

Hinweise zur Benutzung des Buches

Bei der Berechnung von Maschinenelementen werden zahlreiche Gesetze und Rechenverfahren der Technischen Mechanik und der Festigkeitslehre angewendet. Deshalb sind Grundkenntnisse auf diesem Fachgebiet erforderlich. Hierfür wird das Buch **Mechanik und Festigkeitslehre** von Karlheinz Kabus empfohlen, erschienen im Carl Hanser Verlag München 2017. Beide Bücher sind weitgehend aufeinander abgestimmt.

Die Bilder, Tabellen, Diagramme und Formeln sind kapitelweise nummeriert. Alle Tabellen befinden sich im beiliegenden Tabellenband, ebenso die für Berechnungen benötigten Diagramme.

Wegen der zur Zeit auf vielen Gebieten der Technik stattfindenden Übernahme internationaler und europäischer Normen in das deutsche Normenwerk als DIN ISO- und DIN EN-Normen ist es sehr schwierig, den gerade aktuellen Stand zu erfassen. Bei den Werkstoffen mit inzwischen geänderten Bezeichnungen sind die neuen Kurzzeichen angegeben worden.

Der Inhalt von DIN-Normen wird mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Die Festigkeits- und Tragfähigkeitsberechnungen sind überwiegend so aufgebaut, dass Bauteile mit vorgegebenen Abmessungen und Werkstoffen nachgerechnet werden können, wie dies auch in der Konstruktionspraxis üblich ist. Den Berechnungsgleichungen ist jeweils ihre Bedeutung in Kursivschrift vorangestellt. Nach der Formel folgt eine ausführliche Legende mit den zu bevorzugenden SI-Einheiten oder abgeleiteten SI-Einheiten und mit der Bedeutung der einzelnen Größen sowie entsprechenden Hinweisen. Es wurden fast ausschließlich Größengleichungen verwendet, Zahlenwertgleichungen nur in seltenen Ausnahmefällen.

Die Bilder zu den Beispielen sind Berechnungsskizzen, bei denen die Normen für technische Zeichnungen weitgehend angewendet wurden. Innerhalb der Berechnungen in den Beispielen ist jeweils mit den angegebenen Zwischenergebnissen weitergerechnet worden, d. h., diese Werte wurden in den Rechner wieder neu eingegeben. Beim Weiterrechnen mit den vom Rechner angezeigten ungerundeten Werten ergeben sich teilweise geringfügig abweichende Endergebnisse.

Das Arbeiten nach diesem Lehrbuch in der Praxis erfolgt grundsätzlich auf eigene Verantwortung, eine Gewähr kann nicht übernommen werden. Es sind stets die letzten Ausgaben der Normen und technischen Regeln sowie der Firmendruckschriften zu beachten.

Bei den **Formelzeichen** ist dieses Werk weitgehend an die Vorgaben in den DIN-Normen angelehnt. Es wurde aber bewusst davon abgewichen, wenn sich Widersprüche ergeben, z. B. bei der Verwendung unterschiedlicher Formelzeichen für denselben physikalischen Sachverhalt in verschiedenen Normen und Druckschriften. Dies trifft u. a. – wie allgemein üblich – für den Reibwert (die Reibungszahl) μ und für die Querkontraktionszahl ν zu. In diesen Fällen folgt das Lehrbuch der Darstellung, wie sie in den meisten Lehrbüchern üblich ist.

Bei den **Maßeinheiten** werden die Einheiten bevorzugt benutzt, mit denen in der Praxis üblicherweise gearbeitet wird. Die Drehzahl wird i. Allg. in min^{-1} angegeben. Für mechanische Spannungen und Drücke wird konsequent N/mm^2 angegeben.

Alle zusätzlichen Arbeitsmaterialien in Form von Berechnungsprogrammen, Excel-Arbeitsblättern und Programme zur Berechnung von ausgewählten Maschinenelementen sind nunmehr online verfügbar unter www.hanser-fachbuch.de/decker. Die kostenfreie Nutzung der Auslegungs- und Berechnungssoftware MDESIGN Student ist unter www.mdesign.info/decker möglich.

Dem Konstrukteur stehen zur Bauteilgestaltung heute mehr als 80 000 Werkstoffe zur Verfügung, von denen etwa 40 000 metallisch und 40 000 nichtmetallisch sind [2.2]. Die Festigkeit von Maschinenelementen ist von der Belastung (Einsatz), der Bauteilform (Design), der Herstellung (Verarbeitung) und dem gewählten Material abhängig. Die Vorhersage der Haltbarkeit beruht sich normalerweise auf Berechnungsmethoden und Kennwerte – diese sind aber stark von den vier genannten Faktoren abhängig.

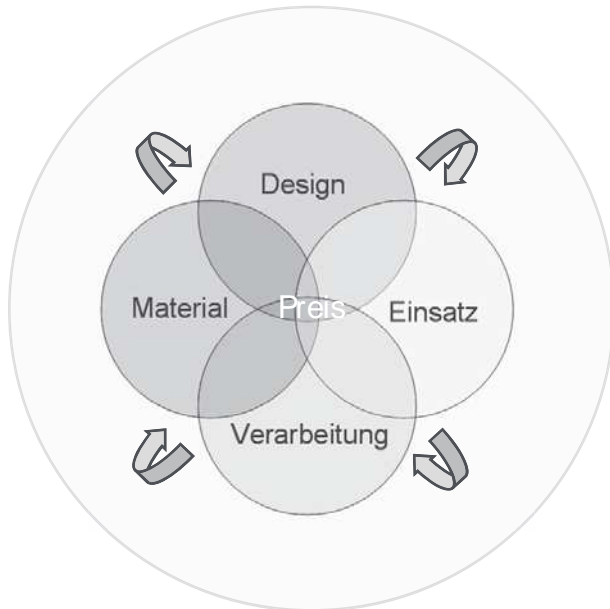


Bild 2.1 Zusammenhang zwischen Design, Einsatz, Verarbeitung und Material bei der Konstruktion von Maschinenelementen

Die Schwierigkeit bei der richtigen Dimensionierung und Materialauswahl ist, dass sich die Aspekte Material, Design, Einsatz und Verarbeitung überlagern. Für ein Maschinenelement ist ein gewisser Bauraum vorgesehen, welcher das Design und damit die Verarbeitung entscheidend beeinflusst. Entsprechend den vorliegenden Einsatzbedingungen ist beispielsweise der Kontakt mit Schmierstoffen oder ein Korrosionsschutz obligatorisch. Während Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen durch die Dicke an Festigkeit gewinnen, steigt bei Keramiken oder thermoplastischen Kunststoffen durch ein größeres Materialvolumen die Fehlerhäufigkeit an, wodurch die Festigkeit sinkt. Metallische Werkstoffe sind in ihren Eigenschaften stark variierbar, sowohl durch Zusatzstoffe als auch durch Oberflächen- oder Wärmebehandlung (Härten etc.).

Dieses Kapitel soll einen Überblick über Werkstoffe und ihren Einsatz bei Maschinenelementen geben. Dazu folgt zunächst ein Überblick über die Werkstoffklassen und deren Auswahl. Die wichtigsten Materialien und ihre Eigenschaften schließen sich daran an. Die für die Konstruktion nötigen materialabhängigen Festigkeitswerte werden erläutert, und der Unterschied zwischen Bauteilkennwert und Materialkennwert wird verdeutlicht.

2.1 Einteilung der Werkstoffe

2

Materialien werden in Keramik-, Metall-, Polymer- (oder Kunststoff) und Verbundwerkstoffe gegliedert. Überwiegend kommen bei der Konstruktion metallische Werkstoffe zum Einsatz, obwohl zunehmend Polymere, Verbundwerkstoffe und Keramiken Anwendung finden. Einen für die Auslegung maßgeblichen kompakten Überblick geben sogenannte Ashby-Diagramme. Diese Werkstoffschaubilder definieren Suchfelder mit Werkstoff-Familien. Dafür werden Werkstoffkennwerte in einem x - y - oder x - y - z -Diagramm aufgetragen und Eigenschaftswerte vergleichend dargestellt. Meist sind zwei Werte gegeneinander aufgetragen und dokumentieren so die Abhängigkeit.

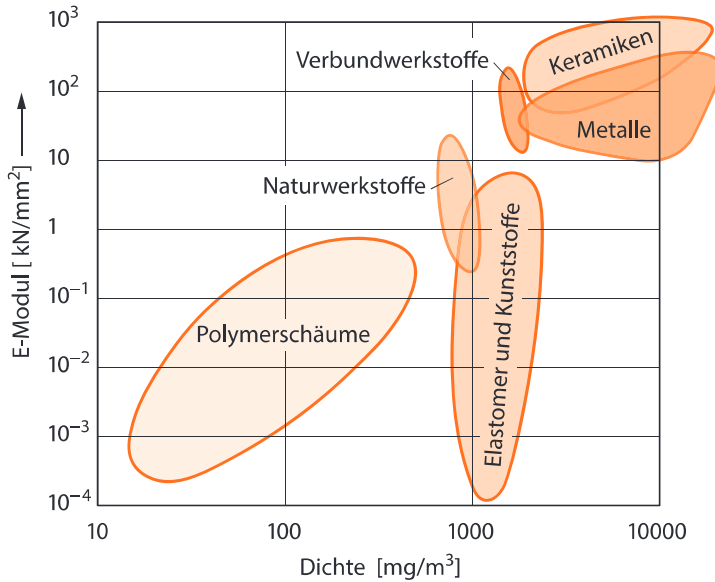


Bild 2.2 Werkstoffklassen, aufgetragen in einem Ashby-Diagramm, hier in der Eigenschaftskombination Dichte/E-Modul [2.1]

Für den ersten Überblick ist diese Art der Darstellung ausreichend, es muss aber festgehalten werden, dass sich bereits innerhalb einer Werkstoffgruppe die Eigenschaften stark unterscheiden können.

Für alle Werkstoffe ist das Verhalten beim Einwirken äußerer Kräfte und Momente entscheidend für die Anwendung als Maschinenelement. Hierzu zählt nicht nur die Festigkeit, sondern auch die Verformbarkeit und Schadenstoleranz. Diese Eigenschaften werden durch den atomaren, kristallinen oder molekularen Aufbau der Werkstoffe bestimmt. Während metallische Werkstoffe aus Gefügen aus positiv geladenen Metallionen in einer negativ geladenen Elektronenwolke bestehen und durch Gitterdefekte die Verformbarkeit erklärt werden kann, bestehen Kunststoffe aus Makromolekülen, deren Eigenschaften von den atomaren Wechselwirkungen der chemischen Gruppe bestimmt werden. Dadurch ist zähes Verhalten ebenso möglich wie sprödes. Um ein Bauteil korrekt auslegen zu können, müssen folglich die Werkstoffeigenschaften bekannt sein und beachtet werden. Einen knappen Überblick gibt die folgende Gruppierung.

Eine weiterreichende Unterteilung der Werkstoffe ergibt die Einteilung in vier Werkstoffgruppen:

1. Metalle

Diese Werkstoffe bestehen aus metallischen Elementen, sowohl rein als auch gemischt (legiert).

- Eisenmetalle: Stähle mit Legierungselementen, Gusseisen
- Nichteisenmetalle: Aluminium, Magnesium, Kupfer, Nickel, Titan und deren Legierungen, hitzebeständige Metalle (z. B. Wolfram, Molybdän), Edelmetalle (z. B. Gold, Silber, Platin), leichtschmelzende Legierungen (z. B. Zinn, Zink, Blei)

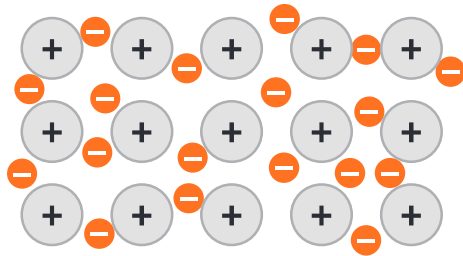


Bild 2.3 Aufbau der metallischen Bindung, positive Atomrümpfe und delokalisierte Elektronenwolke

Der Atomaufbau ist regelmäßig und dicht. Die typische metallische Bindung entsteht durch positiv geladene Atomrümpfe und delokalisierte Elektronen. Dadurch sind Metalle sehr gute elektrische und thermische Leiter, die Bruchzähigkeit, Festigkeit und Steifigkeit sind bei gleichzeitiger hoher Duktilität gut. Die Werkstoffgruppe kann durch viele Urformverfahren verarbeitet werden. Negative Eigenschaften sind die zum Teil hohen Dichten, maximale Betriebstemperaturen von in der Regel unter 1 000 °C und die teilweise hohe Anfälligkeit gegen Korrosion.

Maschinenelemente aus Metallen: Fast alle Maschinenelemente können aus Metallen bestehen, insbesondere aus Eisenwerkstoffen.

2. Kunststoffe

Kunststoffe, auch Polymere genannt, bestehen meist aus organischen Strukturen mit Kohlenstoffatomen, welche lange Molekülketten bilden. Durch chemische Vorgänge kann eine Vielzahl von weiteren Elementen innerhalb eines Makromoleküls miteinander verbunden werden. Polymere besitzen eine geringe Dichte und geringe E-Module und sind deshalb sehr flexibel. Werden die Festigkeitskennwerte auf die Masse bezogen, sind die mechanischen Eigenschaften gerade für den Leichtbau interessant. Man unterscheidet:

- Thermoplasten (z. B. PP, PA, POM) mit unvernetzten Strukturen
- Elastomere (Silikon, Kautschuk, ...) und thermoplastische Elastomere (TPU, TPE, ...) mit wenig vernetzten Strukturen
- Duroplaste (Bakelit), stark vernetzt

Polymere sind korrosionsbeständig, weisen gute elektrische Isolationseigenschaften und Dämpfungseigenschaften auf und besitzen ein großes Farbspektrum mit möglicher Transparenz. Thermoplaste bieten eine große konstruktive Gestaltungsfreiheit bei einfacher und wirtschaftlicher Fertigung komplizierter Massenteile. Zu den Nachteilen gehören die geringe Warmfestigkeit, geringe Bauteilsteifigkeit, zum Teil geringe Verschleißfestigkeit und vor allem bei den Thermoplasten maximale Betriebstemperaturen von unter 200 °C. Kunststoffe können sehr einfach durch Zusatzstoffe wie Fasern (Glas, Aramid, Kohlenstoff) stark positiv in ihren mechanischen Eigenschaften beeinflusst werden, was in großem Rahmen betrieben wird. Als Maschinenelemente finden Kunststoffe in Gleitlagern und Dichtungen Einsatz. Thermoplastische Kunststoffe werden zudem für Maschinengehäuse verwendet.

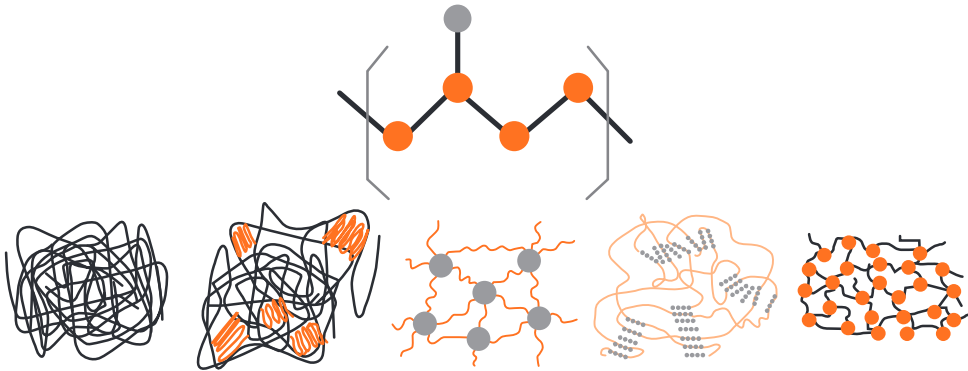


Bild 2.4 Makromolekulare Strukturen von Kunststoffen. Von links nach rechts: amorph, teilkristallin, wenig vernetztes Elastomer, physikalisch vernetztes Thermoplastisches Elastomer, stark vernetzter Duroplast

3. Keramiken und Gläser

Keramiken sind anorganische Verbindungen aus Metallen und Nichtmetallen, wie Oxide, Carbide und Nitride. Anorganische Verbindungen lassen sich unterteilen in:

- Keramiken (z. B. Aluminiumoxid, Siliziumkarbid, Siliziumnitrid)
- Gläser
- Graphit
- Betone

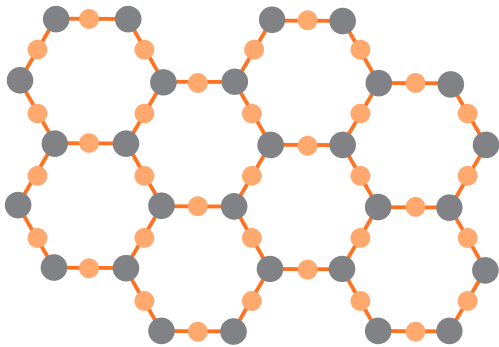


Bild 2.5 Beispiel einer keramischen Struktur mit zwei Ionen

Keramiken sind kovalent gebunden. Die Kristallstrukturen wiederholen sich regelmäßig, wobei verschiedene Kristallgitter (z. B. kubisch, rhombisch, monoklin) vorkommen. Keramiken sind verschleißfest, steif und fest. Obwohl der E-Modul und die Festigkeit denen von Metallen ähnlich sind, sind sie sehr hart, spröde und brechen leicht. Neue Entwicklungen weisen eine höhere Bruchzähigkeit auf, aber die Schadenstoleranz ist trotzdem gering. Die Formgebung erfolgt beispielweise durch Pressen und Gießen mit anschließendem Brennen. Durch die hohe Festigkeit und die Schwindung durch den Brennvorgang ist die Nachbearbeitung schwierig und teuer. Die thermische Wechselfestigkeit ist schlecht. Vorteile liegen in der relativ niedrigen Dichte, der extrem hohen Temperaturbeständigkeit, der Isolationsfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit gegenüber Medien sowie eine mögliche optische Transparenz. Gute Gleiteigenschaften vieler Keramiken qualifizieren diese Werkstoffe für den Einsatz in tribologischen Systemen im Maschinenbau, beispielweise für Wälzlager aus Siliziumnitrid im Einsatz bei hohen Temperaturen und korrosiven Medien.

4. Verbundwerkstoffe

Verbundwerkstoffe werden auch Composite genannt. Durch die Kombination von zwei oder mehr der oben genannten Werkstoffklassen lassen sich die positiven Eigenschaften zweier Werkstoffgruppen sehr flexibel kombinieren. Eine Reihe natürlich vorkommender Materialien wie Holz oder Knochen zählen ebenfalls zu den Verbundwerkstoffen.

Es wird unterschieden in:

- Faserverbunde (GFK, CFK)
- Partikelverbunde (z. B. Metall mit Keramikpulver)
- Schichtverbundwerkstoffe oder Laminat (z. B. Fasermatten mit Schaumkern)
- Durchdringungsverbundwerkstoffe (z. B. Metallschaum mit einer zweiten Phase)

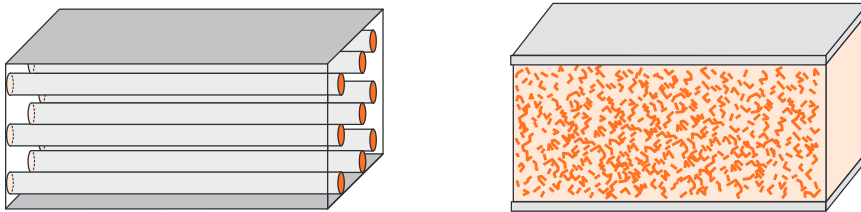


Bild 2.6 Schematische Darstellung zweier Verbundwerkstoffe, links Faserverbund, rechts Schichtverbund mit Partikelverbund

Verbunde wie GFK und CFK erreichen hohe Festigkeiten sowie hohe Steifigkeiten bei sehr geringem spezifischem Gewicht. Dabei werden die Fasern meistens in eine polymere Harzmatrix eingebettet. Durch die Anordnung der Fasern in Matten und Mattenaufbauten ist eine belastungsgerechte Optimierung von Bauteilen möglich. Durch duroplastische Matrizen werden gute chemische und thermische Beständigkeiten erreicht. Zu den Nachteilen zählen die relativ geringe Zähigkeit, die anisotropen Werkstoffeigenschaften durch den Schichtaufbau und hohe Fertigungskosten bei großen und komplizierten Teilen. Durch die dauerhafte Verbindung des Matrixsystems mit den Füllstoffen ist die Wieder- und Weiterverwertung schwierig. Ein großes Problem ist das Versagen der Verbunde. Ohne eine vorher sichtbare Verformung oder Schädigung ist katastrophales Versagen möglich, was die Überwachung der Bauteile im Einsatz erschwert.

2.2 Werkstoffauswahl

Jeder Werkstoff hat Eigenschaften, die ihn für eine spezielle Anwendung empfehlen. Es gilt also, die im Einsatzfall auftretenden Beanspruchungen mit den Werkstoffeigenschaften in Einklang zu bringen. Nicht zuletzt ist heute der Preis ein wichtiges Kriterium für die Werkstoffauswahl, ebenso wie die Umweltverträglichkeit. Die Voraussetzung für ein Maschinenelement, welches den Belastungen standhält, ist ein entsprechender Werkstoff mit einer werkstoffgerechten Konstruktion und Fertigung. Beispielweise wird für Getriebewellen kein kerbempfindlicher Werkstoff Anwendung finden, da durch Nuten und Wellenabsätze die Kerbwirkung in diesen Maschinenelementen von sich aus erhöht ist.

Verbundwerkstoffe können verblüffend hohe Festigkeitswerte aufweisen, wichtiger ist jedoch bei sicherheitsrelevanten Anwendungen ein verlässliches Werkstoffverhalten hinsichtlich der Festigkeitseigenschaften ohne große Eigenschaftsstreuung. Deshalb ist Stahl der meistverwendete Werkstoff für sicherheitsrelevante Bauteile im Maschinenbau.

Für die Auswahl ist zunächst der Anwendungsfall zu konkretisieren: Soll das Bauteil elastisch oder plastisch verformt werden? Ist die Verformung reversibel? Je nach Anforderung ergeben sich andere Dimensionierungskennwerte. Für ein Blechbauteil ist die Umformung entscheidend. Das Material muss sich umformen lassen. Das Verhalten an stark durch den Um-

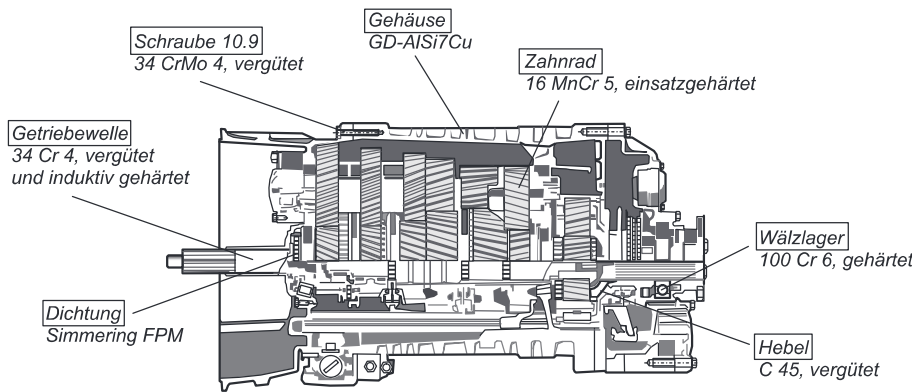


Bild 2.7 Verwendung verschiedenen Werkstoffe in einem Nutzfahrzeuggetriebe [2.3]

formstempel belasteten Stellen ist wichtig, damit das Blech während der Formgebung nicht reißt. Nach erfolgter Umformung ist der Grad des Rückfederns des Materials entscheidend. Kunststoffkonstruktionen zeichnen sich durch materialspezifische Verbindungsmöglichkeiten wie Schnapp- oder Clipsverbindungen aus. Es tritt die Frage auf, wie eine Schnappverbindung konstruiert werden soll, damit das Fügen ohne Schaden vorstättgehen kann und die gewünschten Eigenschaften erhalten bleiben. Diese zwei Beispiele verdeutlichen, dass für jeden Anwendungsfall andere Bezugswerte für die Dimensionierung erforderlich sind.

2.3 Werkstoffe im Maschinenbau

Aus dem Einsatz im Maschinenbau ergeben sich konkrete Anforderungen für den verwendeten Werkstoff. Es erfolgen stoßartige, zyklische und schwingende Beanspruchungen. Durch notwendige konstruktive Kerben ist die Kerbwirkung stark erhöht. Der Einsatz von Schmierstoffen und anderen korrosiven Medien ist durch die Einsatzumgebung vorgegeben.

Bild 2.8 zeigt einen Vierzylindermotor mit den jeweils verwendeten Werkstoffen [2.3]. Deutlich ist die Verwendung von Eisen- und Nichteisenwerkstoffen zu erkennen. Im Folgenden werden diese Werkstoffe besprochen. Dabei werden die Eigenschaften, die Struktur und die Werkstoffbezeichnungen dargestellt.

Eisenwerkstoffe Stahl und Gusseisen

Aus dem Anforderungsprofil ergibt sich der weitreichende Einsatz von Eisenwerkstoffen im Maschinenbau. Die hohe Schwingfestigkeit und hohe Zähigkeit bei gleichzeitig weit variierbaren Härten und Oberflächenfestigkeiten zeichnet diese Werkstoffe aus.

Eisenwerkstoffe sind zumeist Gemische (Legierungen) aus Eisen und Kohlenstoff in unterschiedlicher Zusammensetzung.

Laut DIN EN 10020 ist Stahl ein Werkstoff, dessen Massenanteil an Eisen größer ist als der jedes anderen Elementes, dessen Kohlenstoffgehalt im Allgemeinen kleiner als 2,06 % ist und der andere Elemente enthält. Eine begrenzte Anzahl von Chromstählen kann mehr als 2,06 % Kohlenstoff enthalten, aber 2,06 % ist die übliche Grenze zwischen Stahl und Gusseisen. Durch den Kohlenstoffanteil wird das Urformverfahren bestimmt. Mit steigendem Kohlenstoffanteil wird der Stahl fester, aber auch spröder. Während Stahl geschmiedet, gewalzt oder gezogen werden kann, wird Gusseisen – wie der Name sagt – gegossen. Der höhere Anteil an Kohlenstoff macht das Gusseisen spröde, weshalb weiteres Umformen nach dem Gussprozess zumeist nur schwer möglich ist.

21.5 Berechnung von Planetengetrieben

Einteilung der Planetengetriebe

Der Erfinder *James Watt* gilt mit großer Wahrscheinlichkeit als erster Anwender eines Planetengetriebes, indem er im 18. Jahrhundert ein solches bei einer Dampfmaschine installierte. Seit dieser Zeit haben sich Planetengetriebe immer mehr auf dem industriellen Markt etabliert, was nicht zuletzt an den hervorragenden Eigenschaften bezüglich spezieller Anwendungsaufgaben liegt. Typische Einsatzgebiete für Planetengetriebe sind:

- Windenergieanlagen,
- Hybridkraftfahrzeuge,
- Kraftfahrzeug-Automatikgetriebe,
- Differenzialgetriebe,
- Nabenschaltungen von Fahrrädern.

Dies ist lediglich ein Auszug der möglichen Anwendungsgebiete. Die Eigenschaften von Planetengetrieben, welche die bevorzugte Anwendung in diesen Gebieten rechtfertigen, sind:

1. koaxiale Anordnung der An- und Abtriebswellen, siehe Bild 21.18,
2. runde und kompakte Bauweise, siehe Bild 21.19,
3. geringe Masse,
4. extrem hohe oder niedrige Übersetzungen in wenigen Planetenradstufen möglich,
5. hohe übertragbare Leistung je benötigter Raum des Getriebes,
6. Überlagerungen von Drehzahlen bzw. Bewegungen möglich,
7. Leistungsverzweigung möglich.

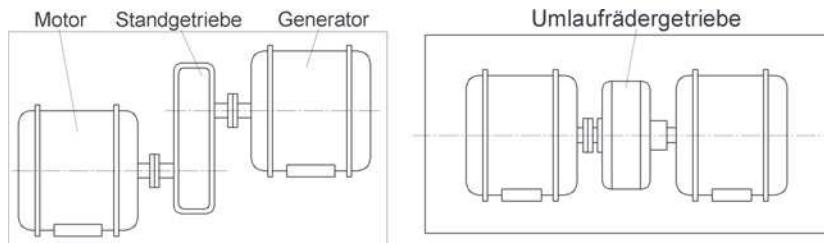


Bild 21.18 Vergleich einer Antriebsanlage bei der Umsetzung mittels a) Standgetriebe und b) Planetengetriebe

21

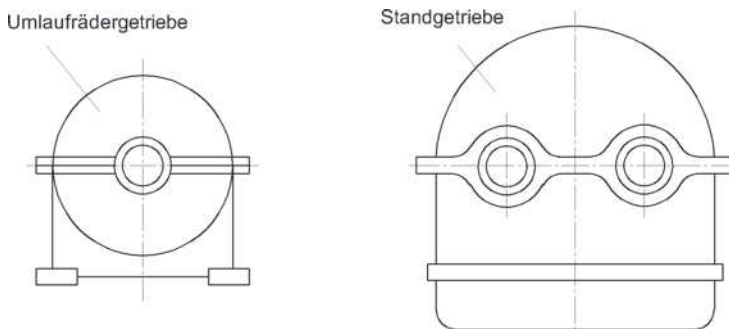


Bild 21.19 Vergleich der Größenverhältnisse zwischen Standgetriebe und Planetengetriebe

Die Eigenschaften aus 6 und 7 resultieren daraus, dass Planetengetriebe einen kinematischen Freiheitsgrad $F = 2$ aufweisen können – allgemeiner, zusammengesetzte Planetengetriebe haben einen kinematischen Freiheitsgrad $F \geq 2$. Diese Eigenschaft ist gegenüber Standgetrieben besonders hervorzuheben und eröffnet einzigartige Anwendungen. Die anderen Vorteile resultieren aus der allgemeinen Konstruktion von Planetengetrieben. Jedoch sind diesen Vorteilen folgende Nachteile gegenüberzustellen:

- höherer Fertigungsaufwand gegenüber Standgetrieben,
- komplizierterer Aufbau gegenüber Standgetrieben.

Die folgenden Seiten geben eine kurze, jedoch detaillierte Einführung in die Berechnung von Planetengetrieben. Dabei wird sich an den Arbeiten von *Volmer* [21.1] und der VDI-Richtlinie 2157 orientiert. Für ein weiterführendes Studium ist die VDI-Richtlinie 2157 zu empfehlen, welche mit dem vorgestellten Berechnungskonzept übereinstimmt und somit eine schnelle tiefergehende Einarbeitung problemlos gestattet.

In Bild 21.20 ist ein **einfaches Planetengetriebe** (elementares Planetengetriebe) dargestellt. Für die Darstellung der Getriebesinnbilder wird die Darstellung von *Wolf* [21.2] verwendet. Im Allgemeinen besteht ein einfaches Planetengetriebe aus einem **Steg 5** (auch **Planetenträger** genannt), in welchem die **Planetenräder 3** gelagert sind. Diese stehen im Eingriff zu den beiden **Zahnrädern 2** und **4**, wobei das Zentralrad 2 auch **Sonnenrad** und das Zentralrad 4 auch **Hohlrad** genannt werden. Dabei fluchten die zwei Zentralradwellen und die Stegwelle. Für ein einfaches Planetengetriebe sind in der Tabelle Bild 21.21 einige gebräuchliche Bauformen dargestellt.

Als **rückkehrendes** Planetengetriebe wird ein Planetengetriebe mit coaxialen Anschlusswellen bezeichnet. Im Gegensatz zum weitverbreiteten Sprachgebrauch wird ein **Umlaufrädergetriebe** dadurch unterschieden, dass es sich dabei um ein einfaches Planetengetriebe handelt, bei welchem der Steg umlaufend und im Allgemeinen das Hohlrad fest ist. Damit entspricht dies einem **Zweiwellenbetrieb**. Für die Berechnung von Planetengetrieben wird jedoch der **Dreiwellenbetrieb** betrachtet. Schließlich ergibt sich der Zweiwellenbetrieb durch Festsetzen einer Welle im Dreiwellenbetrieb. Hierbei stehen die drei Drehmomente der Wellen im Gleichgewicht. Ob dabei wirklich drei bewegungsfähige Wellen vorhanden sind, ist für die Betrachtung unerheblich. Es müssen lediglich drei Glieder (Wellen) vorhanden sein, denen die Drehmomente für das Gleichgewicht zugeordnet werden können. Diese Systematik setzt sich auch bei **zusammengesetzten (gekoppelten) Planetengetrieben** fort.

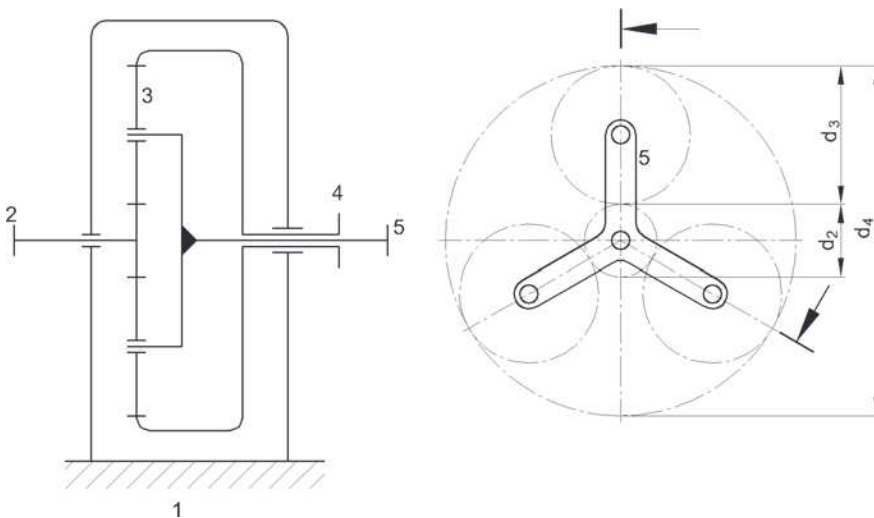


Bild 21.20 Normal-Planetengetriebe mit drei Planetenrädern und festem Hohlrad

Planetengetriebe mit Stirnrädern			
Bauform	Getriebebild	Standübersetzung	Standgetriebewirkungsgrad
1		$i_0 = \frac{z_H}{z_S}$ $i_0 < 0$	$\eta_0 = \eta_{V,SP} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,PH}$ $\eta_0 \approx 98,0 \%$
2		$i_0 = -\frac{z_H}{z_S}$ $i_0 > 0$	$\eta_0 = \eta_{V,SP1} \cdot \eta_{L,P1} \cdot \eta_{V,P1P2}$ $\cdot \eta_{L,P2} \cdot \eta_{V,P2H}$ $\eta_0 \approx 96,5 \%$
3		$i_0 = \frac{z_H \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_S}$ $i_0 < 0$	$\eta_0 = \eta_{V,SP} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'H}$ $\eta_0 \approx 98,0 \%$
4		$i_0 = \frac{z_{S2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{S1}}$ $i_0 < 0$	$\eta_0 = \eta_{V,S1P} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'S2}$ $\eta_0 \approx 98,0 \%$
5		$i_0 = \frac{z_{S2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{S1}}$ $i_0 > 0$	$\eta_0 = \eta_{V,S1P} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'S2}$ $\eta_0 \approx 97,5 \%$
6		$i_0 = \frac{z_{S2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{S1}}$ $i_0 > 0$	$\eta_0 = \eta_{V,S1P} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'S2}$ $\eta_0 \approx 98,5 \%$

Bild 21.21 Systematik der einfachen rückkehrenden Umlaufrädergetriebe

Planetengetriebe mit Stirnrädern			
Bauform	Getriebeinnbild	Standübersetzung	Standgetriebewirkungsgrad
7		$i_0 = \frac{z_{H2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{H1}}$ $i_0 > 0$	$\eta_0 = \eta_{V,H1P} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'H2}$ $\eta_0 \approx 98,5 \%$
8		$i_0 = \frac{z_H \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_S}$ $i_0 > 0$	$\eta_0 = \eta_{V,SP} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'H}$ $\eta_0 \approx 98,5 \%$
9		$i_0 = -\frac{z_{Z2}}{z_{Z1}}$ $i_0 < 0$	Für Planetengetriebe mit Kegelrädern ist eine allgemeingültige Angabe des Wirkungsgrades nicht möglich, da die Einzelwirkungsgrade von vielen konstruktiven Größen abhängen.
10		$i_0 = -\frac{z_{Z2}}{z_{Z1}}$ $i_0 = -1$	
11		$i_0 = \frac{z_{H2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{H1}}$ $i_0 < 0$	
12		$i_0 = \frac{z_{Z2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{Z1}}$ $i_0 < 0$	
i_0 z_H, z_{H1}, z_{H2} z_S, z_{S1}, z_{S2} $z_P, z_{P'}$ z_{Z1}, z_{Z2} η_0 $\eta_{V,x,y}$ $\eta_{L,x}$	Standübersetzung Zähnezahl des Hohlrades Zähnezahl des Sonnenrades Zähnezahl des Planetenrades Zähnezahl eines allgemeinen Zahnrades Standgetriebewirkungsgrad Verzahnungswirkungsgrad zwischen dem Zahnrad x und y Lagerwirkungsgrad des Zahnrades x		

Bild 21.21 Systematik der einfachen rückkehrenden Umlaufrädergetriebe (Fortsetzung)

Berechnung von Planetengetrieben

In einem normalen Standgetriebe wird als Betrachtungspunkt für die Berechnungen das ortsfeste Gehäuse gewählt. Im allgemeinen Fall sind jedoch in einem einfachen Planetengetriebe drei bewegungsfähige Wellen vorhanden, wodurch die Betrachtungsweise geändert werden muss. Schließlich kann somit jede der drei Wellen Bezugswelle für die Berechnungen der Drehzahlen und Leistungen sein. Folglich wird die Berechnung nicht zwingend auf das Gehäuse bezogen und verallgemeinert.

Bei der Berechnung von Planetengetrieben spielt deren Betrachtung als Standgetriebe dennoch eine zentrale Rolle. Dabei bezeichnet ein Standgetriebe ein Getriebe, welches raumfeste Achsen oder Wellen besitzt. Somit sind beispielsweise aufgeflanschte Stirnradgetriebe oder Planetengetriebe mit festem Steg (daraus folgt, dass die Planetenachsen stillstehen) Standgetriebe. Bei solchen Standgetrieben stellt die Ermittlung der Drehzahlen und der Drehmomente an den jeweiligen Wellen keine Schwierigkeit dar. Deshalb ist es auch üblich, bei diesen Berechnungen nur die Beträge der jeweiligen Größen zu betrachten und die Vorzeichen zu vernachlässigen. Dies liegt auch daran, dass bei diesen Getrieben meist klar ersichtlich ist, welche Welle Antriebs- und welche Abtriebswelle ist. Diese vereinfachte Betrachtung lässt sich jedoch nicht auf Planetengetriebe übertragen, da aufgrund der Leistungsverzweigung nicht sofort ersichtlich ist, ob eine Welle den An- oder Abtrieb darstellt, wie später mit der Gl. (21.17), der Richtung des Gleitwälzflusses, gezeigt wird.

Alle hier aufgeführten Berechnungen lassen sich auf Standgetriebe übertragen. Schließlich stellen diese lediglich einen Spezialfall dieser Berechnung dar.

In Analogie zur Berechnung für Standgetriebe wird das Drehzahlverhältnis der beiden **Zentralradwellen** relativ zum feststehenden Steg als wichtigste Bezugsgröße genutzt. Dieses Verhältnis verkörpert wie bei Standgetrieben das Verhältnis zwischen An- und Abtriebsdrehzahl und wird folglich als **Standübersetzung (Standübersetzungsverhältnis)** bezeichnet.

In den Berechnungen bezeichnet die Indizierung der Drehzahl n_{23} , dass die Drehzahl der Welle 2 relativ zu 3 betrachtet wird. Der Index 1 steht dabei immer für das Getriebegehäuse. Bei **absoluten Größen** (auch als äußere Größen bezeichnet), das heißt bei Betrachtungen um das ruhende Getriebegehäuse, wird der Index 1 nicht explizit benannt $-n_{21} = n_2$. Diesem gegenüber stehen die **relativen Größen** (auch als innere Größen bezeichnet), wie z. B. n_{23} , welche die Betrachtung von einem beliebigen Punkt, hier dem Glied 3, aus beschreiben. Wird ein Verhältnis k_{ij} berechnet, dann gibt der erste Index den Zähler und der zweite den Nenner an, wie z. B. $k_{23} = n_{21}/n_{31} = n_2/n_3$.

Wie bereits erwähnt, müssen bei den Berechnungen die Vorzeichen beachtet werden. Dabei werden eine eingehende Leistung als positiv (in Analogie zu endothermen Prozessen) und eine ausgehende Leistung als negativ (in Analogie zu exothermen Prozessen) definiert. Ähnlich dazu wird auch eine Unterscheidung bei den Zahnradern getroffen. Ein außenverzahntes Zahnrad wird als positiv und ein innenverzahntes als negativ definiert.

Für ein Standgetriebe ergibt sich die Übersetzung (unter Beachtung der Drehrichtung bei z und unter Vernachlässigung von Wirkungsgraden bei den Drehmomenten) durch:

$$i_0 = -\frac{z_{\text{Abtrieb}}}{z_{\text{Antrieb}}} = \frac{n_{\text{Antrieb}}}{n_{\text{Abtrieb}}} = -\frac{T_{\text{Abtrieb}}}{T_{\text{Antrieb}}} \quad (21.8)$$

i_0	Standübersetzung,
z	Zähnezahl,
n	in min^{-1} Drehzahl,
T	in $\text{N} \cdot \text{m}$ Drehmoment.

Bei der Berechnung der Standübersetzung eines Planetengetriebes wird ausgenutzt, dass sich die Gesamtübersetzung als Produkt der Teilübersetzungen ergibt. Das bedeutet, dass ausgehend vom Antrieb alle Teilübersetzungen bis zum Abtrieb berechnet und im Anschluss

Sachwortverzeichnis

- 3D-CAD 39
3D-CAD-Modellierung 43
- Abbrenn-Stumpfschweißverbindung 210
Abbrennstumpfschweißen 201
Abfasung 770
abgeleitete Reihe 17
Abklingkonstante 589
Abmaß 19
Abrasion 471–472
abrasive Beanspruchung 470
Abscherkraft 222, 232
Abscherkraft der Schweißverbindung 206
Abschnittsmatrix 443
Absenkung 432
absolute Rauigkeit 843
absolute Viskosität 475
Absperrrinne 856
Absperrorgan 850
Absperschieber 854
Absperrentil 851
ACEA 477
ACEA-Klasse 477
Achsabstand 750, 775, 790, 808, 820
Achse 412
Achsenwinkel 686, 742
Achskraft 776, 796, 809
Achskraft F_w 821
ACM 568
AD-Merkblatt 16, 323
Additiv 480
Adhäsion 470, 472
allgemeiner Baustahl 203
Allgemeintoleranz 23, 179
Alterungsbeständigkeit 478, 481
Aluminium 499
Aluminiumbronze 203
Aluminiumlegierung 203
Aluminiumrohr 828
Amontons-Coulombsches Reibungsgesetz 470
Anfangsvektor 443
Anforderungsliste 36
Angularfedersteifigkeit 587
Anker 606
Anlassen 55
Anlaufkupplung 615
Anlaufreibung 469
Anpressfeder 603
Anpresskraft 610
Antriebsdrehmoment 332, 702
Antriebsleistung 702
Antriebsmaschine 578
Antriebsnennleistung 744, 755
Antriebsstrang 611
Anwendungsfaktor 695, 718, 726
Anziehungsfaktor 304, 307, 320
Anziehverfahren 303
API 477
API Commercial-Klasse 477
API Service-Klasse 477
äquivalente Belastung 560
Arbeitsdruck 826
Arbeitshub 330
Arbeitsmaschine 578
Arbeitssatz 431
Armatur 850
Armaturentrieb 856
Armszahl 705
Ashby-Diagramm 46
ATF 478
Aufgabenstellung 38
Aufhängung 839
Auflegestreckung 794, 796, 798
Aufspannbuchse 507
Augenlager 508
Augenschraube 287
Ausarbeiten 38
Ausbeute 782
Ausgleichskupplung 578
Ausklinken 489
Ausknicken 377
Auslastungsgrad 132
Auslaufbahn 855
Auslaufreibung 469
Ausnahmereihe 17
Ausschlagsfestigkeit 319
Ausschlagsspannung 102
Ausschlagsspannung 424
Ausschussprüfung 28
Außenbackenbremse 625
Außengewinde 285
Außenrad 636
Außenradpaar 682
Außenpresssatz 274–275
Außenteil 254
äußere Teilkegellänge 691
äußerer Fußkreisdurchmesser 691
äußerer Kopfkreisdurchmesser 691
äußerer Schrägungswinkel 691
äußerer Sprungwinkel 691–692
äußerer Stirnmodul 691
äußerer Teilkreisdurchmesser 691
- Auswuchten 787
automatisches Getriebe 478
Automotive-Gleitlager 516
Axial-Kippsegmentlager 534
Axial-Nadellager 550
Axial-Pendelrollenlager 542, 550
Axial-Rillenkugellager 542, 550
Axialfedersteifigkeit 587
Axialkraft 696–697, 699, 745, 755
Axialkugellager 544
Axiallager 487, 502, 529, 540
Axialmodul 750
Axialschnitt 748
Axialsegmentlager 534
Axialteilung 750
- Balken 147
Balken-Fachwerk 151
Balkenabschnitt 445
Balkenelement 448
Balkenproblem 448
Balligmachen 737
Baustähle 56
Bauteiließgrenze 458
Bauteilkennwert 61
Bauteilkategorie 126
Befestigungsschraube 284
Belastungskennwert 732, 746
Berechnung des Axiallagers 532
Berechnungsdruck 826
berührungsfreie Dichtung 573
Beschleunigungsmoment 611
Betriebs-Eingriffswinkel 674, 676–677, 696, 725
Betriebs-Flankenspiel 713
Betriebs-Wälzkreisdurchmesser 677
Betriebsfaktor 695, 774
Betriebsfestigkeit 115, 422
Betriebskraft 316
Betriebslängskraft 312, 320
Betriebsspiel 543
Betriebswälzkreis 674
Betriebszustand 521
Bewegungsreibung 469
Bewegungsschraube 329
Bewertungsgruppe 173
bezogene Reibungszahl 520
bezogener Plastizitätswinkel 270
bezogenes Spannungsgefälle 422–423, 460
bezogenes wirksames Übermaß 259–260

- Bezugs-Planrad 686
 Bezugsprofil 669
 Biegebeanspruchung 185
 Biegefeder 398
 Biegefrequenz 791, 809
 biegekritische Drehzahl 453–454
 Biegelinie 428
 Biegemoment 72, 414
 Biegespannung 185, 282, 357–358, 389, 396, 399, 414, 418, 421, 456, 706, 787, 792
 Biege widerstandsmoment 86
 Biegezugspannung 391
 Bindefestigkeit 227
 Biomedizin-Bereich 327
 Blattfeder 398, 400
 Blechmutter 290
 Blei 499
 Bleibronze 499, 502
 Blindniet 240, 245, 247
 Blockfett 482
 Blocklänge 368
 Blow-by-Gas 476
 Bogen 829
 Bogenverzahnung 690
 Bogenzahn-Kupplung 580
 Bohrbuchse 548
 Bolzen 355, 357
 Bolzengewinde 285
 Bolzenschweißen 200
 Bolzenverbindung 353, 356
 Borkenkäfer 504
 BoWex 580
 Brechbolzenkupplung 618
 Breitenballigkeit 719
 Breitenfaktor 719, 723, 726, 728
 Breitenkennwert 823
 Breitkeilriemen 804, 814
 Bremse 624
 Bremsflüssigkeit 627
 Bremskraftverstärker 627
 Bremssattel 626, 628
 Bremsscheibe 626
 Bremszange 628
 Brille 567
 Bronze 499–500
 Bruchdehnung 63
 Bruchsicherheit 776
 Buchsenkette 766
 Buckelschweißen 199
 Buckelschweißverbindung 208
 Bundbuchse 508
 Bürstenhalter 609

 Cavex-Schneckengetriebe 753
 CFK 49
 Compilation 149, 151
 Conax-Kupplung 605

 Dämpfung 588
 Dämpfungsarbeit 401, 589
 Dämpfungsgrad 589, 591
 Dämpfungskonstante 589
 Dämpfungsleistung 594
 Dämpfungsverhalten 587
 Dämpfungswärme 594
 DAST-Richtlinie 16
 Datenverarbeitung 39
 Dauerbruch 457
 Dauerfestigkeit 64, 386, 501, 731
 Dauerfestigkeit für Flankenpres-sung 726
 Dauerfestigkeitsschaubild 64, 104, 106, 386, 424
 Dauerfestigkeitswert 64
 Dauerhaltbarkeit 319, 420
 Dauerschaltbetrieb 614
 Dauerschwingversuche 101
 Dauerwechselfeldmoment 593
 Deformation 470
 Dehngrenze 63
 Dehnung 302
 Dehnschlupf 782
 Dehnschraube 285, 315, 832
 Dehnung 81
 Dehnungsausgleicher 836
 Dehnungsbetrieb 783
 Dehnverband 255
 Destillat 480
 Detail-Methode 718
 DEXRON 478
 Dichtlippe 568, 570
 Dichtscheibe 543
 Dichtung 318, 833
 Dickenfaktor 126
 Diffusionshemmer 501
 DIN-Norm 15
 Dispersion 473
 DN 825
 Dochtöler 493
 Doppelbürstenhalter 609
 Doppelgelenkwelle 582
 Doppelkeilriemen 813
 Doppelkerbstift 355
 Doppelparallellattenschieber 854
 Doppelplattenkeilschieber 854
 Doppelschrägverzahnung 672
 Doppelschrägzahn 637
 Dornniet 240
 Drahtkugellager 551
 Drallorientierung 569
 Drehbeschleunigung 630
 Drehbewegungselement 412
 drehelastische Wellenkupplung 584
 Drehfeder 362, 388, 393, 396, 630
 Drehfederkennlinie 621
 Drehfedersteifigkeit 588
 Drehflankenspiel 667
 Drehmasse 590, 592, 630
 Drehmassenmatrix 631
 Drehmoment 413, 697
 Drehmomentbegrenzer 617
 Drehmomentenschlüssel 304, 323
 Drehmomentstoß 593
 Drehmomentvergrößerungsfaktor 594
 drehnachgiebige Kupplung 597
 Drehschieber 855
 Drehschrauber 304
 Drehschwinger 629
 Drehschwingung 456
 Drehschwingungsdämpfer 393
 Drehstabfeder 393, 395, 456
 drehsteife Ausgleichkupplung 578
 Drehstoß 585
 Drehwinkel 362, 389
 Drehwinkelvergrößerung 390
 Drehzahlgrundgleichung 654
 Drehzahlplan nach Kutzbach 656
 Drehzahlwächter 617
 Dreischichtlager 503
 Dreistofflager 502
 Drosselklappe 856
 Druckbeanspruchung 84
 Druckbehälter 828
 Druckfeder 366–367, 369, 371, 374, 400
 Druckgeräterichtlinie 825
 Druckhülse 279–280
 Druckkammerlager 487–488
 Druckluftanlage 606
 Druckmutter 301
 Druckölverband 255
 Druckspannung 84, 242, 333, 414, 421
 Druckumlaufschmierung 778–779
 Druckverlust 843–844
 Dunkerley 454
 Dünnschichtlackierung 294
 Duplex-Rollenkette 766
 Duplexbremse 625
 Durchbiegung 390, 428, 432–433
 Durchflusswiderstand 852
 durchflutete Lamellenkupplung 607
 Durchgangshahn 855
 Durchhang 764
 Durchlaufträger 148, 151, 438, 528
 Durchmesserverhältnis 258
 Durchsteckschraube 324
 Durchsteckverbindung 298
 Durchziehniet 240
 Duroplaste 47
 DVS-Merkblatt 16
 Dynamikfaktor 719, 723, 726, 728
 dynamisch äquivalente Belastung 552

- Dynamische Beanspruchung 101, 375, 378, 426
 dynamische Belastung 394
 dynamische Drehfedersteifigkeit 588
 dynamische Stützziffer 111, 423
 dynamische Tragzahl 553
 dynamische Viskosität 475, 517

 EAS-compact-Kupplung 618
 EAS-NC-Kupplung 618
 Eaton-Pumpe 494
 Eckhahn 855
 Eckventil 852
 Eigenfrequenz 364, 453, 630–631
 Eigengewichtsbetrieb 783
 Eigenspannungsfaktor 126
 Eigenvektor 630
 Eigenwert 630
 Eigenwertaufgabe 630–631
 Einbauspiel 274
 Einbettfähigkeit 498
 Einflanken-Wälzprüfung 711
 Einflussfaktor 718
 Einflussfaktor der Mittelspannungsempfindlichkeit 462
 Einflussfaktor der Oberflächenrauheit 459
 Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung 459, 462
 Eingriffsbreite 743
 Eingriffslinie 642
 Eingriffspunkt 642
 Eingriffstörung 681
 Eingriffsstoß 737
 Eingriffsstrecke 644, 681
 Eingriffsteilung 667–668, 682
 Eingriffswinkel 645–646, 667
 Eingriffszähnezahl 820
 Einheits-Achsabstand 712
 Einheits-Zahndicke 712
 Einheitsbohrung 26
 Einheitswelle 26
 Einkomponentenkleber 228
 Einlaufverhalten 498
 Einlaufvorgang 516
 Einlegekeil 338–339
 Einmassenschwinger 590
 Einpresskraft 272
 Einsatzstahl 57, 203
 Einscheiben-Trockenkupplung 603
 Einschraubenverbindung 299
 Einschraubtiefe 302
 Einspannbuchse 507
 Einspannung 76
 Eisen 499
 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm 52
 Eisenbahnpuffer 401
 Eisenwerkstoff 50

 elastisch-plastische Beanspruchung 269
 elastische Hysterese 470
 elastische Linie 428
 elastische Wellenkupplung 586
 Elastizitätsfaktor 725, 730, 735
 Elastizitätsmodul 62, 100, 259, 294, 366, 382, 409
 Elastohydrodynamik 521
 Elastomere 47
 Elastomerkupplung 587
 elektromagnetische Einflächekupplung 607
 elektromagnetische Lamellenkupplung 608
 Elektronenstrahlröten 219
 Element-Steifigkeitsmatrix 145, 148, 151, 154
 Emulsion 473
 Endlasche 768
 ENSAT 290
 Entwerfen 38
 EP-Zusatz 472, 477, 481
 Epizykloid 643
 Epoxidharz 505
 Ergänzungskegel 685–686
 Ermüdungsfestigkeitsnachweis 117
 Erosionsschaden 504
 Ersatz-Drehfedersteifigkeit 592
 Ersatz-Stirnradpaar 743
 Ersatzquerschnitt 309
 Ersatzsystem 592
 Ersatzzähnezahl 672–673, 680, 690
 ertragbare Ausschlagsspannung 458
 ETP-Buchse 280
 Euler 95, 333
 Evolventenfunktion 646
 Evolventenverzahnung 645
 Evolventenzahn 638
 Evolventenzahnprofil 345
 Extremultus-Mehrschichtriemen 796
 Exzentranspanner 772
 Exzentrizität 489
 Eytelweinsche Gleichung 781, 802

 Fächelschweißen 213
 Fächerscheibe 296
 Fahrzeugbremse 626
 Fahrzeugfeder 400
 Fangrille 573
 Faserverbunde 49
 FE-Berechnung 43
 FEA 144, 422, 448, 452
 FEA-Programm 152
 Feder 362
 Federarbeit 363, 380
 Federhub 373

 Federkennlinie 362, 409
 Federkraft 379, 404, 610
 Federnachgiebigkeit 363
 Federpaket 384
 Federsäule 384
 Federstähle 57
 Federsteifigkeit 362, 373, 380, 390, 394, 399, 404, 409, 587
 Federtrommel 398
 Federweg 362, 372–373, 399
 Feingewinde 286
 Feinkornbaustahl 203
 FEM 144
 fertigungsgerechte Gestaltung 37
 Fertigungssimulation 40, 42
 fester Schmierstoff 473
 Festigkeitsberechnung 80, 851
 Festigkeitskennwert 66
 Festigkeitsklasse 320, 323
 Festigkeitsnachweis 113, 340, 425
 Festkörperreibung 469
 Festlager 76, 544, 546
 Festschmierstoff 473, 484, 505
 Fett-Tauchschmierung 713
 Fettdruckbuchse 492
 fettgeschmierte Gleitlager 521
 Fettkammerschmierung 493
 Fettöl 473, 480
 Fettrillendichtung 574
 Fettschmierung 492, 562
 Feuerverzinkung 294
 Filzring 567
 Finite-Elemente-Analyse 143, 154, 448
 Finite-Elemente-Methode 143
 Finite-Elemente-Programm 42
 Finite-Elemente-Typen 153
 Fitting 829, 835
 FKM 568
 FKM-Richtlinie 16, 115
 Flächenmoment 2. Grades 189
 Flächenpressung 319, 347, 357–360
 Flächenträgheitsmomente 86
 Flachkeil 339
 Flachkopfschraube 287
 Flachriementrieb 780, 789
 Flachschieber 853
 Flammlöten 216–217
 Flammpunkt 478
 Flankenform 751
 Flankenkehlnaht 184
 Flankenlinie 636
 Flankenpressung 334, 339, 342, 344–345, 351, 725–726, 730
 Flankenrichtungsabweichung 719
 Flankenspiel 667, 676
 Flankentemperatur 733
 Flankentragfähigkeit 716, 725, 735

- Flankenzentrierung 343
 Flanschentlastungskraft 314
 Flanschkupplung 586
 Flanschlager 508, 548
 Flanschverbindung 831–832, 834
 Flash 501
 Fliehkraftabhebung 623
 Fliehkraftkupplung 615
 Fliehzugkraft 776
 Fliehzugspannung 793
 Flugmotor 495–496, 509
 Flugzeugbau 247
 fluider Schmierstoff 473
 Flüssigkeitsreibung 469–470, 489
 Flüssigreibung 476
 Flussmittel 217
 Flyerkette 766
 Foliennahtschweißen 201
 For-life-Schmierung 562
 Form- und Lagetoleranz 30
 Formfaktor 409, 723
 formschlüssige Welle-Nabe-Verbindung 337
 Formschlussverbindung 337
 Formtoleranz 30
 Formzahl 422–423, 457, 460, 750
 freie Knicklänge 94
 Freilaufkupplung 619
 Freimaßtoleranz 179
 Freitragger 434
 Frequenzverhältnis 591
 Fresstragfähigkeit 717
 Frischölschmierung 496
 Fugendruck 257
 Fugenlöten 218, 220
 Fugenschweißung 257–258, 264, 271, 280–281, 349
 Fügeteil 259
 Fügetemperatur 272
 Führungseinrichtung 772
 Führungslager 487
 Fülldrahtelektroden 164
 Füllsimulation 43
 Fußeingriffsstrecke 714
 Fußflanke 643
 Fußkegelwinkel 687
 Fußkreisdurchmesser 668, 673, 676, 687, 750, 770
 Fußwinkel 687
 FVA-Referenzöl 478

 Galling 717
 Gallkette 766
 Galnikal 472
 Gasschmelzschweißen 157
 Geberzylinder 627
 Gegenrad 636
 Gehäusegleitlager 508
 Gelbchromatieren 294
 gelenkiges Lager 445
 Gelenkkette 766
 Gelenklager 509
 Gelenkpressung 776
 Gelenkstift 357
 Gelenkverbindung 355
 Gelenkwelle 582
 Genauigkeitsklasse 712
 Geometrieelement 19
 geometrische Produktspezifikation 18
 geometrische Reihe 16
 geometrischer Größeneinfluss 459, 461
 Geradführung 551
 Geradsitz-Durchgangsventil 852
 Geradzahn 638
 Geradzahnrad 674
 Gerbergelenk 445, 451
 gerollte Buchse 507
 Gesamt-Steifigkeitsmatrix 154
 Gesamtdurchbiegung 432, 435
 Gesamteinflussfaktor 459
 Gesamtfedernachgiebigkeit 364
 Gesamtfedersteifigkeit 364
 Gesamtfederweg 402
 Gesamtneigungswinkel 435
 Gesamtüberdeckung 683
 Gesamtübersetzung 702
 Gesamtwirkungsgrad 701, 744, 755
 Gesamtzugkraft 776
 geschlitzte Tellerfeder 407
 Geschwindigkeitsfaktor 726
 Gestaltabweichung 29
 Gestaltänderungsenergie-Hypothese 422, 426
 Gestaltfestigkeit 420
 Gestaltfestigkeitswert 457–458
 Gestaltungsrichtlinie 177
 Getriebeöl 476–477, 715
 Getriebewelle 415, 449
 Getriebezug 638, 701
 Gewebe 785
 Gewinde 284
 Gewindeanziehmoment 305
 Gewindebolzen 370
 Gewindemuffe 835
 Gewinderohr 827
 Gewindestift 288, 293
 Gewindestopfen 370
 GFK 49
 Gleichheit der Schubspannung 91
 Gleichlaufgelenk 583
 Gleichmaßdehnung 62
 Gleichstreckenlast 430
 Gleichung von Vogel 479
 Gleichungssystem 151
 Gleit-Bohrreibung 471
 Gleitgeschwindigkeit 512, 714, 743, 747, 753
 Gleitlack 474, 484
 Gleitlager 487, 500, 516
 Gleitlagerscheibe 529
 Gleitlagerwerkstoff 500
 Gleitreibung 469
 Gleitringdichtung 572
 Gleitschicht 501
 Gleitschlupf 782
 Gleitwerkstoff 497
 Gliederkette 766
 Gliederzahl 775
 Gliederzahlfaktor 775
 Globoidschnecke 748–749
 Glühen 55
 Graphit 48, 473, 483–484
 Grauguss 60
 Grenzdrehzahl 561
 Grenzmaß 19–20
 Grenzschichtschmierung 487
 Größenbeiwert 107, 425
 Größeneinfluss 424
 Größenfaktor 723, 726, 731
 Großrad 636, 639
 Größtkraft 243
 Grübchen 760
 Grübchenbildung 471
 Grübchentrugfähigkeit 716, 725
 Grundabmaß 22
 Grundgleichung der Balkenbiegung 428
 Grundkreis 643
 Grundkreisdurchmesser 668, 673
 Grundreihe 17
 Grundschrägungswinkel 673, 725, 730
 Grundtoleranz 21
 Gumbel'scher Halbkreis 519
 Gummi 409, 505
 Gummifeder 408, 584
 Gusseisen 50, 60, 281
 Gütegrad 366
 Gutprüfung 28

 Habasit-Mehrschichtriemen 798
 Haftbeiwert 272
 Haftkraft 258
 Haftreibwert 324
 Haftschiemierstoff 713
 Haftsicherheit 324
 Hahn 850, 855
 Haigh 106
 Haigh-Diagramm 64
 Hakenöse 370
 Halbrundkerbnagel 355
 halbumschlossenes Lager 523
 Halszapfen 413
 Haltbarkeit der Schraubenverbindung 318
 Haltebremse 628
 Handschmierung 778
 Harmonische 594
 Härte 409
 Härtens 55
 Hartlot 219
 Hartlöten 217

- Hartlötverbindung 223
 Hartverchromen 498
 Hastelloy 599
 Hauptverschleißmechanismus 472
 Heizelementsweißen 211
 HELICOIL 290
 Hertz'sche Pressung 96
 Hertz'sche Pressung 620, 717, 735, 760
 Hertz'scher Kontakt 471
 Hexaeder 151
 Hexagonalriemen 813
 Hintereinanderschaltung von Federn 364
 Hirth-Verzahnung 350
 HNBR 568
 hochelastische Flanschkupplung 586
 Hochfrequenzschweißen 213
 Hochlaufzeit 613
 hochlegierter Stahl 59
 Hochtemperaturlöten 215, 219
 Hochtemperaturpaste 483
 Hohlflanken-Zylinderschnecke 753
 Hohlflankenschnecke 752
 Hohlkeil 339
 Hohlriet 245
 Hohlrad 636, 650, 669, 681
 Hohlwelle 412
 homogene Randbedingung 145
 homokinetisches Gelenk 583
 Hooke'sche Gerade 100
 Hooke'sches Gesetz 144
 Hubfestigkeit 376, 386
 Hubspannung 375, 386, 391, 394
 Hüllprinzip 28, 31
 Hülltrieb 764
 Hülsenkette 766–767
 Hydrauliköl 478
 hydraulische Kupplung 605
 hydraulische Spannbuchse 280
 hydraulischer Kettenspanner 773
 hydraulischer Wandler 598
 hydrodynamisch geschmierte Gleitlager 488
 hydrodynamische Schmierung 514
 hydrodynamisches Axiallager 530, 532
 hydrodynamisches Gleitlager 475
 hydrodynamisches Radiallager 516
 hydrostatisch geschmierte Gleitlager 487
 HYGUARD-Kupplung 618
 Hyperboloid-Schraubradpaar 747
 Hypoid-Schraubradpaar 747
 Hypoidöl 472
 Hypozykloid 643
 Induktionslöten 216, 218–219
 Industrie-Einscheiben-Trockenkupplung 603
 Industrie-Scheibenbremse 628
 Industriebremse 626
 Industriekupplung 602
 inhomogene Randbedingung 147
 Innengewinde 285
 Innenradpaar 681, 683
 Innenteil 254
 Innenverzahnung 670
 Innenzentrierung 343
 innere Teilkegellänge 691
 innerer Modul 687
 innerer Teilkreisdurchmesser 691
 Integrationskonstante 430
 ISO 15
 ISO-Toleranzsystem 20
 Istabmaß 20
 Istmaß 19
 Istoberfläche 29
 Käfig 541
 Kältemaschinenöl 481
 Kalthärter 228, 232
 Kaltriet 239
 Kantendruck 496
 Kapillarviskosimeter 476
 Kardan-Gelenkwelle 582
 Kavitationsschaden 504
 Kegel-Spannsatz 279
 Kegelfeder 405
 Kegelhahn 855
 kegelige Druckfeder 405
 Kegelrad 636, 667, 684, 690, 707, 710, 728
 Kegelradgetriebe 738
 Kegelreibkupplung 601
 Kegelrollenlager 540, 542, 548, 557
 Kegelrollentrieb 785
 Kegelschmiernippel 492
 Kegelstift 353, 360
 Kegelverbindung 348
 Kegelwinkel 348
 Kehlnaht 169
 Keilriemenscheibe 805
 Keilriementrieb 802
 Keilrippenriemen 804, 807
 Keilschieber 853
 Keilspalt 488
 Keilspaltverhältnis 533
 Keilstahl 342
 Keilwellenverbindung 343
 keramisches Lager 505
 Kerbnagel 355
 Kerbquerschnitt 423
 Kerbspannung 109, 422, 456
 Kerbspannungskonzept 456
 Kerbstift 353–354, 357
 Kerbwirkung 108, 413
 Kerbwirkungszahl 110, 422–423, 457, 459, 461
 Kerbzahln 109
 Kerbzahnprofil 345
 Kernquerschnitt 319
 Kesselformel 401
 Kettenart 766
 Kettengeschwindigkeit 775
 Kettenkraft 776
 Kettenrad 769
 Kettenspanner 772
 Kettenteilung 766
 Kettentrieb 764
 kinematische Viskosität 475
 Kippsegment 531
 Kippsegmentlager 511
 Klammerverbindung 834
 Klappe 850, 855
 Klauenkupplung 600
 Klebstoff 225
 Klebverbindung 225
 Kleinrad 636, 639
 Klemmrollen-Freilauf 620
 Klemmstück-Freilauf 619
 Klemmverbindung 280–281
 Klemmwinkel 620
 Knebelkerbstift 355
 Knicklänge 376
 Knicksicherheit 333
 Knickung 94
 Köcherbürstenhalter 609
 Kohäsion 225
 Kolben 476, 495
 Kolbenfresser 503
 Kolbenlöten 216
 Kolbenpumpe 495
 Kolbenring 476
 Kolbenschieberventil 852
 konsistenter Schmierstoff 473
 Konsistenz 482
 Konsole 839
 Konstruieren 36
 Konstruktionstechnik 15
 Kontaktklebstoff 228
 Kontaktverschweißung 470
 Kontinuitätsgleichung 842
 Konvektion 513, 534
 Konzipieren 38
 Kopfbahn 679
 Kopfeingriffsstrecke 714
 Kopfflanke 643
 Kopfhöhe 667
 Kopfkegelwinkel 687
 Kopfkreisdurchmesser 668, 673, 676, 686, 750, 770, 819
 Kopfkürzungsfaktor 681
 Kopfschraube 287
 Kopfspiel 667
 Kopfwinkel 687
 Korrosionsschutz 294

- Kraft 151
 Kraftamplitude 316
 Krafteinleitungsfaktor 314
 Kräfteplan 71
 Kraftfahrzeugkupplung 407, 602
 Kraftfluss 300
 kraftschlüssiger Hülltrieb 802
 Kraftverhältnis 311, 320
 Krananlage 624
 Kreisbogenzahn 638
 Kreuzgelenk 582–583
 Kreuzlochmutter 289
 Kreuzlochschraube 287
 Kreuzstück 829
 Kristallstruktur 51
 kritische Drehzahl 453
 Kronenmutter 289
 Krümmer 829
 Kugelbüchse 552
 Kugeleolvent 684
 Kugeleolventenverzahnung 685
 Kugelgewindetrieb 334
 Kugelhahn 855
 Kugellager 540
 Kugelumlaufspindel 334
 Kunststoff 504, 785
 Kunststofffitting 831
 Kunststoffrohr 828
 Kupfer 499
 Kupferrohr 828
 Kupplung 577
 Kupplungsbeiwert 580
 Kupplungsgröße 609
 Kupplungskennlinie 587, 589
 Kurbeltrieb 510
 Kurbelwelle 509, 528
 Kurbelwellengleitlager 510
 Kurzname 56
 Kurzzeitfestigkeit 64
 Kutzbachplan 656
- Labyrinth 575
 Labyrinthdichtung 574
 Lager 76, 151
 Lagerbohrung 541
 Lagerbuchse 507
 Lagerkraftpolarigramm 528
 Lagermetall 499, 501
 Lagerreihe 541
 Lagerschaden 502
 Lagerschale 509
 Lagerspiel 510, 514
 Lagetoleranz 30
 Lamellenkupplung 602–603, 610
 laminare Rohrströmung 843
 Laminat 49
 längsbeanspruchte Schraubenver-
 bindung 320
 Längskeil 338
 Längskeilverbindung 337
 Längskraft 258, 414
 Längspressverband 254
 Längspressverbindung 349
 Längsstift 360
 Laserstrahllöten 218–219
 Lastspiel 316
 Lasttrum 764, 776, 782
 Lasttrumspeicherung 793
 Laufgeräusche 737
 Lauftoleranz 30
 Lebensdauer 552
 Lebensdauerfaktor 723, 726, 731
 Leder 785
 Leertrum 772, 782–783
 Leertrunkraft 800
 legiertes Öl 480
 Leibung 206, 242, 324
 Leichtmetallniet 239
 Leichtschalthahn 855
 Leitpaste 483
 Lichtbogenlöten 218
 Lichtstrahllöten 216, 218
 Lichtstrahlschweißen 212
 Linear-Kugellager 552
 Linearführung 552
 Linienbelastung 728
 Linksflanke 645
 Linkssteigung 671
 Linsenausgleicher 836
 Linsenbalg 836
 Linsensensschraube 287
 Lochleibung 242
 Lockern 295
 LOCTITE 297
 lösbare Verbindung 254
 Losdrehen 295
 Losdrehesicherung 296
 Loslager 76, 544, 546
 Lot 215
 Lotbadlöten 216–217
 Löten im Gasofen 216
 Löttemperatur 215
 Lötverbindung 215, 220, 222
 Lötverschraubung 835
 Luftfahrt-Norm 247
 Luftfeder 403
 Luftschlauch-Kupplung 606–607
 Lyra-Bogen 836
- M-Anordnung 583
 Magnesiumlegierung 203
 Magnetkupplung 598
 Maschinenelement 36
 Maß 16, 19
 Massenträgheitsmoment 590
 Massivbuchse 507
 Maßreihe 541
 Maßtoleranz 20
 Maximum-Material-Bedin-
 gung 31
 Maximum-Material-Grenz-
 maß 20
 Mehrflächengleitlager 511
 Mehrflächenlager 489
 Mehrmassen-Torsionsschwin-
 ger 629
 Mehrscheibenkupplung 610
 Mehrschichtriemen 796
 Mehrschraubenverbindung 298
 Mehrstofflager 500
 Mehrwegehahn 855
 Membranfeder 607
 Membranventil 852
 Messing 203, 500
 Metalastic-Feder 408
 Metall-Kunststoff-Verbundla-
 ger 504–505
 Metallbalgkupplung 584
 Metalldichtung 834
 Metallfeder 405, 584
 Metallkupplung 588
 Metallseife 482
 Metallweichstoffdichtung 833
 methodisches Konstruieren 36
 Mikrodrall 570
 Mikroschlupf 471
 Mindestdrehzahl 533
 Mindesteinschraubtiefe 302
 Mindestklemmkraft 315, 320,
 324
 Mindestübermaß 261
 Mindestzähnezahl 680
 Mineralöl 473
 Mischreibung 470, 489, 516
 Mischschaltung von Federn 364
 Mitnahmebetrieb 621
 Mittelkraft 316
 Mittelspannung 64, 101, 458
 Mittelspannungsempfindlich-
 keit 126
 Mittenrauwert 33
 Mittensteigungswinkel 750
 Mittenzylinder 750
 mittlere Stirnteilung 691
 mittlere Teilkegellänge 691
 mittlerer Fußkreisdurchmesser
 691
 mittlerer Kopfkreisdurchmesser
 691
 mittlerer Modul 687
 mittlerer Schrägungswinkel 692
 mittlerer Stirnmodul 691
 mittlerer Teilkreisdurchmesser
 691
 Modellierung der Fläche 39
 Modul 667, 686, 819
 Molybdändisulfid 473, 481,
 483–484
 Momentenanschluss 243
 Montagehülse 571
 Montagepaste 483
 Montagevorspannkraft 306, 315,
 320, 323–324
 Montagevorspannung 306
 Motorenöl 476

- Motorrad-Lamellen-Nasskupplung 605
 Muffe 829
 Muffenverbindung 835
 Mutter 292, 295
 Muttergewinde 285

 Nachgiebigkeit 308, 310, 320
 Nadellager 540, 547
 Naht 169
 Nahtdicke 169
 Nahtform 170
 Nahthäufung 177
 Nahtvolumen 178
 Nahtwurzel 177
 Nasenflachkeil 339
 Nasenhohlkeil 339
 Nasenkeil 339
 Nasskupplung 602
 Nasslauf 608
 Nassumpfschmierung 495–496
 NBR 568
 Nehrmerzylinder 624
 Neigungslinie 430
 Neigungswinkel 433, 435
 Nenndrehmoment 580
 Nenndruck 825
 Nennleistung 695, 793
 Nennmaß 19
 Nennmoment 695
 Nennspannung 456
 Nennspannungskonzept 456
 Nenumfangskraft 723
 Nennweite 825
 Newtonsche Flüssigkeit 475
 Nichteisenmetalle 61
 nichtlösbare Verbindung 156
 nichtmetallischer Lagerstoff 504
 nichtrostender Stahl 203
 nichtschaltbare Kupplung 577
 niedriglegierter Stahl 59
 Nietstift 245
 Nietverbindung 238, 240
 Nietverbindung im Leichtmetallbau 247
 Nietverbindung im Maschinen- und Gerätebau 244
 Nikasil 472
 Nilosring 567–568
 Nitrieren 56
 Nitrierstahl 57
 NLGI-Klasse 482
 nominelle Lebensdauer 553
 Norm 15
 Normaleingriffsteilung 673
 Normaleingriffswinkel 672, 750
 Normalflankenspiel 667
 Normalglühen 55
 Normalisieren 55
 Normalkeilriemen 802
 Normalmodul 672, 691
 Normalprofil 672

 Normalschnitt 748
 Normalspannung 182
 Normalteilung 673, 750
 Normmaß 16–17
 Normmutter 301
 Normzahl 16
 Notlaufverhalten 498
 Nuklearbereich 326
 Null-Achsabstand 668, 673
 Null-Außenverzahnung 667
 Null-Innenverzahnung 669
 Null-Rad 667
 Null-Radpaar 676, 688
 Null-Schrägverzahnung 671
 Null-Verzahnung 667
 Nulllinie 20
 Nutmutter 289
 Nutzkraft 781

 O-Anordnung 557, 559
 O-Ring 572–573
 obere Vergleichsspannung 425
 oberes Abmaß 20
 Oberflächenangabe 35
 Oberflächenbeiwert 108, 424
 Oberflächeneinfluss 424
 Oberflächenzerrüttung 471–472
 Oberkasten 738
 Oberspannung 102, 421
 Ofenlöten 217, 219
 Oktoidenverzahnung 684
 Öl 473
 Öl-Spritzschmierung 713, 715
 Öl-Tauchschmierung 713, 715
 Ölaggregat 506
 Oldham-Kupplung 581
 Ölmangel 503
 Ölnebelschmierung 563
 Ölpumpe 495
 Ölschmierung 563
 Ölumlaufschmierung 564
 Ölviskosität 759
 Orthozykloid 643–644
 Ortstoleranz 30
 Ösenform 370
 Ovalnut 508
 Ovalschieber 853
 Oxidkeramik 505

 P3G 346
 P4C 346
 Packhahn 855
 Palloidverzahnung 692
 Parallelschaltung von Federn 364
 Partikelverbunde 49
 Passfedernut 418
 Passfederverbindung 340–341, 710
 Passfläche 24
 Passkerbstift 355, 359
 Passmaß 20

 Passschraube 323–324
 Passteil 24
 Passtoleranz 24
 Passtoleranzfeld 24
 Passung 16, 19, 23
 Passungsart 23
 Passungsrost 499
 Passungssystem 23–24
 Pendelkugellager 542
 Pendellast 545
 Pendelrollenlager 546
 Penetration 482
 Pfeilzahn 637
 Pflanzenöl 481
 Pflastersteinbildung 504
 Phasenwinkel 591
 Pitting 471, 717
 Planetengetriebe 638
 Planetengetrieben 649
 Planetenträger 650
 Planox-Kupplung 606
 Planrad-Radius 687
 Planverzahnung 669
 plastische Stützzahl 124
 plastische Formzahl 125
 Plastisol 228
 Platte 151
 Plattenschieber 854
 Pleuellager 510
 Pleuellagerschale 503
 PN 825
 Poise 475
 Poissonzahl 62
 polares Flächenmoment 2. Grades 188
 Poffflächen-Kupplung 607–608
 Poly-V-Riemen 511
 Polyadditionsklebstoff 228
 Polyamid (PA) 294, 504
 Polyamid-Zahnrad 709
 Polycarbonat (PC) 294
 Polyethylen 504
 Polygoneffekt 773
 Polygonumschlingung 775
 Polygonwellenverbindung 346
 Polykondensationsklebstoff 228
 Polymerisationsklebstoff 228
 Polynom-Approximation 588
 Polyoxymethylen (POM) 294
 Polystyrol (PS) 294
 Polytetrafluorethylen 504
 Potenzproduktansatz 588
 Pourpoint 478, 481
 Power Grip HTD-Zahnriemen 818, 822
 Präzisionsstahlrohr 827
 Pressschweißverbindung 199
 Presssitz 357
 Pressstumpfschweißen 201
 Pressungsverhältnis 266
 Pressverband 254
 Produktklasse 286

- Produktkonfigurator 41
 Produktplanung 38
 Profilbezugslinie 669
 Profilleitenverschiebung 689
 Profilüberdeckung 682, 687, 692, 737, 742–743, 753
 Profilverschiebung 674–675, 743, 750, 755
 Profilverschiebungsfaktor 675, 677
 Projektionsfläche 512
 Prozesskette 39
 Prüfdruck 826
 Prüfmaß 20
 PTFE 568
 Punktlast 545
 Punktmatrize 444
 Punktschweißverbindung 203
 Punktschweißen 199
 Punktverzahnung 644
 PVD-Verfahren 501
- querbeanspruchte Schraubenverbindung 323
 Querdehnzahl 259
 Querkontraktionszahl 62, 100, 382
 Querkraftgelenk 445
 Querschnittsverband 254
 Querschnittsverhältnis 270
 Querstift 359
- Rad 636
 Rad aus Kunststoff 708
 Radbreite 757
 Radial-Gleitlager 512
 Radial-Kippsegmentlager 511
 Radial-Wellendichtring 568
 Radialfedersteifigkeit 587
 Radialkraft 696–697, 699, 745, 755
 Radiallager 487, 507, 511, 540
 Radialspiel 543
 Raffinat 480
 Randbedingung 151, 430
 Randschichtfaktor 126
 Rauheit 33
 Rauheitsfaktor 126, 726
 räumlichen Spannungszustandes 91
 Rautiefe 33
 Rechtsflanke 645
 Rechtssteigung 671
 Reduktionsverfahren 438
 Reduzierstück 829
 Regelgewinde 286
 Regelorgan 850
 Regleröl 481
 Reibarbeit 613
 Reibbelag 603, 626
 Reibkraft 470, 701
 Reibkupplung 601
- Reibleistung 511–512, 520, 532, 571
 reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindung 254
 Reibschlussverbindung 337
 Reibschweißen 212
 Reibung 469, 701
 Reibungsart 471
 Reibungsmechanismus 470–471
 Reibungsverlust 520
 Reibwert 307, 323
 Reibwinkel 401
 Reibzahl 533
 relative Exzentrizität 517
 relative Lagerbreite 512
 relative Rauigkeit 843
 relative Schmierfilmdicke 533
 relative Stützziffer 723
 relative Übergangs-Exzentrizität 522
 relativer Oberflächenfaktor 723
 relatives Lagerspiel 514
 Relaxation 375
 Resonanz 453, 592
 Resonanzdrehzahl 594
 Resonanzfaktor 594
 Restklemmkraft 315
 resultierende Normalspannung 187
 resultierende Schubspannung 192
 Reynolds-Zahl 517, 843
 Ribe-Triform 288
 Richtlinie 15
 Richtungstoleranz 30
 Riemenbreite 794, 796, 798, 821, 823
 Riemengeschwindigkeit 791, 793, 807, 819
 Riemenlänge 820
 Riemenscheibe 786
 Riemenschloss 803
 Riemenspannkraft 781
 Riemetrieb 780, 784
 Riemenwerkstoff 785
 Rillenkugellager 542–543, 545, 550
 Rimostat-Rutschkupplung 616
 Ringfeder 400
 Ringkegel-Spannelement 273
 Ringnut 543
 Ringschmierung 493, 513
 RINGSPANN-Scheibe 278
 RINGSPANN-Sternscheibe 277
 Ringspurlager 529
 Ritzel 636, 704
 Rizinusöl 481
 Rohniet 238
 Rohrart 827
 Rohraufhängung 840
 Rohrbogen 829
 Rohrformstück 829
- Rohrführung 839
 Rohrhalterung 838
 Rohrrinnendurchmesser 842
 Rohrkraft 837
 Rohrleitung 825, 840–841
 Rohrleitungsverlust 843
 Rohrniet 245
 Rohrreibungszahl 843
 Rohrschweißverbindung 831
 Rohrverbindung 831
 Rohrverschraubung 835
 Rohrwanddicke 845
 Roll-Bohrreibung 471
 Rollenbettradius 770
 Rollenbettwinkel 770
 Rollendruckkraft 800
 Rollenkette 766, 770, 774
 Rollenlager 540
 Rollennahtschweißen 201
 Rollfeder 397–398
 Rollkreis 643
 Rollreibung 469, 471
 Rotary-Kette 766
 Rotationsviskosimeter 476
 ROTEX[®]-Kupplung 585
 Rotguss 499–500
 Rückdrehmoment 332
 Rückenkegel 686
 Rückflanke 645
 Rückhub 330
 Rücklaufsperrung 623–624
 Rückrechnung 151
 Rückschlagklappe 856
 Rückschlagventil 853
 ruhende Belastung 385, 391
 Ruhereibung 469
 Ruhezapfen 413
 Rundgewinde 286
 Rundkeil 360
 Rundlaufgenauigkeit 569
 Rundriemen 813
 Rundschieber 853
 Rundwertreihe 17
 Rutschkupplung 616
 RWDR 570
- SAE-Viskositätsklasse 481
 Sägewinde 286, 329
 Sägezahn 600
 Sanftanlaufschaltung 615
 Satz von Castigliano 431
 Schablonenverfahren 684
 Schaft 238
 Schaftschraube 285, 315
 Schale 151
 Schalenkupplung 579
 schaltbare Kupplung 577
 Schaltkupplung 599, 610
 Schaltpause 614
 Schaltvorgang 611
 Schaltvorrichtung 600
 Scheibe 151

- Scheibenbremse 626
 Scheibenfeder 340, 342
 Scheibenkeil 339
 Scheibenkupplung 579
 Scheinviskosität 521
 Schenkelfeder 387, 392
 Scherbeanspruchung 88
 Scherbuchse 323–324
 Scherspannung 206, 223, 233, 241, 324, 357–360
 Schieber 850, 853
 Schieberabdichtung 854
 Schlagschrauber 304
 Schlankheit 376
 Schlauchfeder 570
 schleifende Dichtung 567
 Schleifring 606
 Schleuderring 574
 Schließkopf 239
 Schmalkeilriemen 803
 Schmelzklebstoff 228
 Schmelzschweißverbindung 156
 Schmierfett 473, 482
 Schmierfilmdicke 520
 Schmierfiltemperatur 514
 Schmierhahn 855
 Schmierkennwert 714, 759
 Schmiernut 491, 508, 530
 Schmieröl 474, 481, 530, 534, 714
 Schmieröldurchsatz 515, 534
 Schmierpaste 473, 483
 Schmierstoff 473, 489, 713
 Schmierstoffart 474
 Schmierstoffbenetzbarkeit 498
 Schmierstofffaktor 726
 Schmier Tasche 491
 Schmierung 469, 713, 758, 778
 Schmierungsart 759
 Schmierwachs 473, 483
 Schnecke 756
 Schneckenbreite 757
 Schneckengetriebe 761–762
 Schneckenrad 756
 Schneckenradsatz 748–749, 754, 758, 760
 Schneidringverschraubung 836
 Schnellarbeitsstahl 59
 Schnittkräfte 72
 Schnittstellenproblematik 41
 Schrägenfaktor 723, 725, 730
 Schrägkugellager 542, 551, 557
 Schrägstirnrad 742
 Schrägungswinkel 671, 673, 690, 696
 Schrägverzahnung 680, 707
 Schrägzahn 638
 Schrägzahnrad 674
 Schraub-Stirnradpaar 742–743
 Schraube 284, 295
 Schraubenanziehmoment 304, 306, 318, 320
 Schraubendrehfeder 387
 Schraubendruckfeder 405
 Schraubenende 289
 Schraubenfeder 366
 Schraubenkopfform 287
 Schraubennut 508
 Schraubenpaste 483
 Schraubenrad 636
 Schraubentellerfeder 406
 Schraubenverbindung 295, 309
 Schraubenzugfeder 370, 377
 Schraubenzusatzkraft 314
 Schraubflächen-SIKUMAT-Kupplung 618
 Schraubmuffe 835
 Schraubverbindung 835
 Schrittmodul 629
 Schrumpf-Dehnverband 255, 273
 Schrumpfring 414
 Schrumpfscheiben-Verbindung 279
 Schrumpferverband 254
 Schubbeanspruchung 87, 188
 Schubmodul 366, 409
 Schubspannung 87, 184, 188, 191, 207, 373–374, 377, 394
 Schulterkugellager 542, 547
 Schutzlippe 568
 Schutzschicht 294
 Schweißkonstruktion 177
 Schweißprozess 157
 Schweißstromquelle 166
 Schweißverfahren 156
 Schweißbuckel 208
 Schweißen von Kunststoff 211
 Schweißlinse 207
 Schweißmutter 290
 Schweißnahtfläche 182
 Schweißpunktdurchmesser 205
 Schweißverbindung 831
 Schweißverbindung im Maschinen- und Gerätebau 193
 Schweißzone 177
 Schwell-Dauerfestigkeit 729
 Scherachsenabstand 189
 schwingende Belastung 385, 391
 Schwingfestigkeit 64
 Schwingenspielzahl 64, 104
 Schwingungs-Differenzialgleichung 590
 Schwingungsdämpfer 764
 Schwingungsdämpfung 588
 Schwungmoment 590
 Sechskant-Hutmutter 289
 Sechskantmutter 289
 Sechskantschraube 287
 Seegerring 413
 Segment-Spurlager 530
 selbsthemmend 332
 Selbsthemmung 330, 350, 401, 620, 756
 Selbstschwächung 625
 selbstsichernde Mutter 297
 Selbstspannbetrieb 783
 Selbstverstärkung 625
 Selbstverstärkungseffekt 625
 Senkernnagel 355
 Senkschraube 287
 Sensitivitätsanalyse 40
 SERVOMAX[®] Elastomer-Kupplung 586
 Sespabetrieb 783
 Setzen 295, 310
 Setzkopf 238
 Shore 409
 Sicherheit 113, 426, 760
 Sicherheitsbremse 629
 Sicherheitsfaktor 723, 726, 729
 Sicherheitskupplung 616
 Sicherheitsorgan 850
 Sicherheitsventil 853
 Sicherungsblech 296
 Sicherungsmutter 296
 Sicherungsring 356, 413, 546
 Sicherungsscheibe 356
 Silikon 47
 Simmerring 570
 Simplex-Rollenkette 766
 Simplexbremse 625
 Sintermetall 499
 Smith 105
 Smith-Diagramm 64, 424
 Sommerfeld-Zahl 517, 519
 Sommerviskosität 476
 Sondermessing 499
 Sonderschraube 327
 Sonnenrad 638, 650
 Spaltdichtung 573
 Spaltfunktion 519
 Spalthöhe 519
 Spaltlöten 217, 220
 Spalttopf 599
 Spannband 773
 Spannelementverbindung 273
 Spannhülse 324
 Spannlager 548–549
 Spannrad 764, 772
 Spannrolle 806
 Spannrollenabstand 800
 Spannrollenbetrieb 783
 Spannrollentrieb 800, 818
 Spannsatz 274
 Spannscheibe 296
 Spannscheibensatz 278
 Spannschraube 276
 Spannstift 323, 353, 361
 Spannung 80
 Spannung in Schweißnaht 179
 Spannungs-Dehnungs-Diagramm 101
 Spannungs-Dehnungs-Kurve 61
 Spannungsamplitude 458
 Spannungsarmglühen 56
 Spannungsausschlag 319

- Spannungskollektiv 121
 Spannungskorrekturfaktor 723
 Spannungsnachweis 113
 Spannungsquerschnitt 300
 Spannungsverhältnis 102
 Spannwellenbetrieb 783
 Sperrzahnmutter 297
 Sperrzahnschraube 297
 Spezialschraube 326
 spezifische Lagerbelastung 511–512, 532
 spezifisches Gleiten 648
 sphärischer Evolvent 684
 spielfreie Kupplung 585
 Spielpassung 23
 Spindel 329
 Spiralfeder 396–397
 Spiralschnecke 751
 Spiralspannstift 353, 361
 Spiralwinkel 690
 Spiralzahn 638
 Spitzengrenze 680
 Splint 296, 356
 Sprengring 356, 546
 Spritzrille 574
 Sprung 672
 Sprunggröße 445
 Sprungüberdeckung 683, 742
 Sputterlager 502
 Stab-Fachwerk 151
 Stabfeder 393
 Stabilitätsberechnung 376
 Stahl 203, 281
 Stahl-Lamellenkupplung 581
 Stahlbau 326
 Stahlbolzenkette 766
 Stähle 57
 Stahlfitting 829
 Stahlguss 60, 281
 Stahlkonstruktion 323
 Stahl lamelle 603
 Stahlniet 238
 Stahlpanzerrohrgewinde 286
 Stahlrohr 827
 Stahlschraube 291
 Standübersetzung 653
 Stanznietverbindung 238
 Starrschraube 315
 statisch äquivalente Belastung 554
 statische Beanspruchung 375, 377, 426
 statische Belastung 394
 statische Kennzahl 554
 statische Stützwirkung 458
 statische Tragfähigkeit 554
 statische Tragzahl 554
 Statistischer Festigkeitsnachweis 117
 Staufferbuchse 492
 Steckmuffe 835
 Steckmuffenverbindung 835
 Steckstift 358
 Steg 650
 Stehlager 509, 549
 Steigung 330
 Steigungswinkel 401, 671
 Stellring 414, 546
 Sternscheibenverbindung 277
 Stick-Slip-Effekt 483
 Stift 353
 Stiftschraube 288
 Stirn-Breitenfaktor 728
 Stirneingriffsteilung 673, 677
 Stirneingriffswinkel 672–673, 725, 730
 Stirnfaktor 720, 723, 726, 728
 Stirnkehlnaht 184
 Stirnmodul 672, 691, 750
 Stirnprofil 672
 Stirnrad 636, 667, 706
 Stirnradgetriebe 738
 Stirnschnitt 748
 Stirnteilung 673
 Stirnzahnverbindung 350
 Stirnzapfen 413
 Stockpunkt 478
 Stokes 475
 Stopfbuchs-Dichtung 567
 Stopfbuchsen-Dehnungsausgleicher 836
 Stopfbuchsenmuffe 835
 Streckgrenze 62–63, 300, 319, 323, 458
 Stribeck-Kurve 489
 Stribecksche Wälzpressung 713
 Stufensprung 16
 Stufenzahn 637
 Stulpmutter 301
 Stumpfnaht 168
 Stutzen 829, 839
 Stützweite 840
 Stützzahl 460–461
 Stützziffer 424, 460
 Suspension 473
 Synchroflex-Zahnriemen 818, 820
 Synchroneinrichtung 601
 Synchronriemen 816
 Synchronriementrieb 816
 SYNTEX-Kupplung 618
 Syntheseöl 473, 481
 System Einheitsbohrung 24
 System Einheitswelle 24
 T-Stück 829
 Taillenschraube 308, 323
 Tandem-Anordnung 559
 Tangentialkraft 695–697, 699, 745, 755
 Tangentialspannung 401
 Tangentkeil 339
 Taper-Spannbuchse 806, 818
 Tauchschmierung 493, 563, 778
 Taylor'scher Prüfgrundsatz 28
 Taylor-Entwicklung 428
 technologischer Größeneinfluss 458–459
 Teflon 504, 568
 Teilkegellänge 687
 Teilkegelwinkel 686, 690
 Teilkreis 667, 686
 Teilkreisdurchmesser 668, 673, 686, 750, 770, 819
 Teilschmierung 476
 Teilung 667–668, 687, 770, 819
 Tellerfeder 378–379, 604
 Tellerfeder mit Anlagefläche 382
 Tellerfederkupplung 604
 Tellerfedersäule 384, 387
 Temperaturfaktor 593
 Temperguss 60, 281
 Tempergussfitting 830
 Ternäre Galvanik 500
 Tetmajer 95
 Tetraeder 151
 Thermoplasten 47
 thermoplastische Elastomere 47
 Toleranz 16, 19, 256
 Toleranzfaktor 21
 Toleranzfamilie 712
 Toleranzfeld 20
 Toleranzgrad 20
 Toleranzklasse 20
 Toleranzring 279–280
 toleriertes Maß 20
 Tolerierungsgrundsatz 27
 Tolerierungsprinzip 33
 Tonnenlager 540
 Topfzeit 228
 Torsionsbeanspruchung 89
 Torsionsfedersteifigkeit 587
 Torsionsmoment 414, 452
 Torsionsspannung 333, 373, 415, 421, 456
 Torsionssteifigkeit 590
 Toruselement 151
 TORX-Schraubensystem 287
 Tragbild 737
 Träger 414
 Trägerabschnitt 443
 Tragfähigkeit 552, 715, 746, 760
 Tragfähigkeit des Kegelrades 695
 Tragfähigkeit des Stirnrades 695
 Tragfähigkeitsberechnung 422
 Tragfähigkeitsberechnung nach DIN 743 456
 Trägheitsradius 94
 Tragzahl 532
 Transport-Zahnkette 768
 Trapezgewinde 286, 329
 Trapez Zahn 600
 Treibkeil 338–339
 Trennfugenzahl 312

- Tribochemische Reaktion 472–473
 Tribokorrosion 483
 Tribologie 469
 Tribosystem 497
 Triebart 783
 Triebstockverzahnung 644
 Triplex-Rollenkette 766
 Trockenkupplung 602
 Trockenlauf 608
 Trockenreibung 470
 Trockensumpfschmierung 495
 Trommelbremse 624
 Tropföler 493
 Tropfölschmierung 513
 Tropfschmierung 778
 Trunkkraftverhältnis 781
 Trumneigungswinkel 789, 808, 820
 Turbinenlager 511
 Turbokupplung 598
 Turbomaschine 575
 turbulente Rohrströmung 843
 U-Bogen-Dehnungsausgleicher 837
 Überdeckungsfaktor 721, 723, 725, 730, 735
 Übergangs-Sommerfeld-Zahl 522
 Übergangsdrehzahl 489, 533
 Übergangspassung 23
 Überholbetrieb 623
 Überholkupplung 622
 Überlappklebung 231
 Überlappschweißen 213
 Überlastkupplung 617
 Übermaßpassung 23, 254
 Übermaßverlust 259
 Überschlagsberechnung 418
 Übersetzung 592, 638–639, 774, 791, 807, 819
 Übersetzungsfaktor 775
 Übertragungsmatrix 443–444
 Übertragungsverfahren 438, 452
 UKF-Lager 551
 Ultraschallschweißen 212
 Umfangsgeschwindigkeit 696
 Umfangskraft 258
 Umfangslast 545
 Umlaufrädergetriebe 650
 Umlaufschmierung 494
 Umlenkrollentrieb 784
 Umschlingungswinkel 789, 808, 820
 Unabhängigkeitsprinzip 28, 31
 UNC-Gewinde 286
 Ungleichförmigkeitsgrad 583
 unlegierter Stahl 59
 unteres Abmaß 20
 Unterkasten 738
 Unterlegelement 296
 Unterschnitt 679–680
 Unterspannung 102
 V-Achsabstand 676
 V-Außenradpaar 681
 V-Innenradpaar 677
 V-Kreis-Durchmesser 676
 VDE-Bestimmung 16
 VDG-Merkblatt 16
 VDI-Richtlinie 16
 Ventil 850–851
 Ventildfeder 393
 Verbrennungsmotor 528
 Verbundriemen 785, 813
 verdrehkritische Drehzahl 456
 Verdrehwinkel 396, 452–453
 Verfahren nach Castigliano 452
 Verformung 736
 Vergleichs-Ausschlagsspannung 423
 Vergleichsausschlagsspannung 112
 Vergleichsmittelspannung 112, 462
 Vergleichsspannung 187, 333
 Vergrößerungsfunktion 591
 Vergüten 55
 Vergütungsstahl 57, 203
 verhältnismäßige Dämpfung 589
 Verlagerungswinkel 518–519
 Verlängerung 837
 Verliersicherung 296
 Verlustleistung 613, 844
 Verlustschmierung 496
 Verlustzahl 844, 850
 Verschiebung 151
 Verschleiß 469, 471
 Verschleißschutzadditive 476
 Verschleißtragfähigkeit 718
 Verschleißverringerung 472
 Verschleißwiderstand 498
 Verspannungsschaubild 311
 Versteilscheibe 814
 Verzahnungsart 636
 Verzahnungsfehler 719
 Verzahnungsgesetz 636, 639
 Verzahnungsqualität 710, 712, 720, 758
 Zahnwerkzeug 680
 VI-Verbesserer 478, 481
 Vierkantmutter 289
 Vierkantschraube 287
 Vierpunktlager 542
 Virtual-Reality-Umgebung 41
 virtuelle Entwicklung 41
 virtuelle Zähnezahl 686–687
 virtuelles Zähnezahlverhältnis 687
 Viskosität 474, 489
 Viskositätsindex 478
 Viskositätsklasse 476
 V_{minus}-Radpaar 676
 V_{null}-Radpaar 676, 688
 Voith-Turbokupplung 598
 Voll-Kunststoffkupplung 586
 Vollschröpfung 476
 vollumschlossenes Lager 523
 Vollwelle 412
 Volumelement 151
 Volumenstrom 842, 850
 Vorschubfreilauf 621
 Vorschweißflansch 832–833
 Vorsetzen 394
 Vorspannkraft 275, 312, 324, 370
 Vorspannkraftverlust 311, 320
 Vorspannlänge 837
 Vorspannung 377
 V_{plus}-Radpaar 676
 Vulkanisation 409
 W-Achsabstand 676
 Wälzfräsen 674
 Wälzelenk 768
 Wälzgleiten 647
 Wälzkörper 540
 Wälzkörperform 541
 Wälzkreis 639, 667
 Wälzlager 540
 Wälzlager-Außenring 546
 Wälzlager-Innenring 546
 Wälzlager-Käfig 541
 Wälzprüfung 711
 Wälzpunkt 639
 Wälzreibung 469, 471
 Wälzstoßen 674
 Wälzverfahren 684
 Wälzzylinder 742
 Wanddicke 846
 Wärmebehandlung 53, 54
 Wärmedehnzahl 499
 Wärmeleitkoeffizient 479
 Wärmestrom 513–514, 534, 613
 Wärmeübergangszahl 513, 614
 Wärmeverlust 841
 Warmgaslöten 216
 Warmgasschweißen 212
 Warmhärter 228, 232
 Warmniet 239
 wartungsfreies Gleitlager 537
 Wechselbiegebeanspruchung 413
 Wechselbiegung 421
 Wechselfestigkeit 458–459
 Wechselmoment 593
 Weichlot 219
 Weichlöten 215
 Weichlötverbindung 223
 Weichlötverfahren 216
 Weichstoffdichtung 833
 Weißmetall 499–500
 Welle 412
 Wellenabsatz 460
 Wellenbremse 577
 Wellendichtung 567
 Wellendurchmesser 419

- Wellenelement 448
Wellengelenk 583–584
Wellenkupplung 577, 586
Wellenverlagerung 594
Wellenwerkstoff 572
Wellrohr-Dehnungsausgleicher 837
Wellrohrausgleicher 836
Werknorm 16
Werkstoff 413
Werkstoffkennwert 61, 66
Werkstoffnorm 16
Werkstoffnummer 56
Werkstoffpaarungsfaktor 726
Werkstoffschaubilder 46
Werkzeugmaschine 343
Whitworth-Rohrgewinde 286
Wickelverhältnis 366
Widerstandslöten 216, 218
Widerstandsmoment 419
Widerstandspressschweißen 199
Widerstandszahl 844
Willisgleichung 654
Windungsdurchmesser 366
Winterviskosität 476
wirksames Übermaß 259
Wirkungsgrad 332, 701, 744, 754–755
Wöhlerdiagramm 63, 103
- X-Anordnung 558, 560
- Z-Anordnung 583
ZA-Schnecke 751
Zahnbreite 687, 707, 770
Zahndicke 647
Zähnezahl des Planrades 687
Zähnezahlfaktor 774
Zähnezahlverhältnis 638, 749
Zahnflanke 642
Zahnflankenradius 770
Zahnfußnennspannung 723, 728
Zahnfußspannung 723, 729, 734
Zahnfußtragfähigkeit 716, 723, 728, 734
Zahnkette 767–768
Zahnkraft 415, 695, 697, 743, 754
Zahnkupplung 600
Zahnrad 636
Zahnradpaar 742
Zahnradpumpe 494
Zahnriementrieb 816
Zahnscheibe 296, 818
Zahnstange 636, 669, 677
Zahnstangenprofil 669
Zahnstangenradpaar 682
Zahntemperatur 733
Zahnverformung 736
Zahnwellenverbindung 345
Zapfen 413
Zeit-Schwellfestigkeit 734
Zeitfestigkeit 64, 386, 732
Zeitkonstante 614
Zeitwählfestigkeit 735
Zertifizierung im Metallbau 174
ZI-Schnecke 751, 753
Ziehschweißen 213
Zink 499
Zinn 499
Zinnbronze 203
Zitronenspiellager 490
ZK-Schnecke 752
ZN-Schnecke 751
Zonenfaktor 725, 730, 735
Zug/Druckspannung 456
Zugfeder 369, 372
Zugfestigkeit 63
Zugkraft 776, 821
Zugmutter 301
Zugscherfestigkeit 222, 234
Zugspannung 223, 242, 333, 421
Zugversuch 61
zulässige Fugenpressung 266, 269
zulässiges Höchstübermaß 261
Zusammengesetzte Beanspruchung 90
Zustandsdiagramm 52
Zweiflanken-Wälzprüfung 711
Zweikomponentenklebstoff 228
Zweimassenschwinger 590, 592–593
Zweischeibenkupplung 606
Zweischichtlager 503
Zykloidenverzahnung 642–643
Zylinderkerbstift 355, 360
Zylinderlaufbahn 476, 495
Zylinderrad 636
Zylinderrollenlager 540, 542
Zylinderschnecke 748–749
Zylinderschraube 287
Zylinderstift 353
zylindrischer Pressverband 256