.

<sup>152</sup> Vgl. Rieg, F.; Kaczmarek, M.: Taschenbuch der Maschinenelemente, Verlag Carl Hanser, München/Wien, 2006, S. 479.

Blechkäfige werden meistens aus Stahlblech, selten auch aus Messingblech, gestanzt oder gepresst. Sie sind um ein Vielfaches leichter als Massivkäfige und ermöglichen eine leichtere Schmierstoffzufuhr und durch das geringere Gewicht einen ruhigeren Betriebslauf.<sup>153</sup>

Massivkäfige werden aus Messing, Stahl, Leichtmetall, Sintereisen oder Hartgewebe und Kunststoff hergestellt. Bei dem Metall und Hartgewebe erfolgt die Herstellung mittels spanabhebender Bearbeitung wie dem Drehen und Fräsen, beim Kunststoff erfolgt die Herstellung mit dem Spritzguss - Verfahren.<sup>154</sup>

### 5.1.3 Dichtungswerkstoffe

Je nach Anwendungsfall und Umweltbelastung kommen verschiedene Dichtungsvarianten und -materialien zum Einsatz.

Z- Metallische Deckscheibe mit Spalt zum Innenringbord

RS- Dichtscheibe mit Spalt zum Innenringbord

RSR- Dichtscheibe mit einer Elastomer-Dichtlippe, die auf dem Innenringbord berührend gleitet

Der Werkstoff für die Dichtungen (RS, RSR) besteht fast ausschließlich aus einem Elastomerwerkstoff mit einem einvulkanisiertem Versteifungsblech.<sup>155</sup> Die Oberflächen der Dichtungen werden in Sonderfällen besonders behandelt um z.B. einer erhöhten Korrosionswiderstand aufzuweisen.<sup>156</sup>

---

<sup>153</sup> Vgl. Behr, H.; Gohlke, M.; Ahrens, W.: Die Wälzlager, Kugel- und Rollenlager, Verlag J. Springer, 1925, S. 25ff.

<sup>154</sup> Vgl. Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 486.

<sup>155</sup> Vgl. Habig, K.-H.: Tribologisches Verhalten keramischer Werkstoffe, Grundlagen und Anwendungen, Expert Verlag, 1993, S. 87f.

<sup>156</sup> Vgl. Kleinlein, E.: Einsatz von Wälzlagern bei extremen Betriebs- und Umgebungsbedingungen, Bd. 574, Expert Verlag, 1998, S. 162.



## 5.2 Grundlagen der Fertigungstechnik

### 5.2.1 Definition und Kriterien

Das Fertigen bezeichnet das Herstellen von Werkstücken mit einer geometrisch bestimmten Gestalt. Anders als die übrigen Produktionstechniken, wie die Verfahrenstechnik oder die Energietechnik, erzeugt die Fertigungstechnik Produkte, die durch geometrische Merkmale gekennzeichnet sind.

Die Auswahl eines Fertigungsverfahrens richtet sich nach vier Grundkriterien:

- *Haupttechnologie:*  
Das sind die mit einem Fertigungsverfahren herstellbaren Größen, Formen und Werkstoffe.
- *Fehlertechnologie:*  
Das sind die durch die Fertigung bedingten Fehler des Maßes, der Form, der Lage und der Oberfläche (Fehlergeometrie). Die Qualität der Fertigung bedeutet fertigen innerhalb vorgegebener Fehlergrenzen.<sup>157</sup>
- *Wirtschaftlichkeit:*  
Die Zeit je Einheit der zu fertigenden Stückzahlen (Mengenleistung), die Kosten zur Vorbereitung (Vorbereitungskosten) und zur Auftragswiederholung, die direkten Einzelkosten und die Folgekosten (u.a. Lagerkosten), bestimmen die Auswahl des Fertigungsverfahrens. Die Flexibilität eines Fertigungsverfahrens (minimale Rüstkosten) ist von zunehmender Bedeutung, um neben der Produktivität und Auslastung der Maschine, auch den Forderungen an die Durchlaufzeit eines Produkts, an die Kapitalbindung über Lagerbestände und die Termintreue der Lieferung zu genügen.<sup>158</sup>

---

<sup>157</sup> Vgl. Tönshoff, K.-H.: Werkzeugmaschinen – Grundlagen, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1995, S. 9.

<sup>158</sup> Vgl. Wiendahl, H.-P.: Belastungsorientierte Fertigungssteuerung, Gabler Verlag, Wiesbaden 1992, S. 208.

- *Anpassung der Arbeit an den Menschen:*

Fertigungsverfahren und Fertigungsmittel sind so zu gestalten, dass der Mensch und die Umwelt möglichst wenig belastet oder beeinträchtigt werden. Immissionsgrenzwerte (Lärm, Erschütterungen, Schadstoffe) und Sicherheitsnormen sind einzuhalten.

Jedes der vier Grundkriterien muss gleichermaßen beachtet werden. Das Produkt bzw. die Baugruppen und Einzelteile werden mit verschiedensten Fertigungsverfahren infolge von Arbeitsvorgängen oder Fertigungsstufen hergestellt. Wenn Rationalisierung zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und der Qualität zum Einsatz kommt, darf nicht nur an einzelnen Fertigungsstufen angesetzt werden, sondern ein Gesamtoptimum ist das Ziel.

Um dieses zu erreichen, gibt es eine Vielzahl von literarisch erwähnten Ansätzen, in dieser Arbeit werden Adaption, Substitution und oder Integration (A-S-I-Methode) näher betrachtet, gemäß Abbildung 34.<sup>159</sup>

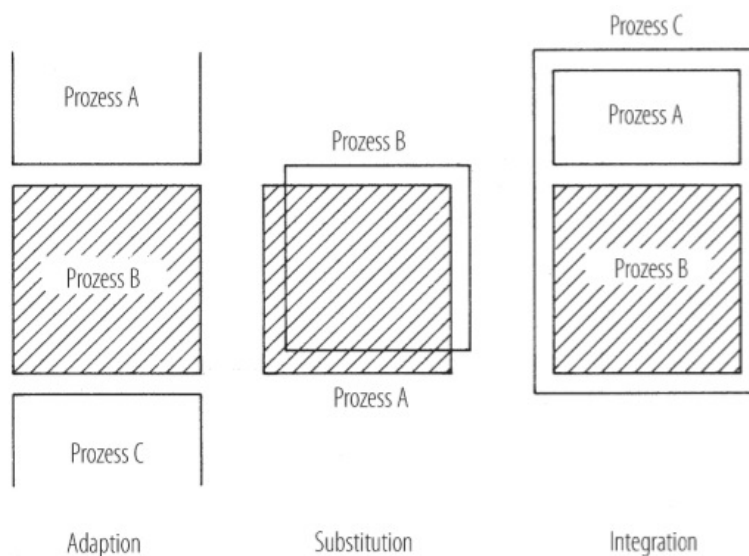


Abbildung 34: A-S-I Methode<sup>160</sup>

<sup>159</sup> Vgl. Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: *Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau*, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 1138.

<sup>160</sup> Tönshoff, K.-H.: *Processing alternatives for cost reduction*, Ann. CIRO 36, 1987, S. 445-447.

Adaption ist die günstige Abstimmung aufeinanderfolgender Prozesse, wie z.B. die Rohteilherstellung durch Schmieden und die anschließende spanende Bearbeitung.

Die Neuentwicklung von Werkzeugen und Werkzeugmaschinen oder angepassten Kostenstrukturen, können ein Anlass für die Substitution eines Fertigungsverfahrens durch ein anderes sein, wie z.B. das Ersetzen des Schleifens durch das Hartdrehen.

Die Integration von Fertigungsstufen verkürzt die Arbeitsvorgangsfolge und ist häufig mit direkten Kosteneinsparungen, verkürzten Durchlaufzeiten und verringertem Steuerungsaufwand verbunden.<sup>161</sup> Die Integration eines Fertigungsverfahrens wird im Versuchsaufbau Kapitel 6 verdeutlicht und stellt einen Teil des Verfahrensvergleiches dar.

### 5.3 Übersicht der Fertigungsverfahren

Zusammengefasst befasst sich die Fertigungstechnik mit der Herstellung geometrisch bestimmter fester Körper aus verschiedensten Grundwerkstoffen durch schrittweise Veränderung der Werkstückform oder deren Stoffeigenschaften. Die DIN 8580<sup>162</sup> fasst unter dem Begriff der Fertigungstechnik die Techniken zusammen, welche die Produktion von Halbzeuge, Rohteile, Einzelteile und Baugruppen oder Endprodukte aus Einzelteilen, zum Inhalt haben. Die Fertigung umfasst somit die Teilefertigung und Montage. Die Teilefertigung wird in drei Basisaufgaben unterteilt:

- Die Geometrie wird aus dem verwendeten Material gefertigt.
- Die Werkstoffeigenschaften werden im Hinblick auf die Weiterverarbeitung verändert.
- Die Werkoberfläche wird im Hinblick auf die Weiterverarbeitung verändert.<sup>163</sup>

Zur widerspruchsfreien Einordnung der Fertigungsverfahren wurde 1960 vom Deutschen Normenausschuss der Ausschuss „Begriffe der Fertigungsverfahren“

---

<sup>161</sup> Vgl. Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 1138.

<sup>162</sup> DIN 8580-1 – Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung, Ausgabe 2003-09.

<sup>163</sup> Vgl. Dangelmaier, W.: Fertigungsplanung – Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2001, S. 505.

gegründet, um die Fertigungsverfahren und deren Begrifflichkeiten eindeutig zu benennen und die Begriffe in gegenseitige Beziehung zu bringen.<sup>164</sup>

Die Vielfalt der bekannten und künftigen Fertigungsverfahren lässt sich nach Kienzle<sup>165</sup> in sechs Hauptgruppen der Fertigungsverfahren gliedern. Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaftändern. Die Hauptgruppen werden untergliedert in Gruppen. Innerhalb der Gruppen werden die Fertigungsverfahren selbst durch Untergruppen und DIN Normen dargestellt.<sup>166</sup>

Hauptgruppe 1 Urformen	Hauptgruppe 2 Umformen DIN 8582	Hauptgruppe 3 Trennen	Hauptgruppe 4 Fügen DIN 8593	Hauptgruppe 5 Beschichten	Hauptgruppe 6 Stoffeigenschaft- ändern
Gruppe 1.1 Urformen aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand	Gruppe 2.1 Druckumformen DIN 8583-1 bis DIN 8583-6	Gruppe 3.1 Zerteilen DIN 8588	Gruppe 4.1 Zusammenlegen DIN 8593	Gruppe 5.1 Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand	Gruppe 6.1 Stoffeigenschaft- ändern durch Umlagern von Stoffteilchen
Gruppe 1.2 Urformen aus dem flüssigen, breiigen oder pastenförmigen Zustand	Gruppe 2.2 Zugdruck- umformen DIN 8584-1 bis DIN 8584-6	Gruppe 3.2 Spanen mit geo- metrisch be- stimmten Schneiden DIN 8589-1 und DIN 8589-2	Gruppe 4.2 Füllen DIN 8593	Gruppe 5.2 Beschichten aus dem flüssigen, breiigen oder pastenförmigen Zustand	Gruppe 6.2 Stoffeigenschaft- ändern durch Aussondern von Stoffteilchen
Gruppe 1.3 Urformen aus dem ionisierten Zustand durch elektrolytisches Abscheiden	Gruppe 2.3 Zugumformen DIN 8585-1 bis DIN 8585-4	Gruppe 3.3 Spanen mit geo- metrisch unbe- stimmten Schneiden DIN 8589-1 und DIN 8589-2	Gruppe 4.3 An- und Einpressen DIN 8593	Gruppe 5.3 Beschichten aus dem ionisierten Zustand durch elektrolytisches oder chemisches Abscheiden	Gruppe 6.3 Stoffeigenschaft- ändern durch Einbringen von Stoffteilchen
Gruppe 1.4 Urformen aus dem festen (körnigen oder pulverigen) Zustand	Gruppe 2.4 Biegeumformen DIN 8586	Gruppe 3.4 Abtragen DIN 8590	Gruppe 4.4 Fügen durch Urformen DIN 8593	Gruppe 5.4 Beschichten aus dem festen (körnigen oder pulverigen) Zustand	
	Gruppe 2.5 Schubumformen DIN 8587	Gruppe 3.5 Zerlegen	Gruppe 4.5 Fügen durch Umformen DIN 8593		
		Gruppe 3.6 Reinigen	Gruppe 4.6 Stoffverbinden DIN 8593		
		Gruppe 3.7 Evakuieren			

Abbildung 35: Gliederung der 6 Hauptgruppen nach DIN8580<sup>167</sup>

<sup>164</sup> Vgl. Spur, G.: Handbuch der Fertigungstechnik – Fügen, Handbaben, Montieren, Bd. 5, Carl Hanser Verlag, München/Wien 1986, S. 5.

<sup>165</sup> Vgl. Kienzle, O.: Begriffe und Benennungen der Fertigungsverfahren, Werkstatttechnik, Ausgabe 56, 1966, S. 170.

<sup>166</sup> Vgl. Degner, W.; Lutze, W.; Smejkal, E.: Spanende Formung – Theorie, Berechnung, Richtwerte, 13. Auflage, Carl Hanser Verlag, München/Wien 1993, S. 15.


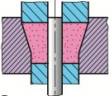
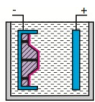
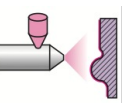
<sup>167</sup> Klein, P.: Einführung in die DIN-Normen, 13. Auflage, B.G. Teubner Verlag, 2001, S. 270.

In den folgenden Unterkapiteln werden die Hauptgruppen nach DIN8580 beschrieben. Ausführlich werden nur die für die Wälzlagertechnik relevanten Fertigungsverfahren der Gruppe 3.2 (Fertigung mit geometrisch bestimmten Schneiden), der Gruppe 3.3 (Fertigung mit geometrisch unbestimmten Schneiden) und der Gruppe 6.1 (Wärmebehandlung, Härten) behandelt.

### 5.3.1 Urformen

Urformen ist das Fertigen eines festen Körpers aus einem formlosen Stoff. Formlose Stoffe sind insbesondere flüssige Metalle und Kunststoffe, aber auch Pulver, Fasern, Granulate und Gase. Der Zusammenhalt des Werkstoffes entsteht beim Ablauf des Fertigungsverfahrens.<sup>168</sup>

Tabelle 7: Urformverfahren der Hauptgruppe 1<sup>169</sup>

Ausgangszustand:	Verfahren:
flüssig, plastisch, teigig	Gießen, Extrudieren 
körnig, pulvrig	Sintern 
ionisiert	Galvanoformung 
gasförmig	Plasmaspritzen 

<sup>168</sup> Vgl. Witt, G.: Taschenbuch der Fertigungstechnik, Carl Hanser Verlag, München/Wien 2006, S. 19.

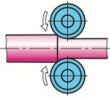
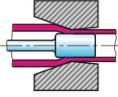
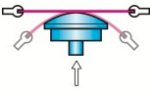

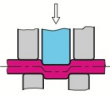
<sup>169</sup> Vgl. Schmid, Ch.: Industrielle Fertigung – Fertigungsverfahren, Mess- und Prüftechnik, 5. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel, 2011, S. 11-13.

### 5.3.2 Umformen

Umformen ist das Fertigen eines festen Körpers durch bildsames, nämlich plastisches Ändern der Form. Jedoch bleibt dabei der Stoffzusammenhalt erhalten, es ändern sich nur die Oberflächenbeschaffenheit und die Werkstoffeigenschaften.<sup>170</sup>

Der Umformvorgang bezieht sich nicht immer auf das ganze Werkstück. Dieser Vorgang kann sich auch nur auf Teilbereiche eines Werkstücks beziehen wie z.B. beim Walzen.

Tabelle 8: Umformvorgänge der Hauptgruppe 2<sup>171</sup>

Vorgang:	Verfahren:
Druckumformen	Walzen, Gesenkformen 
Zugdruckumformen	Gleitziehen, Tiefziehen 
Zugumformen	Längen, Weiten, Tiefen 
Biegeumformen	Abkanten, Gesenkbiegen und -runden 
Schubumformen	Winden einer Druckfeder, Verschieben 

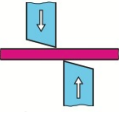


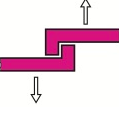
<sup>170</sup> Vgl. Schulze, G.; Fritz, H.: Fertigungstechnik, 9. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1994, S. 411.

<sup>171</sup> Vgl. Schmid, Ch.: Industrielle Fertigung – Fertigungsverfahren, Mess- und Prüftechnik, 5. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel, 2011, S. 11-13.

### 5.3.3 Trennen

Trennen (Zerteilen) ist das Fertigen der Werkstücke aus Rohteilen durch Formändern. Die Ausgangsform wird dabei geändert und der Zusammenhang des Werkstoffes wird im Bereich der Bearbeitung aufgehoben.<sup>172</sup>

Tabelle 9: Trennen der Hauptgruppe 3<sup>173</sup>

Vorgang:	Verfahren:
Zerteilen	Scher-, Strahlschneiden 
Spanen	Drehen, Fräsen, Schleifen 
Abtragen	Funkenerosion, Drahtrodieren 
Zerlegen	Abschrauben, Aushängen 

### 5.3.4 Zerspanungstechnik

Die Zerspanungstechnik ist ein Teil der Hauptgruppe 3 „Trennen“, gemäß Abbildung 35, und kann auf die meisten spanenden Fertigungsverfahren übertragen werden.

Spanende Fertigungsverfahren sind beinahe in jedem Fertigungsbetrieb zu finden

<sup>172</sup> Vgl. Westkämper, E.; Warnecke, H.-J.: Einführung in die Fertigungstechnik, 6. Auflage, N. G. Teubner Verlag, Wiesbaden 2004, S. 117.

<sup>173</sup> Vgl. Schmid, Ch.: Industrielle Fertigung – Fertigungsverfahren, Mess- und Prüftechnik, 5. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel, 2011, S. 11-13.

- als flexible Vor- und Fertigbearbeitung, die in kleinen bis mittleren Stückzahlen produziert werden,
- als Fertigbearbeitung für gegossene oder umgeformte Bauteile,
- im Werkzeug-, Anlagen- und Maschinenbau,
- sowie in Reparaturwerkstätten.<sup>174</sup>

Das Ziel der Zerspanungstechnik ist es, spanende Fertigungsverfahren mit ihren wesentlichen Parametern zu beschreiben. Durch geeignete Wahl dieser Parameter können die vorgegebenen Qualitäten der Werkstücke eingehalten und die Wirtschaftlichkeit der Fertigungsprozesse verbessert und gesichert werden.<sup>175</sup>

Innerhalb der Hauptgruppe 3 werden die spanenden Fertigungsverfahren nach den eingesetzten Werkzeugen in,

- Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden und
- Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden unterteilt.

Diese Gruppen werden noch weiter in verschiedene spanende Fertigungsverfahren unterteilt.<sup>176</sup>

In den folgenden Ausführungen werden auf die Fertigungsverfahren Weichdrehen, Hartdrehen, Schleifen und Honen näher eingegangen, welche für eine Wälzlagerfertigung essenziell sind.

#### **5.3.4.1 Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmten Schneiden**

Die spanabhebenden Verfahren mit geometrisch bestimmten Schneiden unterteilen sich laut Abbildung 36, gemäß DIN 8589, in.

---

<sup>174</sup> Vgl. Koether, R.; Rau, W.: Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2008, S. 106.

<sup>175</sup> Ebenda.

<sup>176</sup> Vgl. Milberg, J.: Werkzeugmaschinen – Grundlagen, Zerspanungstechnik, Dynamik, Baugruppen und Steuerungen, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 1992, S. 33.



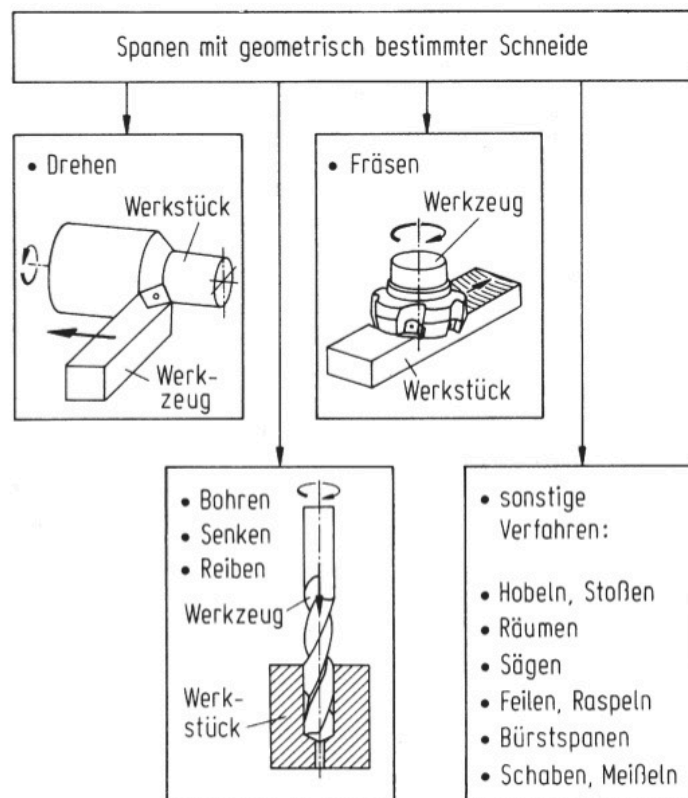


Abbildung 36: Verfahren des Spanens mit geometrisch bestimmten Schneiden<sup>177</sup>

Dazu werden Werkzeuge verwendet, deren Schneiden und Schneidenanordnungen sowie Formen, Abmessungen und Winkel „geometrisch bestimmt“ sind. Es werden dazu Werkstoffschichten in Form von Spänen vom Werkstückrohling mechanisch abgetrennt.<sup>178</sup>

Eines der bedeutendsten Verfahren der spanenden Fertigung ist das Drehen, welches in dieser Arbeit unterteilt wird in Weichdrehen und Hartdrehen.

#### 5.3.4.1.1 Weichdrehen

Drehen ist ein spanabhebendes Verfahren mit geschlossener und meist kreisförmiger Schnittbewegung. Es führt in der Regel das Werkstück die rotatorische Hauptbewegung aus und das Werkzeug bewegt sich in Vorschubrichtung. Das Weichdrehen wird häufig eingesetzt für die Schrupp- und

<sup>177</sup> Vgl. Spur, G; Stöferle, Th.: Handbuch der Fertigungstechnik – Spanen, Bd. 3/1, Carl Hanser Verlag, München/Wien 1979, S. 17.

<sup>178</sup> Vgl. Koether, R.; Rau, W.: Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2008, S. 146.

Schlichtbearbeitung von Werkstoffen mit einer Härte von unter 47 HRC (weicher Zustand). Das Schruppen hat eine hohe Zerspanleistung und somit wird ein hoher Materialabtrag erzielt. Beim Schlichten wird eine hohe Maß- und Formgenauigkeit sowie Oberflächengüte angestrebt. Durch diese Flexibilität werden Einzel-, Klein- und Großserien wirtschaftlich hergestellt.

#### **5.3.4.1.2 Hartdrehen:**

Der Begriff „Hartdrehen“ ist ein Synonym für ein Drehverfahren mit geometrisch bestimmten Schneiden, zur spanenden Bearbeitung von gehärteten Stählen mit einer Härte von über 47 HRC.<sup>179</sup> Diese harten Werkstoffe wurden bis zum Aufkommen dieser Technologie ausschließlich durch das Schleifen bearbeitet.<sup>180</sup> Durch die ständige technologische Entwicklung von Schneidstoffen hoher Härte und Warmfestigkeit ist das Hartdrehen möglich und wirtschaftlich geworden, siehe dazu Kapitel 6.

In vielen Bereichen des Maschinenbaus werden Bauteile höheren Kräften ausgesetzt, daher müssen diese fester, härter und verschleißfester sein. Durch die steigenden Anforderungen werden jetzt zunehmend hochvergütete oder gehärtete Werkstoffe eingesetzt. Für eine Vielzahl von Bauteilen ist die Hartbearbeitung neben dem Schleifen ein möglicher Vor- und Fertigbearbeitungsprozess. Neben den Festigkeiten und Härten der Bauteile sind zugleich die Qualitätsanforderungen erheblich gewachsen. Diese Anforderungen müssen durch den Hartdrehprozess erfüllt werden.<sup>181</sup>

Im Vergleich zum Weichdrehen treten beim Hartdrehen große Zerspankräfte auf. Dies erfordert eine sehr stabile Maschine und eine sichere Spannung vom Werkzeug und Werkstück, um Maschinenelemente mit höchster Präzision zu erzeugen.<sup>182</sup>

---

<sup>179</sup> Vgl. FVA Praxisbericht 1: Hartdrehen, Forschungsvereinigung Antriebstechnik, Frankfurt/Main, S. 2.

<sup>180</sup> Vgl. Weinert, K.: Spanende Fertigung, Prozesse, Innovationen, Werkstoffe, 4. Ausgabe, Vulkan-Verlag, 2005, S. 97.

<sup>181</sup> Vgl. Denkena, B.; Tönshoff, K.-H.: Spanen – Grundlagen, 3. Auflage, Berlin/Heidelberg 1995, S. 213.

<sup>182</sup> Vgl. Dobler, H.; Doll, W.; Fischer, U.; Günter W.; Heinzler M.; Ignatowitz E.; Vetter, R.: Fachkunde Metall – Mechanische Technologie, 52. Auflage, FS Fachbuch, Verlag Europa-Lehrmittel, 2003, S. 376.

### 5.3.4.1.3 Einteilung der Drehverfahren

Eine Einteilung der Drehverfahren ist für die Weich- und Hartbearbeitung gültig und kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen, nach DIN 8589 Teil 1 wird das Drehen nach folgenden Ordnungsgesichtspunkten unterteilt.

- Erzeugte Oberfläche
- Werkzeugform
- Kinematik des Zerspanvorgangs<sup>183</sup>

Die Kinematik des Zerspanvorgangs wird eingeteilt gemäß Abbildung 37.

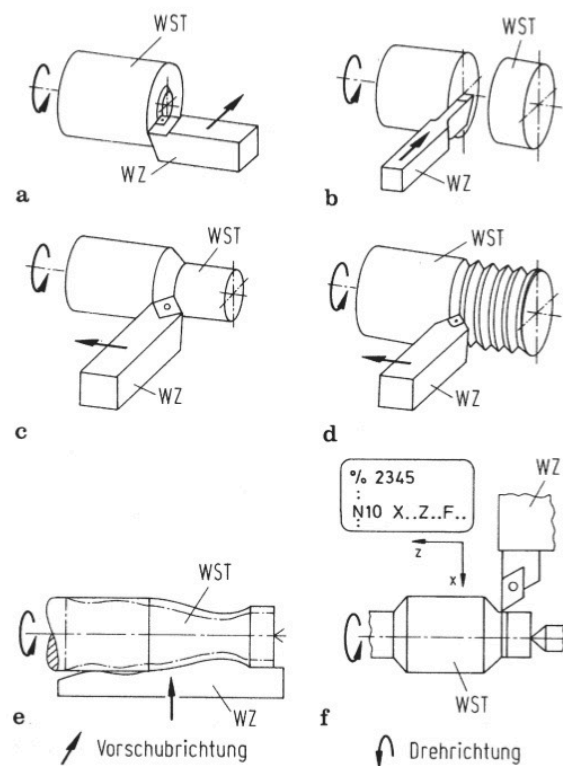


Abbildung 37: Drehverfahren<sup>184</sup>

- a) Plandrehen
- b) Abstech-, Einstechdrehen
- c) Runddrehen
- d) Gewindedrehen
- e) Profidrehen (WST-Konstruktion ist im WZ abgebildet)
- f) Formdrehen (mittels NC-Steuerung)

<sup>183</sup> Vgl. König, W.; Klocke, F.: Fertigungsverfahren – Drehen, Fräsen, Bohren, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2002, S. 325.

<sup>184</sup> Vgl. Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 1173.

Weiter wird noch unterschieden zwischen Längsdrehen und Querdrehen und nach der Lage der zu bearbeitenden Flächen am Werkstück in:<sup>185</sup>

- Außendrehen
- Innendrehen<sup>186</sup>

Ein Teil der angeführten Drehverfahren ist nur von untergeordneter Bedeutung für die Wälzlagerherstellung.

Für die Ringfertigung von Wälzlager ist im Wesentlichen das Rund-, Plan-, Form- und Profildrehen sowohl bei der Außen- und Innenbearbeitung von Bedeutung, um die Laufbahn- und Einstichkonturen der Ringe herzustellen.

#### 5.3.4.2 Fertigungsverfahren mit geometrisch unbestimmten Schneiden

Das Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden wird unterteilt in Spanen mit gebundenem Korn und ungebundenem Korn, wie in Abbildung 38 dargestellt.

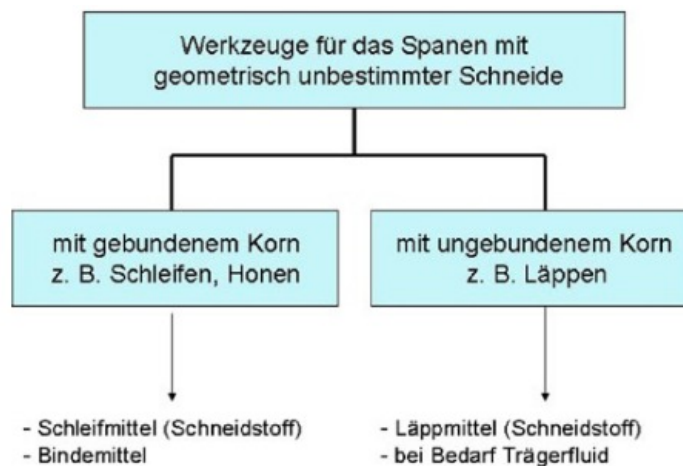


Abbildung 38: Werkzeuge mit geometrisch unbestimmter Schneide<sup>187</sup>

Das Korn ist als Schneide zu sehen. Die Schneidenform ist geometrisch unbestimmt d.h. je nach Korn unterschiedlich in Anzahl, Lage und Form der

<sup>185</sup> Vgl. Paucksch, E.; Holsten, S.; Linß, M.; Tikal, F.: Zerspantechnik: Prozesse, Werkzeuge, Technologien, 12. Auflage, Vieweg & Teubner Verlag, Wiesbaden 2008, S. 125.

<sup>186</sup> Vgl. Denkena, B.; Tönshoff, K.-H.: Spanen – Grundlagen, 3. Auflage, Berlin/Heidelberg 1995, S. 325-326.

<sup>187</sup> Vgl. Ebenda, S.247.

Schneiden, die im Eingriff sind. Die Schneiden (Körner) ändern sich ständig und sind nicht bestimmbar. Beim Spanen mit gebundenem Korn ist eine Vielzahl von Körnern (Schleifmittel) durch ein Bindemittel fest zu einem Werkzeug bestimmter Form zusammengebunden wie z.B. beim Schleifen die Schleifscheibe oder beim Honen die Honsteine. Beim Spanen mit ungebundenem Korn wird eine Vielzahl von Körnern in einer Flüssigkeit (Paste) verteilt, ohne dass eine feste Bindung entsteht. Der Eingriff der einzelnen Körner erfolgt somit stochastisch, wie z.B. beim Läppen.<sup>188</sup>

#### 5.3.4.2.1 Schleifen

Schleifen ist ein Fertigungsverfahren welches einen Abtrag durch unregelmäßig verteilte, gebundene Kornschneiden erzielt und die Einzelschneiden nicht ständig im Eingriff sind. Das Werkzeug führt eine rotierende Schnittbewegung und eine rotierende oder geradlinige Vorschubbewegung aus, diese kann schrittweise oder stetig erfolgen, je nach Schleifverfahren. Die Schnittgeschwindigkeit beim Schleifen ist gleichzusetzen mit der Schleifscheibenumfangsgeschwindigkeit.<sup>189</sup> Die Schleifverfahren werden Grundlegend wie folgt eingeteilt:

- Schleifen mit rotierendem Werkzeug
- Bandschleifen
- Hubschleifen

Das Schleifen mit rotierendem Werkzeug, welches in dieser Arbeit näher betrachtet wird, wird in der DIN 8589 nach weiteren Ordnungskriterien unterteilt:

- Form der erzeugten Fläche: Plan-, Rund-, Wälz-, Profilschleifen
- Lage der erzeugten Werkstücksflächen: Außen- oder Innenschleifen
- Schleifscheibenfläche, welche Material abträgt: Umfangs- oder Seitenschleifen
- Vorschubbewegung: Längs- oder Querschleifen (Einstechschleifen)
- Art der Vorschubbewegung: Pendel- oder Tiefschleifen
- Werkstückaufnahme: zwischen Spitzen oder spitzelos
- Kinematik: Längs-, Quer-, Schrägschleifen<sup>190</sup>

---

<sup>188</sup> Vgl. Risse, A.: Fertigungsverfahren der Mechatronik, Feinwerk- und Präzisionsgerätetechnik, Vieweg Teubner Verlag, Wiesbaden 2012, S. 183.

<sup>189</sup> Ebenda, S. 185.

<sup>190</sup> Vgl. Schönherr, H.: Spanende Fertigung, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2002, S. 352.

In Abbildung 39 wird die Einteilung nach der erzeugten Oberflächenform dargestellt.

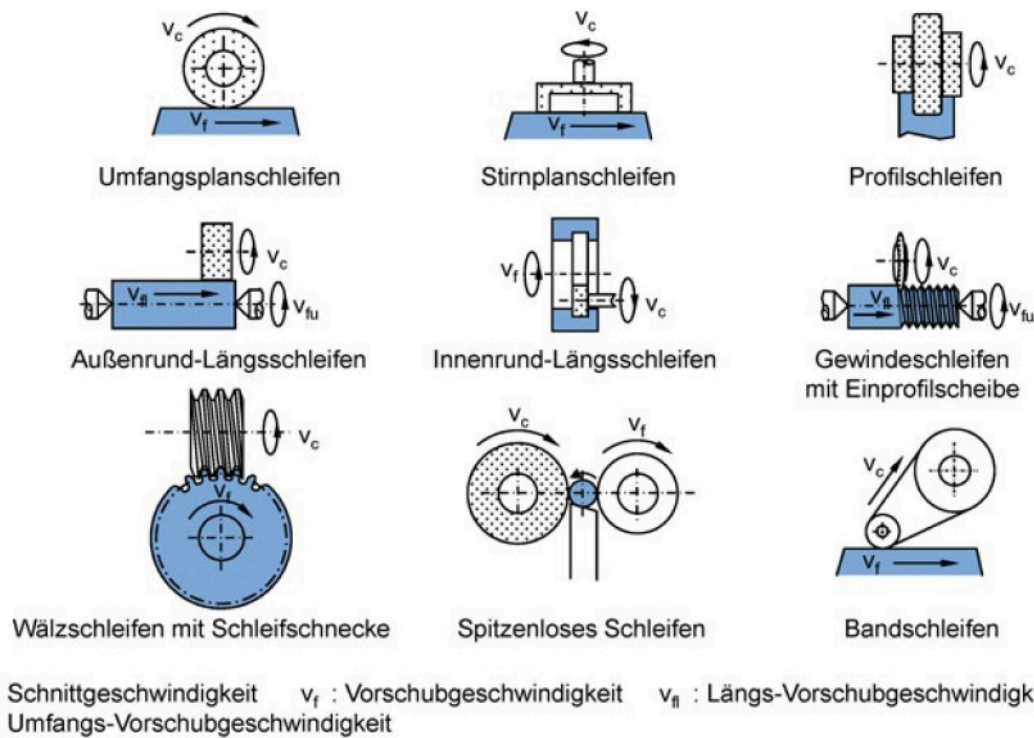


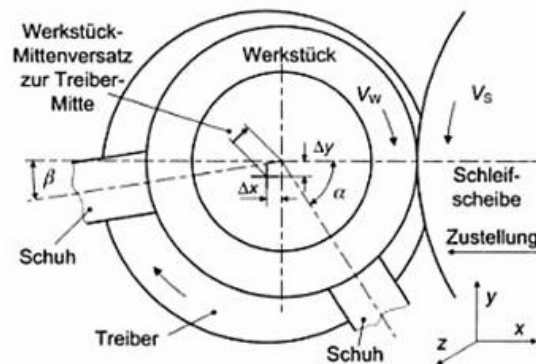
Abbildung 39: Einteilung der Schleifverfahren<sup>191</sup>

In der Wälzlagerbranche hat sich im Speziellen das spritzenlose Schleifen zwischen Schuhen etabliert.

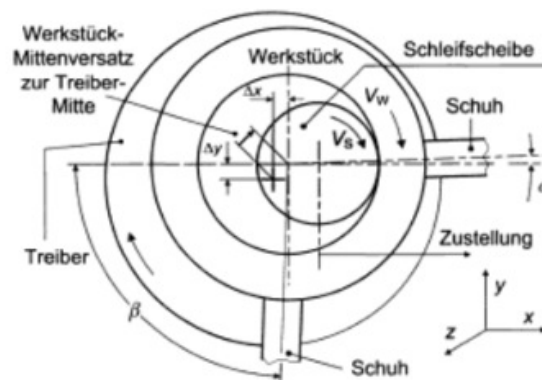
#### 5.3.4.2.1.1 Schuh - Schleifen

Das Außenrund- und Innenrund-Schuhschleifen ist besonders in der Wälzlager-Industrie ein verbreitetes Verfahren zur Herstellung der Ringkonturen. Der große Vorteil ist die Automatisierbarkeit und kurze Werkstückwechselzeiten. Es wird im Gleichlauf geschliffen. Ähnlich wie bei dem „normalen“ spitzenlosen Schleifen, wird beim Außenrundscheifen das Werkstück gleichzeitig an dessen Mantelfläche geführt und geschliffen. Die Anordnung der Stützschuhe ist in Abbildung 40 abgebildet.

<sup>191</sup> Vgl. Risse, A.: Fertigungsverfahren der Mechatronik, Feinwerk- und Präzisionsgerätetechnik, Vieweg Teubner Verlag, Wiesbaden 2012, S. 185.

Abbildung 40: Außenrund-Schuhschleifen (Gleichlauf)<sup>192</sup>

Die Zustellung der Schleifscheibe erfolgt beim Innenrundscheifen in x-Richtung und wirkt im Gegensatz zu dem „normalen“ spitzenlosen Außenrundscheifen, indirekt auf den Radius. Durch die Abstützung am Außendurchmesser wird eine gleichmäßige Wandstärke erzeugt, jedoch wird der Formfehler des Außendurchmessers übernommen. Um eine qualitativ hochwertige Herstellung des Außendurchmessers zu erreichen, ist die Berücksichtigung und Einhaltung der Form- und Lagetoleranzen unumgänglich. Durch dieses Zusammenspiel wird der Bohrungsdurchmesser nur indirekt hergestellt.

Abbildung 41: Innenrund-Schuhschleifen (Gleichlauf)<sup>193</sup>

#### 5.3.4.2.1.2 Gleich- und Gegenlaufschleifen

Wie beim Fräsen wird auch beim Schleifen zwischen Gleich- und Gegenlaufschleifen unterschieden<sup>194</sup>, wie in Abbildung 42 dargestellt. Beim

<sup>192</sup> Lindenau, K.: Wirtschaftliche Fertigung mit Schleifen, Carl Hanser Verlag, München/Wien 2006, S. 139.

<sup>193</sup> Ebenda, S. 142.

Gleichlaufschleifen sind die Werkstück- und Schleifscheiben-Umfangsgeschwindigkeiten gleichgerichtet und beim Gegenlaufschleifen sind diese entgegengesetzt gerichtet.<sup>195</sup>

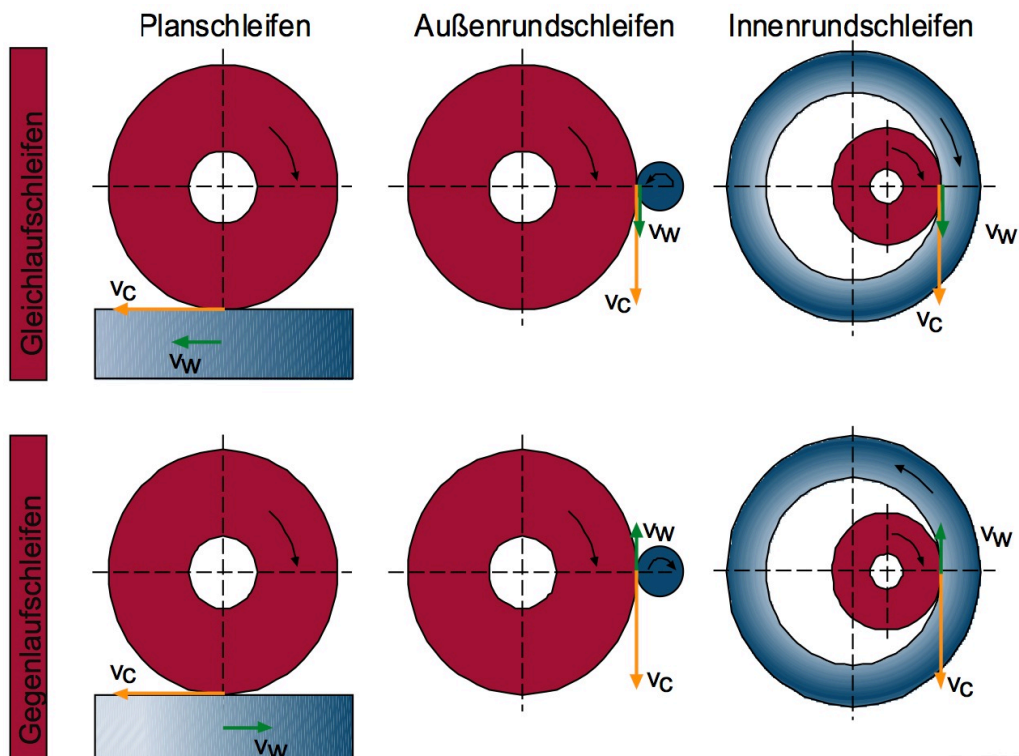


Abbildung 42: Gleich- und Gegenlaufschleifen<sup>196</sup>

$v_c$  Schnittgeschwindigkeit

$v_w$  Werkstückgeschwindigkeit

#### 5.3.4.2.1.3 Schneidstoffe, Bindemittel und Konditionieren

Als Schneidstoffe kommen Zirkonkorund ( $ZrO_2$  mit  $Al_2O_3$ ), Korund ( $Al_2O_3$ ), Siliciumcarbid (SiC), Borcarbid ( $B_4C$ ), Bornitrid (BN) und Diamant (C) zum Einsatz. Das Zirkonkorundkorn ist der Schneidstoff mit der geringsten Härte und die Diamantkörner weisen die höchste Härte auf.

<sup>194</sup> Vgl. Lindenau, K.: Wirtschaftliche Fertigung mit Schleifen, Carl Hanser Verlag, München/Wien 2006, S. 59.

<sup>195</sup> Vgl. Schönherr, H.: Spanende Fertigung, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2002, S. 353.

<sup>196</sup> Fa. Tyrolit: Präsentation – Schleifverfahren, Trainings Department, S. 7.



Die Bindung der Schneidkörner wird je nach den Erfordernissen des Fertigungsprozesses und denen des Kornmaterials gewählt. Sie hat die Aufgabe, die Schleifkörper in der Schleifscheibe zu halten und das Herausbrechen von verschlissenen Körnern zu ermöglichen, dies führt zu einer griffigen bzw. „scharfen“ Schleifscheibe. Dazu werden anorganische Bindungen (Keramik, Silicat, Magnesit), organische Bindungen (Gummi, Kunstharz, Leim) und metallische Bindungen (Bronze, Stahl, Hartmetall) eingesetzt. Es werden überwiegend Bindungen aus Keramik oder Kunstharz verwendet.<sup>197</sup>

Ziel des Konditionierens ist es, der Schleifscheibe das geforderte Profil und den nötigen Rundlauf zu geben (Profilieren), die notwendige Schleifscheibentopographie mit schneidfähigen Körnern (Schärfen) zu erzeugen, sowie Ablagerungen in den Spanräumen der Scheibe zu entfernen (Reinigen).

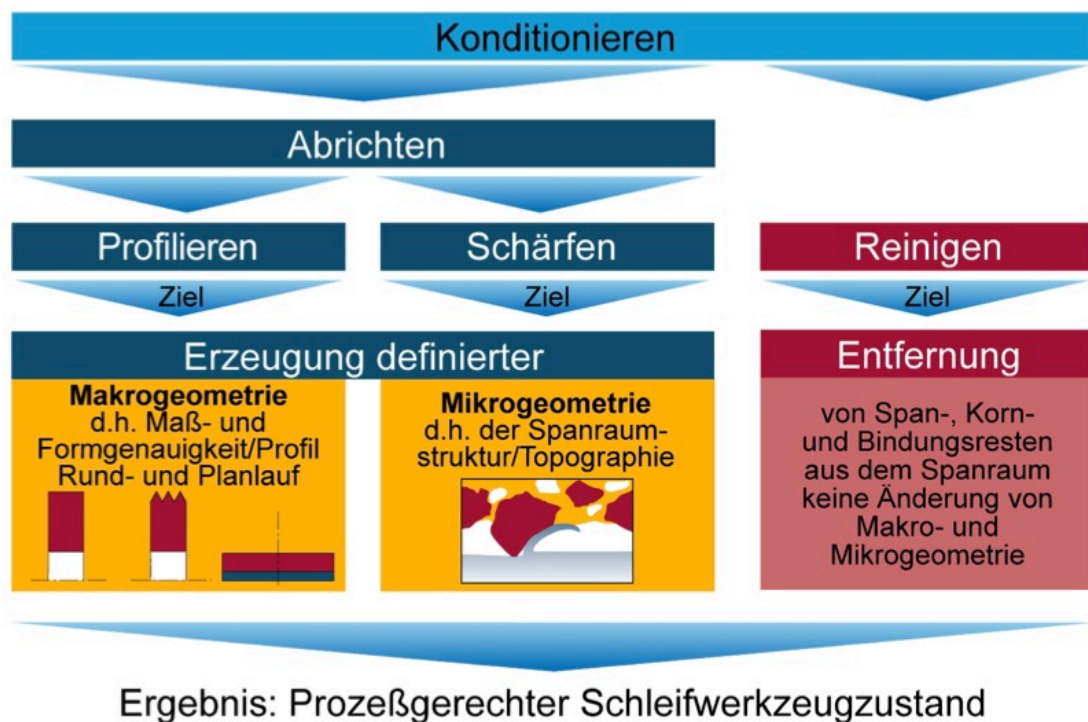


Abbildung 43: Konditionieren und deren Aufgabe<sup>198</sup>

<sup>197</sup> Vgl. Kube, D.: Konzeptentwicklung und Verifizierung einer Versuchseinrichtung zur werkstück- und werkzeugseitigen Temperaturmessung beim Flachsleifen, Studienarbeit, GRIN Verlag, 2003, S. 10.

<sup>198</sup> Fa. Tyrolit: Präsentation – Abrichten von Schleifwerkzeugen, Trainings Department, S. 3.

In der Regel werden die Vorgänge Profilieren und Schärfen (Abrichten) in einem Arbeitsgang durchgeführt, indem ein Abrichtwerkzeug an der Schleifscheibenoberfläche vorbeibewegt wird. Wesentlicher Bestandteil der Abrichtwerkzeuge sind mit Diamantkörnern belegte Körper, es gibt aber auch diamantfreie Stahl- und Keramikkörper. Ihr Standzeitende ist erreicht, wenn diese Kornschicht verbraucht ist.

Eine Sonderstellung nimmt das Schleifen mit kontinuierlichem Abrichten ein (CD-Schleifen). Hierbei ist das Abrichtwerkzeug, in der Regel eine Diamantabrichtrolle, während des Schleifens im Eingriff und wird kontinuierlich radial zur Schleifscheibe zugestellt.<sup>199</sup> Dadurch lässt sich durch ein konstantes Schleifscheibenprofil und eine gleichmäßige Schleifscheibentopographie mit scharfen Schneiden das Zerspanvolumen erheblich steigern. Die Durchmesserabnahme der Schleifscheibe, infolge des erhöhten Verschleißes beim CD-Schleifen, muss durch die Maschinensteuerung kompensiert werden.

Das Schleifen hat sich vom traditionellen Feinbearbeitungsverfahren zur Verbesserung von Maß, Form und Oberflächengüte zu einem sehr vielseitigen und leistungsfähigen Fertigungsverfahren entwickelt.

Neue Schleifverfahren wie Tiefschleifen, Hochgeschwindigkeitsschleifen, Schnellhub-Schleifen (Keramikbearbeitung) und Schleifen mit kontinuierlichem Abrichten (CD-Schleifen), der zunehmende Einsatz der superharten Schleifmittel Diamant und kubisches Bornitrid (CBN), sowie die CNC- Technik und Sensorik, haben gleichermaßen zur Leistungssteigerung dieses Fertigungsverfahrens beigetragen.<sup>200</sup>

#### **5.3.4.2.2 Honen**

Die Bearbeitungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide werden häufig als Endbearbeitungsverfahren eingesetzt, für erhöhte Qualitätsanforderungen. Durch das Schleifen lassen sich hohe Abtragsraten erzielen, mit dem Verfahren Honen werden die besten Oberflächenqualitäten und -rauheiten erzeugt.

---

<sup>199</sup> Vgl. FVA Forschungsheft: Profilschleifen, Profilschleifen von einsatzgehärteten Zylinderrädern, Forschungsvorhaben Nr. 81, Heft Nr. 189, Forschungsvereinigung Antriebstechnik, Frankfurt/Main, 1985, S. 13.

<sup>200</sup> Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 1187.

Das Honen wird mit einem vielschneidigen Werkzeug aus gebundenem Korn ausgeführt. Die wesentlichen Honverfahren sind das Außenrund-, das Innenrund-, das Plan-, das Schraub- und das Profilhonen.

- Rundhonen:  
Honen zur Erzeugung kreiszylindrischer Oberflächen
- Profilhonen:  
Honen, bei dem das Werkzeugprofil auf dem Werkstück abgebildet wird
- Planhonen:  
Honen zur Erzeugung ebener Flächen
- Schraubhonen:  
Honen bei Verzahnbearbeitungen

Nach der Größe der Oszillationsamplitude können weiterhin zwei Hauptgruppen, das Langhubhonen und das Kurzhubhonen, unterschieden werden. Wichtige Einflussgrößen auf das Arbeitsergebnis des Honprozesses sind Kornart, Korngröße, Bindungsart, Härte und Tränkung der Honleisten. Die Kornarten lassen sich in die konventionellen Kornwerkstoffe Korund und Siliciumcarbid, sowie in die superharten Kornwerkstoffe Diamant und kubisch kristallines Bornitrid (CBN), unterteilen. Die Korngröße hat einen Einfluss auf das Zeitspannvolumen und die Oberflächenqualität.<sup>201</sup> Im Gegensatz zum Schleifen werden die in der Honleiste gebundenen Körner durch die Oszillationsbewegung mehrschichtig beansprucht. Daher sind Honwerkzeuge selbstschärfend.

Wie beim Schleifen wird auch beim Honen Kühlschmiermittel (KSS) eingesetzt. Aufgrund der geringen Schnittgeschwindigkeit tritt eine geringere Erwärmung auf und die Kühlwirkung spielt somit eine untergeordnete Rolle. Die Flächenberührung zwischen Honstein und dem Werkstück erfordert keine Kühlung sondern eher eine reibungsmindernde Schmierwirkung. Deshalb wird zur Schmierung i. Allg. reines Öl mit Additiven bzw. Zusätzen verwendet. Die Anwendungsbereiche des Honens sind wie die Honverfahren daher nach Lang- und Kurzhubhonen zu unterteilen. Das Langhubhonen wird für innenzyklindrische Werkstücke, z.B. Kolbenlaufbahnen in Verbrennungsmotoren, eingesetzt. Das Kurzhubhonen wird vornehmlich zur Bearbeitung zylindrischer Bauteile, wie z.B. Laufbahnen an Wälzlagerinnen- und Außenringen oder Wälzlagerrollen, eingesetzt.<sup>202</sup>

---

<sup>201</sup> Vgl. König, W.; Klocke, F.: Fertigungsverfahren – Schließen, Honen, Läppen, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2005, S. 21.

<sup>202</sup> Vgl. Feldhuse, J.; Grote, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 1188.

Für die Wälzlagerherstellung ist das Kurzhubhonen von besonderer Bedeutung.<sup>203</sup> Dazu hat sich in der Industrie der Begriff „Superfinishen“ eingebürgert und wird nahezu ausschließlich verwendet.<sup>204</sup>

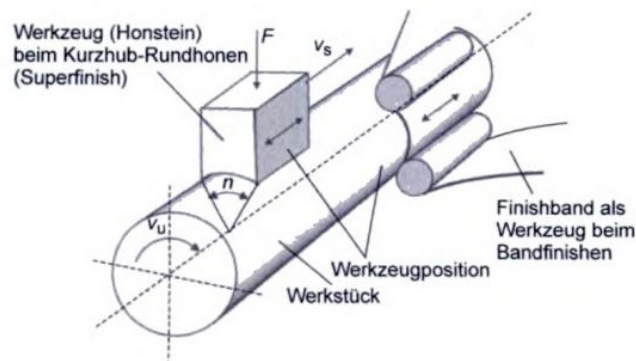


Abbildung 44: Prinzip der Superfinish-Bearbeitung mit Stein und Band<sup>205</sup>

$F$  Honstein-Anpresskraft

$v_u$  Werkstück-Umfangsgeschwindigkeit

$v_s$  Vorschubgeschwindigkeit

$n$  Kontaktwinkel

<sup>203</sup> Vgl. Funke, P.: Honen-Verfahren, Werkzeuge, Werkzeugmaschinen, Anwendungen, Studienarbeit, 1. Auflage, GRIN Verlag, 2001, S. 1.

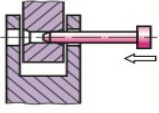
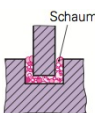
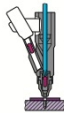

<sup>204</sup> Vgl. Böge, A.: Vieweg Handbuch Maschinenbau: Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 18. Auflage, Vieweg & Sohn Verlag / GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden 2007, Kapitel I, S. 95.

<sup>205</sup> Ebenda, S. 96.

### 5.3.5 Fügen

Fügen ist das Fertigen eines festen Körpers durch das Zusammenbringen mehrerer fester Bauteile mit Hilfe von Verbindungselementen oder Verbindungsstoffen. Dabei wird der Zusammenhalt zwischen den einzelnen Elementen jeweils örtlich geschaffen oder vermehrt.<sup>206</sup>

Tabelle 10: Fügen der Hauptgruppe 4<sup>207</sup>

Vorgang:	Verfahren:
Zusammensetzen	Verschrauben, Einhängen 
Füllen	Ausschäumen 
An- und Einpressen	Schrauben, Nieten 
Schweißen, Löten	Schutzgasschweißen, Hart-, Weichlöten 
Kleben	mit Reaktionskleber


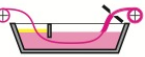
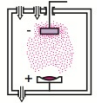
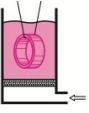
<sup>206</sup> Vgl. Matthes, K.-J.; Rieder, F.: Fügetechnik, Überblick – Löten – Kleben – Fügen durch Umformen, Carl Hanser Verlag, München/Wien 2003, S. 25.

<sup>207</sup> Vgl. Schmid, Ch.: Industrielle Fertigung – Fertigungsverfahren, Mess- und Prüftechnik, 5. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel, 2011, S. 11-13.

### 5.3.6 Beschichten

Beschichten ist das Aufbringen eines formlosen, pulverigen, flüssigen oder gasförmigen Stoffes auf einen festen Körper. Durch das Beschichten verfolgt man einen Schutz der Werkstücke vor Verschleiß, Korrosion, Hitze. Es werden gewünschte Oberflächenfarben und -texturen sowie bestimmte elektrische Eigenschaften (leitend/nicht leitend) erzeugt.<sup>208</sup>

Tabelle 11: Beschichten der Hauptgruppe 5<sup>209</sup>

Stoffzustand:	Verfahren:
gas-, dampfförmig	Aufdampfen 
flüssig, pastös	Lackieren, Feuerverzinken 
ionisieren	Ionenplattieren, Galvanisieren 
fest, körnig	Wirbelsintern, thermisches Spritzen 

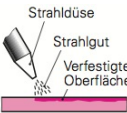
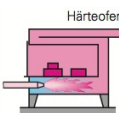
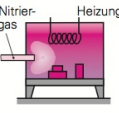
<sup>208</sup> Vgl. Hering, E.; Modler, K.-H.: Grundwissen des Ingenieurs, 14. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2007, S. 670-671.

<sup>209</sup> Vgl. Schmid, Ch.: Industrielle Fertigung – Fertigungsverfahren, Mess- und Prüftechnik, 5. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel, 2011, S. 11-13.

### 5.3.7 Ändern der Stoffeigenschaften

Ändern der Stoffeigenschaften ist das Verändern der Werkstoffeigenschaften. Dies kann auf bestimmte Orte oder auf die Werkstückoberflächen beschränkt sein und geschieht i. Allg. durch Veränderungen im submikroskopischen bzw. atomaren Bereich wie z.B. durch Diffusion von Atomen, Veränderungen von Gefüge und Kristallgitter und chemischen Reaktionen.<sup>210</sup>

Tabelle 12: Ändern der Stoffeigenschaften der Hauptgruppe 6<sup>211</sup>

Vorgang:	Verfahren:
Verfestigen	<b>Strahlen</b> 
Umlagern, Wärmebehandlung	<b>Glühen, Härten, Anlassen</b> 
Einbringen, thermische Behandlung	<b>Aufkohlen, Nitrieren</b> 

Ziel der Änderung der Stoffeigenschaften ist vor allem die Gebrauchseigenschaften eines Werkstückes oder Werkstoffes zu verbessern, wie z.B. die Umformbarkeit, Bearbeitbarkeit, Härte, Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Bei der Hauptgruppe 6 Stoffeigenschaftändern, steht die Gruppe der Wärmebehandlungen im Vordergrund.<sup>212</sup>

<sup>210</sup> Vgl. Weißbach, W.: Werkstoffkunde: Strukturen, Eigenschaften, Prüfung, 16. Auflage, Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden 2007, S. 136.

<sup>211</sup> Vgl. Schmid, Ch.: Industrielle Fertigung – Fertigungsverfahren, Mess- und Prüftechnik, 5. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel, 2011, S. 11-13.

<sup>212</sup> Vgl. Hering, E.: Taschenbuch für Wirtschaftsingenieure, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2009, S. 159.

### 5.3.7.1 Wärmebehandlung

Allgemein versteht man unter Wärmebehandlung eines Werkstückes ein Verfahren oder die Verbindung mehrerer Verfahren, die mit Änderungen der Temperatur oder des Temperaturablaufes verbunden sind, um dem Werkstück bestimmte Eigenschaften zu geben. Dabei kann durch die Umgebung eine Änderung der chemischen Zusammensetzung und der Werkstoffeigenschaften erfolgen.<sup>213</sup>

Folgende Eigenschaften können geändert werden:

- Die spangebende Bearbeitbarkeit verbessern wie z. B. durch Weichglühen, Grobkornglühen.
- Die Festigkeit erhöhen oder verringern z.B. mittels Härten, Normalglühen, Weichglühen.
- Die Auswirkung der Kaltverformung beseitigen z.B. mittels Rekristallisationsglühen oder Normalglühen.
- Beseitigen oder Verringern von Seigerungen z.B. Diffusionsglühen.
- Ändern der Korngröße z.B. Normalglühen, Rekristallisationsglühen, Grobkornglühen.<sup>214</sup>
- Beseitigen von Eigenspannungen mit Hilfe von Spannungsarmglühen.
- Erzeugen bestimmter Gefügezustände durch Normalglühen, Weichglühen, oder Härten.

Die Verfahren der Wärmebehandlung können in der Regel in zwei Hauptgruppen eingeteilt werden:

- Glühen
- Härten

#### 5.3.7.1.1 Temperaturführung

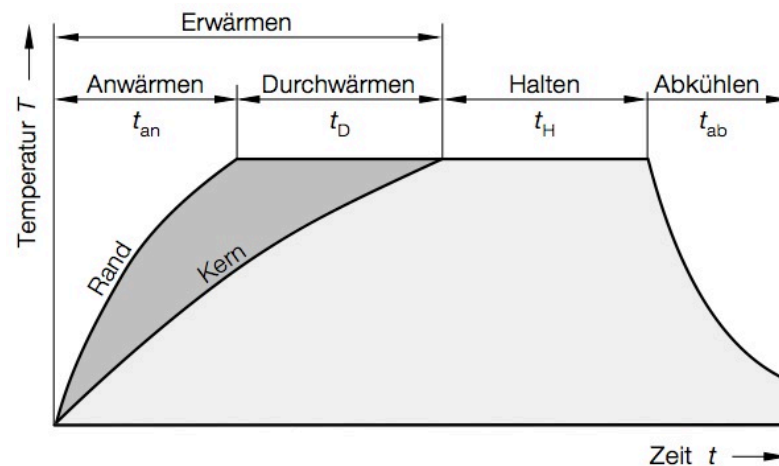
Jede Wärmebehandlung besteht aus dem Erwärmen auf Solltemperatur (Anwärmen und Durchwärmen), dem Halten der Solltemperatur und dem anschließenden Abkühlen, gemäß Abbildung 45.<sup>215</sup>

---

<sup>213</sup> Vgl. Gabernig, H.: Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, Verlag Jugend & Volk GmbH, Wien 1999, S. 68.

<sup>214</sup> Vgl. Seidel, W.: Werkstofftechnik, Werkstoffe – Eigenschaften – Prüfung – Anwendung, 7. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2007/2008, S. 124.



Abbildung 45: Temperaturführung beim Wärmebehandeln<sup>216</sup>

Das Erwärmen auf die Solltemperatur kann durch Wärmeübertragung (es wird die Wärme durch Berührung oder Strahlung auf das Werkstück übertragen) oder durch das Erzeugen der Wärme im Werkstückes (mittels der Widerstands- oder Induktionserwärmung), geschehen.

Die Erwärmung des Kernes im Falle der Wärmeübertragung, kann nur durch Wärmeleitung erfolgen d. h. das Werkstückinnere wird, unter Einhaltung der Durchwärmezeit  $t_D$ , bis zur Solltemperatur, später erwärmt als die Oberfläche. Durch die Erzeugung der Wärme im Werkstück sind wesentlich höhere Aufheizgeschwindigkeiten möglich.

Der Temperaturunterschied zwischen Kern und Rand nimmt zu mit:

- Höherer Aufheizgeschwindigkeit
- Größeren Werkstückabmessungen
- Abnehmender thermischer Leitfähigkeit des Werkstoffes

Aus wirtschaftlichen Gründen wird man das Werkstück möglichst rasch erwärmen wollen. Jedoch bei zu rascher Erwärmung und Abkühlung treten erhöhte Verzugs- und Rissgefahren auf, die durch die großen Temperaturunterschiede zwischen Rand und Kern entstehen. Bei vielen Wärmebehandlungsvorgängen entstehen beim Erwärmen und Abkühlen Phasenänderungen, die ebenfalls riss-

<sup>215</sup> Vgl. Bargel, H.-J.; Schulze, G.: Werkstoffkunde, 10. Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2008, S. 162.

<sup>216</sup> Bargel, H.-J.; Schulze, G.: Werkstoffkunde, 10. Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2008, S. 162.

begünstigend wirken können. Damit müssen insbesondere dickwandige und kompliziert geformte Werkstücke ausreichend langsam erwärmt werden. Dadurch ist die Wärmebehandlung ein sehr kostenintensiver Fertigungsprozess und kann die Bauteilkosten stark erhöhen. Die Wärmebehandlungskosten können bis zu 25 % der Bauteilkosten betragen.<sup>217</sup>

#### 5.3.7.1.2 Glühen und Spannungsarmglühen

Das Glühen besteht aus dem langsamen Erwärmen auf eine vorgegebene spezifische Temperatur, dem Halten und anschließendem langsamen Abkühlen. Es gibt eine Vielzahl von Glühverfahren mit unterschiedlichen Anforderungen und Aufgabenstellungen.<sup>218</sup>

So werden beispielsweise ungleichmäßiges Erwärmen/Abkühlen (durch Schweißen, Härten), ungleichmäßige Formänderungen (durch Biegen, Kaltverformen), bei der spanabhebenden Bearbeitung (Fräsen, Drehen), sowie als Folge von Umwandlungsvorgängen erzeugte Eigenspannungen im Werkstück durch Spannungsarmglühen abgebaut. Es kann so zu unerwarteten Formänderungen (Verzug) kommen. Vor allem bei Schweißkonstruktionen oder spanend aufwendig bearbeitete Werkstücke, können durch Temperatureinwirkungen der Werkzeuge zwischen dem Kern und Rand merkliche Eigenspannungen entstehen. Im Wesentlichen werden aber nur die Makrospannungen und die Umwandlungsspannungen beseitigt.<sup>219</sup> Die Werkstücke werden bei 550° bis 650° über einem Zeitraum von 2 – 4 Stunden geglüht und anschließend abgekühlt. Wichtig ist eine möglichst langsame Abkühlung.<sup>220</sup>

Andernfalls könnten durch Temperaturdifferenzen im Werkstück erneut Spannungen entstehen. Aus den gleichen Gründen muss auch das Aufheizen entsprechend langsam erfolgen. Besonders vorsichtig ist bei Werkstücken mit

---

<sup>217</sup> Vgl. Bargel, H.-J.; Schulze, G.: Werkstoffkunde, 10. Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2008, S. 162-163.

<sup>218</sup> Vgl. Hering, E.: Taschenbuch für Wirtschaftsingenieure, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2009, S. 159.

<sup>219</sup> Vgl. Hillebrand, D.: Partielles Härten von Bake-Hardening-Stahlblech mittels Diodenlaser, Herbert Utz Verlag GmbH, München 2002, S. 10.

<sup>220</sup> Vgl. Fa. Böhlerstahl: Praxisservice, Erfolgreiche Edelstahlverarbeitung, Definition Stahl und Grundlagen der Wärmebehandlung, S. 27.

hohen Eigenspannungen und bei Werkstoffen mit geringer Zähigkeit zu verfahren.<sup>221</sup>

### 5.3.7.1.3 Härten

Härten ist eine Wärmebehandlung, die Stähle hart und widerstandsfähig gegen Verschleiß macht. Beim Härten können jedoch nur Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt über 0,2% verwendet werden.

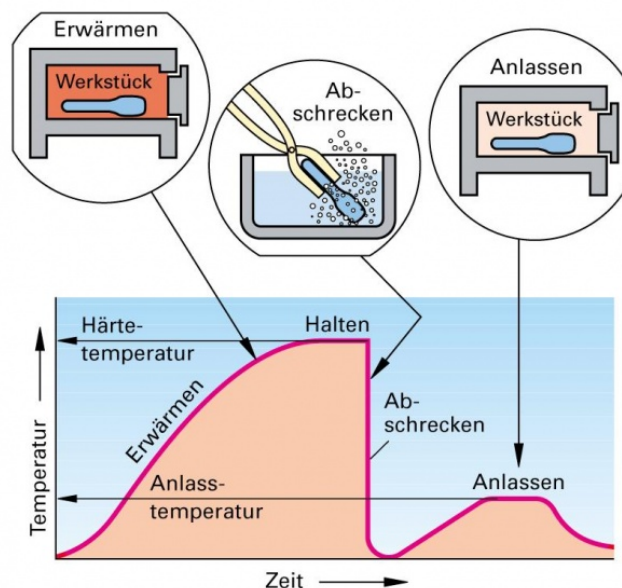


Abbildung 46: Temperaturverlauf beim Härten<sup>222</sup>

Das Werkstück wird auf die Härtetemperatur erwärmt (Austenitisierung) und gezielt auf der Härtetemperatur gehalten. Die Härtedauer variiert je nach Nachanforderung ob nur die Oberfläche oder das gesamte Bauteil gehärtet werden soll.<sup>223</sup> Das Härten des gesamten Bauteiles entspricht dem Durchhärten mit entsprechender Durchwärm- und Haltedauer welches bei Wälzlagerringen zum Einsatz kommt. Der zeitliche Ablauf des Erwärmens, Haltens und der Abkühlung wird schematisch in Abbildung 47 dargestellt.

<sup>221</sup> Vgl. Bargel, H.-J.; Schulze, G.: Werkstoffkunde, 10. Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2008, S. 164.

<sup>222</sup> Dobler, H.; Doll, W.; Fischer, U.; Günter W.; Heinzler M.; Ignatowitz E.; Vetter R.: Fachkunde Metall – Mechanische Technologie, 52. Auflage, FS Fachbuch, Verlag Europa-Lehrmittel, 2003, S. 271.

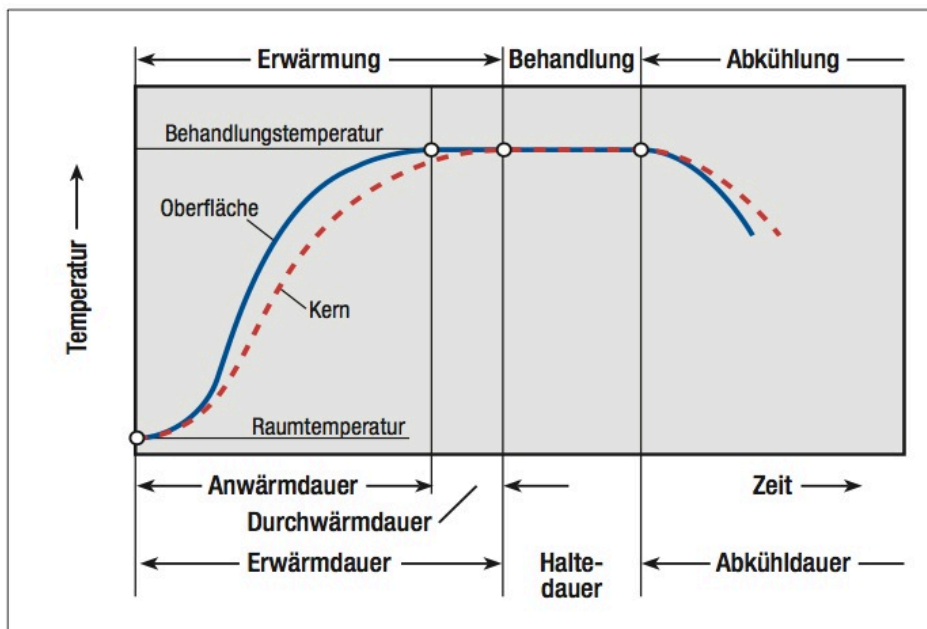


Abbildung 47: Zeitlicher Ablauf einer Wärmebehandlung<sup>224</sup>

Anschließend wird das Werkstück abgeschreckt indem es in einem Abschreckmedium d.h. in Wasser, Öl oder Salzlösung eingetaucht oder mit Luft angeblasen wird.<sup>225</sup>

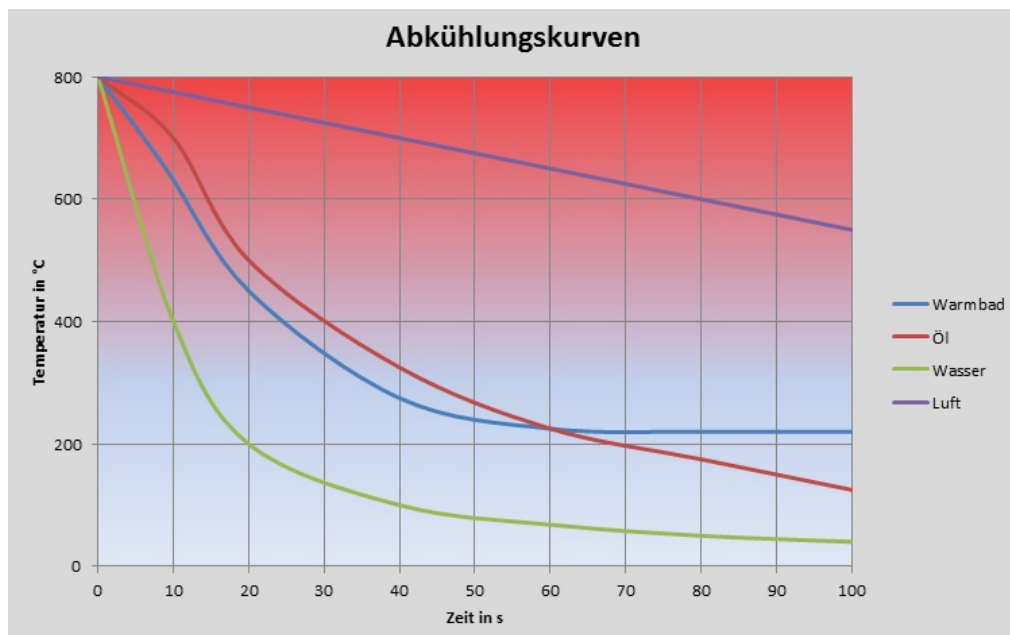
Die Abkühlgeschwindigkeit kann durch Verwendung verschiedener Abschreckmedien beeinflusst werden.

- **Wasser:**  
Wasser besitzt die größte Abkühlgeschwindigkeit. Es wird zum Abschrecken von unlegierten Stählen verwendet wie z.B. C60 oder C45, da diese zum Härten eine schroffe Abkühlung benötigen.
- **Öl:**  
Öle haben eine geringere Abschreckgeschwindigkeit als Wasser. Die Gefahr, dass sich das Werkstück verzieht oder sich Risse bilden wird verringert. In Öl werden niedrig legierte Stähle abgeschreckt wie z.B. 50CrMo4.

<sup>224</sup> Fa. Stahl: Wärmebehandlung von Stahl – Härten, Anlassen, Vergüten, Bainitisieren, Merkblatt 450, S. 5.

<sup>225</sup> Vgl. Bartz, W.; Möller, U.: Expert Praxislexikon Tribologie Plus, 2010 Begriffe für Studium um Beruf, Expert Verlag, 2000, S. 19.

- **Wasser-Öl-Emulsion / Wasser-Polymer-Emulsion:**  
Die Abschreckgeschwindigkeit von Emulsionen liegt zwischen denen von Wasser und Öl.
- **Warmbad:**  
Im Warmbad wird Salz bei einer Temperatur zwischen 200°C und 500°C geschmolzen. Das Werkstück wird im Warmbad abgeschreckt und je nach Größe des Bauteils 5 bis 15 Minuten darin gehalten. Anschließend kühlt das Werkstück an der Luft ab.
- **Bewegte Luft:**  
Bewegte Luft hat die geringste Abschreckgeschwindigkeit und wird bei hochlegierten Stählen zum Abschrecken eingesetzt.<sup>226</sup>

Abbildung 48: Abkühlkurven der Medien<sup>227</sup>

Die Abkühlgeschwindigkeit hängt auch noch vom Verhältnis der Oberfläche zum Volumen des Bauteiles ab. Somit kühlt eine dicke Platte langsamer als eine dünne Platte ab.<sup>228</sup>

<sup>226</sup> Vgl. Spur, G; Stöferle, Th.: Handbuch der Fertigungstechnik – Wärmebehandlung, Bd. 4/2, Carl Hanser Verlag, München/Wien 1987, S. 1012.

<sup>227</sup> Vgl. Schulze, G.: Die Metallurgie des Schweißens, Eisenwerkstoffe – Nichteisenmetallische Werkstoffe, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2010, S. 148.

Beim Abschrecken ist die Position und Lage des Werkstückes sowie die Bewegung im Abschreckmedium von besonderer Bedeutung. Letzteres ist wichtig um die Bildung und Haftung der entstanden Dampfblasen am Werkstück beim Eintauchvorgang zu minimieren und eine gleichmäßige Abkühlung des Werkstückes zu ermöglichen

Für das Abschrecken gelten folgende Richtlinien:

- Stabförmige Werkstücke längs eintauchen.
- Der größte Querschnitt des Werkstücks muss zuerst eingetaucht werden.
- Besitzt das Werkstück Grundlöcher, muss es mit der Öffnung nach oben eingetaucht werden, damit Dampfblasen entweichen können.
- Flächige Werkstücke werden mit der flachen Seite eingetaucht.
- Werkstücke werden im Abschreckmedium kreisförmig mit oder gegen den Uhrzeigersinn bewegt

Bei nicht Einhaltung dieser wesentlichen Richtlinien wird das Werkstück ungleichmäßig gehärtet und es treten Härteverzüge auf. Verzugsarmes und rissfreies Härten erreicht man nur durch:

- Verwendung eines geeigneten oder mildereren Abschreckmediums.
- Gebrochenes Härten:  
Das Werkstück wird kurz in Wasser abgeschreckt und dann herausgenommen und im Öl weiter abgekühlt.
- Stufenhärten:  
Das Werkstück wird in einem erhitzten Salzbad z.B. auf 450°, abgeschreckt und danach an der Luft abgekühlt.<sup>229</sup>

Nach dem Abschrecken wird der Stahl zwar hart, aber auch spröde. Um diese Versprödung zu verringern, werden die Werkstücke nach dem Abschrecken auf Anlasstemperatur (200° - 350°C) erwärmt<sup>230</sup> und eine Zeit auf dieser Temperatur gehalten und im Anschluss langsam an der Luft abgekühlt, wie in Abbildung 47

---

<sup>228</sup> Vgl. Kalpakjian, S.; Schmid, S.-R.; Werner, E.: Werkstofftechnik – Herstellung, Verarbeitung, Fertigung, 5. Auflage, Pearson Studium, 2011, S. 222.

<sup>229</sup> Vgl. Dobler, H.; Doll, W.; Fischer, U.; Günter W.; Heinzler M.; Ignatowitz E.; Vetter R.: Fachkunde Metall – Mechanische Technologie, 52. Auflage, FS Fachbuch, Verlag Europa-Lehrmittel, 2003, S. 272.

<sup>230</sup> Vgl. Niemann, G.; Winter, H.; Höhn, B.-R.: Maschinenelemente, Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 2005, S. 194.

dargestellt. Die Anlasstemperatur und –dauer stehen in ähnlicher Beziehung wie die Härtetemperatur und Haltezeit beim Härten. Üblicherweise erfolgt der Anlassvorgang ein zweites Mal, wobei das zweite Anlassen gemäß Anlasskurve zur gewünschten Härte führt.<sup>231</sup>

Der Stahl hat dann seine geforderte Gebrauchshärte und kann für die weiterführenden Fertigungsschritte z.B. wie der spanenden Hartbearbeitung verwendet werden.<sup>232</sup>

---

<sup>231</sup> Vgl. Hasse, S.: Gießerei – Lexikon, 18. Auflage, Fachverlag Schiele & Schön GmbH, Berlin 2000, S. 457.

<sup>232</sup> Vgl. Moeller, E.: Handbuch Konstruktionswerkstoffe – Auswahl, Eigenschaften, Anwendung, Carl Hanser Verlag, München 2008, S. 173.

## 5.4 Fertigungsprozess von Wälzlageringern

Die Wälzlagerteile werden in der gleichen Art und Weise hergestellt wie vergleichbar andere Präzisionsmaschinenelemente, nämlich auf Maschinen mit hoher bis höchster Leistungsfähigkeit, Steifigkeit und Präzision. Bei der Fertigung wird im Speziellen unterschieden zwischen Klein- und Großlagern. Zur näheren Beschreibung der Fertigungsverfahren wird hier auf Kapitel 5.3 hingewiesen.

Grundlegend werden die Kleinlagerringe in der Regel vom Halbzeug (Rohr oder der Stange) abgestochen und kommen dann in die spanende Bearbeitung (Weichbearbeitung). Bei großen Lagern steht am Anfang der Fertigungskette das Schmieden. Beim Schmieden wird das Stahlstück zunächst auf 850 - 1100 Grad erwärmt<sup>233</sup>, dann gestaucht, gelocht und aufgewalzt.<sup>234</sup> Das Ausgangsmaterial ist ein Stück Wälzlagerstahl z.B. 100Cr6 oder 100CrMnMo8, mit der chemischen Grundzusammensetzung von ca. 1% Kohlenstoff und 1,5% Chrom, dies ist seit der Jahrhundertwende nahezu unverändert. Das Rohmaterial wird in der spanabhebenden Bearbeitung (Weichbearbeitung) weiter verarbeitet und dabei erhalten die Lagerringe die Laufbahnen für die Wälzkörper, sowie die Einstiche und Freistiche für die seitlichen Dichtungen. Im Anschluss an die spanende Bearbeitung erfolgt die in Kapitel 5.3.7.1 ausführlich behandelte Wärmebehandlung der Wälzlageringerringe. Durch diese wird der Stahl wesentlich härter und erst jetzt können die Lagerringe dem ständigen Abrollen der Wälzkörper standhalten.

Hartdrehen und Schleifen sind die nächsten Arbeitsgänge zur Bearbeitung der gehärteten Oberflächen (siehe Kapitel 5.3.4). Hierzu wurde bis zum Ende der 1980er Jahre die Bearbeitung an gehärteten Stahlbauteile vorwiegend durch das Fertigungsverfahren Schleifen erfüllt. Jedoch trat in den letzten Jahren zunehmend die Hartbearbeitung mit geometrisch bestimmten Schneiden in Konkurrenz zum Schleifen in den Vordergrund, siehe dazu Kapitel 5.3.4.1.2.<sup>235</sup> Doch für viele Einsatzfälle wird weiterhin das Schleifen eingesetzt. Ob eine kombinierte Bearbeitung durch Hartdrehen und Schleifen zu Wälzlagerherstellung

---

<sup>233</sup> Vgl. Lurje, G. B.: Technologie der Wälzlagerherstellung, VEB Verlag Technik, Berlin 1953, S. 44.

<sup>234</sup> Fa. FAG – INA: Kleine Wälzlagerkunde, online im Internet: <http://www.fag-ina.at/explorer/download/waelzlager/KleineWaelzlagerkunde.pdf>

<sup>235</sup> Vgl. Tönshoff, H.-K.; Hoffmeister, H.-W.: Jahrbuch Schließen, Honen, Läppen und Polieren, Verfahren und Maschinen, 61. Ausgabe, Vulkan-Verlag GmbH, 2004, S. 137



wirtschaftlich ist, wird im nächsten Kapitel, anhand eines Hardtrevversuches aufgeklärt. Die weiteren Fertigungsverfahren wie das Superfinishen (Kapitel 5.3.4.2.2) und der Zusammenbau des Wälzlagers, werden in Abbildung 49 lediglich schematisch dargestellt.

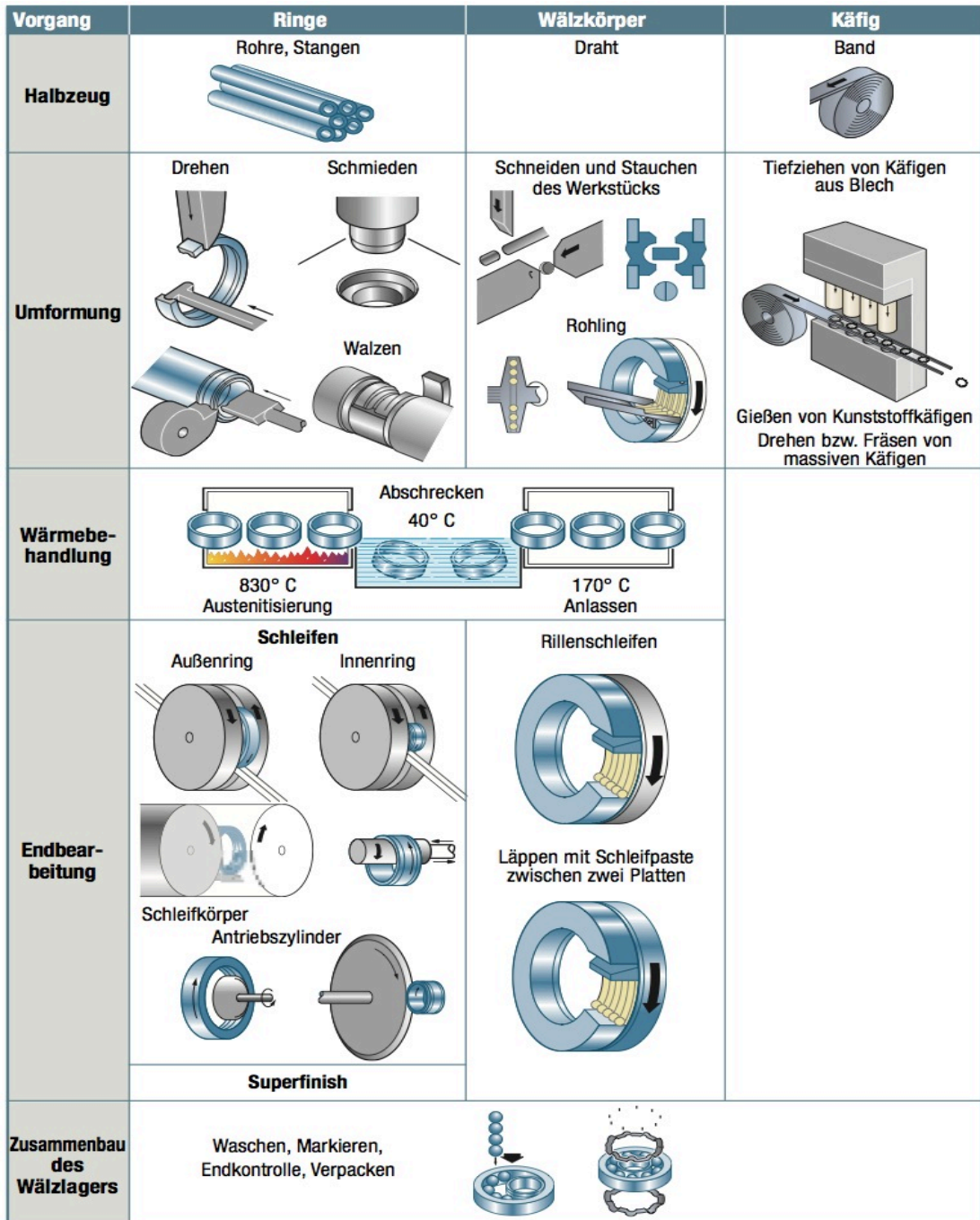


Abbildung 49: Herstellprozess der Wälzlager<sup>236</sup>

<sup>236</sup> Fa. SNR Broschüre: Wälzlagertechnologie, S. 43.



## **6 Hartdrehversuch der Lagerbauform NCF18/560**

In diesem Kapitel wird ein Versuchsaufbau zum Thema Hartbearbeitung von Wälzlagerringen beschrieben. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass in dieser Diplomarbeit nicht mögliche Rationalisierungsverfahren, wie Adaption oder Substitution, näher behandelt werden, oder als Versuchsergebnisse anzusehen sind. Der Verfahrensvergleich dient lediglich zur Klärung, ob das Hartdrehen als vorgelagerter Prozess oder Integrationsprozess zum Schleifen, für dünnwandige Zylinderrollenlager anhand eines Außenringes der Type AR-NCF18/560-V, in Frage kommt. Es wird sowohl der technische als aus betriebswirtschaftliche Aspekt abgehandelt und im Versuchsergebnis monetär dargestellt.

### **6.1 Problemstellung der Fertigung**

Der Aufbau einer mechanischen Fertigung zur Herstellung von Kleinserien im Großlagerbereich wurde nach der Projektphase im Jahr 2012 abgeschlossen und in die Produktionsprozesse implementiert. Durch die Herstellung von kleinen Losgrößen ist eine Abstimmung der einzelnen externen Fertigungsschritte nur bedingt möglich. Folglich müssen Wege gefunden werden, wie der fertigungstechnische Einfluss aus unterschiedlichen Stahlchargen, variierendem Wärmebehandlungsergebnis und Bauteilchwankungen handwerklich und betriebswirtschaftlich beherrschbar gestaltet werden. Dazu wurden in der Vergangenheit die Ringe mit einem vermehrten Schleifaufmaß versehen, um Verzüge und fertigungstechnische Abweichungen kompensieren zu können.

Die Folge davon sind lange Schleifzeiten und häufiges Rüsten der Stützscheue in der Maschine, mit dem Risiko, dass mit jeder Nachstellung das Ringzentrum verlagert wird und somit die Gefahr einer finalen maßlichen Abweichung gegeben ist. Diese Abweichungen dürfen vor allem bei dünnwandigen Ringen, wie jener der Versuchstypen, nicht unterschätzt werden.

## 6.2 Ist – Situation

- Hohes „Sicherheits“ - Aufmaß von 1,5 - 2mm auf den zu bearbeitenden Flächen (Schleifflächen).
- Erhöht auftretende Aufmaßschwankungen durch Wärmebehandlung.
- Dadurch erhöhte Schleif- und Einstellzeiten (Schuhführung, Anteachemaße,...).
- Probleme die geforderte Rundheit herzustellen.
- Erhöhte Fertigungskosten gegenüber marktkonformen Kosten.

In der folgenden Tabelle 13, werden die reinen Schleifzeiten (Zykluszeiten) je Merkmal **ohne Rüstzeiten** und excl. dem Hartdrehprozess dargestellt und bewertet. Die Maschinenstundensätze wurden von der Abteilung „Controlling“ ermittelt und für eine einschichtige Beschäftigung zur Verfügung gestellt.

Tabelle 13: Schleifzeiten- und kosten mit Sicherheitsaufmaß

### Aufmaß 1,5 - 2mm

Type	Merkmal	Zykluszeit	Maschinenstundensatz	Fertigungskosten
AR- NCF18/560-V	Planschleifen	1:50:00	€ 85,00	€ 155,83
	Aussendurchmesser	1:15:00	€ 170,00	€ 694,17
	Laufbahndurchmesser	2:30:00		
	Bordschleifen	0:20:00		
	Superfinishen	0:05:00	€ 150,00	€ 12,50
<b>SUMME pro Ring</b>		<b>6:00:00</b>		<b>€ 862,50</b>

Die Summe der Fertigungskosten ergeben € 862,50,- und eine Fertigungszeit von 6 Stunden pro Außenring. Basierend auf diesen Erkenntnissen, sowie aus der handwerklichen Beurteilung und den erkannten Zusammenhängen zwischen dem Erreichen und dem was zu erreichen beabsichtigt ist, wird die Hartbearbeitung vor dem Schleifvorgang in Betracht gezogen und der Hartdrehversuch wurde eingeleitet.

### 6.3 Versuchsaufbau AR-NCF18/560-V

Um die erwähnten „Probleme der Fertigung“ zu minieren, wurde ein Hartdrehversuch um das Schleifaufmaß zu reduzieren, gestartet. Radien, Freistiche, Einstiche, Borde und Schultern wurden für den Versuch ausgeblendet. Lediglich die Schleifflächen wie die Planflächen, der Außen- und Laufbahndurchmesser wurden vom externen Bearbeiter bzw. Lieferant vorgedreht. Das Hartdreh erfolgte nach dem Härten und stellte keinen Einfluss auf die vorgelagerte Prozess- und Lieferkette, wie z.B. das Schmieden oder Weichdrehen dar.

Die Hartdrehzeichnungen wurden in Zusammenarbeit mit dem Lieferant und NKE definiert. Es wurde dadurch bei 10 Stk. Außenringe „AR-NCF18/560-V“ das Schleifaufmaß von ~ 1,5 - 2mm, gemäß Zeichnungen auf 0,3mm & 0,5 mm reduziert.

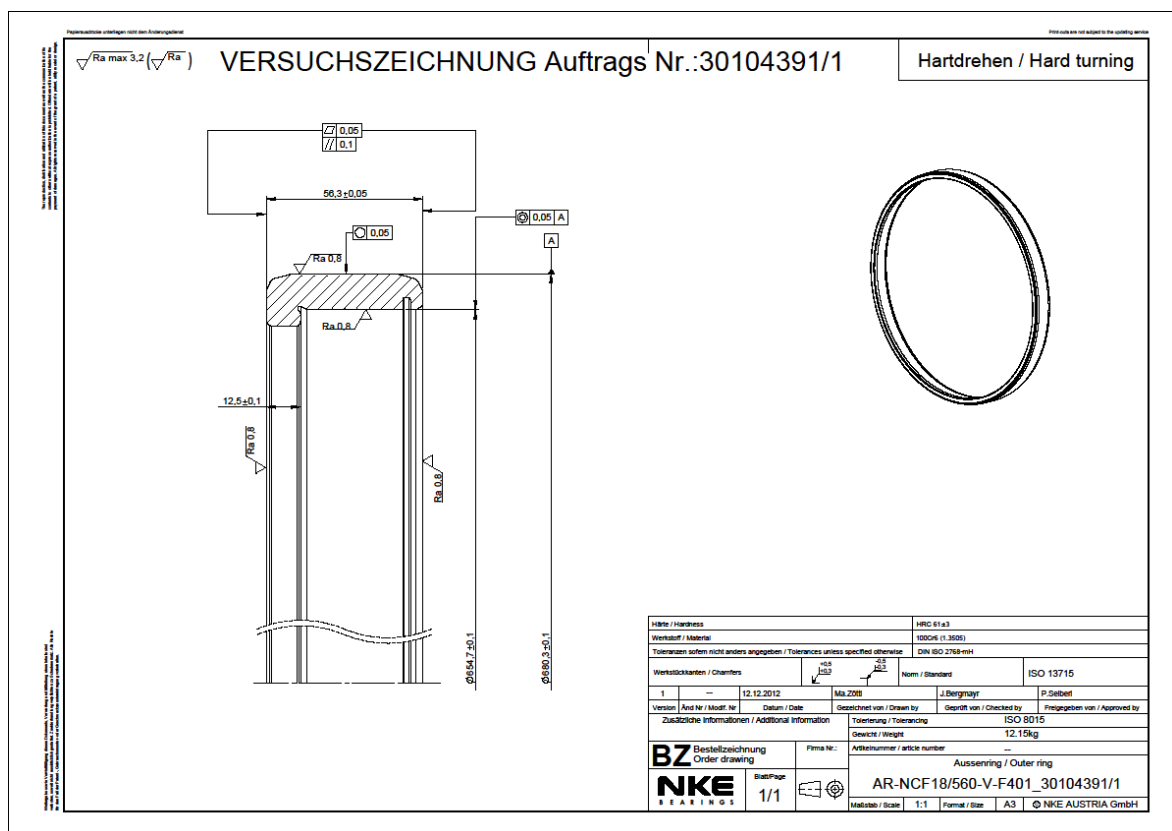


Abbildung 50: Hartdrehzeichnung mit 0,3mm Schleifaufmaß

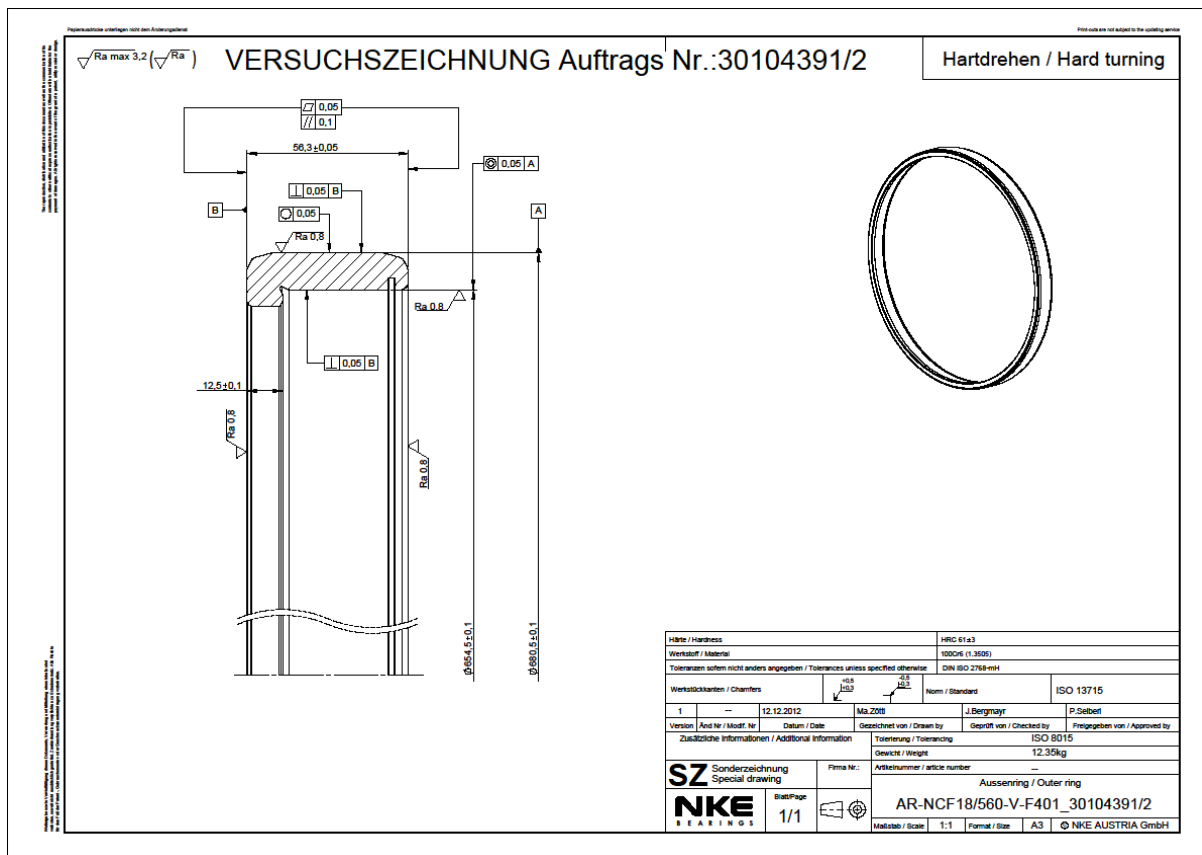


Abbildung 51: Hartdrehzeichnung mit 0,5mm Schleifaufmaß

### 6.3.1 Erkenntnisse des Hartdrehers

Versuchsaufbau und -ablauf beim Lieferant wurde wie gewünscht realisiert und mit folgenden Informationen ergänzt:

- Die Teile wurden geprazt gedreht.
- Sie wurden oft gedreht bzw. gewendet (2-4mal), damit man eine bestmögliche Planfläche erhält (Rückstände wegen zu wenig Aufmaß/Ebenheit).
- Die Laufzeit der Teile war im Schnitt 2,2 Stunden/Teil.
- Mit den Werkzeugen gab es keine Probleme.

Im Anschluss an die Hartbearbeitung wurde durch den Lieferant jeder Außenring auf der Koordinaten Messmaschine vermessen und somit die Reproduzierbarkeit des Hartdrehverfahrens trotz allen verfahrenstechnischen Nachteilen nachgewiesen. Diese Messprotokolle wurden ausgewertet und die entstandenen Mittelwerte der Abweichungen pro Merkmal (in mm), sind in den folgenden Graphiken dargestellt.

### 6.3.1.1 Messerdaten Lieferant

Diese angegebenen Messdaten bzw. Merkmale liegen bereits außerhalb der Toleranzgrenzwerte gemäß der Hartdrehzeichnung als Vorgabe und sind somit als Ist - Abweichungen zu lesen.

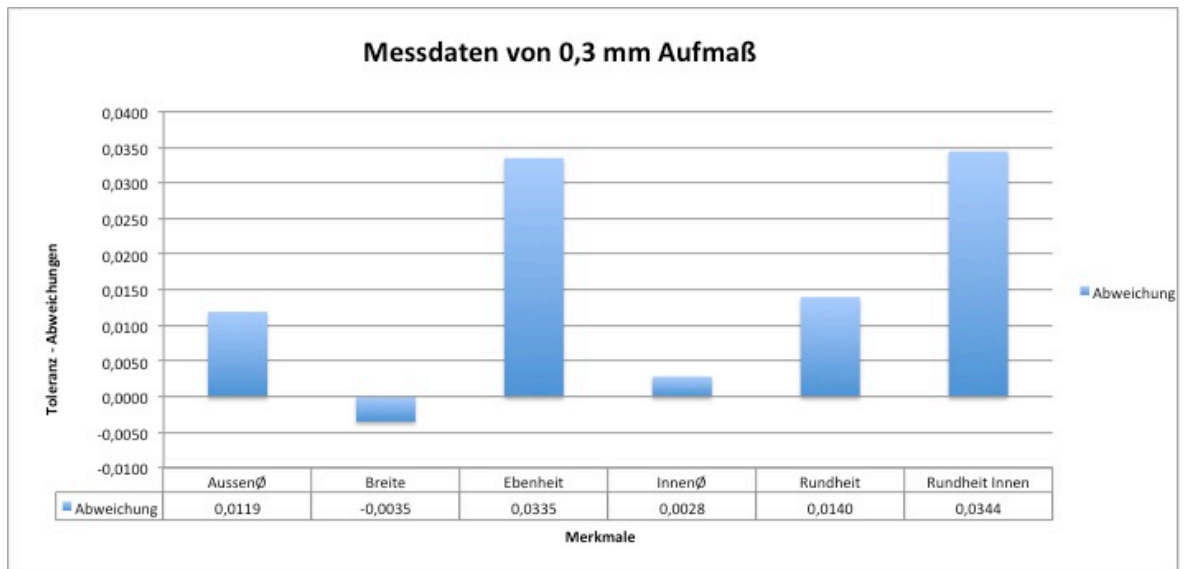


Abbildung 52: Abweichungen mit 0,3mm Aufmaß

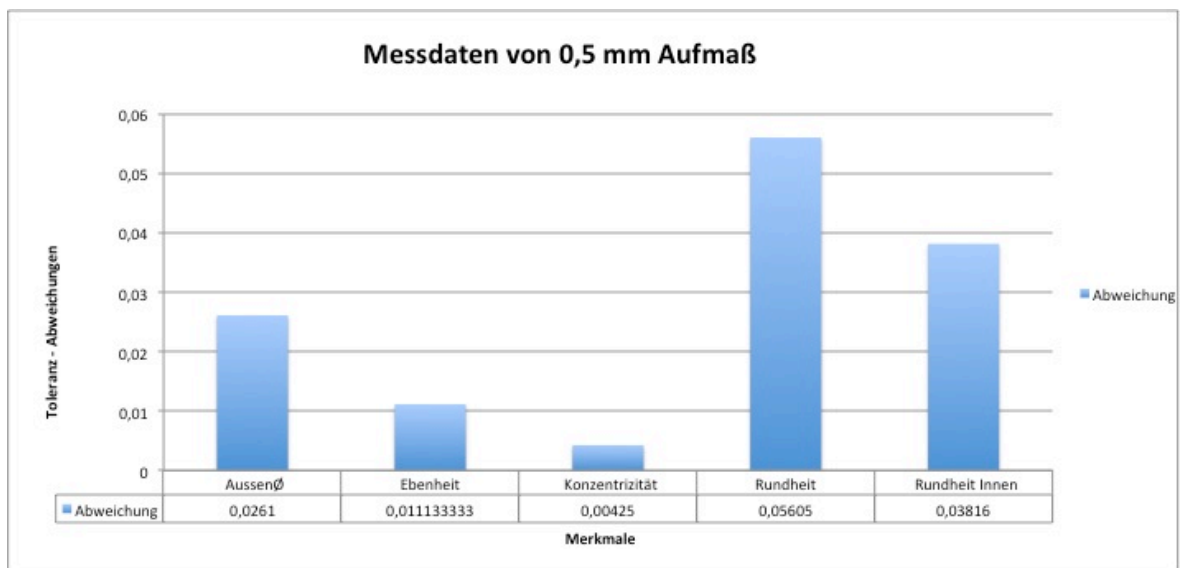


Abbildung 53: Abweichungen mit 0,5mm Aufmaß

### 6.3.1.2 Vergleich der Messdaten

Die Messdaten des Lieferanten und der Wareneingangsprüfung NKE wurden ausgewertet und gegenübergestellt. Dabei wurden Messabweichungen zwischen 10µ - 20µ festgestellt, dargestellt in den nachfolgenden Graphiken. Der Grund dafür sind Messmitteltoleranzen und schwankende bzw. unzureichend definierte Messtemperatur.

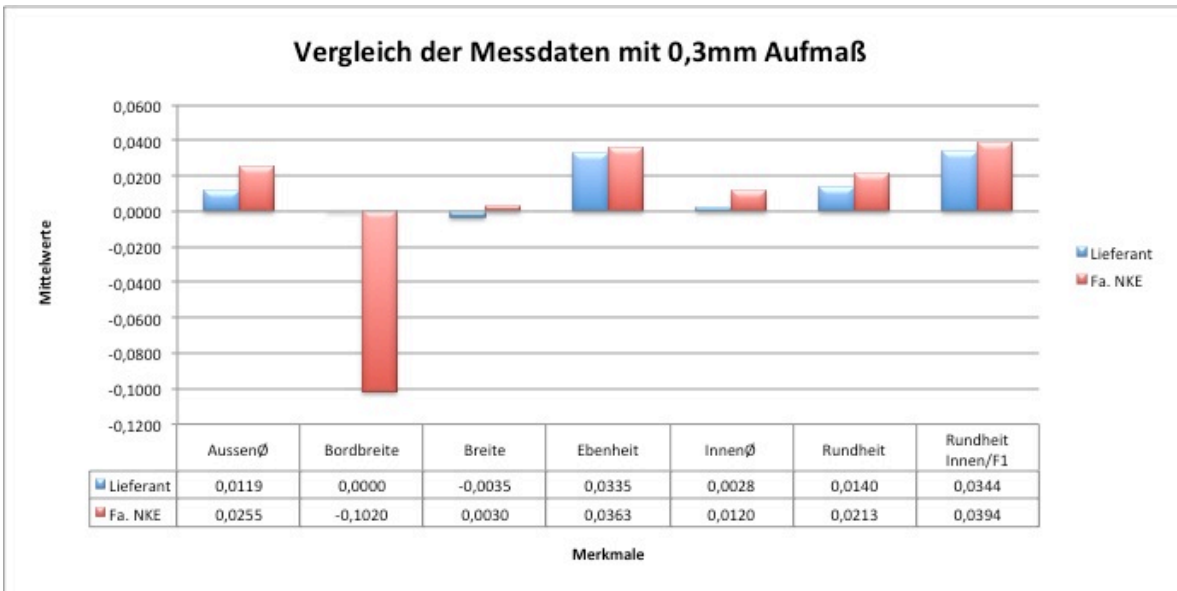


Abbildung 54: Messdatenvergleich mit 0,3mm Aufmaß

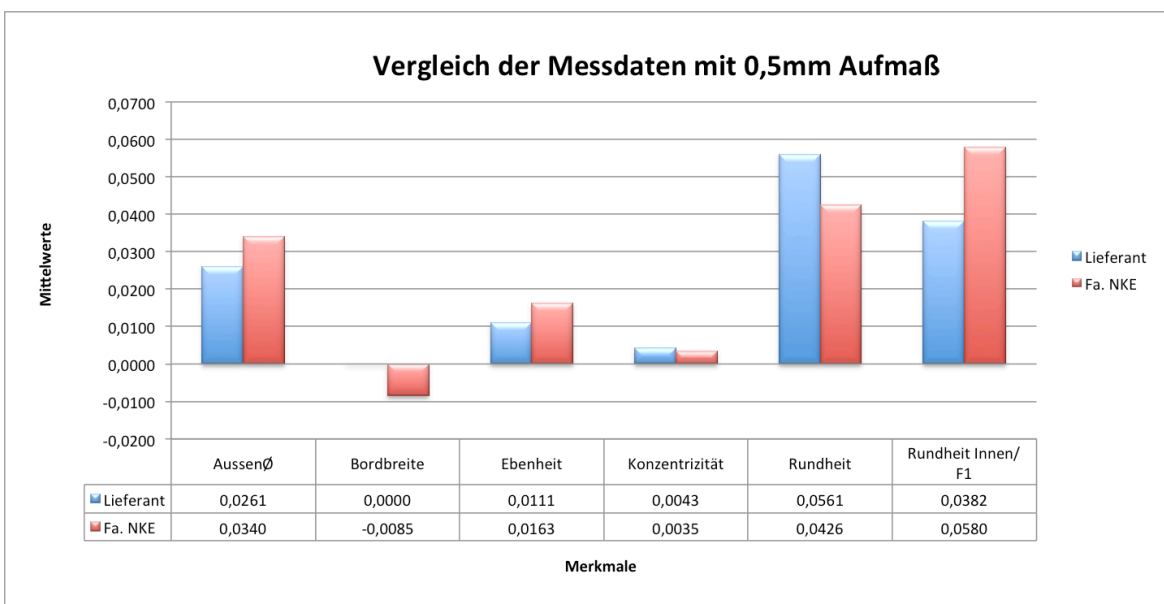


Abbildung 55: Messdatenvergleich mit 0,5mm Aufmaß



Aus den Auswertungen der Messergebnisse und dem Erfahrungsaustausch ergeben sich folgende Verbesserungen:

- Messtemperatur muss genormt bzw. definiert werden z.B.: 21°C um Messfehler durch Temperaturschwankungen auszuschließen.
- Zeichnungstoleranzen müssen angepasst werden bzgl. Rundheit und Ebenheit.
- Das Breitenmaß muss beim Rohmaterial auf 1 – 2mm pro Planseite erhöht werden, um die Reinheit und Ebenheiten der Planflächen zu gewährleisten.
- Bei weniger Schleifmaß z.B.: 0,3mm und somit mehr Abtrag beim Hartdrehen, sind die engen Toleranzen besser einzuhalten.

Im Anschluss an die externe Hartbearbeitung erfolgt das Schuh – Schleifen und Superfinishen, gemäß Kapitel 5.3.4.2 in der hauseigenen mechanischen Fertigung.

### 6.3.2 Erkenntnisse der mechanischen Fertigung

Durch diese Maßnahmen und der damit verbundenen Maßreduktion, ausgehend von 1,5 – 2mm Schleifmaß, dargestellt in Kapitel 6.2 (Ist-Situation), auf 0,3 – 0,5mm Schleifmaß, wurden folgende Verbesserungen festgestellt.

- Geringeres Schleifmaß.
- Geringe Maßschwankungen.
- Verbesserung der Maßhaltigkeit.
- Einhaltung der Form- und Lagetoleranzen.
- Weniger Schleifvorgänge sind nötig (Vorschleifen, Fertigschleifen)
- Verkürzung der Schleif- und Einstellzeiten (Schuhführung, Anteachemaße,..).
- Dadurch geringere Fertigungskosten.

In der folgenden Tabelle 14, werden die reinen Schleifzeiten (Zykluszeiten) mit minimiertem Schleifmaß je Merkmal **ohne Rüstzeiten** incl. vorgelagertem Hartdrehen dargestellt und bewertet. Die Maschinenstundensätze wurden von der Abteilung „Controlling“ ermittelt und für eine einschichtige Beschäftigung zur Verfügung gestellt.

Tabelle 14: Schleifzeiten- und kosten ohne Sicherheitsaufmaß

**Aufmaß 0,3 - 0,5 mm**

Type	Merkmal	Zykluszeit	Maschinenstundensatz	Fertigungskosten
AR- NCF18/560-V	Planschleifen	0:40:00	€ 85,00	€ 56,67
	Aussendurchmesser	0:20:00	€ 170,00	€ 226,67
	Laufbahndurchmesser	0:40:00		
	Bordschleifen	0:20:00		
	Superfinishen	0:05:00	€ 150,00	€ 12,50
<b>SUMME pro Ring</b>		<b>2:05:00</b>		<b>€ 295,83</b>

Die Summe der Fertigungskosten ergeben € 295,83,- und eine Fertigungszeit von 2 Stunden pro Außenring. Basierend auf diesen Erkenntnissen wird ein Kostenvergleich der beiden Fertigungsverfahren im nächsten Kapitel durchgeführt.

## 6.4 Kostenvergleich der Fertigungsverfahren

In diesem Punkt werden die Fertigungskosten incl. und excl. Hartdrehen gegenübergestellt. Die Rüstkosten werden für den Verfahrensvergleich nicht berücksichtigt. Die Fertigungskosten des Hartdrehens wurden aus dem letzten Angebot (Nr. 2013-10035) herangezogen.

Tabelle 15: Kostenvergleich der Fertigungsverfahren

Kostenvergleich					
Type	Merkmal	excl. Hartdrehen		incl. Hartdrehen	
		Zykluszeit	Fertigungskosten	Zykluszeit	Fertigungskosten
AR- NCF18/560- V	Hartdrehen Extern				€ 75,00
	Planschleifen	1:50:00	€ 155,83	0:40:00	€ 56,67
	Aussendurchmesser	1:15:00	€ 694,17	0:20:00	€ 226,67
	Laufbahndurchmesser	2:30:00		0:40:00	
	Bordschleifen	0:20:00		0:20:00	
	Superfinishen	0:05:00	€ 12,50	0:05:00	€ 12,50
			<b>€ 862,50</b>		<b>€ 370,83</b>

Durch das Hartdrehen wird eine Einsparung der Fertigungskosten von € 492,- pro Wälzlagering ermöglicht.

Bei einer Auftragsgröße bzw. Fertigungslosgröße von 100 Stk. (Wälzlager) ergibt dies eine Einsparung von € 98.000,- pro Auftrag oder Fertigungslos.

## 6.5 Versuchsergebnisse

Durch die implementierte Hartbearbeitung als Schruppbearbeitung vor dem Schuh - Schleifen und der damit verbundenen Minderung des Schleifabtrages, wurden folgende Ziele erreicht:

- **Die Reproduzierbarkeit des Schleifprozesses, der Einstell- und Rüstwerte, ist gewährleistet.**
- **Die Reduktion der Schleifzeit um 4 Stunden.**
- **Reduktion der Durchlaufzeiten und Lieferzeiten.**
- **Dadurch erfolgt eine Produktivitäts- und Kapazitätssteigerung der mechanischen Fertigung um 300%.**
- **Eine Reduktion der Schleifkosten von 66%.**
- **In Folge dazu, eine Reduktion der Fertigungskosten trotz Zukauf der Hartbearbeitung von € 492 pro Wälzlagering.**



## **7 Schluss**

### **7.1 Ergebnisse**

Die Hartdrehversuche als Vorbereitung für das Schleifen brachten überraschende Erkenntnisse hervor. So kann der jeweilige Ring überwiegend mit nur einer Stützscheinstellung fertig geschliffen werden, was das Fertigen in sehr engen Toleranzen möglich macht. Die Verminderung der Rüsthäufigkeit wäre ein zusätzlicher positiver Aspekt, der die Produktivität der Maschine erhöhen würde. Hartdrehen in Kombination mit reduziertem Schleifmaß ergibt auf Basis aktueller Kostensätze geringere Fertigungskosten als das auf Maß schleifen eines schwarzen Ringes. Dies obwohl der Hartdrehprozess zugekauft werden muss. Ein auf einander abgestimmtes Weich- und Hartdrehen eröffnete weitere Einsparungsmöglichkeiten. Für NKE ergeben sich daraus sowohl kaufmännische, als auch handwerkliche Vorteile.

### **7.2 Maßnahmen**

Zukünftig wird es aber auch erforderlich sein, zwischen den Fertigungsschritten zusätzliche Wärmebehandlungen vorzusehen, wie zum Beispiel das Spannungsarmglühen oder Rekristallisationsglühen. Dazu sind noch weitere Versuche geplant, um den wirtschaftlichen und den handwerklichen Nutzen, abhängig von der Ringart und Ringgröße, zu erheben.

Im Zuge dieser Diplomarbeit ist klar hervorgegangen, dass eine kombinierte Bearbeitung durch Hartdrehen und Schleifen von Wälzlagertringen, einen erheblichen betriebswirtschaftlichen Vorteil der Wälzlagerfertigung darstellt. Durch eine gezielte Anwendung beider Fertigungsverfahren wird ein Kosten- und Qualitätsoptimum erreicht.



## Literaturverzeichnis

### Monographien, Sammelwerke und sonstige selbstständige Veröffentlichungen

#### **Ackermann, J.:**

Wälzlager – Bauarten, Eigenschaften, neue Entwicklungen, Bd. 55, Verlag Moderne Industrie, 1990, S. 41

#### **Bargel, H.-J.; Schulze, G.:**

Werkstoffkunde, 10. Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2008, S. 162.

#### **Bartz, W.:**

Handbuch der Tribologie und Schmierungstechnik – Tribologie und Schmierung bei der Massivumformung, Expert Verlag, 2004, S. 1.

#### **Bartz, W.; Möller, U.:**

Expert Praxislexikon Tribologie Plus, 2010 Begriffe für Studium um Beruf, Expert Verlag, 2000, S. 19.

#### **Behr, H.; Gohlke, M.; Ahrens, W.:**

Die Wälzlager, Kugel- und Rollenlager, Verlag J. Springer, 1925, S. 25ff.

#### **Birkhofer, H.; Kümmerle, T.:**

Feststoffgeschmierte Wälzlager – Einsatz, Grundlagen und Auslegung, Springer – Verlag, Berlin/Heidelberg 2012, S. 68.

**Braess, H.-H.; Seiffert, U.:**

Vieweg Handbuch – Kraftfahrzeugtechnik, 6. Auflage, Vieweg & Teubner Verlag, Wiesbaden 2011, S. 868.

**Bozina, P.:**

Handbuch Werkzeugmaschinen, Berechnung, Auslegung, Konstruktion, Carl Hanser Verlag, München/Wien, 2006, S. 272.

**Bozina, P.:**

Berechnung von Maschinenelementen, 2. Auflage, Expert Verlag, 2002, S. 203.

**Böttcher; Forberg:**

Technisches Zeichnen, 23. Auflage, Leipzig und Beuth Verlag, 1998, S. 277.

**Böge, A.:**

Vieweg Handbuch Maschinenbau: Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 18. Auflage, Vieweg & Sohn Verlag / GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden 2007, Kapitel I, S. 154.

**Dahlke, H.:**

Handbuch Wälzlagertechnik - Bauarten, Gestaltung, Betrieb, Vieweg Teubner Verlag, 1994, S. 12.

**Dangelmaier, W.:**

Fertigungsplanung – Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2001, S. 505.



**Decker, K.-H.; Kabus, K.:**

Maschinenelemente – Funktion, Gestaltung und Berechnung, 18. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2011, S. 409.

**Degner, W.; Lutze, W.; Smejkal, E.:**

Spanende Formung – Theorie, Berechnung, Richtwerte, 13. Auflage, Carl Hanser Verlag, München/Wien 1993, S. 15.

**Denkena, B.; Tönshoff, K.-H.:**

Spanen – Grundlagen, 3. Auflage, Berlin/Heidelberg 1995, S. 213.

**Dobler, H.; Doll, W.; Fischer, U.; Günter W.; Heinzler M.; Ignatowitz E.; Vetter, R.:** Fachkunde Metall – Mechanische Technologie, 52. Auflage, FS Fachbuch, Verlag Europa-Lehrmittel, 2003, S. 376.

**FAG:**

FAG Wälzlagerkäfige – Bezeichnung, Ausführung, Werkstoff; Technische Information TI Nr. WL95-4D; 2000; S. 3.

FAG Wälzlager – Grundlagen, Bauarten, Ausführung, Technische Information TI Nr. WL43-1190D, 2002, S. 5.

**FAG Kugelfischer Georg Schäfer KGaA:**

Wälzlager auf den Wegen des technischen Fortschritts, 2. Auflage, R.Oldenbourg Verlag, München/Wien 1986, S. 7.

**Feldhuse, J.; Grote, K.-H.:**

Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Auflage 22, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1929-2007, S. 1279.

**Fritz, F.:**

Modellierung von Wälzlagern als generische Maschinenelemente einer Mehrkörpersimulation, Bd. 14, Dissertation, KIT Scientific Publishing, 2011, S. 24.

**Fronius, S.:**

Maschinenelemente – Antriebselemente, VEB Verlag, Berlin 1971.

**Frühauf, J.:**

Werkstoffe der Mikrotechnik, Carl Hanser Verlag, München/Wien 2005, S.14.

**Funke, P.:**

Honen-Verfahren, Werkzeuge, Werkzeugmaschinen, Anwendungen, Studienarbeit, 1. Auflage, GRIN Verlag, 2001, S. 1.

**Gabernig, H.:**

Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, Verlag Jugend & Volk GmbH, Wien 1999, S. 68.

**Haberhauer, H.; Bodenstern, F.:**

Maschinenelemente – Gestaltung, Berechnung, Anwendung, 16. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011, S. 310.

**Habig, K.-H.:**

Tribologisches Verhalten keramischer Werkstoffe, Grundlagen und Anwendungen, Expert Verlag, 1993, S. 87f.

**Habig, K.; Czichos, H.:**

Tribologie – Handbuch, Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik, 3. Auflage, Vieweg u. Teubner Verlag, Wiesbaden 2010, S. 1.

**Hasse, S.:**

Gießerei – Lexikon, 18. Auflage, Fachverlag Schiele & Schön GmbH, Berlin 2000, S. 457.

**Hering, E.:**

Taschenbuch für Wirtschaftsingenieure, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2009, S. 159.

**Hering, H.; Modler, K.-H.:**

Grundwissen des Ingenieurs, 14. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2007, S. 431.

**Hillebrand, D.:**

Partielles Härten von Bake-Hardening-Stahlblech mittels Diodenlaser, Herbert Utz Verlag GmbH, München 2002, S. 10.

**Hinzen, H.:**

Maschinenelemente 1, Band 1, 2. Ausgabe, Oldenbourg Verlag, 2007, S. 83.

**Hinzen, H.:**

Basiswissen Maschinenelemente, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2009, S. 185.

**Hiersig, Heinz M.:**

Lexikon Maschinenbau, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1995, S. 725.

**Hoenow, G.; Meißner, T.:**

Entwerfen und Gestalten im Maschinenbau, Bauteile – Baugruppen – Maschinen, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2007, S. 65.

**Johannides, E.; Beswick, J.-M.:**

Moderne Wälzlagertechnik, 1. Auflage, Vogel Verlag, Würzburg 1991, S. 275-277.

**Kalpakjian, S.; Schmid, S.-R.; Werner, E.:**

Werkstofftechnik – Herstellung, Verarbeitung, Fertigung, 5. Auflage, Pearson Studium, 2011, S. 222.

**Kienzle, O.:**

Begriffe und Benennungen der Fertigungsverfahren, Werkstatttechnik, Ausgabe 56, 1966, S. 170.

**Klapp, E.:**

Apparate- und Anlagentechnik: Planung, Berechnung, Bau und Betriebsstoffe, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2002, S. 547f.

**Klein, P.:**

Einführung in die DIN-Normen, 13. Auflage, B.G. Teubner Verlag, 2001, S. 270.

**Kleinlein, E.:**

Einsatz von Wälzlagern bei extremen Betriebs- und Umgebungsbedingungen, Expert Verlag, 1998, S. 50f.

**Koether, R.; Rau, W.:**

Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2008, S. 106.

**König, W.; Klocke, F.:**

Fertigungsverfahren – Drehen, Fräsen, Bohren, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2002, S. 325.

**Köttritsch, H.; Albert, M.:**

Wälzlager – Theorie und Praxis, Springer Verlag, Wien 1987, S. 1.

**Kube, D.:**

Konzeptentwicklung und Verifizierung einer Versuchseinrichtung zur werkstück- und werkzeugseitigen Temperaturmessung beim Flachsleifen, Studienarbeit, GRIN Verlag, 2003, S. 10.

**Kuhn, Erik:**

Zur Tribologie der Schmierfette, Expert Verlag, 2009, S. 7.

**Künne, B.:**

Köhler/Rögnitz – Maschinenteile 2, 10. Auflage, Vieweg & Teubner Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, 2008, S. 66.

**Künne, B.:**

Einführung in die Maschinenelemente Gestaltung – Berechnung – Konstruktion, 2. Auflage, Verlag B. G. Teubner, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001, S. 127.

**Lindenau, K.:**

Wirtschaftliche Fertigung mit Schleifen, Carl Hanser Verlag, München/Wien 2006, S. 139.

**Lurje, G. B.:**

Technologie der Wälzlagerherstellung, VEB Verlag Technik, Berlin 1953, S. 44.

**Matthes, K.-J.; Rieder, F.:**

Fügetechnik, Überblick – Löten – Kleben – Fügen durch Umformen, Carl Hanser Verlag, München/Wien 2003, S. 25.

**Milberg, J.:**

Werkzeugmaschinen – Grundlagen, Zerspanungstechnik, Dynamik, Baugruppen und Steuerungen, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 1992, S. 33.

**Moeller, E.:**

Handbuch Konstruktionswerkstoffe – Auswahl, Eigenschaften, Anwendung, Carl Hanser Verlag, München 2008, S. 173.

**Muhs, D.; Wittel H.; Jannasch D.; Voißek J.:**

Roloff / Matek – Maschinenelemente, Normung, Berechnung und Gestaltung, 17. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, Mai 2005, S. 71.

**Muhs, D.; Wittel H.; Jannasch D.; Voißek J.:**

Roloff / Matek – Maschinenelemente, Tabellen, Bd. 2, Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, Mai 2005, S. 487.

**Niemann, G.; Winter, H.; Höhn, B.-R.:**

Maschinenelemente, Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 2005, S. 194.

**NKE Austria GmbH:**

Hauptkatalog – Produktkatalog, 5. Auflage, Katalognummer 2011/10, S. 11.

Bearing College Unterlagen, Modul1, Abschnitt 1.1, S. 13.

Bearing College Unterlagen, Modul1, Abschnitt 1.2, S. 2.

Bearing College Unterlagen, Modul1, Abschnitt 1.3, S. 2.

**Oetlie, T.:**

Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieb, Bd. 216, Herbert Utz Verlag, 2008, S. 9.

**Reif, K.:**

Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, 27. Auflage, Vieweg Teubner Verlag, Wiesbaden 2011, S. 257.

**Rieg, F.; Kaczmarek, M.:**

Taschenbuch der Maschinenelemente, Verlag Carl Hanser, München/Wien, 2006, S. 479.

**Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhuse, J.; Grote, K.-H.:**

Pahl/Beitz Konstruktionslehre, Grundlagen, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 2007, S. 315.

**Palmgren, A.:**

Die Lebensdauer von Kugellagern, VDI Zeitschrift, 68. Ausgabe, April 1924, S. 339 – 341.

**Paucksch, E.; Holsten, S.; Linß, M.; Tikal, F.:**

Zerspantechnik: Prozesse, Werkzeuge, Technologien, 12. Auflage, Vieweg & Teubner Verlag, Wiesbaden 2008, S. 125.

**Reuleaux, F.:**

Über die neuen amerikanischen Rollenlager und die damit erzielten Ersparnisse an Reibung, 42. Ausgabe, 1898, S. 495.

**Risse, A.:**

Fertigungsverfahren der Mechatronik, Feinwerk- und Präzisionsgerätetechnik, Vieweg Teubner Verlag, Wiesbaden 2012, S. 183.

**Schäffler Gruppe KG:**

INA – FAG Hauptkatalog – Wälzlager, 1. überarbeitete Auflage, Oktober 2008, S. 210.

**Schlecht, B.:**

Maschinenelemente 2 - Getriebe – Verzahnung – Lagerungen, Addison-Wesley Verlag, 2010, S. 25.



**Schmid, Ch.:**

Industrielle Fertigung – Fertigungsverfahren, Mess- und Prüftechnik, 5. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel, 2011, S. 11-13.

**Schulze, G.; Fritz, H.:**

Fertigungstechnik, 9. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1994, S. 411.

**Schulze, G.:**

Die Metallurgie des Schweißens, Eisenwerkstoffe – Nichteisenmetallische Werkstoffe, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2010, S. 148.

**Schönherr, H.:**

Spanende Fertigung, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2002, S. 352.

**Seidel, W.:**

Werkstofftechnik, Werkstoffe – Eigenschaften – Prüfung – Anwendung, 7. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2007/2008, S. 124.

**SKF:**

Hauptkatalog - Produktkatalog, Katalog 4000/IV T, 1994, S. 3.

**Skerra, B.:**

Taschenbuch Molchtechnik, Vulkan-Verlag GmbH, 2003, S.42.

**Spur, G.:**

Handbuch der Fertigungstechnik – Fügen, Handbaben, Montieren, Bd. 5, Carl Hanser Verlag, München/Wien 1986, S. 5.

**Spur, G; Stöferle, Th.:**

Handbuch der Fertigungstechnik – Spanen, Bd. 3/1, Carl Hanser Verlag, München/Wien 1979, S. 17.

**Spur, G; Stöferle, Th.:**

Handbuch der Fertigungstechnik – Wärmebehandlung, Bd. 4/2, Carl Hanser Verlag, München/Wien 1987, S. 1012.

**Steinhilper, W.; Sauer B.:**

Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1985-2012, Kap. 11, S. 71.

**Stribeck, R.:**

Kugellager für beliebige Belastungen, Julius Springer Verlag, Berlin 1901, S. 51 - 74.

**Strunz, M.:**

Instandhaltung – Grundlagen, Strategien, Werkstätten, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2012, S.97.

**Tönshoff, K.-H.:**

Werkzeugmaschinen – Grundlagen, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1995, S. 9.

**Tönshoff, K.-H.:**

Processing alternatives for cost reduction, Ann. CIRO 36, 1987, S. 445-447.

**Tönshoff, H.-K.; Hoffmeister, H.-W.:**

Jahrbuch Schließen, Honen, Läppen und Polieren, Verfahren und Maschinen, 61. Ausgabe, Vulkan-Verlag GmbH, 2004, S. 137

**Vogelpohl, G.:**

Betriebssichere Gleitlager – Berechnungsverfahren für Konstruktion und Betrieb, 2. Auflage, Band 1, Springer Verlag, 1967, S. 265

**Weck, M.:**

Werkzeugmaschinen 2 – Konstruktion und Berechnung, 8. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 2006, S. 422f.

**Weinert, K.:**

Spanende Fertigung, Prozesse, Innovationen, Werkstoffe, 4. Ausgabe, Vulkan-Verlag, 2005, S. 97.

**Weißbach, W.:**

Werkstoffkunde: Strukturen, Eigenschaften, Prüfung, 16. Auflage, Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden 2007, S. 136.

**Westkämper, E.; Warnecke, H.-J.:**

Einführung in die Fertigungstechnik, 6. Auflage, N. G. Teubner Verlag, Wiesbaden 2004, S. 117.

**Wiendahl, H.-P.:**

Belastungsorientierte Fertigungssteuerung, Gabler Verlag, Wiesbaden 1992, S. 208.

**Wiesniewski, M.:**

Elastohydrodynamische Schmierung, Grundlagen und Anwendungen, Expert Verlag, 2000, S. 157.

**Wifi Österreich:**

Tribologie – Konstruktive Richtlinien zur Reibungs-, Verschleiß- und Schmiertechnik, Broschüre Nr. 277, S. 18ff.

**Witt, G.:**

Taschenbuch der Fertigungstechnik, Carl Hanser Verlag, München/Wien 2006, S. 19.

**Beiträge in Zeitschriften, Zeitungen, Broschüren und Präsentationen****ATZ:**

Automobiltechnische Zeitschrift, Bd. 75, Verlag Frank, 1973, S. 284.

**Fa. Böhlerstahl:**

Praxisservice, Erfolgreiche Edelstahlverarbeitung, Definition Stahl und Grundlagen der Wärmebehandlung, S. 27.

**Die Presse:**

„Wenn es nicht wie geschmiert läuft: Im Kampf gegen die Reibung“,  
Zeitungsartikel, 16.12.2008.

**Die Presse:**

„Damit alles wie geschmiert läuft“, Zeitungsartikel, 31.10.2009.

**FVA Forschungsheft:**

Profilschleifen, Profilschleifen von einsatzgehärteten Zylinderrädern,  
Forschungsvorhaben Nr. 81, Heft Nr. 189, Forschungsvereinigung  
Antriebstechnik, Frankfurt/Main, 1985, S. 13.

**FVA Praxisbericht:**

Praxisbericht 1: Hartdrehen, Forschungsvereinigung Antriebstechnik,  
Frankfurt/Main, S. 2.

**Kammer der Technik:**

Die Technik, Band 11, Verlag Technik, 1956, S. 649.

**Fa. SNR:**

Broschüre: Wälzlagertechnologie, S. 43.

**Fa. Stahl:**

Wärmebehandlung von Stahl – Härten, Anlassen, Vergüten, Bainitisieren,  
Merkblatt 450, S. 5.

**Fa. Tyrolit:**

Präsentation – Schleifverfahren, Trainings Department, S. 7.

**Fa. Tyrolit:**

Präsentation – Abrichten von Schleifwerkzeugen, Trainings Department, S. 3.

**Fa. NSK Motion & Control:**

Wälzlager für Industriegetriebe: damit die Kraft gut überkommt,  
Produktbroschüre, S. 9.

**VDI - Bericht:**

Gleit- und Wälzlagerungen, Nr. 1706, S. 13.

**Zeitschrift – Antriebstechnik:**

Sonderausgabe – Die gesamte Antriebstechnik in 100 Tabellen, Nr. ZL 4000,  
A636-11, SH, 2012, S. 156.

**Normen****DIN 623-1:1993-05:**

Wälzlager; Grundlagen; Bezeichnung, Kennzeichnung

**DIN 8580: 2003-09:**

Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung, Ausgabe 2003-09.

**ISO/R 281 – 1962**

Rolling bearings: Methods of evaluating dynamic load ratings.

**ISO 281/1 – 1977**

Rolling bearings: Dynamic load ratings and rating life – Part 1: Calculation methods.

**GfT Arbeitsblatt 7**

Tribologie - Definition, Begriffe, Prüfung, S. 3.

**Sonstige Quellen und Informationsmaterial****FAG – INA:**

Kleine Wälzlagerkunde, online im Internet: <http://www.fag-ina.at/explorer/download/waelzlager/KleineWaelzlagerkunde.pdf>

**Zinkner, Martin:**

Die Einleitung einer Wissenschaftlichen Arbeit, 2009, online im Internet: <http://www.studieren.at/articles/442/1/Die-Einleitung-einer-wissenschaftlichen-Arbeit/Seite1.html>.

Der Schluss einer Wissenschaftlichen Arbeit, 2009, online im Internet: <http://www.studieren.at/articles/493/1/Der-Schluss-einer-wissenschaftlichen-Arbeit/Seite1.html>.





## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ernsthofen, den 13.07.2013

Patrick Kaltenböck