

Schraube (Verbindungselement)

Eine **Schraube** ist ein zylindrischer Stift oder Bolzen, auf dem ein Gewinde aufgebracht ist. Sie bildet zusammen mit einem Gegenstück mit Innen-Gewinde (sehr oft eine Mutter) ein Verbindungselement. Bei Schrauben mit *Kopf* dient die Ringfläche unter dem Kopf als axialer Anschlag. Der Kopf enthält einen Schlitz, ein Sechskant (Außen- oder Innen-) oder ein anderes Formelement zur formschlüssigen Verbindung mit einem Werkzeug zum Drehen der Schraube.

Das Gewinde stellt eine schiefe Ebene (Keil) dar, die wendelförmig auf den Grundkörper gewickelt ist. Infolge der Keilwirkung wird ein kleines Drehmoment beim *Anziehen* der Schraube zu einer großen Axialkraft verstärkt, andererseits wird eine große Drehung in eine kleine Axialbewegung umgewandelt (zum Justieren angewendet).

Eine **Schraube** ist auch eines der beiden Teile eines Schrauben-Getriebes.



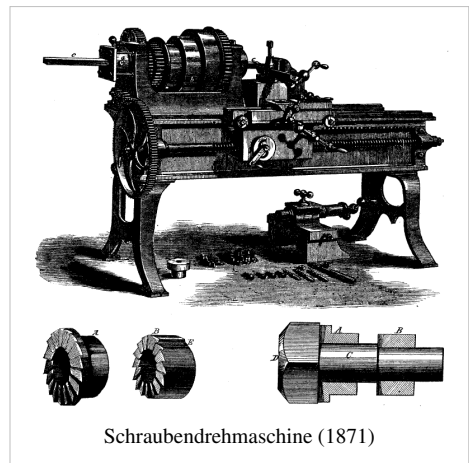
selbstschneidende Schrauben für Holz (links) oder
Spanplatte (Mitte) und Blech
übrige Schrauben mit metrischem Metallgewinde

Geschichte

Die älteste bekannte Schraube ist die Archimedische Schraube, welche der assyrische König Sin-ahhe-eriba zur Wasserversorgung der Hängenden Gärten von Babylon und Ninives im 7. Jahrhundert v. d. Z. installieren ließ. Die Schraube wurde später durch den griechischen Mathematiker Archytas von Tarent (428-350 v. d. Z.) beschrieben. Sie diente jedoch dem Wassertransport und nicht als Verbindungselement und unterscheidet sich dadurch von den hier betrachteten Schrauben. Im 1. Jahrhundert v. d. Z. waren Schrauben aus Holz im Mittelmeerraum für Öl- und Weinpressen verbreitet. Hier kam zum ersten Mal das gleiche Prinzip zum Tragen wie bei der Schraube als Verbindungselement.

Zu Beginn des 15. Jahrhunderts wurden die ersten Metallschrauben in Europa gefertigt, konnten sich aber aufgrund der hohen Preise nicht durchsetzen. Erst durch die Industrialisierung im 18. Jahrhundert konnten Schrauben als preiswerte Massenware hergestellt werden und so weite Verbreitung finden. Nachfolgend eine Zeittafel der neuzeitlichen Errungenschaften:

- 1744: Erfindung eines Bits mit flacher Klinge für eine Art Handbohrmaschine, Vorgänger des Schraubendrehers.
- 1770: Der englische Werkzeugmacher Jesse Ramsden (1735–1800) entwirft die erste zufriedenstellende Drehmaschine.



Schraubendrehmaschine (1871)

- 1797: Der britische Ingenieur Henry Maudslay (1771–1831) patentiert eine Gewindeschneidmaschine.
- 1798: Der Amerikaner David Wilkinson patentiert eine ähnliche Maschine in den USA.
- ab 1800: Herstellung und Verwendung von Hand-Schraubendrehern
- 1908: Der Kanadier Peter Lymburner Robertson (1879–1951) entwirft die Robertson-Schraube, die in Nordamerika zum Standard wird.
- 1930er: Der Amerikaner Henry F. Phillips kauft das Phillipsschrauben-Patent von J. P. Thompson (patentiert 1933).
- während des Zweiten Weltkrieges wurden Gewinde standardisiert, so dass austauschbare Teile in allen Ländern der Alliierten hergestellt werden konnten.

Die ein bis zwei Klemmen von Tischlerwerkbänken (Hobelbank) wurden bis um 1950 überwiegend mit Holzgewinden gefertigt.

Anwendung, Aufbau

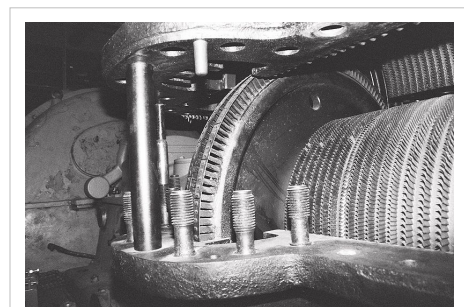
Schrauben dienen als lösbare Verbindungen von Bauteilen aller Art. Dazu werden ihr Gewinde in ein entsprechendes „Muttergewinde“ bzw. Innengewinde eingedreht. Dabei wird die Schraube gedehnt und die zusammengefügte Teile werden gestaucht. Die Schraube hält also die Bauteile durch eine Klemmverbindung zusammen, sie wird hauptsächlich auf Zug, meist aber wegen des Steigungs- und Reibungswiderstandes auch auf Torsion beansprucht.

Zwar werden Schrauben manchmal auch auf Scherung oder Biegung beansprucht, allerdings sind sie für diese Verwendung nicht sonderlich gut geeignet. Das Gewinde stellt eine Kerbung der Oberfläche dar, die die Belastbarkeit auf Scherung und Biegung gegenüber einem glatten Bolzen herabsetzt.

Der Kopf mit seiner jeweils speziellen Form dient einerseits als Angriffspunkt für das zugehörige Drehwerkzeug (Schraubenschlüssel, Schraubendreher, Innensechskantschlüssel etc.), andererseits als Auflagefläche zum Andrücken des „obersten“ Teils auf das darunterliegende zu verbindende Teil.

Es gibt Schrauben mit weniger als einem halben Millimeter Durchmesser für Uhrwerke oder auch mannshohe, schenkeldicke Verbindungselemente an Großmaschinen oder Bauwerken.

Aufgrund steigender Wiederverwertungsquoten und Rohstoffpreise sind Schraubverbindungen nach wie vor aktuell oder sogar im Aufwärtstrend. Sie erleichtern es Zerlegebetrieben, ausgediente Geräte und Anlagen sortenrein zu trennen und gegebenenfalls Komponenten wiederzuverwenden.



Stiftschrauben an einer Dampfturbine

Mechanik einer Schraubverbindung

Die Verbindung Schraube/Werkstücke/Mutter ist in axialer Richtung formschlüssig, nur bei Passschrauben ist auch die radiale Verbindung zwischen Schraubenschaft und Werkstück formschlüssig.

Das Anziehen einer Schraubverbindung bewirkt das Aufbringen einer axialen Normalkraft infolge geringer elastischer Verformung des Schaftes und des Werkstücks. Der Schraubenschaft wird dadurch im elastischen Bereich gedehnt, die verspannten Werkstücke im Bohrungsbereich gestaucht. Die Verbindung selbst ist dadurch kraftschlüssig und besitzt Eigenschaften einer Feder.

Gegen das mögliche Lösen nach dem Anziehen einer Schraubverbindung werden im Maschinenbau kritische Schraubenverbindungen so ausgeführt, dass beispielsweise überlagerte Schwingungen und deren Amplituden die Federvorspannung nicht aufheben. Kennzeichen einer solchen Schraubverbindung ist das Anziehen mit einem vorgegebenen Drehmoment, eine zusätzliche Schraubensicherung ist dann nicht erforderlich. Daneben sind als

Zusatzelemente Schraubensicherungen gebräuchlich.

Herstellung

Für die Produktion von Kopfschrauben gibt es heute hauptsächlich zwei Herstellverfahren:

- das Kaltfließpressverfahren auf mehrstufigen Pressen für große Stückzahlen und Durchmesser bis zur Zeit maximal M 36. Das Ausgangsmaterial wird als Draht auf Spulen aufgewickelt angeliefert und in den Pressen vorgeschalteten Anlagen abgehaspelt, gerichtet und gegebenenfalls auf den gewünschten Durchmesser reduziert. Moderne Kaltfließpressen arbeiten mehrstufig, d. h. pro Hub sind mehrere Operationen hintereinander verkettet, bspw. Rohling abscheren, Sechskantkopf vorformen, fertigstauchen, abgraten und Gewindeteil reduzieren. Im nachfolgenden Prozess werden die Gewinde durch Gewindewalzmaschinen mit Flachbacken oder Rolle- und Segmentwerkzeugen spanlos auf die reduzierten Gewindeteile aufgerollt. Vorzugsweise verwendet man Kaltfließpressen mit integrierter Gewinderollmaschine, sogenannte „Boltmaker“. Abhängig von Durchmesser und Länge der Schrauben erreichen solche Anlagen Produktionszahlen von mehr als 300 Stück pro Minute.
- das Warmpressverfahren Schmieden auf Schmiedepressen für kleine bis mittlere Stückzahlen und Durchmesser bis M 200. Das in eine Stangenform eingesetzte Rundmaterial muss zuerst in einem vorbereitenden Arbeitsgang abgelängt werden. Die Abschnitte werden dann ganz oder partiell auf Schmiedetemperatur (abhängig vom Werkstoff bis zu 1.250 °C) erwärmt und in Pressen vorgeformt. Zur Fertigstellung solcher Schrauben werden anschließend zerspanende Verfahren (CNC-Drehen, Gewindeschneiden) angewandt, oder in einem höherwertigen Verfahren die Gewinde spanlos auf Gewinderollmaschinen (2- oder 3-Rollen Maschinen mit Rollkräften bis 1.200 kN) hergestellt.



Typischer Produktionsfehler durch minderwertigen Draht beim Kaltfließpressverfahren

Aus Kostengründen mittlerweile unüblich ist die Fertigung großer Stückzahlen von Schrauben und Muttern auf automatischen Drehmaschinen. Bei kleinen Stückzahlen dagegen ist dieses Verfahren wegen seiner Flexibilität immer noch gebräuchlich. Kleinere Gewindeabmessungen werden dabei mit Hilfe von Gewindebohrern (für Innengewinde) und Schneideisen (für Außengewinde) hergestellt. Diese beiden Werkzeuge werden auch für die Herstellung von Gewinden von Hand gebraucht.

Korrosionsschutz

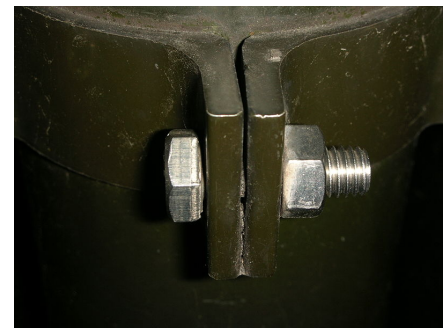
Korrosionsarme bzw. rostfreie Schrauben bestehen aus nichtrostendem Stahl, Nickellegierungen, Kupferlegierungen, Kunststoffen, gelegentlich Aluminium, Titan oder neuerdings auch aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff („Carbon“). Einfache Stahlschrauben dagegen benötigen eine Schutzbeschichtung (z. B. Korrosionsschutzfarbe), wenn sie nicht unter korrosionsfreien oder -armen Bedingungen verwendet werden. Mögliche Verfahren der Oberflächenbehandlung sind:

- Brünierung: (auch geschwärzte Schrauben genannt), dabei wird eine dünne, festhaftende dunkelbraune bis schwarze Oxidschicht (Eisenoxiduloxid – Fe_3O_4) durch Tauchen in eine erhitzte, stark alkalische Salzlösung erzeugt. Norm dazu: DIN 50938. Der erzielte Korrosionsschutz ist schwach, er dient eher optischen Gründen.



Verzinkte Schraube mit Sechskantkopf, M 45 x 160
Festigkeitsklasse 4.6

- Phosphatierung, dabei wird auf der Oberfläche chemisch oder elektrochemisch eine Phosphatschicht erzeugt. Schwacher Korrosionsschutz, vorwiegend bei Anforderungen an die Haftfähigkeit z. B. von Putz verwendet (z. B. Schnellbauschrauben-Trockenbau) bzw. im Automobilbau für Motorschrauben, die ohnehin keiner Korrosion ausgesetzt sind wie z. B. Pleuel- und Zylinderkopfschrauben. Vorteilhaft wird dabei die gute Einstellbarkeit der Reibungszahlen sowie die hohe Belastungsfähigkeit der Phosphatschicht ausgenutzt.
- Verzinkung: Dabei werden Feuerverzinkung (tZn) und galvanische Verzinkung (galZn) unterschieden. Die preiswerte und bei weitem gebräuchlichste Verzinkung ist die galvanische Verzinkung. Große Schrauben (ab M 16) für den Einsatz im Freien werden meist feuerverzinkt.
- Chromatierung (aus Umweltschutzgründen abnehmend)
- Verzinnen, um eine gute Weichlot-Oberfläche herzustellen (Elektroindustrie)
- Kadmierung (aus Umweltschutzgründen eingestellt)
- Zinklamellenüberzug: frei von sechswertigem Chrom (Cr-VI), keine Wasserstoffversprödung



Schraubverbindung an einem Haltestellenfahrplan, korrosionsgeschützt, leicht korrodiert



Schraubverbindung an einem Mast im Freien, stark verrostet

- Zink-Nickel-Beschichtung: Cr-VI-frei, Reibwert einstellbar, Temperaturbeständig bis 300 °C, höchster Korrosionsschutz (>1.000 h n.DIN 9227), zugelassen in der Automobilindustrie
- Sherardisieren: In Europa wenig bekanntes Diffusions-Verzinkungsverfahren, Korrosionsbeständigkeit ist vergleichbar mit dem der Feuerverzinkung, gute Haftung.

Untersuchungen haben ergeben, dass Korrosionsschutzschichten, die sechswertiges Chrom enthalten – z. B. chromatierte und galvanisch verzinkte Schichten – krebserregend sein können. Der EU-Altauto-Verordnung 2000/53/EG entsprechend, müssen daher alle Neufahrzeuge ab dem 1. Juli 2007 frei von sechswertigem Chrom (Cr-VI) sein. Daher werden immer mehr Beschichtungen zum Beispiel auf den Zinklamellenüberzug umgestellt. Neben dem Automobilsektor ist davon z. B. auch die Elektronikindustrie betroffen, die ebenfalls auf Cr-VI-freie Verfahren umstellen muss (siehe RoHS-Richtlinie).

Die Korrosionsbeständigkeit von Beschichtungen wird durch den Salzprüfetest ermittelt, d. h. beschichtete Teile (z. B. Schrauben) müssen in einer Prüfkammer einem ständigen Salznebel über beispielsweise 240 oder 480 Stunden widerstehen, ohne Korrosion aufzuweisen. So simuliert man den Lebenszyklus eines Bauteils in Bezug auf dessen Korrosionsbeständigkeit.

Weitere Oberflächenbehandlungen, die neben dem Korrosionsschutz auch zur Dekoration oder der besseren elektrischen Kontaktgabe dienen, sind das Versilbern, Verkupfern, die Messingbeschichtung, das Verchromen, Vernickeln und das Vergolden.

Kennzeichnung/Festigkeitsklassen

Die Kennzeichnung der Sechskant- und Innensechskantschrauben ab M5 erfolgt auf dem Schraubenkopf, auf dem das Herstellerkurzzeichen und die Festigkeitsklasse angegeben sind, bei Schrauben aus nichtrostendem Stahl zusätzlich A2 oder A4.

Bei der vollständigen Kennzeichnung werden alle relevanten Daten angegeben, ein Beispiel ist:

- ISO 4014 – M10 × 60–8.8

Aus der Bezeichnung ist aufgrund der ISO-Norm 4014 (metrisches ISO-Gewinde bzw. Regelgewinde) herauszulesen, dass es sich um eine Sechskantschraube mit Schaft und einem Nenndurchmesser von 10 mm, sowie einer Länge von 60 mm und der folgend erklärten Festigkeitsklasse 8.8 handelt.

- ISO 8765 – M20 × 2 × 60–8.8

Der Kennzeichnung dieser Sechskantschraube ist noch die Steigung 2,0 mm hinzugefügt. Damit handelt es sich nicht um ein Regelgewinde (Steigung 2,5 mm) sondern um ein Feingewinde. Zusätzliche Kennwerte, wie Flanken- und Kerndurchmesser, Spannungs- und Kernquerschnitt, sowie Steigungswinkel kann man mithilfe der DIN 13 bestimmen.

Aus der Festigkeitsklasse bei Schraubenschrauben lassen sich die Zugfestigkeit R_m und die Streckgrenze R_e errechnen. Als Beispiel die Festigkeitsklasse 8.8:

- R_m wird errechnet, indem man die erste Zahl mit 100 multipliziert. ($8 \times 100 = 800 \text{ N/mm}^2$ maximale Zugfestigkeit),
- R_e , indem beide Zahlen miteinander multipliziert und das Ergebnis noch einmal mit zehn multipliziert.
- ($8 \times 8 = 64 \text{ N/mm}^2$, $64 \text{ N/mm}^2 \times 10 = 640 \text{ N/mm}^2$ Mindeststreckgrenze). In diesem Fall wird bei 80% der Zugfestigkeit (hier beginnt die Einschnürung der Schraube und die maximal übertragbare Kraft ist hier am größten) die Streckgrenze (ab hier treten irreversible Verformungen auf) erreicht und die Verformung geht von dem elastischen in den plastischen Bereich über. Wenn die Schraube darüber hinaus belastet wird, ist das Material dauerhaft verformt und die Schraube ist dauerhaft verlängert. Das sollte vermieden werden.

Gemäß der Normung für mechanische und physikalische Eigenschaften (EN ISO 898-1) sind die Festigkeitsklassen 4.6, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9 und 12.9 gebräuchlich.

In der Industrie kommt sehr häufig die Klasse 8.8 zur Verwendung, die Klassen 4.6, 5.6 und 5.8 sind abgesehen von den Flanschverbindungen nur selten anzutreffen. 10.9 und 12.9 werden vor allem für berechnete und definiert vorgespannte Schraubverbindungen verwendet.

In Baumärkten hingegen wird vielfach die Festigkeitsklasse 4.6 angeboten.

Für Schrauben aus nichtrostendem Stahl wird die Qualität und Festigkeitsklasse auf dem Schraubenkopf angegeben. Diese sind A (für austenitischen Stahl), 1 bis 5 (Sorte) sowie 50 (weich), 70 (kaltverfestigt) oder 80 (hochfest), z. B.: A2-70 oder A5-80. Vorwiegend werden die Qualitäten A2 allgemein und A4 für erhöhte Korrosionsbeanspruchungen verwendet. Diese Qualitäten werden umgangssprachlich auch heute noch mit den von Krupp geprägten Werksbezeichnungen „V2A“ und „V4A“ benannt. In besonderen Fällen kommen auch Schrauben aus den Werkstoffen mit den Werkstoffnummern 1.4439 oder 1.4462 zum Einsatz, beispielsweise im Offshore-Bereich. „Nichtrostende“ (eigentlich: korrosionsarme) Schrauben haben einen silbrig-matten Glanz und sind oft (sofern austenitisch) nicht magnetisch.



Schraubenarten (Unterscheidung) in der Verarbeitung

Je nach Verwendungszweck, zu verschraubendem Material und anderen Anforderungen gibt es eine Vielzahl von Schraubenarten, die sich durch eine Reihe von Merkmalen unterscheiden:

Es wird unterschieden nach

Material der Schraube

- Stahl, vom billigen Baustahl bis hin zum amagnetischen, rostfreien Edelstahl
- Messing und andere Buntmetalllegierungen
- Titan
- Kunststoff
- Keramik
- Composite (Faserverbundmaterialien)

Gewindeform

- Rechts- oder Linksgewinde
- Metrisches ISO-Gewinde (fein, standard, grob)
- zölliges Gewinde
- Rohrgewinde
- Whitworth-Gewinde
- Holzschraubengewinde (der Belastbarkeit des Holzes angepasst)
- Selbstschneidende oder selbstprägende Gewinde für Metall oder Kunststoff
- Blechschraubengewinde mit einem Gewinde ähnlich demjenigen von Holzschrauben
- *Schnellbauschrauben*-Gewinde mit mehrgängigem Gewinde oder großem Steigungswinkel
- selbstschneidende *Spanplattenschrauben*-Gewinde, z. B. als Synonym die Markenbezeichnung *SPAX*, von: **Span**plattenschraube mit Kreuzschlitz „X“).
- Nagelschrauben, diese werden mit Hilfe eines pneumatischen Schussgeräts in Holz eingeschossen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Schnellbauschrauben werden sie linear und nicht drehend in das Werkstück eingebracht, was den Fertigungsschritt vereinfacht. Der Vorteil zu einer reinen Nagelverbindung ist die leichte Lösbarkeit der Verbindung.
- Maschinenschrauben, mit metrischen Gewinden oder den amerikanischen UNF- und UNC-Gewinden

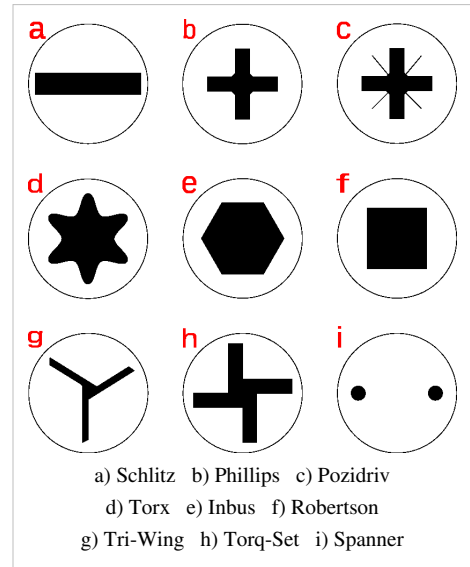
Schraubenkopf-Formen

Um unerwünschten Zugriff zu erschweren, werden Schrauben mit eher seltenen Schraubenköpfen verwendet:

- Tri-Wing, in der Luftfahrttechnik verbreitet
- Torq-Set, Profil mit versetztem Kreuz (in der Luftfahrttechnik weit verbreitet)
- Torx-TR (Tamper Resistant - manipulationssicher), Torx mit zentralem Dorn
- Innensechskant-TR, Innensechskant mit zentralem Dorn
- Spanner
- Schraubenköpfe mit schrägen Flächen anstelle eines Schlitzes; diese lassen sich nur einschrauben, jedoch nicht lösen

Für besondere Anwendungsgebiete gibt es weitere Formen

- Innenvielzahn, um ein hohes Drehmoment zu übertragen (Automobilbranche) und als Diebstahlschutzradmuttern bei hochpreisigen KFZ-Felgen
- Innendreikant
- Schlüssel/Schloss-Prinzip (zum Schrauben ist ein spezielles Gegen-Bit erforderlich)



Von Hand betätigbare Schrauben

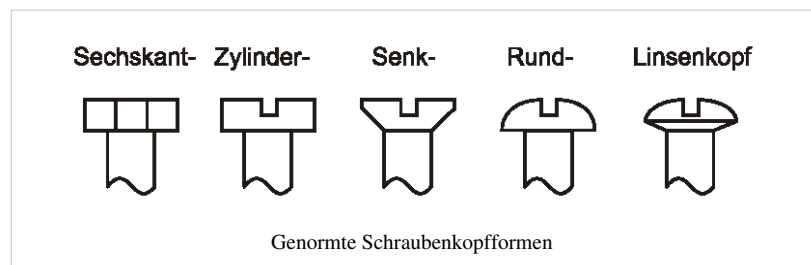
Rändelschrauben und Rändelmuttern haben einen gerändelten Kopf und können ohne Werkzeug angezogen werden.

Flügelschrauben und -muttern sind ebenfalls von Hand zu lösen.



Schraubennormen (Auswahl)

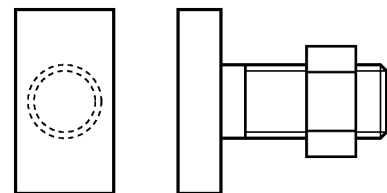
- Sechskantkopf
 - Sechskantschraube mit Schaft ISO 4014 (alt: DIN 931)
 - Sechskantschraube mit Gewinde bis Kopf ISO 4017 (alt: DIN 933)
 - Sechskantschraube mit Schaft, Feingewinde 8×1 bis 100×4 , ISO 8765 (alt: DIN 960)
 - Sechskantschraube mit Feingewinde 8×1 bis 100×4 bis Kopf, ISO 8676 (alt: DIN 961)
 - Sechskant-Passschraube für Stahlbaukonstruktionen (geringes Lochspiel) DIN 7968
 - Sechskant-Schraube für Stahlbaukonstruktionen DIN 7990



- Sechskant-HV-Schraube für Stahlbaukonstruktionen (hochfeste Verbindung) EN 14399 (alt: DIN 6914)
- Sechskant-Holzschraube DIN 571
- Sechskant-Blechschraube ISO 1479 (alt: DIN 7976)
- Vierkantkopf
 - Vierkantschraube mit Bund DIN 478
 - Vierkantschraube mit Kernansatz DIN 479
 - Vierkantschraube mit Ansatzkuppe DIN 480
- Zylinderkopf
 - Zylinderschraube mit Innensechskant ISO 4762 (alt: DIN 912)
 - Zylinderschraube mit Innensechskant, niedriger Kopf, mit Schlüsselführung DIN 6912
 - Zylinderschraube mit Innensechskant, niedriger Kopf DIN 7984
 - Zylinderschraube mit Schlitz ISO 1207 (alt: DIN 84)
 - Zylinder-Blechschraube mit Schlitz ISO 1481 (alt: DIN 7971)
 - Zylinderschraube mit Innensechskant mit metrischem Feingewinde DIN EN ISO 21269
- Senkkopf
 - Senkschraube mit Innensechskant ISO 10642 (alt: DIN 7991)
 - Senkschraube mit Schlitz ISO 2009 (alt: DIN 963)
 - Senk-Holzschraube mit Schlitz DIN 97
 - Senk-Blechschraube mit Schlitz ISO 1482 (alt: DIN 7972)
 - Senkschraube mit Kreuzschlitz ISO 7046 (alt: DIN 965)
 - Senk-Holzschraube mit Kreuzschlitz DIN 7997
 - Senk-Blechschraube mit Kreuzschlitz ISO 7050 (alt: DIN 7982)
- Linsensenkkopf
 - Linsensenkschraube mit Schlitz ISO 2010 (alt: DIN 964)
 - Linsensenk-Holzschraube mit Schlitz DIN 95
 - Linsensenk-Blechschraube mit Schlitz ISO 1483 (alt: DIN 7973)
 - Linsensenkschraube mit Kreuzschlitz ISO 7047 (alt: DIN 966)
 - Linsensenk-Holzschraube mit Kreuzschlitz DIN 7995
 - Linsensenk-Blechschraube mit Kreuzschlitz ISO 7051 (alt: DIN 7983)
- Rundkopf
 - Halbrund-Holzschraube mit Schlitz DIN 96
 - Halbrund-Holzschraube mit Kreuzschlitz DIN 7996
- Linsenkopf (breiter, niedriger und runder als Zylinderkopf)
 - Linsen-Blechschraube mit Kreuzschlitz ISO 7049 (alt: DIN 7981)
- Hammerkopf
 - Hammerschrauben DIN 261, mit Vierkant DIN 186, und mit Nase DIN 7992
 - T-Nutenschrauben DIN 787
- Flachrundkopf (mit Vierkant unter dem Kopf umgangssprachlich „Schlossschrauben“)
 - Flachrundschraube mit Vierkantansatz DIN 603
- Gewindestifte (umgangssprachlich häufig auch **Madenschraube** genannt)

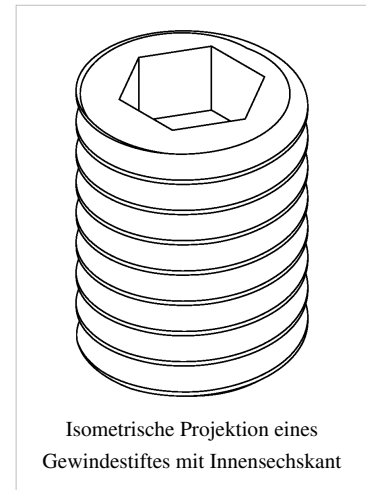


Gängige Computerschrauben



Hammerkopfschraube

- Gewindestift mit Innensechskant und Kegelkuppe ISO 4026 (alt: DIN 913)
- Gewindestift mit Innensechskant und Spitze ISO 4027 (alt: DIN 914)
- Gewindestift mit Innensechskant und Zapfen ISO 4028 (alt: DIN 915)
- Gewindestift mit Innensechskant und Ringschneide ISO 4029 (alt: DIN 916)
- Gewindestift mit Schlitz und Kegelkuppe DIN 551
- Gewindestift mit Schlitz und Spitze DIN 553
- Gewindestift mit Schlitz und Zapfen ISO 7435 (alt: DIN 417)
- Gewindestift mit Schlitz und Ringschneide DIN 438
- Sonstige Schrauben
 - Augenschrauben DIN 444
 - Flügelschrauben DIN 316



- Rändelschrauben hohe Form DIN 464
- Rändelschrauben niedrige Form DIN 653
- Ringschrauben DIN 580
- Verschlusschraube mit Innensechskant, kegeliges Gewinde DIN 906
- Verschlusschraube mit Aussensechskant, kegeliges Gewinde DIN 909
- Verschlusschraube mit Bund und Innensechskant, zylindrisches Gewinde DIN 908
- Verschlusschraube mit Bund und Aussensechskant, schwere Ausführung, zylindrisches Gewinde DIN 910
- Verschlusschraube mit Bund und Aussensechskant, leichte Ausführung, zylindrisches Gewinde DIN 7604
- Gewinde-Schneidschraube DIN 7513
- Stiftschrauben, Einschraubende $\sim 2\ d$ DIN 835
- Stiftschrauben, Einschraubende $\sim 1\ d$ DIN 938
- Stiftschrauben, Einschraubende $\sim 1,25\ d$ DIN 939
- Stiftschrauben, Einschraubende $\sim 2,5\ d$ DIN 940

Es gibt noch eine Vielzahl von Spezialschrauben, die für spezielle Einsatzzwecke, bei denen keine Normschrauben verwendet werden können, konstruiert werden und sich im Wesentlichen durch ihre Kopf- bzw. Gewindeform unterscheiden (z. B. Bohrschraube mit Blechschraubengewinde DIN 7504)

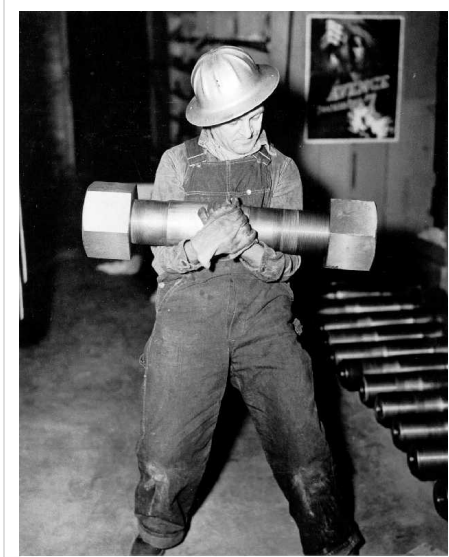
Je nach der Kopfform braucht man den entsprechenden Schraubenschlüssel oder Schraubendreher zum Drehen der Schraube. Bei vielen Verbindungen ist es notwendig, einen Drehmomentschlüssel zu verwenden. Wo definierte Vorspannkräfte in Schraubenverbindungen einzubringen sind, kommen hydraulische Vorspannverfahren (drehend oder ziehend) zur Anwendung.

Die Längenangabe bezieht sich im allgemeinen auf die Länge ohne Kopf (also Gewinde plus ggf. Schaft), bei Senkkopfschrauben jedoch auf die Gesamtlänge inklusive Kopf.

Sonderbauformen

- Schrauben ohne Kopf können Stiftschrauben, Gewindestifte, Madenschrauben oder Gewindebolzen sein, mit einem zweigeteilten oder durchgehenden Gewinde. Ein Anwendungsbeispiel für einen Gewindestift ist der Befestigungsstift für Türgriffe, ein Beispiel für Stiftschrauben sind die Schrauben zur Verbindung des Zylinderkopfes mit dem Motorblock bei Kolbenmotoren. Das Dehnungsverhalten (Material und Querschnitt) von Zylinderkopfschrauben ist an die Verhältnisse angepasst.
- Bohrschrauben haben eine Spitze mit 2 Bohrschneiden, die geeignet ist, in nicht allzu dicke und harte Materialien (meist Bleche) ein Loch zu bohren, wodurch die Schraube in einem Arbeitsgang ohne Vorbohren und Gewindeschneiden verschraubt werden kann.
- Gewindeformende Schrauben (selbstformende Schrauben) formen selbst ein metrisches Gewinde in ein Sackloch oder ein Durchgangsloch aus Metall, ohne einen Span zu produzieren. Sie sind für weiche Materialien geeignet. Beim Einschrauben ist ein linear steigendes Drehmoment und ein höheres Anzugsmoment notwendig. Die Schrauben sind, da meist vergütet hergestellt, teurer als metrische Normschrauben, jedoch können im Gesamtprozess Kosten reduziert werden, da auf ein Gewindeschneiden im Gegenbauteil verzichtet werden kann. Ein geformtes Gewinde ist haltbarer als ein geschnittenes, da es besser zur Schraube passt und durch Kaltverfestigung oft härter ist. Solche selbstformenden Schrauben haben einen konischen Gewinde-Beginn, manche als Ausdrehsicherung ein leicht dreikantiges Profil.
- Blechschrauben und Schrauben für Kunststoff-Sacklöcher formen ebenfalls ein Gewinde, ähneln jedoch einer Holzschraube mit geringer Steigung. Selbstschneidende Schrauben besitzen Nuten ähnlich einem Gewindebohrer.
- Spannschlösser benötigen je eine Schraubenöse/-haken mit Rechts- und Linksgewinde. Sie dienen dem Spannen von Drähten und Seilen. Spannschrauben (siehe Spannschloss) haben dagegen an je einem Ende ein Links- und ein Rechtsgewinde.

Siehe auch: Dübel, Bewegungsschraube, Stockschraube, Normteil, Archimedische Schraube, Gewinde



Eine von 16 Verbindungsschrauben für die Welle eines Generators an der Grand-Coulee-Talsperre

Schraubensicherungen

→ *Hauptartikel: Schraubensicherung*

In der Praxis unterscheidet man heute bei Schraubensicherungen die folgenden Kategorien:

- selbst- oder fremdhemmende Schraubensicherungen zur Aufrechterhaltung der Vorspannung
- als Verliersicherung wirkende Schraubensicherungen wie z.B. Splinte, Federringe und spezielle Unterlegscheiben

Bei dynamischen Belastungen, Temperaturwechseln oder Kriechen der Verbindungspartner können Schraubverbindungen versagen (selbsttätiges Lösen oder Lockern). Eine Abhilfe dagegen bietet in erster Linie die korrekte Auslegung und Konstruktion der Schraubverbindung. Als Grundsatz gilt im Maschinenbau:

- Die zu verbindenden Bauteile sollen möglichst wenig nachgeben (hoher Elastizitätsmodul, kein Kriechen, hohe Härte)



Durch Verdrahten gesicherte Schraubverbindungen eines Flugzeugtriebwerkes

- die zugehörige Schraube muss dagegen möglichst elastisch sein
- die Schraubenverbindung ist so hoch wie möglich vorzuspannen
- die Schraubenverbindung ist auf Vorspannung auszulegen, ein möglicher Querkraftschub ist über den Reibwert bei der Ermittlung der Betrieb- bzw. Vorspannkraft zu berücksichtigen

Die beste Schraubensicherung im Maschinenbau ist eine ausreichend hohe Vorspannkraft (Klemmkraft). Sie verhindert einerseits, dass sich die verspannten Bauteile durch eingeleitete Querkräfte gegeneinander verschieben können und axial eingeleitete Kräfte nicht zum Klaffen zwischen den Bauteilen führen.

An Stellen, wo das nicht möglich oder nicht ausreichend sicher ist (nachgiebige Verbindungspartner, keine ausreichende Härte im Bereich der Auflageflächen, hohe Sicherheitsanforderungen), können die Schraubverbindungen mit Klebstoff, Muttern mit Kunststoffeinsatz (selbsthemmende Muttern), Kronenmutter mit Splint, mit einer Fokkernadel oder durch Verdrahten gesichert werden.

Insbesondere bei elektrischen Verbindungen (Schraubklemmen, Erdbolzen) müssen Zahnscheiben, Federringe und Unterlegscheiben verwendet werden, da Drähte zum Kriechen neigen, nicht ausreichend hart sind und auch oft Lackoberflächen durchgestoßen werden.

Das Kontern mit einer weiteren Mutter ist nur dann realisierbar, wenn die Kraft zwischen den Muttern deutlich größer als die Kraft der Verbindung ist. Eine aufwändige Methode ist, das Gewinde der Befestigungsmutter als Rechtsgewinde auszuführen, das zugehörige Gewinde der Kontermutter auf der Schraube dagegen als Linksgewinde. Diese Methode ist im Bergbau verbreitet, ebenso an alten Fahrrädern mit geschraubten Ritzeln auf der Hinterradnabe.

Die in Rohrverschraubungen in die Gewindegänge eingelegten PTFE-Bänder (früher Hanffasern) haben dagegen nichts mit der Sicherung der Schraubverbindung zu tun, sie dienen vielmehr zum Abdichten des Gewindes.

Anzieh-/Montageverfahren

Folgende Anziehverfahren werden heute in der Industrie für die Montage von Schraubenverbindungen angewendet:

- drehmomentgesteuertes Anziehen, z. B. mit elektrischem Drehmomentschlüssel
- drehmoment-drehwinkelgesteuertes Anziehen, z. B. mit Drehmomentdrehwinkelschlüssel
- streckgrenzengesteuertes Anziehen, z. B. mit Drehmomentdrehwinkelschlüssel
- hydraulisches Vorspannen
- thermisches Anziehen (vgl. Warmnieten)
- hydraulisches Schraubendrehen

Selten werden metallische Gewindeverbindungen auch gefettet. Rohrverschraubungen, die Sauerstoff transportieren, dürfen nicht gefettet werden. An Undichtigkeiten ausströmender Sauerstoff kann zur Selbstentzündung des Fettes führen.

Verbindungen an Lebensmittelleitungen müssen von Fremdstoffen frei bleiben, um eine Kontamination zu vermeiden.

Allgemein gilt die Regel, dass alle Schraubverbindungen aus Materialien mit möglichst gleichem thermischen Ausdehnungskoeffizienten bestehen sollten, um so bei Temperaturschwankungen eine mechanische Wechselbelastung zu vermeiden.

Für die Berechnung und Auslegung von Schraubenverbindungen sei an dieser Stelle auf die VDI-Richtlinie VDI 2230-1: „Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen – Zylindrische Einschraubenverbindungen“ verwiesen.

Weblinks

- Schraubennormen ^[1] - Schrauben und deren Zeichnungen
- Daten zu Normen, Werkstoffen, Festigkeiten ^[2]
- Schraubenbrevier ^[3]
- Animationen zur Funktionsweise von gewindeformenden Schrauben und Schraubkurven ^[4]
- Abbildungen verschiedener Vertiefungen auf Schraubenköpfen zum Kontakt mit einem Schraubendreher (englisch) ^[5]
- Geschichte der Schraube ^[6]

Referenzen

- [1] <http://www.schrauben-norm.de>
- [2] <http://www.schrauben-lexikon.de>
- [3] <http://www.kamax.com/kompetenzen/veroeffentlichungen/>
- [4] <http://www.arnold-umformtechnik.de/gewindeformende-schrauben.php>
- [5] http://www.instructables.com/id/When_a_Phillips_is_not_a_Phillips/step29/Appendix/
- [6] <http://www.hp-gramatke.de/history/german/page0300.htm>

Quelle(n) und Bearbeiter des/der Artikel(s)

Schraube (Verbindungsselement) *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=82159191> *Bearbeiter:* 1-1111, 790, A s, A.Rhein, ASDOR, Afrank99, Ahellwig, Ahoerstemeier, AiRWOLF, Aka, Allesmiller, Analemma, AndreasPraefcke, AnglismenJäger, Anonymus der Anonyme, Axeljaeger, BJ Axel, BKSlink, Becs, Biezl, Blunt., Bukk, Cepheiden, Ckeen, Cottbus, Croq, D, Dansker, DasBee, DerHexer, Diba, Don Magnifico, Donboccolo, Dwagener, Dyll, Edoe, Ejfis, El Suizo, El., Elektroschrottsammler, Emdee, Fab, Felix Stember, FireSoulHC, Flea, FlorianP, Formatierungshilfe, FotoFux, Frank.schoeneberg, FrogThomas, Fubar, Gauss, Geos, Gerd Taddicken, Glenn, Gohnarch, HH58, Hadhuey, Hans Koberger, He3nry, Helium4, Howwi, Hubertl, Hutschi, IGEL, Ishbane, Jaellee, Jahobr, Jaques, Jauchegrubenpatente 2, JeLuF, Jens Randack, Jivee Blau, Jodo, JohannWalter, John Eff, Jpp, JuTa, Justsail, KaHe, Kai11, Karl Gruber, Karl-Henner, Karottenreibe, Kh555, Kirsch, Kku, Kölscher Pitter, Landwirt, LittleJoe, Llledorin, Logograph, Maggifu, Marax, Marco Engel, Markus Schweiß, Martin-vogel, MatthiasKabel, Mib18, Michelsberg, Montauk, Natrup, Nikolaus, Nis Randers, Nockel12, Noclador, Norbirt, Ochro, Oldman, Olelfr, Pelz, Peter200, Podrostok, Polluks, Popp, PrismaNN, Procolotor, Quistnix, Rainer Lippert, Ralf Roletschek, Regi51, Renekaemmerer, Rhododendronbusch, Roest, RokerHRO, Saperaud, Sargoth, SchirmerPower, Schlesinger, Schnargel, Schusch, Semper, Shoot the moon, SiIP, Silberchen, Sinn, Small Axe, Smial, Spazzo, Stahlkocher, Staro1, Surfacecleanerz, Sypholux, Tafkas, Tenbergen, Tesat, Tilla, Tom md, Trackler, Traut, Twollweber, Ufudu, Uka, Ulfbastel, Umweltschützen, UtzOnBike, Uwe Gille, WAH, WHell, Wasabi, Weede, WeißNix, Wela49, Wiki buddy, WikipediaMaster, Wolf32at, Wolfgang Feld, Wolli-j, YourEyesOnly, 8, 243 anonyme Bearbeitungen

Quelle(n), Lizenz(en) und Autor(en) des Bildes

File:Ruuvit.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ruuvit.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Hautala, Ies, WikipediaMaster

Bild:Screw making machine, 1871.png *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Screw_making_machine,_1871.png *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Daderot, Jake73, Priwo, 3 anonyme Bearbeitungen

Bild:Stiftschraube01.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Stiftschraube01.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* D-Kuru, Justsail, Markus Schweiss, Nachcommonsverschieber

Bild:Schraubenproduktionsfehler IMGP8576.jpg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schraubenproduktionsfehler_IMGP8576.jpg *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* Smial. Original uploader was Smial at de.wikipedia

Bild:Schraube.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schraube.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Arglos

Bild:Schraubverbindung.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schraubverbindung.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Hutschi

Bild:Schraubverbindung_Rost.jpg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schraubverbindung_Rost.jpg *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Hutschi

Bild:Bolt_marking_Metric_8_8.png *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bolt_marking_Metric_8_8.png *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Duk, Wizard191, 1 anonyme Bearbeitungen

Bild:Screw_drive_types2.svg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Screw_drive_types2.svg *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* user:one_half_3544

Bild:Thumbscrews.jpg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Thumbscrews.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Diba, Rhead, 1 anonyme Bearbeitungen

Bild:Schraubenkopf.svg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schraubenkopf.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Wellilein

Bild:PC Screws.jpg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PC_Screws.jpg *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Afrank99

Datei:Hammerkopfschraube.svg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hammerkopfschraube.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Biezl

File:Grub Screw.svg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Grub_Screw.svg *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Inductiveload

Bild:One-hundred, ninty-three pound nut and bolt, one of 16 used to join sections of the generator shaft of a 75,000 kW generator - Grand Coulee Dam, 1942.jpg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:One-hundred,_ninty-three_pound_nut_and_bolt,_one_of_16_used_to_join_sections_of_the_generator_shaft_of_a_75,000_kW_generator_-_Grand_Coulee_Dam,_1942.jpg *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Alno, Cav, Hydrargyrum, Infrogmation, Ma-Lik, Martin H., Quadell, Romary, W hukriede, WikipediaMaster, Wst, 2 anonyme Bearbeitungen

Datei:Rolls Royce RB.199 5.jpg *Quelle:* http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rolls_Royce_RB.199_5.jpg *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Koba-chan, Marcelloo, Markus Schweiss, Stahlkocher

Lizenz

Wichtiger Hinweis zu den Lizenzen
Die nachfolgenden Lizenzen bezieht sich auf den Artikeltext. Im Artikel gezeigte Bilder und Grafiken können unter einer anderen Lizenz stehen sowie von Autoren erstellt worden sein, die nicht in der Autorenlste erscheinen. Durch eine noch vorhandene technische Einschränkung werden die Lizenzinformationen für Bilder und Grafiken daher nicht angezeigt. An der Behebung dieser Einschränkung wird gearbeitet. Das PDF ist daher nur für den privaten Gebrauch bestimmt. Eine Weiterverbreitung kann eine Urheberrechtsverletzung bedeuten.

Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported - Deed
Diese "Commons Deed" ist lediglich eine vereinfachte Zusammenfassung des rechtsverbindlichen Lizenzvertrages (http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen_Commons_Attribution-ShareAlike_3.0_Unported) in allgemeinverständlicher Sprache.
Sie dürfen:

- das Werk bzw. den Inhalt **vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen**
 - Abwandlungen und Bearbeitungen** des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen
- Zu den folgenden Bedingungen:
- Namensnennung** — Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.
 - Weitergabe unter gleichen Bedingungen** — Wenn Sie das lizenzierte Werk bzw. den lizenzierten Inhalt bearbeiten, abwandeln oder in anderer Weise erkennbar als Grundlage für eigenes Schaffen verwenden, dürfen Sie die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind.
- Wobei gilt:
- Verzichtserklärung** — Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die ausdrückliche Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.
 - Sonstige Rechte** — Die Lizenz hat keinerlei Einfluss auf die folgenden Rechte:
 - Die gesetzlichen Schranken des Urheberrechts und sonstigen Befugnisse zur privaten Nutzung;
 - Das Urheberpersönlichkeitsrecht des Rechteinhabers;
 - Rechte anderer Personen, entweder am Lizenzgegenstand selber oder bezüglich seiner Verwendung, zum Beispiel Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen.
 - Hinweis** — Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen alle Lizenzbedingungen mitteilen, die für dieses Werk gelten. Am einfachsten ist es, an entsprechender Stelle einen Link auf <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de> einzubinden.

Haftungsbeschränkung
Die „Commons Deed“ ist kein Lizenzvertrag. Sie ist lediglich ein Referenztext, der den zugrundeliegenden Lizenzvertrag übersichtlich und in allgemeinverständlicher Sprache, aber auch stark vereinfacht wiedergibt. Die Deed selbst entfaltet keine juristische Wirkung und erscheint im eigentlichen Lizenzvertrag nicht.

GNU Free Documentation License
Version 1.2, November 2002

Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc.
51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA
Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies
of this license document, but changing it is not allowed.

0. PREAMBLE
The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.
This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.
We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or

reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties; any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- **A.** Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- **B.** List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- **C.** State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- **D.** Preserve all the copyright notices of the Document.
- **E.** Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- **F.** Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- **G.** Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- **H.** Include an unaltered copy of this License.
- **I.** Preserve the section entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- **J.** Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- **K.** For any section entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- **L.** Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- **M.** Delete any section entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- **N.** Do not retitle any existing section to be entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- **O.** Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added, and they are added in place of the ones listed. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections entitled "History" in the various original documents, forming one section entitled "History"; likewise combine any sections entitled "Acknowledgements", and any sections entitled "Dedications". You must delete all sections entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document

under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2

or any later version published by the Free Software Foundation;

with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled

"GNU Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the

Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.