

# HANSER

Leseprobe

Werner Krause

Grundlagen der Konstruktion

Elektronik - Elektrotechnik - Feinwerktechnik - Mechatronik

ISBN: 978-3-446-42650-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42650-4>

sowie im Buchhandel.

Konstruktionsaufgaben entspringen gesellschaftlichen Bedürfnissen, die sich am Markt zeigen. Produktplanung, Entwicklung und Konstruktion legen alle entscheidenden Eigenschaften des zukünftigen Produktes fest (Produktdefinition). Sie liefern die notwendigen Unterlagen bzw. Daten für die Vorbereitung und Durchführung der Produktion und alle nachfolgenden Phasen in seinem Lebenszyklus.

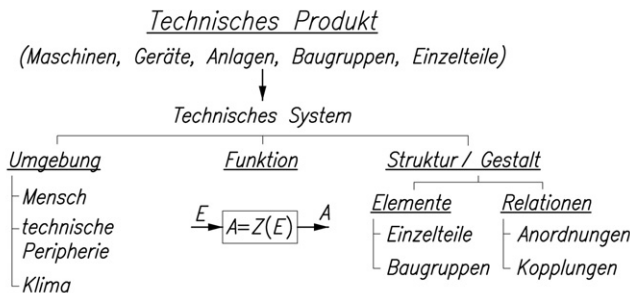
In dieser Schlüsselstellung bestimmt der Konstrukteur mit seinem Ergebnis den Gebrauchswert des Erzeugnisses und legt 75 % der Gesamtkosten fest. Nur in dem Maße, wie es ihm gelingt, die vielfältigen und z. T. widersprüchlichen Forderungen aus allen Lebensphasen des gewünschten Produktes technisch umzusetzen, wird das angestrebte Ziel erreicht.

## 1.2 Ablauf und Methoden des Konstruierens

[3] [12] [1.1] bis [1.13]

Das Ergebnis des Konstruierens ist die Konstruktionsdokumentation. Sie umfaßt technische Zeichnungen, Stücklisten, Anleitungen für Montage, Justierung, Prüfung, Inbetriebnahme u. a. (s. auch Anhang „Technisches Zeichnen“). Diese erzeugt man heute meist in elektronischer Form. Das Vorgehen beim Konstruieren wird maßgeblich von den Eigenschaften des zu entwickelnden Produktes selbst bestimmt. Die schrittweise Analyse eines Produktes liefert somit die Informationen, die beim Konstruieren in geeigneter Reihenfolge zu erarbeiten sind (**Tafel 1.1**). Die beschriebene Justiereinrichtung gestattet eine feinfühligke ebene Bewegung der Marke  $M$  auf zwei Kreisbahnen. Das Erkennen dieser Funktion wird erleichtert, wenn man in der technischen Zeichnung die Koppelstellen zur Umgebung (Gestell, Hand des Bediener, Lichtbündel zur Beleuchtung der Marke – in der Seitenansicht erkennbar) mit darstellt und danach die starren Verbindungen sowie Hilfselemente, wie die zur Lagesicherung dienenden Zugschrauben, eliminiert. Aus der so auf funktionsentscheidende Bestandteile vereinfachten Grobgestalt folgt im nächsten Abstraktionsschritt das symbolisch dargestellte technische Prinzip mit den Bewegungs- und Gestaltparametern, die die Funktion bestimmen. Die Funktionsstruktur faßt Elementgruppen zu Funktionselementen zusammen. Sie zeigt eine Reihenschaltung der beiden unabhängig voneinander zu betätigenden Bewegungseinheiten, wodurch sich die Schraube 2 und der übersetzende Hebel  $r/b$  bei Betätigung von Schraube 1 um das gestellfeste Festkörpergelenk mitbewegen. Die durch Zusammenfassen der Teilfunktionen gefundene Gesamtfunktion beschreibt die Übertragung der Bewegungen  $S_{E1}$  und  $S_{E2}$  am Umfang der Stellknöpfe in die Zweikoordinaten-Positionierbewegung  $S_{Aa}, S_{Ab}$ .

Verallgemeinert man diese Systemanalyse, so folgen daraus die im **Bild 1.2** zusammengestellten Produkteigenschaften. Unabhängig davon, ob ein komplexes Gerät oder ein Einzelteil zu entwickeln sind, muß der Konstrukteur für jedes Produkt sowohl die Einsatzumgebung als auch die Funktion und die Gestalt eindeutig und vollständig bestimmen.



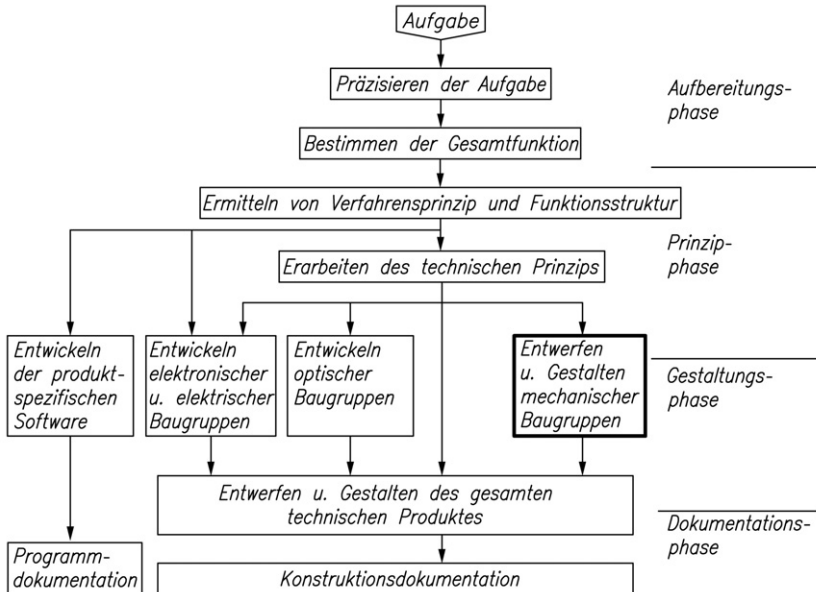
**Bild 1.2** Systemeigenschaften technischer Produkte

Eine Konstruktionsaufgabe enthält Forderungen über den Zweck, das Einsatzgebiet, die Leistung u. ä., die in ihrem Kern die *Funktion* des technischen Gebildes festlegen. Gesucht ist die *Struktur*, letztlich die *Gestalt*, die in der Lage ist, in einer definierten *Umgebung*, d. h. in Wechselwirkung mit dem Nutzer, mit anderen technischen Einrichtungen und der umgebenden Atmosphäre die Funktion sicher zu erfüllen. Der in Tafel 1.1 beschriebene Analyseablauf kehrt sich dann um. Die Aufgabe des Konstrukteurs besteht demnach in der Synthese einer Struktur. Dieser Vorgang beim Lösen einer Konstruktionsaufgabe ist *mehrdeutig* und *unbestimmt*, ein typisches Kennzeichen schöpferischer Prozesse. Für die Erfüllung einer technischen Funktion sind mehrere unterschiedliche Strukturen einsetzbar (Mehrdeutigkeit), und das Bestimmen dieser Lösungsmenge ist mit Unsicherheit behaftet (es gibt keinen determinierten Lösungsweg). Deshalb sollte man beim Konstruieren stets systematisch vorgehen.

Tafel 1.1 Abstraktionsstufen der Produktbeschreibung

Abstraktionsstufe	Darstellungsmittel	Inhalt	Beispiel Justiereinrichtung	
ANALYSE	Technischer Entwurf	vollständige, maßstäbliche Beschreibung der Gestalt des Produktes		
	Grobentwurf	funktionswichtige Gestalt		
	Technisches Prinzip (Wirkprinzip, Arbeitsprinzip)	Prinzipskizze (funktionsorientierte Symbole)	Prinzip-elemente und deren Relationen (Anordnung, Kopplungen)	
	Funktionsstruktur	Blockbild	Funktions-elemente (Teilfunktionen), Kopplungen	$  \begin{array}{c}  \text{Schraube } P_1 \quad \text{Hebel } r_1 \quad \text{Hebel } r_2 \quad \text{Schraube } P_2 \\  \begin{array}{c}  S_{E1} \rightarrow S_1 = \frac{P_1}{2\pi} S_{E1} \rightarrow S_{A0} = \frac{a}{r_1} S_1 \rightarrow S_{Ab} = \frac{b}{r_2} S_2 \rightarrow \text{Marke} \\  S_{E2} \rightarrow S_2 = \frac{P_2}{2\pi} S_{E2}  \end{array}  \end{array}  $
	Gesamtfunktion	Blockbild, Gleichung, Diagramm	Ein- und Ausgangsgrößen sowie deren Beziehungen	$  \begin{array}{c}  \text{Justiereinheit} \\  \text{Gesamtfunktion} \\  S_{E1} \rightarrow S_{A0} = \frac{P_1 \cdot a}{2\pi \cdot r_1} S_{E1} \quad S_{Ab} \\  S_{E2} \rightarrow S_{Ab} = \frac{P_2 \cdot b}{2\pi \cdot r_2} S_{E2}  \end{array}  $
SYNTHESE				

**Bild 1.3** beschreibt als „top-down“-Ablauf die methodischen Arbeitsschritte. Die horizontale Aufspaltung am Ende der Prinzipphase berücksichtigt physikalisch heterogene technische Lösungen, die für mechatronische und feinmechanisch-optische Produkte charakteristisch sind und die eine Teamarbeit entsprechender Spezialisten erfordert. Der Inhalt dieses Buches konzentriert sich auf das Entwerfen und Gestalten mechanischer Elemente und Baugruppen.

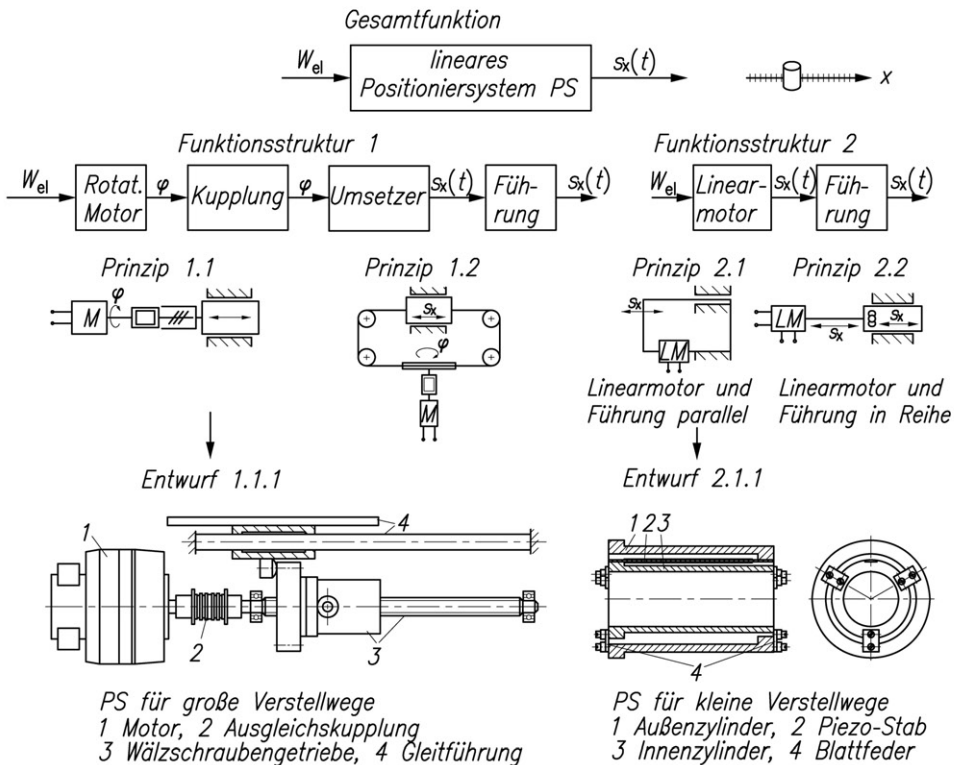


**Bild 1.3** Konstruktiver Entwicklungsprozess für Produkte der Feinwerktechnik und Mechatronik (nach VDI-Richtlinie 2221) [1.13]

Das Entwerfen einer Baugruppe nach dem Ablauf im Bild 1.3 und die dabei mögliche Lösungsvielfalt auf allen Entwicklungsebenen zeigt **Bild 1.4**. Das mit der Energie  $W_{el}$  elektrisch angetriebene Positioniersystem soll ein Prüfobjekt in der Koordinatenrichtung  $x$  um  $s_x(t)$  verschieben. Diese Gesamtfunktion ist beim Präzisieren der Aufgabe durch weitere Forderungen zu ergänzen (Spezifikation der Ein- und Ausgangsgrößen, Bauraum, Kosten u. a.). Davon ausgehend bestimmt man nun Funktionsstrukturen durch Zerlegen der Gesamtfunktion in Teilfunktionen, beginnend mit der geforderten Ausgangsgröße  $s_x(t)$ .

Zur Realisierung dieser Linearbewegung und als Träger für das Objekt ist eine Geradföhrung (s. Abschn. 9) am Ende der Funktionskette erforderlich. Für das Erzeugen der Bewegung  $s_x(t)$  eignen sich sowohl ein rotatorischer Motor (Funktionsstruktur 1), der über eine Kupplung mit dem Umsetzer  $\varphi \rightarrow s_x(t)$  verbunden ist, als auch ein Linearmotor (Funktionsstruktur 2).

Da sich jede Teilfunktion durch unterschiedliche Konstruktionselemente realisieren läßt, entstehen unter Nutzung von Katalogen, Konstruktionsdatenbanken [1.8] sowie geeigneten Übersichten (**Tafel 1.2**) mittels **Kombination** [3] [12] [1.2] für jede Funktionsstruktur mehrere Prinzipvarianten (Prinzipie 1.1 bis 2.2). Die optimale Variante findet man durch Bewertung nach funktionellen, ergonomischen, fertigungstechnischen, ökonomischen und anderen Kriterien der Entwicklungsaufgabe. Der Entwurf 1.1.1 im Bild 1.4 ist aus Elementen konfiguriert, die Herstellerkatalogen entnommen sind. Er ist noch durch das Gestell mit Hilfe der Regeln in Abschn. 2 zu einem Gesamtentwurf zu vervollständigen. Die durch die Federführung spielfreie Piezo-Positioniereinheit (Entwurf 2.1.1) realisiert Verstellwege im  $\mu\text{m}$ -Bereich.

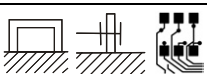












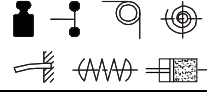
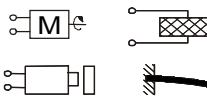
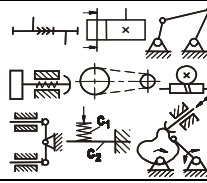
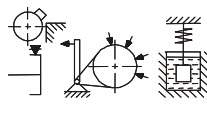
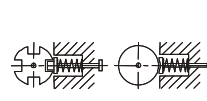
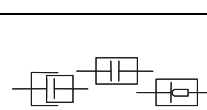
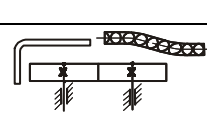
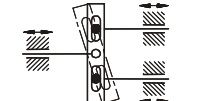


**Bild 1.4** Systematischer Entwurf eines linearen Positioniersystems PS (Auswahl von zwei Konzepten)

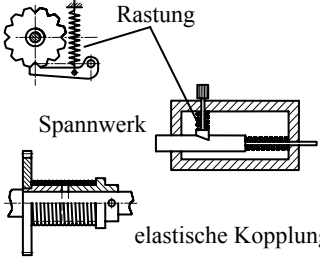
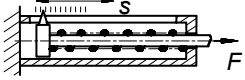
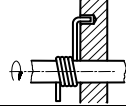
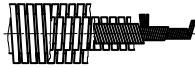
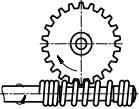

Nach Tafel 1.2 sind mechanische Elemente grundsätzlich als Stützelemente für die statische Anordnung von Bauteilen sowie für das Bereitstellen, Anpassen und Übertragen mechanischer Energie in Bewegungssystemen einsetzbar. Gestelle, Gehäuse sowie andere Träger- und Verbindungselemente sind beim Aufbau aller Produkte unverzichtbar, da sie die nichtmechanischen Funktionselemente (optische, elektrische, elektronische) in ihrer für die Funktion notwendigen Lage sichern und oft auch ihrem Schutz dienen. In Produkten der Präzisionstechnik müssen sie häufig Aufgaben der Feinpositionierung und Justierung übernehmen. Hierfür entwickelt man durch Integration von Sensor- bzw. Aktorelementen mechatronische Komponenten (letzte Spalte in Tafel 1.2), die sich in geräteinterne Steuerungen und Regelungen einbinden lassen [1.7].

Ebenso wie für eine technische Funktion mehrere Elemente einsetzbar sind, kann ein Bauelement unterschiedliche Funktionen einzeln oder gleichzeitig auch mehrere erfüllen, was man durch **Variation** seiner Umgebung und Gestalt erreicht [3]. Die Schraubenfeder in **Tafel 1.3** ist je nach Einsatzumgebung und entsprechender Formgebung der Federenden für vielfältige Zwecke nutzbar. In der elastischen Lampenfassung erfüllt die Feder ebenso wie das in Bild 8.56 dargestellte Spannband (s. Abschn. 8.3) gleichzeitig drei Funktionen. Diese *Funktionenintegration* [12] nutzt man für die Miniaturisierung von Produkten sowie für die Kompaktbauweise mechatronischer Systeme. Die Anzahl der einem Bauteil übertragbaren Funktionen entspricht der Anzahl seiner technisch nutzbaren physikalischen Eigenschaften.

**Tafel 1.2** Systematik mechanischer Elemente

Zweck	Funktion	Funktions- elemente	Konstruktions- elemente	Skizze	Mechatronische Elemente	
1. Anordnung von Elementen	Stützen	Stütz- elemente	Gestell, Gehäuse, Fassung, Balken, Stativ, Leiterplatte		Piezostab	
		fest	stoffschlüssig			Memory- Verbindung, sensitive Schrauben
			formschlüssig			
			kraftschlüssig			
		beweg- lich	Lagerung			Magnetlager, feldgeführtes Element
			Führung			
			Gelenk mit $f > 1$			
2. Bereitstellen mech. Energie	Speichern	Speicher	Massestück, Schwungmasse, Pendel, Feder, Luftfeder		Schwingquarz, quartzesteuertes Schrittwerk	
	Wandeln	Wandler	elektromechani- sches Element, Motor, Elektro- magnet, Bimetall		elektrochemischer, magnetostruktiver, Memory-Aktor, Ultraschallmotor, Piezotranslator	
3. Anpassen mechanischer Energie	Umsetzen	Getriebe	Zahnrad-, Reib- rad-, Zugmittel- Schrauben- Koppel-, Kurven- Hebel-, Feder- getriebe		gekoppelte Elektromotoren, elektrisch gesteuertes Getriebe	
	Verstärken					
	Reduzieren	Aufhalter	Anschlag, Bremsen, Dämpfung		Wirbelstrombremse, elektr. einstellbare Dämpfer und Bremsen, Ver- schleißdetektion	
	Sperren	Festhalter	Gesperre, Gehemme		Piezoklemmung, elektrostat. Fest- haltung, Memory- klemme, Magnet- Rastung	
	Schalten					
4. Übertragen mechan. Energie	Koppeln	Kupplungen	Schaltkupplung, Ausgleichs- und starre Kupplung		elektromagn., elek- trostat. Kupplung, Kuppl. mit Piezo- steller, Ver- schleißdetektion	
	Leiten	Leiter (mechanisch)	Achse, Welle, Rohr, Getriebe ( $i = 1$ )		„elektrische“, „magnetische“ Welle	
	Vereinigen, Verzweigen	Verteiler	Differenz- und Summengetriebe		gekoppelte Aktoren, kaskadierte Antriebe	

**Tafel 1.3** Verwendungsmöglichkeiten einer Feder durch Variation seiner Umgebung

Zweck/Aufgabe	Konstruktionsvarianten (Auswahl)	Funktionen der Feder
Erzeugen der Rastkraft  Erzeugen einer beschleunigten Bewegung  Vermeiden von Stößen	 <p>Rastung Spannwerk elastische Kopplung</p>	Speichern mechanischer Energie
Kraftmessung	 <p>Federwaage <math>F</math> <math>s</math></p>	Wandeln ( $F \rightarrow s$ )
Verhindern der Drehung einer Welle in einer Richtung	 <p>Schlingfeder</p>	Sperren
Variable Übertragung einer Drehbewegung	 <p>biegsame Welle</p>	Leiten mechanischer Energie
Übersetzen einer Drehbewegung ins Langsame	 <p>Schneckengetriebe (Feder als Schnecke)</p>	Verstärken/Reduzieren, Richtungsänderung der Drehbewegung
Elastische Halterung einer Glühlampe	 <p>Lampenfassung</p>	Positionieren, Speichern (mechanische Energie), Leiten (elektrische Energie)

### 1.3 Rechnerunterstütztes Konstruieren – CAD

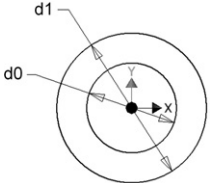
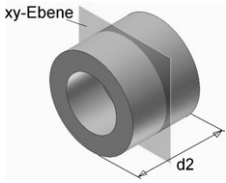
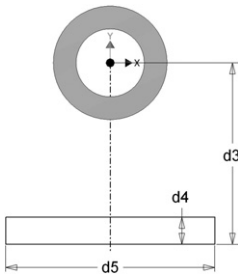
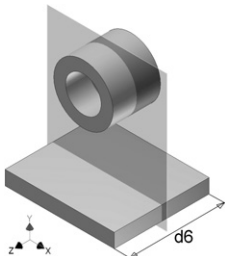
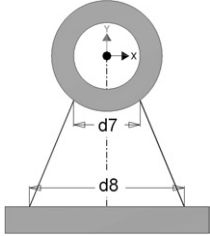
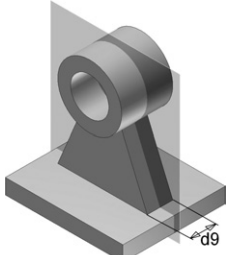
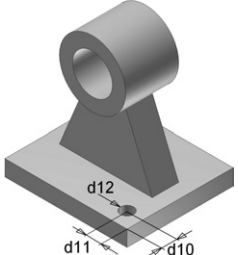
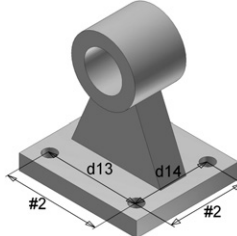
In Elektronik, Elektrotechnik, Feinwerktechnik und Mechatronik ist die Rechentechnik zu einem unverzichtbaren Hilfsmittel für alle Prozesse des Produktlebenszyklus geworden. Man spricht von CAX-Systemen (CA für „Computer-Aided“, x für den jeweiligen Einsatzfall) [1.5] [1.6] [1.10]. In der Erzeugnisentwicklung, Arbeitsvorbereitung und Produktion verwirklichen durchgängige CAD/CAM-Systeme (CAD: Computer Aided Design, CAM: Computer Aided Manufacturing) im Dialog mit dem Menschen alle informationellen Prozesse. Für mechanische Elemente und Baugruppen fördern CAX-Systeme

- die Qualität der Konstruktionsergebnisse durch Variantenentwicklung, exakte Dimensionierung, Optimierung, Funktions- und Fertigungssimulation sowie
- die Produktivität der Konstruktionsarbeit und der nachfolgenden Prozesse durch rationelle Datenspeicherung und -bereitstellung, automatisches Zeichnen, maschinelle Dokumentation der Ergebnisse, Wiederverwendung und Anpassung bewährter Konstruktionen, rationellen Änderungsdienst, direkten Datenaustausch mit anderen Betriebsbereichen.

In der Praxis dominieren 3D-CAD-Systeme beim Entwurf technischer Produkte, die rechnerintern ein vollständiges dreidimensionales geometrisches Modell des Objektes generieren. Der Nutzer kann mittels Skizzenmodus im Dialog schrittweise aus einer zweidimensionalen Darstellung einer Kontur durch Verschieben (Ziehen, Extrudieren) oder Drehen

um eine geeignete Achse einen Körper entwerfen (**Tafel 1.4**). Komplexere geometrische Formen lassen sich durch die Booleschen Operationen Vereinigung, Subtraktion/Differenz oder Durchschnitt/Verschneidung einfacher Elemente erzeugen.

**Tafel 1.4** Ablauf der parametrischen 3D-CAD-Modellierung des Lagerbocks aus Bild 2.8b in Abschn. 2

<p>1.</p>  <p>Parametrische 2D-Skizze in der xy-Ebene (Abhängigkeiten: Kreise koinzident zum Ursprung)</p>	<p>2.</p>  <p>xy-Ebene</p> <p>Extrusion (Austragen, Block) symmetrisch zur xy-Ebene</p>	<p>3.</p>  <p>Skizze in der xy-Ebene (Abhängigkeiten: horizontal, vertikal, symmetrisch)</p>	<p>4.</p>  <p>Extrusion symmetrisch zur xy-Ebene</p>
<p>5.</p>  <p>Skizze in der xy-Ebene, Nutzung projizierter Körperkanten (symmetrische Abhängigkeit)</p>	<p>6.</p>  <p>Extrusion symmetrisch zur xy-Ebene</p>	<p>7.</p>  <p>Feature: Bohrung</p>	<p>8.</p>  <p>Feature: rechteckförmige Anordnung der Bohrungen</p>

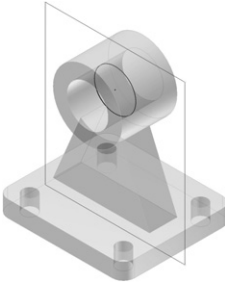
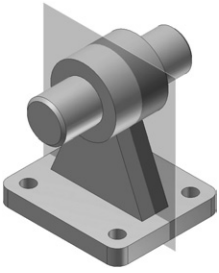
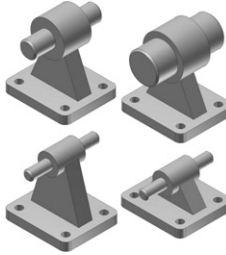
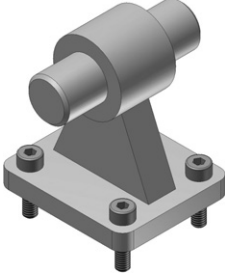
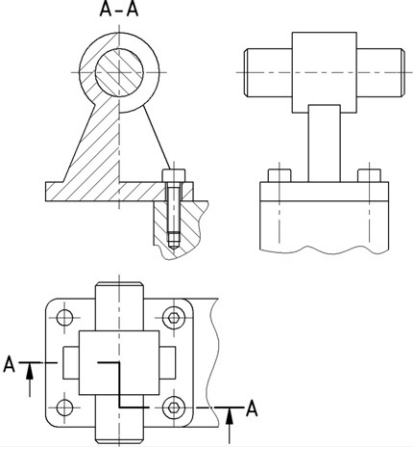
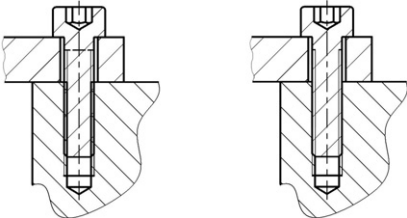
Häufig benutzte Formelemente können die Entwurfsarbeit als sog. Features [1.13] unterstützen, indem man Formelementen einen Verwendungszweck (Gestaltelement, Funktion, Fertigung, Montagehilfe o. ä.) und damit eine Semantik zuordnet. So ist ein zylindrisches Loch z. B. als Bohrung (wie in Tafel 1.4, Arbeitsschritt 7), als Lagerstelle, als Einfügestelle für einen Paßstift oder als Öffnung für ein Lichtbündel beim Entwerfen modellierbar.

Ein wichtiger Vorzug der modernen 3D-CAD-Systeme ist die *parametrische* Modellierung. Geometrische Parameter (Längen, Winkel, Abstände, Radien) sowie nichtgeometrische Größen (Kräfte, Momente, Werkstoffdaten u. a.) sind Variable im Geometriemodell und lassen sich durch arithmetische (+, -, x, :), logische (<, =, >, UND, ODER) und geometrische (horizontal, vertikal, parallel, koinzident u. ä.) Beziehungen verknüpfen. Sie ermöglichen Änderungen des Entwurfs unter Beibehaltung des Zusammenhangs, in dem die Bauteile stehen. Die *assoziative* Verknüpfung unterstützt den Entwurf zusammenhängender Elemente (**Tafel 1.5**) und das Erzeugen von Maßvarianten für eine entworfene Grundgestalt (Variantenkonstruktion auf Basis eines Mastermodells). Norm- und Wiederholteile können aus



Bibliotheken des CAD-Systems oder von Herstellern effektiv eingefügt werden. Verbunden damit ist das Eintragen in eine Stückliste, die das System beim Entwerfen automatisch erzeugt.

**Tafel 1.5** Parametrisch-assoziative Modellierung beim Zusammenbau

<p>Skizze für Welle:</p>  <p>neues Bauteil Welle, Skizze: Innendurchmesser der Lagerbohrung = Wellendurchmesser, Welle ist assoziativ zum Lagerbock</p>	<p>Extrusion:</p>  <p>symmetrisch zur xy-Ebene und Feature „Fase“ am Wellenende, axiale Lage durch zusätzliche Beziehung (fluchtende Ebenen) bestimmbar</p>	<p>Varianten:</p>  <p>Welle paßt sich den Änderungen des Lagerbocks an</p>	<p>Normteile:</p>  <p>Platzierung der Schrauben mit parametrischen Abhängigkeiten, Ergebnis: 3D-Geometriemodell</p>
<p>Im CAD-System erzeugte technische Zeichnung:</p> 	<p>Einzelheit: Schraubenverbindung (wenn der Gewindebolzen ausnahmsweise geschnitten dargestellt werden muß, um innen liegende Details, z. B. den Innensechskant zu zeigen)</p>  <p>links: fehlerhafte Gewindedarstellung (übereinander liegende Schraffuren, Körperkanten der Bohrung liegen in der Schraube) rechts: normgerechte Zeichnung (DIN EN ISO 4762 - M4 x 16)</p>		

CAD-Systeme gestatten, aus dem 3D-Modell technische Zeichnungen mit den erforderlichen Ansichten, Schnitten und Einzelheiten maßstäblich zu erzeugen (Tafel 1.5 unten). Diese Zeichnungen sind jedoch oft nicht normgerecht. Um eine verbindliche (justitiable) Zeichnungsdokumentation (s. Anhang „Technisches Zeichnen“) zu erhalten, ist eine Nachbereitung erforderlich, wie die Korrektur von Linienbreiten, Schraffuren, unsichtbaren Kanten, Ergänzen von Kommentaren u. ä.

Voraussetzung für die effektive Nutzung dieser Werkzeuge ist eine räumliche Vorstellung von dem zu entwerfenden Objekt auf der Grundlage von Formelementen, wie sie in den Bildern 2.3,