

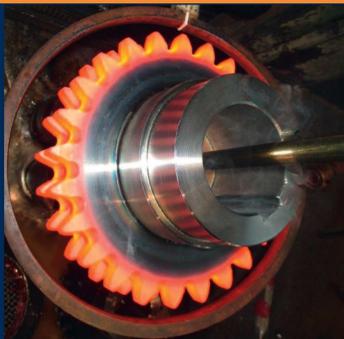
Horst Gießmann

# Wärmebehandlung von Verzahnungsteilen

Effektive Technologien  
und geeignete Werkstoffe

3., durchgesehene Auflage

Mit 50 Bildern und 28 Tabellen



Horst Gießmann

Wärmebehandlung  
von Verzahnungsteilen



# Wärmebehandlung von Verzahnungsteilen

Effektive Technologien und geeignete Werkstoffe

Dipl.-Ing. (FH) Horst Gießmann

3., durchgesehene Auflage

Mit 50 Bildern und 28 Tabellen

### **Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://www.dnb.de> abrufbar.

### **Bibliographic Information published by Die Deutsche Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available on the internet at <http://www.dnb.de>

**I S B N 9 7 8 - 3 - 8 1 6 9 - 3 3 6 0 - 1**

3., durchgesehene Auflage 2017  
2., neu bearbeitete Auflage 2010  
1. Auflage 2005

Bei der Erstellung des Buches wurde mit großer Sorgfalt vorgegangen; trotzdem lassen sich Fehler nie vollständig ausschließen. Verlag und Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.  
Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler sind Verlag und Autoren dankbar.

© 2005 by expert verlag, Wankelstr. 13, D-71272 Renningen  
Tel.: +49 (0) 71 59-92 65-0, Fax: +49 (0) 71 59-92 65-20  
E-Mail: [expert@expertverlag.de](mailto:expert@expertverlag.de), Internet: [www.expertverlag.de](http://www.expertverlag.de)  
Alle Rechte vorbehalten  
Printed in Germany

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

# Vorwort

---

Getriebe besitzen einen sehr hohen wirtschaftlichen Stellenwert. Heute werden sehr viele Arten von Getrieben in unterschiedlichsten Größen hergestellt und eingesetzt. Sie übertragen Kräfte und Bewegungen in Maschinen und Anlagen aller Art (z.B. in Werkzeugmaschinen, Fahrzeugen, Verpackungsmaschinen, Kraftwerken und Robotern). Neben der hydraulischen und elektrischen Leistungsübertragung besitzt besonders die Mechanik nach wie vor eine besonders große ökonomische Bedeutung.

Mechanische Getriebe (Zahnrad- und Umschlingungsgetriebe) bestehen aus Verzahnungsteilen wie Stirnrädern, Kegelrädern, Schnecken und Kettenrädern, deren Funktionalität sehr stark von der Bauteilform und Festigkeitseigenschaften abhängt. Unter Betriebsbedingungen werden Verzahnungsteile teilweise hohen Beanspruchungen ausgesetzt. Trifft man bei der Herstellung solcher Bauteile nicht die entsprechenden Vorkehrungen, rufen diese Beanspruchungen starken Verschleiß oder Brüche hervor. In einem Getriebe führt dies letztlich zum Funktionsausfall, was wiederum in der Regel gleichbedeutend mit dem Stillstand der Gesamtanlage ist. Dadurch können enorme Unkosten entstehen, die es zu vermeiden gilt.

Die in Deutschland durch Verschleiß an metallischen Werkstoffen verursachten Schäden werden auf mehrere Milliarden Euro pro Jahr geschätzt. Entsprechend hohen Stellenwert besitzen Verschleißschutzmaßnahmen bei Herstellung von so wichtigen Maschinenbaugruppen wie Getrieben. Aufgrund der Beanspruchungen, denen sie ausgesetzt werden, sind Verzahnungsteile besonders gefährdete Komponenten. Der Anteil von Zahnradschäden an Getriebeausfällen liegt nach Untersuchungen der Getriebehersteller und der Versicherungswirtschaft je nach Getriebeart zwischen 30 und 60 % [1].

Deshalb verwendet man für höher belastete Verzahnungsteile vorwiegend Stähle und Gusswerkstoffe und optimiert deren Eigenschaften durch Wärmebehandlung.

Auf der Basis einer richtigen Auswahl von Werkstoffen und Härteverfahren wird es möglich, die Tragfähigkeit von Verzahnungen sowie andere Bauteileigenschaften durch Wärmebehandlung erheblich zu verbessern. Diese neu erzeugte Bauteilqualität bildet neben anderen wichtigen Faktoren (z. B. konstruktive Gestaltung, Dimensionierung, Schmierung und Oberflächenqualität) die Grundlage für eine hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer von mechanischen Getrieben. Ein weiterer sehr wichtiger Aspekt besteht darin, dass Werkstoff, Wärmebehandlung und Gesamttechnologie eine sinnvolle Einheit bilden müssen, um die Herstellungskosten wettbewerbsfähig zu halten.

Ziel des Buches ist es, in allgemeinverständlicher Form einen Überblick über geeignete Stahl- und Gussorten sowie über die Härteverfahren zu geben, die gegenwärtig bei der Herstellung von Verzahnungsteilen eine Rolle spielen. Ebenso wird dargestellt, wie die jeweiligen Wärmebehandlungen in den Fertigungsprozess eingebettet werden können, um optimale technische und ökonomische Ergebnisse zu ermöglichen. Als wichtige Problematik stellt sich in

diesem Zusammenhang die Minimierung von Maß- und Formänderungen dar, die im Zuge der jeweiligen Härteprozesse auftreten können.

Die Wärmebehandlung verzeichnete als ein Spezialgebiet innerhalb des Maschinenbaus in den letzten Jahrzehnten eine rasante technische Weiterentwicklung. Triebkräfte dieser Entwicklung waren und sind in erster Linie der Druck zur Rationalisierung der Fertigungsprozesse sowie ständig steigende Anforderungen im Bereich des Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzes. Das relativ hohe Einsparungspotential in den Bereichen Hartbearbeitungs- und Wärmebehandlungskosten führte zu vielen effektiven Anlagenkonzepten und härtetechnischen Verfahrensvarianten, die teilweise für ganz spezielle Problemstellungen entwickelt wurden. Aufgrund der entstandenen Vielfalt ist es heute weit schwieriger, das Angebot an Härteanlagen und -technologien zu überblicken.

Neben den in der EN 10052 [9] verankerten Fachbegriffen kursiert auch eine Vielzahl von Bezeichnungen, die über das Patentrecht entstanden sind. Alle diese Härtemethoden im Detail zu kennen, zu unterscheiden und zu bewerten, ist selbst für Härtereispezialisten kaum noch möglich.

Entsprechend schwer dürfte es deshalb härtetechnischen Laien fallen, bei der Auswahl geeigneter Werkstoffe und Härteverfahren die jeweiligen Vor- und Nachteile sicher abzuwägen und eventuelle Auswirkungen auf die Fertigung einzuschätzen. Das Buch soll insbesondere denen helfen, die sich im Rahmen ihrer Tätigkeit oder aus purem technischem Interesse einen Überblick über die Thematik verschaffen wollen.

Das Hauptanliegen des Autors besteht darin aufzuzeigen, welche Möglichkeiten und Wege Werkstofftechnik und moderne Wärmebehandlung bei der Herstellung von Verzahnungsteilen bieten. Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren werden ebenso erläutert wie die erforderlichen Rahmenbedingungen, die für die sinnvolle Anwendung der jeweiligen Härteverfahren zu beachten sind. Ausführungen zu gültigen Normen und Darstellungen von konstruktiven Forderungen in der Zeichnung sind als Hilfestellung bei der Bewältigung konkreter praktischer Aufgaben gedacht.

Das durchschnittliche technische Niveau der Wärmebehandlungsbetriebe erlebte in den letzten Jahrzehnten eine sehr stürmische, positive Entwicklung. Dieses Niveau wurde durch Spitzenleistungen von Anlagenherstellern und Anwendern möglich, nachdem viele großartige Wissenschaftler durch entsprechende Grundlagenforschungen hierfür die Basis geschaffen hatten. Für die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Praxis sind hohes Engagement und Risikobereitschaft seitens Industrie erforderlich, um neue Technologien technisch sicher und ökonomisch tragfähig zu gestalten. Hierbei leisten besonders mittelständische Firmen sehr wichtige Beiträge. Eine praxisorientierte Darstellung des technologischen Spitzenniveaus in der Härtetechnik kann deshalb nur anhand von Beispielen aus der Industrie erfolgen, deren Auswahl ausschließlich unter fachlichen Gesichtspunkten erfolgte.

Die Wärmebehandlung von Verzahnungsteilen stellt vielfach besonders hohe Anforderungen an das Equipment der Härterei und die Fachkenntnis der Ausführenden. Verschärfte Wettbewerbsbedingungen, denen auch Ofenhersteller und Wärmebehandlungsbetriebe unterliegen, gestatten keinen Stillstand. Als Folge dessen kann man heute eine große Anzahl leistungsfähiger Anbieter verzeichnen, die mit neuen Entwicklungen auf den Markt drängen bzw. das hohe Niveau in der Branche prägen.

Bei der Behandlung des Themas „Wärmebehandlung von Verzahnungsteilen“ sollen die gegenwärtige industrielle Praxis und zukunftssträchtige Entwicklungstrends dargestellt werden.

Hierfür stellten freundlicherweise einige renommierte Anlagenhersteller und Härterei-Betriebe Informations- und Bildmaterial zur Verfügung.

Besonderer Dank für ihre Unterstützung gilt den Firmen

Carl Gommann KG, Remscheid  
Ipsen International GmbH, Kleve  
Lohnhärterei Harms GmbH & Co. KG, Magdeburg  
EFD Induction GmbH, Freiburg / Brsg.  
EFD Lohnhärterei Fritz Düsseldorf GmbH, Freiburg / Brsg.  
Eldec Schwenk Induction GmbH, Dornstetten  
Oerlikon Balzers Coating Germany GmbH, Bingen  
Fiand Automatisierungstechnik, Freiburg / Brsg.  
HSN Härteservice Naumann GbR, Neuwied

Es besteht nicht die Absicht, mit diesem Buch Werbung für bestimmten Firmen oder Verfahren zu betreiben. Deshalb soll nicht unerwähnt bleiben, dass es noch eine Vielzahl anderer Anbieter gibt, die auf dem gleichen Niveau arbeiten und wichtige Beiträge leisten.

Im Dezember 2016

Horst Gießmann

# Inhaltsverzeichnis

---

## Vorwort

<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Arten von Verzahnungsteilen</b> .....	<b>3</b>
1.1 Aufgabe von Verzahnungen und Zahnradgetrieben .....	3
1.2 Unterscheidungsmerkmale von Verzahnungsteilen .....	3
<b>2 Beanspruchung, Bauteileigenschaften und Verschleißschutzschichten</b> .....	<b>5</b>
2.1 Beanspruchungen und Verschleiß .....	5
2.2 Verschleißschutzschichten und Dauerfestigkeit .....	8
<b>3 Werkstoffe und Härteverfahren für Verzahnungsteile</b> .....	<b>12</b>
3.1 Werkstoffe .....	12
3.2 Härteverfahren .....	13
3.2.1 Thermochemische Härteverfahren .....	15
3.2.2 Thermische Härteverfahren .....	16
<b>4 Maß- und Formänderungen</b> .....	<b>18</b>
4.1 Eigenspannungen, Lastspannungen und Verzug .....	18
4.2 Systematik der Maß- und Formänderungen .....	20
4.3 Praktische Möglichkeiten der Einflussnahme .....	21
4.3.1 Konstruktion .....	21
4.3.2 Fertigung bis zum Arbeitsgang Härten .....	22
4.3.3 Wärmebehandlung .....	24
4.3.3.1 Transport, Chargieren und Handling .....	24
4.3.3.2 Klassische Härteprozesse (Wärmebehandlung in Industrieöfen) .....	25
4.3.3.3 Thermische Randschichthärteverfahren .....	30
4.3.3.4 Anlassen .....	31
<b>5 Einsatzhärten</b> .....	<b>32</b>
5.1 Allgemeine Verfahrensbeschreibung .....	32
5.2 Werkstoffauswahl .....	38

5.3	Anlagentechnik und technologische Varianten.....	40
5.3.1	Aufkohlungs- und Härtetechnologien.....	40
5.3.2	Abschreckvorgang.....	49
5.3.3	Waschen.....	52
5.3.4	Tiefkühlen zur Restaustenit-Umwandlung.....	53
5.3.5	Anlassen.....	54
5.4	Praktische Möglichkeiten und Toleranzen.....	54
5.5	Härteprüfung.....	59
5.5.1	Prüfung der Oberflächenhärte.....	59
5.5.2	Härteverlauf.....	62
5.6	Beispiele für praxismgerechte konstruktive Forderungen an einsatzgehärtete Verzahnungsteile.....	64
5.6.1	Allseitige Einsatzhärtung.....	64
5.6.2	Einsatzhärtung mit partiell unterschiedlichen Anforderungen.....	66
5.6.3	Partielle Einsatzhärtung in mehreren Varianten.....	68
5.6.4	Separate Darstellung der Aufkohlung in der Zeichnung.....	73
<b>6</b>	<b>Carbonitrieren.....</b>	<b>74</b>
6.1	Allgemeine Verfahrensbeschreibung.....	74
6.2	Werkstoffauswahl.....	76
6.3	Anlagentechnik und technologische Varianten.....	76
6.4	Praktische Möglichkeiten und Toleranzen.....	77
<b>7</b>	<b>Aufkohlen mit anschließendem Randschichthärten.....</b>	<b>78</b>
7.1	Allgemeine Verfahrensbeschreibung und mögliche technologische Varianten.....	78
7.2	Werkstoffauswahl.....	80
7.3	Anlagentechnik.....	80
7.4	Praktische Möglichkeiten und Toleranzen.....	81
<b>8</b>	<b>Nitrieren.....</b>	<b>82</b>
8.1	Allgemeine Verfahrensbeschreibung.....	82
8.1.1	Vorbehandlungsprozesse.....	84
8.1.2	Vorbereitung der Werkstücke auf den Nitrierprozess.....	86
8.1.3	Partielles Nitrieren.....	86
8.1.4	Chargierung.....	87
8.1.5	Nachbearbeitung nitrierter Bauteile.....	87
8.2	Werkstoffauswahl.....	87
8.3	Anlagentechnik und technologische Varianten.....	91
8.3.1	Gasnitrieren.....	91
8.3.2	Plasmanitrieren.....	96

8.4	Toleranzen und praktische Möglichkeiten .....	99
8.4.1	Allseitige Nitrierung .....	99
8.4.2	Örtlich begrenzte Nitrierung .....	99
8.5	Anwendungsbereich bei Verzahnungsteilen.....	100
<b>9</b>	<b>Nitrocarburieren .....</b>	<b>103</b>
9.1	Allgemeine Verfahrensbeschreibung .....	103
9.2	Werkstoffauswahl.....	104
9.3	Anlagentechnik und technologische Varianten.....	105
9.3.1	Gasnitrocarburieren .....	105
9.3.2	Plasmanitrocarburieren.....	106
9.3.3	Nachoxidieren nach dem Nitrocarburieren im Gas oder im Plasma.....	106
9.3.4	Salzbadnitrocarburieren.....	107
9.4	Toleranzen und praktische Möglichkeiten .....	108
9.4.1	Allseitige Nitrocarburierung.....	109
9.4.2	Örtlich begrenzte Nitrocarburierung.....	109
9.5	Anwendungsbereich bei Verzahnungsteilen.....	109
<b>10</b>	<b>Borieren .....</b>	<b>111</b>
10.1	Allgemeine Verfahrensbeschreibung .....	111
10.2	Werkstoffauswahl.....	112
10.3	Anlagentechnik und Technologie.....	112
10.3.1	Anlagentechnik .....	112
10.3.2	Technologie .....	113
10.4	Maßverhalten .....	115
10.5	Zeichnungsangaben .....	115
<b>11</b>	<b>Beschichten von Zahnrädern.....</b>	<b>116</b>
<b>12</b>	<b>Induktionshärten .....</b>	<b>120</b>
12.1	Allgemeine Verfahrensbeschreibung .....	120
12.2	Werkstoffauswahl.....	129
12.3	Anlagentechnik und technologische Varianten.....	130
12.3.1	Anlagentechnik .....	130
12.3.2	Darstellung und Anwendungsbereiche der vier Härtetechnologien.....	132
12.4	Induktionshärten von Zahnstangen.....	147
12.4.1	Einzelzahnhärtung von Zahnstangen mit großem Modul .....	147
12.4.2	Allzahnhärtung von Zahnstangen mit kleinem Modul .....	148

12.4.3	Induktives Anlassen allzahngehärteter Zahnstangen .....	150
12.4.4	Konventionelles Anlassen von Zahnstangen .....	150
12.5	Darstellung in der Zeichnung .....	151
12.5.1	Allzahnhärtung (Durchhärtung der Zähne bis unter Zahngrund) ...	151
12.5.2	Einzel-Zahnflankenhärtung .....	152
12.5.3	Einzel-Zahnlückenhärtung .....	152
12.5.4	Konturengetreues Härten.....	153
<b>13</b>	<b>Flammhärten.....</b>	<b>154</b>
13.1	Allgemeine Verfahrensbeschreibung .....	154
13.2	Werkstoffauswahl.....	154
13.3	Darstellung in der Zeichnung .....	154
<b>14</b>	<b>Anzustrebende Wärmebehandlungsergebnisse .....</b>	<b>155</b>
14.1	Optimale Oberflächenhärte .....	155
14.2	Härtetiefe randschichtgehärteter Zahnräder.....	157
14.2.1	Härtetiefe einsatzgehärteter und gehärteter Zahnräder .....	157
14.2.2	Schichtdicke an nitrierten Zahnrädern .....	158
<b>15</b>	<b>Einsatzgebiete von Werkstoffen und Härteverfahren für Verzahnungsteile.....</b>	<b>159</b>
<b>16</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>160</b>
<b>17</b>	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>164</b>



# Einleitung

---

Alle aus Stahl oder Guss hergestellten Erzeugnisse werden im Laufe ihrer Herstellung und Instandhaltung mehrfach Temperaturänderungen ausgesetzt. Schon im Altertum wurde erkannt, dass damit Eigenschaftsänderungen entstehen, die praktisch genutzt werden können. Man begann gezielt mit der Erzeugung von günstigen bzw. beanspruchungsgerechten Werkstoffzuständen. Somit bildeten sich Wärmebehandlungstechnologien als eigenständige Fertigungsprozessstufen heraus.

Seit dem Beginn des Industriezeitalters sind die Anforderungen an die Qualität und Wirtschaftlichkeit von Maschinenbauteilen ständig schneller gestiegen.

Durch die enge Verbindung von Wissenschaft und Technik liegen heute auf den Gebieten Werkstoffkunde, Verschleißverhalten und Wärmebehandlung umfangreiche theoretische Kenntnisse und praktische Erfahrungen vor.

Damit wurden die Grundlagen geschaffen, die es gestatten, das Festigkeits- und Verschleißverhalten von Bauteilen relativ exakt einzuschätzen. Bei der Auslegung von Bauteilen kalkuliert man heute auf dieser Basis die technisch machbaren Werkstoffeigenschaften weit stärker und exakter ein, als man dies vor 50 Jahren konnte.

Daraus resultierend ergibt sich die ständig steigende Bedeutung der Wärmebehandlung für die Funktionalität und Lebensdauer von Bauteilen.

Wärmebehandlungen werden durchgeführt, um

- den Materialeinsatz verringern zu können
- bestmögliche Werkstoffeigenschaften für die weitere Bearbeitbarkeit einzustellen
- den Bearbeitungsaufwand zu minimieren
- die erforderlichen Bauteileigenschaften für den jeweiligen Verwendungszweck herzustellen
- Bauteile möglichst klein dimensionieren zu können

Es ist für jedes Unternehmen wichtig, ökonomische Verluste durch Fehlplanungen, Ausschuss und Nacharbeit bestmöglich zu reduzieren, um die ohnehin meist schmalen Gewinnmargen zu sichern. Größere Reklamationen, Rückholaktionen oder Unfälle durch Produktfehler können die Existenz einer Firma gefährden.

Deshalb ist es unerlässlich, dass jeder Konstrukteur, jeder Fertigungsplaner und ebenso jeder Qualitätskontrolleur auf ausreichende Kenntnisse über Werkstoffe und Wärmebehandlungstechnologien zurückgreifen kann.

Ebenso steigen die Anforderungen an die Wärmebehandlungsspezialisten ständig.

Ein besonders schwieriges Gebiet innerhalb des Maschinenbaus stellt der Getriebebau dar.

Die Herstellung qualitativ hochwertiger Verzahnungsteile ist gekennzeichnet von äußerst anspruchsvollen Technologien und dokumentiert auf hervorragende Weise die Leistungsfähigkeit des Maschinenbaus.

Nachfolgende Ausführungen sollen einen Überblick zu folgenden Themen geben:

- ◆ Überblick über Verzahnungsteile und geeignete Wärmebehandlungsverfahren
- ◆ Beanspruchungen und Verschleißformen an Verzahnungen
- ◆ Zusammenhänge zwischen Werkstoff, Wärmebehandlung und Maßverhalten
- ◆ Werkstoffauswahl für die unterschiedlichen Härteverfahren
- ◆ Wärmebehandlungsverfahren für Verzahnungen und erreichbare Ergebnisse
- ◆ sinnvolle konstruktive Wärmebehandlungsforderungen und normgerechte Zeichnungsangaben als Grundlage für eine fachgerechte Wärmebehandlung

# 1 Arten von Verzahnungsteilen

---

## 1.1 Aufgabe von Verzahnungen und Zahnradgetrieben

Zahnräder dienen zur zwangsläufigen und schlupffreien Kraft- und Bewegungsübertragung von einer Welle auf eine andere. Dabei greifen die Zähne des Antriebsrades formschlüssig in die Zähne des Abtriebsrades ein. Das Übersetzungsverhältnis legt man durch Wahl der Zähnezahlen auf An- und Abtriebswelle fest. Dadurch werden Drehzahl und Drehmoment der Abtriebswelle bestimmt. Die Größe der Zahnräder entscheidet über den möglichen Achsabstand der Wellen, da eine Berührung der Zahnräder an ihren Teilkreisen erforderlich ist, um eine einwandfreie Übertragung zu ermöglichen [2].

## 1.2 Unterscheidungsmerkmale von Verzahnungsteilen

- ◆ *Zahnradmaße*: Teilung, Teilkreisdurchmesser, Zähnezahl, Modul
- ◆ *Verzahnungsarten (nach der Flankenform)*: Zykloide, Evolvente
- ◆ *Zahnradarten*:

*Bei parallelen Achsen:*

- a) Kombinationen von Stirnrädern mit Außen- oder Innenverzahnung übertragen Drehmomente.
- b) Eine Kombination von Stirnrad und Zahnstange wandelt eine Drehbewegung in eine geradlinige Bewegung um.

*Bei Achsen, die sich in einem Punkt schneiden:*  
Kegelräder mit Gerad- oder Schrägverzahnung

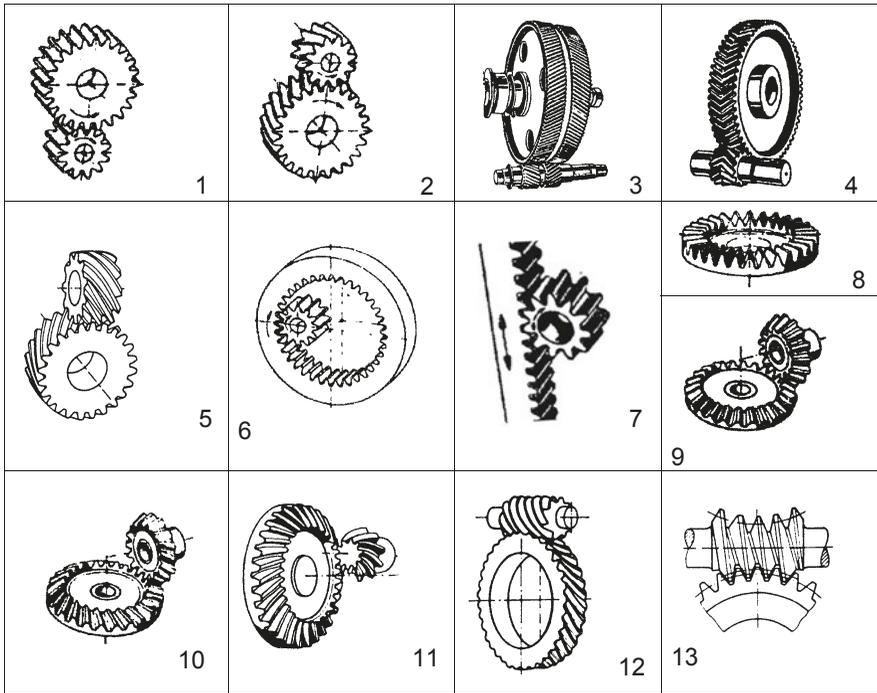
*Bei sich kreuzenden Achsen:*

Drehmomentübertragung mittels

- Hypoidgetriebe (Kegelräder mit bogenförmigen Zähnen)
- Schraubenräder
- Schnecke und Schneckenrad

- ◆ *Nach der Richtung der Flankenlinie:*

<i>Stirnräder</i>	<i>Kegelräder</i>	<i>Schneckengetriebe</i>
Geradverzahnung	Geradverzahnung	eingängig
Schrägverzahnung	Schrägverzahnung	mehrgängig
Pfeilverzahnung	Hypoidverzahnung	



- 1 Stirradgetriebe mit Geradverzahnung
- 2 Stirradgetriebe mit Schrägverzahnung
- 3 Stirradgetriebe mit Doppelschrägverzahnung
- 4 Stirradgetriebe mit Pfeilverzahnung
- 5 Schraubenradgetriebe
- 6 Innenradpaar
- 7 Zahnstangengetriebe
- 8 Kegelpfanrad
- 9 Kegelradgetriebe mit Geradverzahnung
- 10 Kegelradgetriebe mit Schrägverzahnung
- 11 Kegelradgetriebe mit Hypoidverzahnung
- 12 Zylinderschneckengetriebe
- 13 Globoidschneckengetriebe

*Bild 1:* Verschiedene Zahnradgetriebe

## 2 Beanspruchung, Bauteileigenschaften und Verschleißschichten

---

Wie unter Pkt. 1 dargestellt wurde, beinhaltet der Oberbegriff „Verzahnungsteil“ ein breites Spektrum unterschiedlichster Teiletypen und Bauformen.

Die Bauteilgrößen reichen von wenigen Millimetern bis zu mehreren Metern Durchmesser.

Entsprechend unterschiedlich können die Anforderungen bzgl. der Größe der zu übertragenden Kräfte oder hinsichtlich der Präzision der Bewegungsübertragung sein. Die unterschiedlichen Gestaltungsformen wurden entwickelt, um ganz bestimmte Übertragungsaufgaben von speziell dafür ausgelegten Getrieben optimal lösen zu können. Um jede dieser Bauformen kostengünstig herstellen und danach über eine lange Einsatzzeit hinweg deren volle Funktionsfähigkeit garantieren zu können, bedarf es vieler richtiger Entscheidungen im Rahmen von Konstruktion und Arbeitsvorbereitung. Für die dauerhafte Funktionsfähigkeit benötigt eine Verzahnung neben der optimalen geometrischen Form ganz bestimmte spezifische Eigenschaften.

Diese Bauteileigenschaften sind als Systemverhalten von speziellen Werkstoffeigenschaften, der Konstruktion und der Fertigung abhängig [3]. Der Erzeugung und Veränderung von Bauteileigenschaften sind jedoch naturwissenschaftliche und fertigungstechnische Grenzen gesetzt. Die Zielsetzung besteht deshalb darin, innerhalb dieser Grenzen das optimale technische Ergebnis bei minimalen Kosten zu erzielen.

Eine entscheidende Grundlage dafür bildet die richtige Werkstoffauswahl.

Kriterien bei der Festlegung des Werkstoffes sind:

- erreichbare Tragfähigkeiten gegen die verschiedenen Beanspruchungen
- Material- und Bearbeitungskosten
- Bearbeitbarkeit (Gesamtprozess)
- Geräuschverhalten

### 2.1 Beanspruchungen und Verschleiß

Bei einem Zahnradgetriebe wird der Zahn einer Zahnkraft ausgesetzt, die an der Zahnflanke ansetzt. Diese Zahnkraft erzeugt Beanspruchungen, die auf Zahnflanke und Zahnfuß wirken:

- Biegebeanspruchung (maximale Beanspruchung im Zahnfußbereich)
- Flächenpressung (Zahnflanke)
- Druckbeanspruchung
- Scherbeanspruchung