

# HANSER



## Leseprobe

zu

## Grundlagen der Konstruktionslehre

von Klaus-Jörg Conrad

Print-ISBN: 978-3-446-47580-9

E-Book-ISBN: 978-3-446-47783-4

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446475809>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Vorwort

Die achte Auflage wurde überarbeitet, aktualisiert und mit neuen Beiträgen ergänzt, um auf neue Forderungen für den Bereich Konstruktion und Entwicklung hinzuweisen, z. B. Digitalisierung in der Konstruktion, Schutz vor Cyberattacken und Notfallmanagement. Die Orientierung auf Menschen im Kapitel 11 wurde erweitert und in neuen Abschnitten mit aktuellen Themen vorgestellt, wie z. B. Kompetenz, Ethik, Ingenieurpsychologie, frugale Produkte, Obsoleszenz, Reparatureignung und agile Produktentwicklung sowie Verschwendung, Biologisierung und Nachhaltigkeit. Das Literaturverzeichnis wurde anwendergerecht geordnet und enthält nicht nur die Quellen, sondern auch weiterführende Literatur.

Das Konstruieren sollte nicht nur im Maschinenbau-Studium gelehrt werden, sondern auch in Informatik-Studiengängen. Neue Produkte zu konstruieren, ist heute in der Regel eine gemeinsame Aufgabe für die Entwicklung von Hardware und Software. Analoge Produkte ohne Elektronik sind für viele Bereiche in der Praxis immer noch sinnvoll. Jedoch sind auch Produkte mit digitalen Komponenten heute und in Zukunft sehr gefragt. Deshalb sollten für interdisziplinäre Zusammenarbeit grundlegende Kenntnisse der Konstruktion und der Informatik sowie weiterer Fachgebiete bei allen Teilnehmern vorhanden sein.

Der Herausgeber dieses Lehrbuchs war als Professor 25 Jahre an der Fachhochschule Hannover im Fachbereich Maschinenbau tätig und hat in der Lehre intensiv mit Studierenden zusammengearbeitet. In der Praxis mit Industrieunternehmen wurden 200 Diplomarbeiten betreut, um Kenntnisse und Erfahrungen stets aktuell vermitteln zu können. Für das Fachgebiet Konstruktion hat er im Fachbereich das Fach Konstruktionslehre eingeführt und dafür 1998 die erste Auflage dieses Lehrbuchs geschrieben. Er hat mit einem Team im Jahr 2002 den dualen Studiengang Konstruktionstechnik entwickelt, eingeführt und betreut. Dafür hat er das Taschenbuch der Konstruktionstechnik 2004 herausgegeben, das im Jahr 2021 bereits in der 3. Auflage erschienen ist. Seine Erfahrungen aus der Konstruktionstätigkeit in der Werkzeugmaschinenindustrie führten zur Herausgabe des Taschenbuchs der Werkzeugmaschinen mit sehr guter Unterstützung durch Beiträge aus Unternehmen und von Kollegen, das im Jahr 2015 in der 3. Auflage vorliegt.

Der Einstieg erfolgt mit einem Vergleich der Tätigkeiten für Konstruktionsübungen mit denen des methodischen Konstruierens. Ein bekanntes Beispiel zeigt die Bedeutung des methodischen Konstruierens, bevor die Grundlagen des systematischen Konstruierens behandelt werden. Die bewährte Konstruktionsmethodik nach der aktuellen VDI-Richtlinie 2221 wird vorgestellt und mit den Begriffen und Vorgehensweisen behandelt, die in der Praxis eingesetzt werden.

Für die Themen in den Kapiteln 1 bis 9 sind Beispiele und Übungen vorhanden. Die Kenntnisfragen wurden entsprechend angepasst und erweitert, sodass für das Nacharbeiten des Stoffs alles vorhanden ist. Die Übungsaufgaben mit den Lösungen im Kapitel 10 wurden umgestellt, sodass die Kapitelnummern für Lösungshinweise angegeben sind.

Das Arbeiten mit diesem Buch setzt Kenntnisse voraus, die insbesondere in den Fachgebieten technisches Zeichnen, Normung und Maschinenelemente als Handwerkszeug für Konstrukteure vermittelt werden. Auch das rechnerunterstützte Konstruieren ist nur mit diesem Wissen möglich. Es wird das systematische Entwickeln von Lösungen vorgestellt, zu dem natürlich auch Kreativitätsmethoden und der Einsatz von Rechnern gehören.

Die Grundlagen und eine Übersicht zum Einsatz von Maschinenelementen in Kapitel 12 sind in Form von Informationsblättern zum Nachschlagen enthalten, weil die Kenntnisse dieser Basisbereiche des Konstruierens oft nicht ausreichend vorhanden sind, um die Übungsaufgaben zu lösen.

Die bewährte Gliederung wurde beibehalten, aber an einigen Stellen so angepasst, dass die Themen der Abschnitte im Inhaltsverzeichnis besser zu finden sind. Außerdem haben alle umfangreichen Kapitel eine Zusammenfassung. Das Durcharbeiten kann damit unterschiedlich erfolgen. Leser mit Vorkenntnissen sind nach dem Nachschlagen und Lesen der Zusammenfassung soweit informiert, dass sie nur die Kapitel durcharbeiten, die von Interesse sind. Andere Leser sehen sich nur die vier Konstruktionsphasen an und lösen die Übungsaufgaben.

Das wesentliche Ziel dieses Buches ist die Vermittlung einer systematischen und methodischen Arbeitsweise in einem Umfang, der es Konstrukteurinnen und Konstrukteuren ermöglicht, einen persönlichen Arbeitsstil zu entwickeln oder zu verbessern. Damit ist es sowohl für Studierende im Ingenieurstudium an Fachhochschulen, Hochschulen und Universitäten, als auch in der Praxis sinnvoll nutzbar. Das Lehrbuch wurde selbstverständlich für Konstrukteurinnen und für Konstrukteure geschrieben. Wegen der Übersichtlichkeit wurden nicht immer Doppelaufgaben im Text geschrieben.

Mein Dank gilt den Verfassern der Fachliteratur zu den Themen, von denen ich viele bewährte Anregungen übernehmen konnte. Insbesondere möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Ehrlenspiel bedanken, von dem ich an der Universität Hannover die Bedeutung und die Anwendung des methodischen Konstruierens gelernt habe.

Die Informationen für die neuen Zukunftsaktivitäten wurden insbesondere von der aca-tech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung, dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und dem Verband der Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA) veröffentlicht, dafür vielen Dank.

Frau Rebecca Pini, Chefredakteurin des VDMA-Magazins, danke ich für aktuellen Informationen aus den Unternehmen im VDMA-Magazin. Herrn Felix Prumbohm, VDMA Business Advisory, danke ich für die zur Verfügung gestellten aktuellen VDMA-Benchmarks. Herrn Erik Liebermann danke ich für seine auflockernden Darstellungen der Teamarbeit und der Kommunikation. Besonderer Dank für die sehr gute Zusammenarbeit gilt der Lektorin Frau Dipl.-Ing. Natalia Silakova und Frau Christina Kubiak vom Lektorat im Carl Hanser Verlag. Für Verständnis, Geduld und Zeit, die eine neue Auflage erfordert, bedanke ich mich sehr bei meiner Frau Marlies Conrad.

Burgdorf, im Januar 2023

*Klaus-Jörg Conrad*

# Inhalt

<b>■</b>	<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Konstruktionslehre und Konstruktion</b> .....	<b>15</b>
1.1	Einführung und Erfahrungen .....	19
1.2	Konstruktion im Betrieb .....	24
1.3	Konstruktionsmethodik .....	29
1.4	Konstruktionsarten .....	31
1.5	Konstruktionsmethodik – Erwartungen .....	36
1.6	Zusammenfassung .....	39
<b>2</b>	<b>Grundlagen des systematischen Konstruierens</b> .....	<b>41</b>
2.1	Technische Systeme .....	42
2.1.1	Grundlagen und Begriffe .....	42
2.1.2	Energie-, Stoff- und Informationsumsatz .....	45
2.1.3	Black-Box-Methode .....	49
2.1.4	Funktionsbeschreibung .....	50
2.1.5	Wirkprinzipien für Teilfunktionen .....	54
2.1.6	Entwicklungsschritte technischer Systeme .....	55
2.2	Grundlegende Arbeitsmethoden .....	58
2.3	Informationsverarbeitung in der Konstruktion .....	63
2.4	Zusammenfassung .....	68
<b>3</b>	<b>Integrierte Produktentwicklung</b> .....	<b>71</b>
3.1	Der Entwicklungsprozess .....	72
3.2	Der Lösungsprozess .....	75
3.3	Bearbeiten von Ingenieuraufgaben .....	77
3.4	Ablauf bei der Lösungssuche .....	79
3.5	Ablauf des Konstruktionsprozesses .....	82
3.6	Interdisziplinäre Zusammenarbeit .....	89
3.7	Grundlagen der Kommunikation .....	92
3.8	Grundlagen der Teamarbeit .....	101
3.9	Ablauf des Designprozesses .....	105

3.10	Ablauf von Ergonomieprozessen .....	109
3.11	Useware-Entwicklungsprozess .....	113
3.12	Kennzahlen Entwicklung und Konstruktion .....	115
	3.12.1 Aufgaben und Tätigkeiten .....	116
	3.12.2 Durchlaufzeiten .....	117
3.13	Zusammenfassung .....	119
<b>4</b>	<b>Konstruktionsphase Planen .....</b>	<b>121</b>
4.1	Planen der Produkte .....	122
4.2	Klären der Aufgabenstellung .....	124
4.3	Anforderungslisten .....	127
	4.3.1 Anforderungsarten .....	128
	4.3.2 Anforderungskataloge .....	129
	4.3.3 Formblatt für Anforderungslisten .....	135
	4.3.4 Aufstellen der Anforderungsliste .....	136
	4.3.5 Ergonomische Anforderungen .....	141
	4.3.6 Designanforderungen .....	144
4.4	Qualitätssicherung beim Planen .....	146
4.5	Quality Function Deployment (QFD) .....	147
4.6	Zusammenfassung .....	155
<b>5</b>	<b>Konstruktionsphase Konzipieren .....</b>	<b>157</b>
5.1	Abstrahieren und Problem formulieren .....	158
5.2	Funktionsstruktur und Funktionsanalyse .....	159
5.3	Lösungen finden mit merkmalsorientierten Methoden .....	163
	5.3.1 Lösungen finden durch Analogien .....	164
	5.3.2 Lösungen finden durch Variation .....	165
	5.3.3 Lösungen finden durch Kombination .....	165
5.4	Lösungsprinzipien suchen .....	166
	5.4.1 Analyse von Veröffentlichungen .....	167
	5.4.2 Analyse bekannter technischer Systeme .....	167
	5.4.3 Anregungen durch Analogien .....	168
	5.4.4 Erkenntnisse aus Versuchen .....	168
	5.4.5 Kreativität und Intuition .....	168
	5.4.6 Brainstorming .....	171
	5.4.7 Brainwriting .....	172
	5.4.8 Methode 635 .....	173
	5.4.9 Mapping-Techniken .....	175
	5.4.10 Methode Morphologischer Kasten .....	183
	5.4.11 Methode der Ordnenen Gesichtspunkte .....	188
	5.4.12 Methode Konstruktionskatalog-Einsatz .....	192
	5.4.13 Methode Problemlösungsbaum .....	197
5.5	Konstruieren mit Zulieferkomponenten .....	198
	5.5.1 Zulieferkomponenten und Eigenentwicklungen im Vergleich .....	199
	5.5.2 Produktentwicklung mit Zulieferkomponenten .....	201
	5.5.3 Zulieferorientiertes Konstruieren .....	203

5.6	Lösungen entwickeln mit Bionik .....	205
5.6.1	Technische Biologie und Bionik .....	206
5.6.2	Bionischer Denk- und Handlungsprozess .....	208
5.6.3	Ausblick und Hinweise .....	209
5.7	Lösungen entwickeln mit Mechatronik .....	211
5.7.1	Übersicht und Einführung .....	212
5.7.2	Grundlagen mechatronischer Systeme .....	213
5.7.3	Aktoren .....	214
5.7.4	Sensoren .....	215
5.7.5	Ausblick und Hinweise .....	215
5.8	Bewerten von Lösungsvarianten .....	216
5.8.1	Grundlagen der Bewertung .....	217
5.8.2	Vorteil-Nachteil-Vergleich .....	217
5.8.3	Dominanzmatrix .....	218
5.8.4	Paarweiser Vergleich .....	218
5.8.5	Erkennen von Bewertungskriterien .....	219
5.8.6	Bewertung mit Punkten .....	220
5.8.7	Bewertungspraxis in der Konzeptphase .....	222
5.9	Qualitätssicherung beim Konzipieren .....	226
5.10	Konzept und Konzeption .....	227
5.11	Zusammenfassung .....	228

<b>6</b>	<b>Konstruktionsphase Entwerfen .....</b>	<b>231</b>
6.1	Allgemeine Forderungen an technische Produkte .....	231
6.2	Arbeitsschritte beim Entwerfen .....	232
6.3	Anwendung der Arbeitsschritte beim Entwerfen .....	234
6.3.1	Gelenkige Aufhängung entwerfen und gestalten .....	234
6.3.2	Entwerfen mit 3D-CAD/CAM-Systemen .....	242
6.4	Grundsätze für das Entwerfen .....	243
6.5	Gestaltungsgrundregeln .....	245
6.5.1	Grundregel „Eindeutig“ .....	246
6.5.2	Grundregel „Einfach“ .....	247
6.5.3	Grundregel „Sicher“ .....	248
6.6	Gestaltungsprinzipien .....	251
6.6.1	Prinzipien der Kraftleitung .....	254
6.6.2	Regeln zur kraftflussgerechten Gestaltung .....	255
6.7	Gestaltungsrichtlinien .....	258
6.7.1	Fertigungsgerechte Gestaltung .....	261
6.7.2	Montagegerechte Gestaltung .....	272
6.7.3	Lärmarm konstruieren .....	280
6.7.4	Recyclinggerechte Gestaltung .....	285
6.7.5	Konstruktionsablauf mit Recyclingorientierung .....	295
6.7.6	Entsorgungsgerechte Gestaltung .....	311
6.8	Bewerten von Entwürfen .....	316
6.9	Qualitätssicherung beim Entwerfen .....	320
6.10	Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA) .....	321
6.11	Zusammenfassung .....	328

<b>7</b>	<b>Konstruktionsphase Ausarbeiten</b> .....	<b>331</b>
7.1	Erzeugnisgliederung .....	333
7.2	Technische Zeichnungen .....	337
	7.2.1 Grundlagen .....	339
	7.2.2 Zeichnungen – Normen und Regeln .....	342
7.3	Stücklisten .....	347
	7.3.1 Stücklistenaufbau .....	348
	7.3.2 Stücklistenarten .....	352
	7.3.3 Gliederung der Stücklistenarten .....	359
	7.3.4 Verwendung von Stücklisten .....	360
7.4	Nummernsysteme .....	361
	7.4.1 Nummerungstechnik – Grundlagen .....	362
	7.4.2 Arten und Eigenschaften von Nummern .....	362
	7.4.3 Ziele der Nummerung .....	364
	7.4.4 Identnummern .....	364
	7.4.5 Klassifizierungsnummern .....	364
	7.4.6 Nummernsysteme .....	368
	7.4.7 Sachnummern .....	370
	7.4.8 Sachnummernsystem .....	371
7.5	Sachmerkmale .....	373
	7.5.1 Sachmerkmalleisten .....	375
	7.5.2 Anzahl und Wertigkeit der Sachmerkmale .....	378
	7.5.3 Sachnummernsystem durch Klassifizierung über Sachmerkmale ...	378
	7.5.4 Methode zum Erarbeiten von Sachmerkmalen .....	386
7.6	Qualitätssicherung beim Ausarbeiten .....	390
7.7	Qualitätsdenken .....	390
7.8	Zusammenfassung .....	391
<b>8</b>	<b>Konstruktion und Kosten</b> .....	<b>393</b>
8.1	Kostenbegriffe .....	394
8.2	Kosteneigenschaften .....	396
8.3	Einflussgrößen auf die Herstellkosten .....	397
	8.3.1 Anforderungen .....	398
	8.3.2 Lösungsprinzip .....	398
	8.3.3 Baugröße .....	400
	8.3.4 Stückzahl .....	400
8.4	Kostengünstig Konstruieren .....	400
8.5	Kostenermittlungsverfahren .....	403
8.6	Relativkosten .....	404
	8.6.1 Vorteile und Nachteile .....	404
	8.6.2 Erarbeiten und Aktualisieren .....	405
	8.6.3 Darstellung und Beispiel .....	406
	8.6.4 Gültigkeit der Relativkosten .....	407
	8.6.5 Einsatz der Methode .....	408
8.7	ABC-Analyse .....	411

8.8	Wertanalyse .....	416
8.8.1	Entwicklung der Wertanalyse .....	418
8.8.2	Grundbegriffe der Wertanalyse .....	419
8.8.3	Auswahlkriterien für Wertanalyseprojekte .....	423
8.8.4	System Wertanalyse .....	424
8.9	Methode zur Kostenanalyse .....	426
8.10	Herstellkostenermittlung durch Kalkulation .....	428
8.11	Zusammenfassung .....	435

## **9 Rechnerunterstütztes Konstruieren und Digitalisierung ..... 437**

9.1	CAD/CAM – Begriffe und Systeme .....	437
9.1.1	CAD – Computer Aided Design .....	438
9.1.2	CAP – Computer Aided Planning .....	439
9.1.3	CAM – Computer Aided Manufacturing .....	439
9.1.4	CAQ – Computer Aided Quality Assurance .....	440
9.1.5	PPS – Produktionsplanung und -steuerung .....	440
9.1.6	CAD/CAM .....	440
9.1.7	CAID – Computer Aided Industrial Design .....	441
9.2	Konstruieren mit 3D-CAD/CAM-Systemen .....	442
9.3	Informationstechnik und Konstruktionsprozess .....	450
9.4	Analoge Welt – digitale Aktivitäten .....	454
9.4.1	Algorithmen und Digitalisierung .....	455
9.4.2	Digitalisierung und digitale Transformation .....	457
9.4.3	Automatisierung .....	459
9.4.4	Ethik – Grundlagen und Begriffe .....	460
9.4.5	Künstliche Intelligenz .....	461
9.4.6	Neuronale Netze und maschinelles Lernen .....	463
9.4.7	Software-Engineering .....	465
9.5	Digitalisierung in der Konstruktion .....	466
9.5.1	Transformationsprozess im Unternehmen .....	467
9.5.2	Digitales Büro im Unternehmen .....	467
9.5.3	Informationsflüsse im Unternehmen .....	468
9.5.4	IT-Sicherheit zum Schutz vor Cyberattaken .....	470
9.6	Zusammenfassung .....	472

## **10 Übungsaufgaben ..... 475**

10.1	Aufgabenstellungen .....	475
10.1.1	Aufgabenstellungen zu Kapitel 1 .....	475
10.1.2	Aufgabenstellungen zu Kapitel 2 .....	476
10.1.3	Aufgabenstellungen zu Kapitel 3 .....	479
10.1.4	Aufgabenstellungen zu Kapitel 4 .....	480
10.1.5	Aufgabenstellungen zu Kapitel 5 .....	483
10.1.6	Aufgabenstellungen zu Kapitel 6 .....	491
10.1.7	Aufgabenstellungen zu Kapitel 7 .....	493
10.1.8	Aufgabenstellungen zu Kapitel 8 .....	499
10.1.9	Aufgabenstellungen zu Kapitel 9 .....	502



10.2	Lösungen .....	503
10.2.1	Lösungen zu Kapitel 1 .....	503
10.2.2	Lösungen zu Kapitel 2 .....	504
10.2.3	Lösungen zu Kapitel 3 .....	509
10.2.4	Lösungen zu Kapitel 4 .....	512
10.2.5	Lösungen zu Kapitel 5 .....	521
10.2.6	Lösungen zu Kapitel 6 .....	537
10.2.7	Lösungen zu Kapitel 7 .....	542
10.2.8	Lösungen zu Kapitel 8 .....	548
10.2.9	Lösungen zu Kapitel 9 .....	550
<b>11</b>	<b>Menschenorientierte Konstruktion .....</b>	<b>551</b>
11.1	Menschenorientierung .....	551
11.1.1	Konstruktionsorientierung auf Menschen .....	553
11.1.2	Kompetenz der Konstrukteure .....	553
11.1.3	Ethik - Grundlagen und Begriffe .....	555
11.1.4	Ethik - Grundsätze und Leitlinien .....	557
11.1.5	Ingenieurpsychologie .....	560
11.2	Konstruktionsstrategie für Gerontik <sup>®</sup> -Produkte .....	564
11.2.1	Begriff Gerontik <sup>®</sup> .....	564
11.2.2	Zukunftstechnologien .....	565
11.2.3	Erfahrung und Alter .....	566
11.2.4	Demografischer Wandel .....	567
11.2.5	Bedürfnisse der Menschen .....	568
11.2.6	Bedeutung der Gerontik <sup>®</sup> .....	570
11.2.7	Fachgebiete mit dem Wortbildungselement Geronto .....	572
11.2.8	Anforderungen an Produkte der Gerontik <sup>®</sup> .....	578
11.2.9	Lösungen entwickeln mit Gerontik <sup>®</sup> .....	581
11.2.10	Nutzung von Prinzipien .....	581
11.2.11	Anzahl der Prinzipien .....	583
11.2.12	Sieben Prinzipien der Gerontik <sup>®</sup> .....	584
11.2.13	Grundbegriffe des Designs .....	587
11.2.14	Prinzipien des Universal Design .....	589
11.2.15	Grundbegriffe der Ergonomie .....	591
11.2.16	Entwicklung eines Sattelstuhls .....	593
11.2.17	Strategie für Gerontikprodukte .....	596
11.2.18	Zusammenfassung .....	596
11.3	Strategie für frugale Produkte .....	597
11.3.1	Frugale Produkte .....	597
11.3.2	Frugale Innovation .....	598
11.3.3	Geplantes Vorgehen .....	599
11.4	Strategien gegen Obsoleszenz .....	600
11.4.1	Geplante Obsoleszenz .....	601
11.4.2	Optimale Lebens- oder Nutzungsdauer von Produkten .....	601
11.4.3	Kernempfehlungen und Handlungsempfehlungen .....	602

11.5	Reparatureignung von Produkten .....	603
11.5.1	Instandhaltung .....	603
11.5.2	Instandsetzungsgerechtes Konstruieren .....	605
11.5.3	Reparatur-Nutzen und Aufwand .....	606
11.6	Agile Produktentwicklung .....	609
11.6.1	Agil – Begriffsklärung .....	610
11.6.2	Agile Managementmethoden .....	610
11.6.3	Scrum-Methode .....	612
11.6.4	User Story Mapping .....	618
11.6.5	Zusammenfassung .....	620
11.7	Wertschöpfung und Verschwendung .....	620
11.7.1	Verschwendung in Prozessen .....	622
11.7.2	Verschwendung in der Konstruktion .....	623
11.8	Biologisierung – Bioökonomie .....	624
11.9	Nachhaltigkeit .....	629

## **12 Maschinenelemente .....** **633**

12.1	Systematik und Einteilung .....	633
12.2	Informationsblätter Maschinenelemente .....	634

## **13 Quellen und weiterführende Literatur .....** **653**

13.1	Konstruktionslehre und Konstruktionsmethodik .....	653
13.2	Integrierte Produktentwicklung .....	654
13.2.1	Interdisziplinäre Zusammenarbeit .....	654
13.2.2	Kommunikation .....	654
13.2.3	Grundlagen der Teamarbeit .....	655
13.2.4	Ablauf Designprozesse .....	655
13.2.5	Ablauf Ergonomieprozesse .....	655
13.2.6	Ueware-Entwicklungsprozess .....	655
13.2.7	Kennzahlen .....	655
13.3	Konstruktionsphase Planen .....	656
13.3.1	Qualität in der Konstruktion .....	656
13.4	Konstruktionsphase Konzipieren .....	657
13.4.1	Ideenfindung .....	657
13.4.2	Mapping-Techniken .....	657
13.4.3	Konstruktionskataloge .....	658
13.4.4	Bionik .....	659
13.4.5	Mechatronik .....	659
13.5	Konstruktionsphase Entwerfen .....	660
13.6	Sicherheit .....	660
13.6.1	Fertigung und Montage .....	661
13.6.2	Lärmarm konstruieren .....	661
13.6.3	Recycling und Entsorgung .....	661
13.7	Konstruktionphase Ausarbeiten .....	662
13.7.1	Technisches Zeichnen .....	662

13.7.2	Stücklisten .....	663
13.7.3	Nummernsysteme .....	663
13.8	Konstruktion und Kosten .....	663
13.9	Rechnerunterstütztes Konstruieren und Digitalisierung .....	664
13.9.1	Analoge Welt – digitale Aktivitäten .....	665
13.9.2	Digitalisierung in der Konstruktion .....	666
13.10	Menschenorientierte Konstruktion .....	666
13.10.1	Menschenorientierung .....	666
13.10.2	Ethik – Grundsätze und Leitlinien .....	666
13.10.3	Ingenieurpsychologie .....	667
13.10.4	Konstruktionsstrategie für Gerontik-Produkte .....	667
13.10.5	Grundlagen Design .....	669
13.10.6	Design und Ergonomie .....	669
13.10.7	Grundlagen Ergonomie .....	669
13.10.8	Arbeitsgestaltung .....	670
13.10.9	Strategie für frugale Produkte .....	671
13.10.10	Strategien gegen Obsoleszenz .....	671
13.10.11	Reparatureignung von Produkten .....	672
13.10.12	Agile Produktentwicklung .....	672
13.10.13	Wertschöpfung und Verschwendung .....	673
13.10.14	Biologisierung – Bioökonomie .....	673
13.10.15	Nachhaltigkeit .....	673
13.11	Maschinenelemente .....	674
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>675</b>

# 1

## Konstruktionslehre und Konstruktion

**Konstruktionslehre** ist die Lehre vom Konstruieren. Zu klären ist, was Konstruieren eigentlich für eine Tätigkeit ist und welche Vorgehensweisen sinnvoll sind, um das Konstruieren lehr- und lernbar darzustellen. Die Grundlagen der Konstruktionslehre zu behandeln bedeutet, nicht den Anspruch zu erheben das gesamte Wissen und alle Erkenntnisse zu beschreiben, sondern nur das Basiswissen zu vermitteln. Die Konstruktionslehre ist ein Fachgebiet, das schon seit mehreren Jahren zur Ingenieurausbildung gehört. Da aus Erfahrungen bekannt ist, dass ca. 50% der Ingenieure in konstruktiven Bereichen der Betriebe tätig sind, hat die Konstruktionslehre eine besondere Bedeutung.

Für das Konstruieren sollten gewisse Fähigkeiten und Neigungen vorhanden sein, die in Bild 1.1 als Übersicht angegeben sind. Bei entsprechendem Interesse sind gewisse Lücken ohne weiteres durch Lernen zu schließen. Es ist auch schon erkennbar, dass zum Konstruieren von technischen Produkten mehr zu beachten ist, als das einfache Kombinieren von Elementen. Das zeigt sich insbesondere an den automatisierten Maschinen und Anlagen, die heute als Ergebnisse guter Konstruktionsarbeit in vielen Firmen vorhanden sind und im täglichen Leben genutzt werden, wie z. B. Werkzeugmaschinen, Haushaltsgeräte, Büroeinrichtungen, Automobile, Schienenfahrzeuge usw.



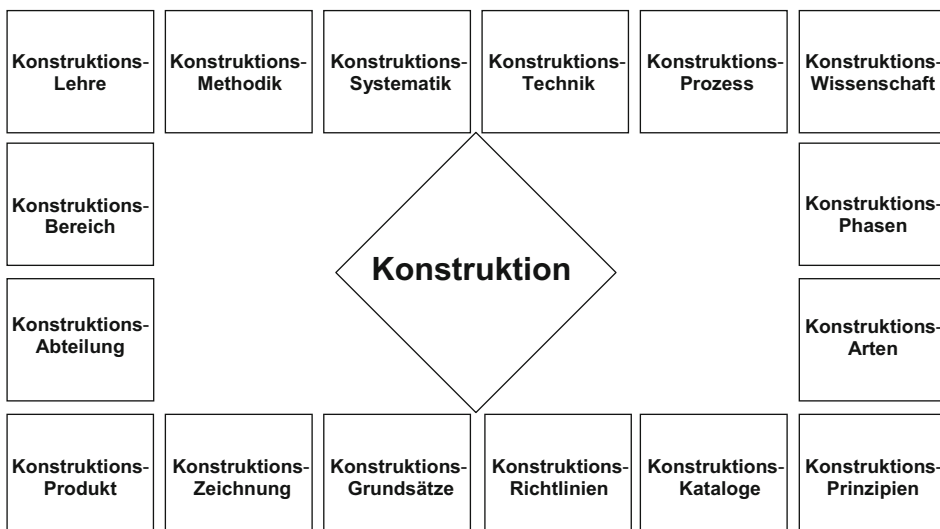
**Bild 1.1** Wissensbasis für das Konstruieren

Die in Bild 1.1 angegebene Wissensbasis ist für alle konstruktiven Tätigkeiten wichtig. Eine **Wissensbasis** enthält das notwendige Wissen und die Fähigkeiten, um das im Kern angegebene Thema umfassend zu behandeln. Wissen entsteht nicht durch das Sammeln von Informationen im Internet. **Wissen** entsteht in analogen Menschen durch Lernen, Lesen, Zuhören, Nachdenken, Gespräche, Lesen und Schreiben von Büchern, Zeitschriften und aktive Aufnahme in Vorlesungen.

**Konstruktion** von lat. „constructio“ bedeutet Zusammenfügung oder Verbindung und umfasst im logischen Sinn den Ablauf, der erforderlich ist, um einfache Elemente zu komplexen Gegenständen zusammensetzen. Konstruktion bezeichnet also den Prozess und das Ergebnis, um Produkte durch menschliche Fähigkeiten, Fertigkeiten und Ideenfindung zu planen und herzustellen.

Durch eine Konstruktion entsteht nach *Erthoff/Marshall* eine eindeutige Beziehung von Funktion und Form. Der Begriff wird häufig, zuweilen irreführend, synonym mit Design verwendet. Die Herstellung von Konstruktionen erfolgt in **Konstruktionsprozessen**, nach Arbeitsschritten, Verfahren, Rechenvorschriften und Regeln. Die Konstruktionswissenschaft beschäftigt sich mit Konstruktionen und Konstruktionsprozessen sowie mit den wissenschaftlich-technischen Grundlagen der Konstruktionslehre. **Konstruktionstechnik**, als Bereich der Technikwissenschaften, untersucht nach *Müller* den Prozess des Konstruierens technischer Gebilde sowie allgemeine Strukturgesetze technischer Systeme mit den Zielen Gesetzmäßigkeiten konstruktiver Prozesse zu erkennen, Verfahren, Technologien bzw. Methoden des Konstruierens zu entwerfen, Überführung dieser Erkenntnisse in die praktische Tätigkeit bzw. in die Ausbildung der Konstrukteure sowie die Verbesserung der Effektivität der Prozesse und der Qualität der Ergebnisse im Konstruktionsbereich.

Konstruktion ist als Wortbildungselement sehr weit verbreitet. Das folgende Bild 1.2 enthält eine Übersicht häufig verwendeter Begriffe, die hier und in den folgenden Kapiteln erklärt werden.



**Bild 1.2** Konstruktionsbegriffe

**Konstrukteure und Konstrukteurinnen** sind technisch interessierte Menschen mit Fähigkeiten und Neigungen für das bildhafte Vorausdenken und das gedankliche Realisieren technischer Gebilde als Lösungen technischer Aufgaben, die sie auf Zeichnungen darstellen, gestalten, berechnen und eindeutig beschreiben.

Der Ablauf des kreativen Denkens beim Konstruieren ist nach *Hansen* rationell zu gestalten. Die notwendige geistige Tätigkeit kann aufgeteilt werden in eine formal-geistige und in eine kreativ-geistige Tätigkeit. Die formal-geistige Tätigkeit kann nach Methoden erfolgen, der kreativ-geistige Anteil ist auch in gewissem Umfang zu beeinflussen.

Um beim Konstruieren kreativ tätig zu sein, sind nicht allein das Wissen und die Kenntnis von vorhandenen Lösungen als Vorlagen ausreichend. Das Konstruieren ist nicht eine Kunst, sondern insbesondere das Ergebnis logischen Denkens. Ohne besondere konstruktive Fähigkeiten ist der Konstrukteur umso mehr auf logisches Denken angewiesen, um sich folgerichtig und sicher an eine gute Lösung heranzutasten.

**Konstruieren** umfasst alle Tätigkeiten vom bildhaften Vorausdenken und dem gedanklichen Realisieren technischer Gebilde zur Lösung technischer Aufgaben bis zum Darstellen der Ideen auf Skizzen und Zeichnungen sowie deren Gestaltung, Berechnung und eindeutigen Beschreibung. Diese Tätigkeiten sind nur in den Köpfen von analogen Menschen erfolgreich möglich. Der Einsatz von Rechnern und Vernetzung unterstützt dieses Denken und enthält viele sinnvolle Elemente. Die Ergebnisse der Konstruktionsarbeit sind dann durch Speichern, Weiterleiten und Bearbeiten in anderen Bereichen schneller verfügbar.

Die Tätigkeit Konstruieren hat bei der Lösung von Ingenieuraufgaben eine zentrale Stellung. Der **Konstrukteur** bestimmt durch seine Ideen, Fähigkeiten und Kenntnisse in entscheidender Weise ein Produkt und dessen Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung und im Gebrauch. Die Betrachtung aller Maßnahmen zur Verbesserung von Konstruktion und Entwicklung zeigen, dass Konstruieren kein automatisierbarer Vorgang ist, also nicht vergleichbar mit Fertigungs- und Montageoperationen. Werden jedoch die Konstruktionstätigkeiten Zeichnen, Berechnen oder Informieren betrachtet, so gibt es durch den Einsatz von EDV, CAD oder Datenbanken bereits gute Lösungen zur Unterstützung der Routine-tätigkeiten.

Der übliche Ablauf im Konstruktionsalltag kann auch beschrieben werden durch Angabe der schrittweise zu erledigenden Aufgaben und deren gewünschte Ergebnisse. Für eine Aufgabenstellung sind die vollständigen Informationen zu erarbeiten und bereit zu stellen, die für die Herstellung und den Betrieb einer optimalen Maschine erforderlich sind:

- Die vorliegende Aufgabenstellung entsteht durch Anfragen oder Aufträge, wie z.B. die Konstruktion eines Getriebes, um Drehzahlen und Drehmomente zu wandeln.
- Informationen für die Herstellung einer optimalen Maschine bestehen aus technischen Zeichnungen, Stücklisten, NC-Programmen, Beschreibungen usw.
- Der Betrieb einer optimalen Maschine wird durch entsprechende Betriebsanleitungen (Technische Dokumentation) gesichert.
- Maschinen sind allgemein technische Gebilde, die konkret als Anlagen, Apparate, Geräte, Baugruppen oder Einzelteile anzutreffen sind.

- Optimal soll hier ein Kompromiss sein zwischen Forderungen und Lösungsmöglichkeiten bei geringstem Aufwand und nach dem derzeitigen Stand der Technik.
- Eine Maschine ist optimal, wenn sie mit geringsten Kosten alle geforderten Funktionen zuverlässig erfüllt.

Nach diesen Hinweisen ist die Vielfalt der Überlegungen erkennbar, die vor dem Umsetzen in reale Lösungen auf technischen Zeichnungen erforderlich ist. Konstruieren als Tätigkeit zum Lösen von technischen Aufgaben ist also nicht mit einem Satz zu definieren, sondern erfordert Erläuterungen, die individuell unterschiedlich sind.

Die **Konstruktionslehre** behandelt die für das Konstruieren im Maschinenbau erforderlichen wissenschaftlich-technischen Grundlagen. Es wurden allgemeingültige Methoden für das systematische Vorgehen beim Konstruieren entwickelt, die Erfahrungen guter Konstrukteure aufbereitet und das sehr komplexe Grundwissen der Gestaltung strukturiert zusammengefasst.

Die Tätigkeiten zum Bearbeiten von konstruktiven Aufgaben werden in den folgenden Kapiteln erklärt und mit Hilfsmitteln so dargestellt, dass eine eindeutige Beschreibung vorliegt. Um die allgemeine Anwendbarkeit für Einzelteile, Baugruppen, Maschinen, Apparate, Geräte oder Anlagen in allen Bereichen der Technik zu zeigen, wird als Oberbegriff **technische Gebilde** verwendet. Neue Lösungen für Konstruktionsaufgaben ergeben sich vor allem durch kreative Tätigkeiten der Konstrukteure, während die Routinearbeiten mehr zur normgerechten Darstellung und Klärung von Einzelheiten eingesetzt werden. Das kreative Denken mit einfallsbetonter Ideenfindung ergänzt sich beim Konstruieren mit dem systematischen Vorgehen zu einer Einheit.

Der **Bereich Konstruktion** und Entwicklung ist in fast allen Industrieunternehmen als selbstständige und bedeutende Abteilung mit zentraler Stellung in der Produktherstellung vorhanden. Neben den vielen Möglichkeiten und Varianten der organisatorischen Eingliederung gibt es unabhängig von den Produkten eines Unternehmens einige allgemeingültige Regeln und Vereinbarungen, die für die Funktion dieses Bereiches stets gelten. Außerdem wurden im Laufe der letzten Jahre die eingesetzten Methoden und Hilfsmittel entsprechend den vorhandenen Erkenntnissen und Erfahrungen zu einer systematischen Arbeitsweise entwickelt. Die Arbeit der Konstrukteure besteht nicht mehr nur darin, eine technische und wirtschaftlich herstellbare Lösung für ein Problem zu finden, und diese dann durch Zeichnungen und Stücklisten festzulegen. Die Ansprüche sind enorm gestiegen und erfordern eine straffe, zielorientierte Vorgehensweise, die im Folgenden vorgestellt werden soll.

Die **Konstruktionsausbildung** beginnt in der Regel mit der Vermittlung der Konstruktionsgrundlagen, wie technisches Zeichnen, Normung, Toleranzen, Passungen und Oberflächenangaben. In zugeordneten Übungen sind technische Zeichnungen anzufertigen, z. B. durch Maßaufnahmen von Teilen, also die Geometrie mit Maßen, Toleranzen, Oberflächenangaben usw. nach den Regeln als technische Zeichnungen darzustellen.

Anschließend werden die **Maschinenelemente** behandelt, um Kenntnisse der Teile zu vermitteln, die häufig in Maschinen eingesetzt werden, wie z. B. Schrauben, Wellen, Lager oder Zahnräder. Mit diesen Kenntnissen sind Konstruktionsübungen als Aufgaben lösbar. Dies sind einfache Baugruppen oder Produkte, die nach einem vorgegebenen Prinzip oder Schema zu entwerfen sind, um die Anwendung der Maschinenelemente zu lernen. Tabelle 1.1 vergleicht die bekannten Tätigkeiten für das Bearbeiten von Konstruktionsübungen mit den Tätigkeiten beim methodischen Konstruieren, indem diese den Konstruktionsphasen zugeordnet werden. Die beispielhaft genannten Punkte zeigen deutlich, dass mit dem methodischen Konstruieren die Kenntnisse weiterzuentwickeln sind.

**Tabelle 1.1** Vergleich von Konstruktionsübungen mit methodischem Konstruieren

Konstruktionsübungen Tätigkeiten	Konstruktions- phasen	Methodisches Konstruieren Tätigkeiten
	Planen	Aufgabenstellung klären Informationen beschaffen Anforderungsliste ausarbeiten
	Konzipieren	Abstrahieren und Problem formulieren Funktionen beschreiben Black-Box-Methode anwenden Lösungsprinzipien suchen Lösungselemente für Funktionen Systematische Lösungsentwicklung Lösungsvarianten untersuchen Konzept festlegen
Aufgabenstellung als Text mit Prinzipiskizzen lesen und umsetzen Maschinenelemente auswählen, um Funktionen zu erfüllen Entwurfsberechnung durchführen Geometrie gestalten Werkstoffe auswählen Normteile und Handelsteile einsetzen Entwurfszeichnung erstellen mit Teiledaten und Festigkeitsberechnung	Entwerfen	Entwerfen nach Arbeitsschritten Grobentwurf skizzieren Entwurfsberechnung durchführen Geometrie gestalten Werkstoffe auswählen Grundregeln, Prinzipien und Richtlinien der Gestaltung anwenden Maschinenelemente, Normteile und Handelsteile für die Funktionen wählen Entwurfszeichnung erstellen mit Teiledaten und Festigkeitsberechnung Baugruppen festlegen
Einzelteilzeichnungen anfertigen Stückliste erstellen Hinweise für Fertigung und Montage festlegen	Ausarbeiten	Einzelteilzeichnungen anfertigen Stücklisten der Baugruppen erstellen Hinweise für Fertigung und Montage festlegen Betriebsanleitung und Dokumentation

## ■ 1.1 Einführung und Erfahrungen

Die Bedeutung der **Konstruktion** als Abteilung oder als Ergebnis einer technischen Aufgabe, dargestellt auf einer technischen Zeichnung bzw. als fertiges Produkt, wird stets unterschiedlich bewertet. Meistens verbinden Außenstehende damit die Tätigkeiten Berechnen, Zeichnen, Untersuchen, Gestalten, Planen usw. Erst wenn durch die Erstellung von technischen Zeichnungen mit der Gestaltung von Bauteilen oder einfachen Baugruppen, wie z. B. einem Schraubstock, erste Entwurfszeichnungen angefertigt werden, ergibt sich ein erster Eindruck von den Aufgaben der Konstruktion. Dann ist auch zu erkennen, dass gute Kenntnisse und Erfahrungen vorhanden sein müssen, die in den Fachgebieten Maschinenelemente und Konstruktionsgrundlagen vermittelt werden. Dazu gehören auch die Fachgebiete Fertigungstechnik und Werkstoffkunde, sowie in gewissem Umfang das



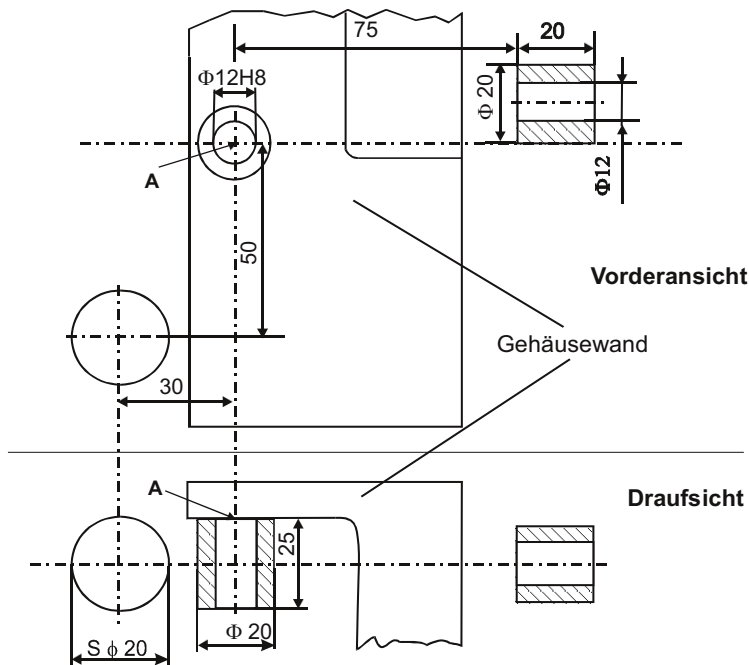
Grundlagenwissen der Technik und der Automatisierungstechnik. Nach dem selbstständigen Lösen einfacher Konstruktionsübungen sind folgende Erfahrungen bekannt.

Erkenntnisse erster eigener Konstruktionsarbeiten bei kritischer Betrachtung:

- nicht nur nach Beispielen arbeiten
- ein Problem hat mehrere Lösungen
- Fachwissen ist erforderlich
- nach Regeln arbeiten ist sinnvoll
- Auswahlentscheidungen sind erforderlich
- Informationen müssen beschafft und umgesetzt werden

Mit dem ersten Beispiel soll vor weiteren Aussagen zum Thema die Problematik verdeutlicht werden, die beim Bearbeiten von konstruktiven Aufgaben auftreten kann.

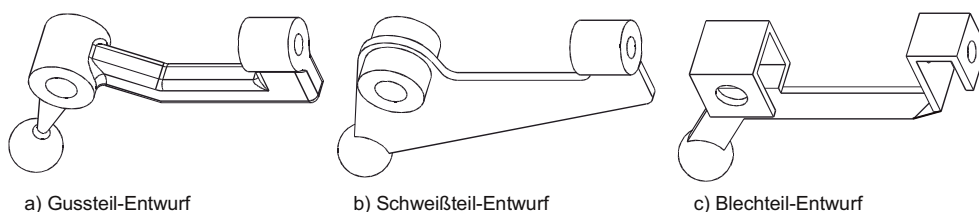
**Beispiel Hebel:** Die Aufgabe besteht darin, ein Einzelteil zu entwerfen und eine technische Zeichnung zu erstellen. Sie wurde in Anlehnung an eine Untersuchung von *Hansen* aufbereitet. Für diese erste Konstruktionsübung sind von einer Baugruppe die wichtigsten Maße, die in dem neuen Teil erforderlichen Formelemente sowie die geometrischen Bedingungen in einer Skizze in Bild 1.3 dargestellt.



**Bild 1.3** Skizze der Aufgabe mit den geometrischen Bedingungen

Die Formelemente Bohrung, Buchse und Kugel sind an den äußeren Konturen so mit Material zu verbinden, dass die Bohrungen der beiden Buchsen frei bleiben und die Kugel nur in einem Teilbereich verwendet wird. Der zu gestaltende Hebel soll mit der Bohrung 12 H8 auf einen Bolzen gesteckt werden, der an der Gehäusewand befestigt ist. Um diese Drehachse sollen Schwenkbewegungen von  $\pm 5^\circ$  ohne Berührung der skizzierten Gehäusewände möglich sein. Die Bewegungseinleitung erfolgt an der äußeren Bohrung oder an der Kugel. Da dabei nur sehr geringe Kräfte auftreten, ist keine Festigkeitsberechnung erforderlich. Die Gestaltung soll so erfolgen, dass die Kosten bei absoluter Funktionsicherheit und hohen Stückzahlen gering sind.

Konstrukteure werden für solch eine Aufgabe je nach Erfahrung und Fachgebiet relativ schnell eine Lösungsidee haben und diese als Entwurf aufzeichnen. Diese Aufgabe wurde mehreren Konstrukteuren vorgelegt, die aus verschiedenen Maschinenbaubereichen kamen und dementsprechend sehr unterschiedliche Entwurfszeichnungen erstellten. Einige Beispiele sind in dem folgenden Bild 1.4 dargestellt.



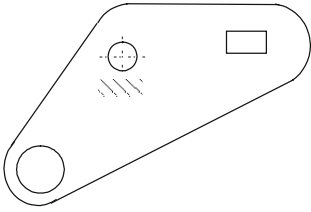
**Bild 1.4** Drei Entwürfe mit unterschiedlichen Schwerpunkten

In Bild 1.4a ist ein solides Guss- oder Schmiedeteil eines Konstrukteurs aus dem Schwermaschinenbau dargestellt, der sich gut mit diesen Fertigungsverfahren auskennt. Eine zweite Lösung zeigt eine Ausführung als Schweißkonstruktion durch Verbinden der Formelemente mit einem einfachen Blechteil, so wie sie bei einzelfertiger oder bei kleinen Serien, z. B. im Versuchsbau üblich ist. Die Entwurfszeichnung im Bildteil c könnte von einem Konstrukteur stammen, der die Blechteilfertigung kennt und dadurch seine Gestaltung mit diesem Fertigungsverfahren realisiert hat.

Die für diese Ergebnisse abgelaufenen Überlegungen sind nicht eindeutig nachzuvollziehen, da neben den Einflüssen aus dem Tätigkeitsbereich auch der Einfluss der üblichen Vorgehensweise – unter Zeitdruck zu konstruieren – zu einer schnellen Lösung geführt haben könnte.

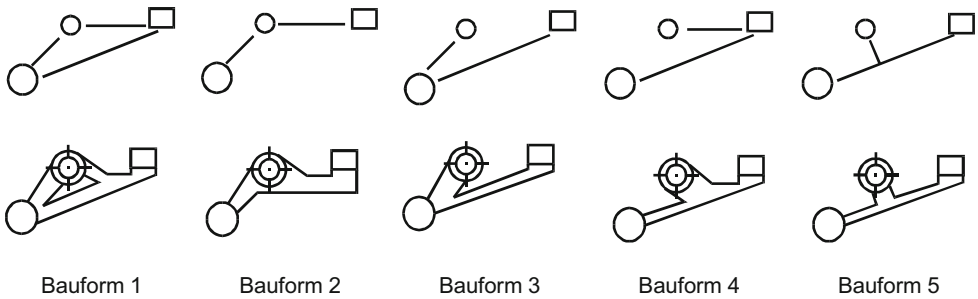
Die für die Lösung dieser Aufgabe wesentlichen Gedanken sollen einmal systematisch untersucht werden. Dabei ergibt sich als Kern der Aufgabe, dass drei Formelemente und ihre gegenseitige Lage zueinander gegeben sind. Durch die feste Verbindung dieser Elemente soll eine Bewegungsübertragung möglich werden. Diese grundsätzliche Aufgabe zur Lösungsfindung ist der Skizze in Bild 1.5 zu entnehmen.

Die Aufgabe besteht also in erster Linie nicht mehr aus dem Gestalten eines Bauteils, sondern aus dem Erkennen der Grundelemente, deren Anordnung zueinander und einem systematischen Erarbeiten der Lösungsmöglichkeiten. Erst nach diesen Arbeitsschritten werden die Gestaltungsmöglichkeiten mit verschiedenen Fertigungsverfahren untersucht.



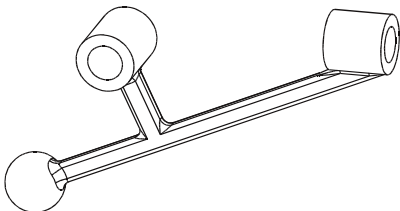
**Bild 1.5** Schematische Skizze zur Lösungsfindung

Durch die dreieckige Anordnung der Formelemente ergeben sich fünf Möglichkeiten der Verbindung, wie das folgende Bild 1.6 zeigt. Werden die zugeordneten Entwurfsskizzen mit den Entwürfen der Konstrukteure verglichen, so ist zu erkennen, dass alle Entwürfe der Bauform 2 entsprechen. Mögliche Gründe dafür ergeben sich aus der Formulierung der Aufgabe und aus der Wahl der Konstrukteure.



**Bild 1.6** Fünf mögliche Bauformen als Strichskizzen und als Bauteile

Eine systematische Untersuchung der Lösungsalternativen unter Beachtung einer einfachen Gestaltung, der Werkstoffart, der Fertigung, der Herstellkosten, der Werkzeuge und Vorrichtungen führt zu einer guten Lösung aus Kunststoff mit der Struktur der 5. Bauform in Bild 1.6, wie in dem folgenden Bild 1.7 vereinfacht dargestellt.



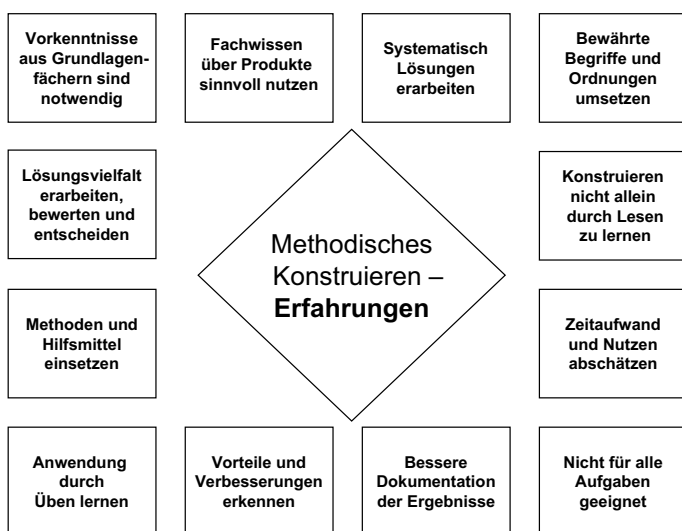
**Bild 1.7** Lösungsskizze eines Kunststoffteils

Zur Klärung der Frage, warum die Konstrukteure die Bauform 5 nicht gefunden haben, muss eigentlich nur konsequent analysiert und festgehalten werden, welche Gedanken zu den guten Lösungen geführt haben. Es ist festzustellen, dass sich gute Ergebnisse in der

Regel durch systematisches Erarbeiten der Lösungsmöglichkeiten ergeben. Außerdem ist natürlich Ingenieurwissen, Erfahrung und Kreativität erforderlich.

Diese Aufgabe wurde auch regelmäßig Studierenden des Maschinenbaus im Hauptstudium mit dem zusätzlichen Hinweis vorgelegt, nicht nur ein Bauteil zu entwerfen, sondern zwei verschiedene. Damit sollte erreicht werden, dass nach dem ersten schnellen Skizzieren noch eine weitere Lösung durch zusätzliches Nachdenken geschaffen wird. Aber auch hier zeigte sich als Ergebnis oft nur eine Gestaltung für ein anderes Fertigungsverfahren ohne das erwünschte systematische Erarbeiten der Lösungsvarianten in Form von Strichskizzen für die möglichen Bauformen und ohne Werkstofffestlegung vor dem Entwurf.

Eine Konstruktionslehre muss in verschiedener Hinsicht unterstützend wirken, wenn sie in der Lehre und in der Praxis vorteilhaft einsetzbar sein soll. Aus den Erfahrungen beim Lösen konstruktiver Aufgaben in den verschiedenen Bereichen des Maschinenbaus wurden deshalb viele Erkenntnisse und Vorgehensweisen so aufbereitet, dass diese für neue Konstruktionsaufgaben sinnvoll nutzbar sind. Die **Konstruktionslehre** hat daraus als wesentliche Ziele die Vermittlung von Methodenwissen und die Darstellung der Hilfsmittel zum Bearbeiten konstruktiver Aufgaben festgelegt. Bild 1.8 enthält zusammengefasst Erfahrungen des systematischen Arbeitens als Wissensbasis.



**Bild 1.8** Wissensbasis für die Erfahrungen beim methodischen Konstruieren

Das systematische Arbeiten setzt voraus, dass Methoden und Hilfsmittel in Übungen vorgestellt und angewendet werden. Sehr wichtig ist das selbstständige Bearbeiten der Übungen mit anschließender Klärung offener Fragen und Diskussion der Ergebnisse. Der Einsatz der Methoden und Hilfsmittel bedeutet in der Anfangsphase der Konstruktion erheblich mehr Zeitaufwand, insbesondere bei gleichzeitigem Lernen. Die Erfahrung zeigt, dass es nicht sinnvoll ist, jede Aufgabe mit allen Methoden und Hilfsmitteln zu bearbeiten, sondern mit den vorhandenen Kenntnissen ist jeweils abzuwägen, ob sich durch einen erhöhten Aufwand Vorteile oder Verbesserungen ergeben. So sind z. B. einfache Produkte, die nur einmal hergestellt werden sollen, schneller ohne Methodik konstruiert.

Die **Anwendung der Konstruktionsmethodik** hat sich besonders bei anspruchsvollen oder bei komplexen Aufgabenstellungen bewährt, wie z. B.:

- Entwicklung von Serienprodukten
- Verbesserung von nicht mehr marktgerechten Produkten (Kosten, Wettbewerb, Stand der Technik)
- Entwicklung von wirtschaftlichen „Ausweichprodukten“ geschützter Lösungen
- Entwicklung von Lösungen für Abläufe und Verfahren in der Produktion mit Automatisierung (Backwaren, Verpackungen, usw.)
- Bearbeitung von Projekten im Studium mit fachlich noch nicht ausgereiften Kenntnissen

Aus diesen Überlegungen lassen sich bereits die wichtigsten **Aufgaben der Konstruktionslehre** ableiten, die erarbeitet werden müssen.

Die Konstruktionslehre benötigt Methoden und Hilfsmittel

- zum Beschaffen von Informationen
- zum Speichern von Informationen
- zum systematischen Anwenden von Kenntnissen
- zum methodischen Entwickeln von Lösungen
- zum Bewerten von Lösungen
- zum Gestalten von Produkten

**Methoden** beschreiben das allgemeine, geplante, gleichartige und schrittweise Vorgehen bei der Lösung einer Klasse von Problemen.

**Hilfsmittel** sind aufbereitete Unterlagen, die das methodische Konstruieren unterstützen, wie z. B. Lösungssammlungen, Gestaltungsregeln, Daten oder Arbeitsblätter.

Für das Fachgebiet Konstruktionslehre gibt es unterschiedliche Bezeichnungen, wie Konstruktionssystematik, methodisches Konstruieren oder Konstruktionsmethodik. Da keine wesentlichen Unterschiede bestehen, werden alle Begriffe gleichwertig benutzt.

Ein Auszug aus der vorhandenen weiterführenden Literatur und einige spezielle Veröffentlichungen sind im Literaturverzeichnis angegeben.

## ■ 1.2 Konstruktion im Betrieb

Eine **Konstruktion** kann auch heute noch auf verschiedene Weise entstehen. Es gibt immer noch Handwerksbetriebe, in denen ein Meister alle Tätigkeiten durchführt, die von der Anfrage eines Kunden über Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Montage bis zum fertigen Produkt erforderlich sind. Bei umfangreichen oder bei komplexen Produkten, wie z. B. Werkzeugmaschinen, sind diese Aufgaben nicht mehr von einem Mitarbeiter allein zu schaffen, sondern nur durch zusammenarbeitende Abteilungen (Bild 1.9).

# Sachwortverzeichnis

## A

Abbruch einer Entwicklung 86  
ABC-Analyse 411  
Ablaufplan 86  
Ablauf von Reparaturen 608  
Abstimmungsgespräche 320  
Abstrahieren 60, 158, 209  
agile Managementmethoden 610  
agile Manifest 612  
agile Produktentwicklung 613  
Agilität 610  
Aktoren 214  
– elektrische 214  
– hydraulische 215  
– pneumatische 215  
Akzeptanz 563  
Algorithmen 455  
Algorithmus 455f.  
Algorithmus und Mensch 456  
Alter  
– Begriff 566  
– eines Menschen 566  
Altern 567  
Analogien 168  
Analogisieren 164  
Analyse 60, 115  
Anforderungsarten 129  
Anforderungskataloge 129f.  
Anforderungsliste 125, 127, 130  
– aufstellen 136  
– Formblatt 135  
angewandte Ethik 557  
Anpassungskonstruktion 32, 161  
Ansichten 342

Anzahl der Prinzipien 583  
Appell 96  
Arbeitsmethoden der Informations-  
verarbeitung 65  
Arbeitsplan der Wertanalyse 425  
Aufarbeitung  
– industrielle 297  
Aufbauschema 193  
Aufbewahrungsrichtlinie 468  
Aufgabenanalyse 561  
Aufgabenstellung 124  
– Klärung 125  
Ausarbeiten 33, 84, 331  
– Arbeitsschritte 331  
Ausfalleffektanalyse 321  
Auslegung 233  
Austauscherzeugnis-Fertigung  
299  
Automatisierung 459  
Awareness 471

## B

barrierefreie Produkte 592  
Baugruppen 56  
Baukasten 356  
Baukastenstückliste 356  
Baureihe 356  
Bauteileigenschaften  
– Vorhersage 402  
Bediensystemgestaltung 115  
Bedürfnisse 568  
– elementare 569  
– erlernte 569

Begabung 169  
 Beiträge  
 – aktive menschliche 142  
 benennungsorientierte Suche 204  
 benutzungsgerechte Konstruktion  
 141  
 Beratungsgespräche 233, 401  
 Bereich Konstruktion 18  
 Beschaffenheitsmerkmale 373  
 Beschaffungskosten 202  
 Betroffenheit des Menschen  
 – passive 142  
 Bewerten 217  
 Bewerten durch eine Gruppe 220  
 Bewertungskatalog 222, 316  
 Bewertungskriterien 217, 219, 222  
 Bewertungsliste 222  
 Bewertungsmethoden 217  
 Bewertungsverfahren 216, 226, 316  
 Bewusstsein 462  
 Beziehung 96  
 Beziehungsebene 94  
 Bildleiste 376  
 Bioinspiration 206  
 biologische Systeme 209  
 biologische Transformation 628  
 Biologisierung 624  
 Biologisierung der Industrie 625  
 Biologisierung der Technik 624  
 Biomimetik 206  
 Bionik 205, 625  
 Bioökonomie 626  
 Biotechnologie 626  
 Bioting 625  
 Black-Box-Methode 49  
 Brainstorming 171  
 Briefing 105  
 Businessplan 74

## C

CAD 438  
 CAD/CAM 440  
 CAD/CAM-Systeme 3D 441  
 CAD-Normteiledatei 378  
 CAID 441  
 CAM 439

CAP 439  
 CAQ 440  
 CA-Techniken 437  
 Computer-Aided-Industrial-Design 441  
 Concept Maps 181  
 Creo Parametric 442  
 Cyberattacken 471  
 Cybersicherheit 471

## D

Deep Learning (DL) 465  
 Demografie 109  
 demografischer Wandel 567  
 Denkweise 30  
 Design 105, 587  
 Designanforderungen 145  
 Designbriefing 105  
 Designer 441  
 – Dienstleistungen 442  
 Designprozess 105  
 – Ablauf 105  
 Designstudien 442  
 deterministische Gefahren 249  
 Dienstleistungen 570  
 Differenzialbauweise 263  
 digitales Büro 467  
 digitale Transformation 466  
 Digitale Transformation 457  
 digitale Weiterbildung 466  
 digitalisierte Produkte 454  
 Digitalisierung 455, 457  
 – Einstiegspunkte 458, 467  
 – Stufen 458, 467  
 Digitalisierung der Konstruktion 466  
 Digitalisierung in Unternehmen 457  
 Digitalisierungsstrategie 467  
 Digitalisierung von Unternehmen 471  
 Digitalstrategie 466  
 diskursives Denken 60  
 Dokumenten-Management-System (DMS)  
 468  
 Dominanzmatrix 218  
 Drehmaschine 46  
 – Systemdarstellung 48  
 Durchlaufzeit 117

**E**

Effekte der Physik 191  
Effektivität 563  
Effizienz 563  
Eigenfertigung 263  
Eigenfertigungsteile 263  
Eigenteil 348  
Einflussfaktoren 27  
Einzelfertigung 116  
Einzelkosten 395  
Einzelprodukt 26  
Einzelteilzeichnungen 338, 345  
Einzelteil-Zeichnungen 343  
Eisberg-Modell 94  
elektronische Zulieferkataloge 205  
Enterprise Content Management (ECM)  
468  
Entscheidungsprozess 76  
Entscheidungsschritt 86  
Entsorgung 285, 311  
entsorgungsgerechte Gestaltung  
– Grundregeln 311  
Entwerfen 33, 84, 243  
– Arbeitsschritte 232  
Entwerfen und Verwerfen 79, 233  
Entwicklungsprozess 72  
Entwurf 231  
Entwurfszeichnung 233, 331  
Erfahrung 566  
Erfahrungswissen 552  
Ergonomie 591f.  
– Definition 110  
Ergonomieprozess  
– Ablauf 109  
Ergonomische Anforderungen 141  
ERP 440  
Erzeugnisgliederung 334  
– fertigungs- u. montageorientiert 262  
– funktionsorientiert 335  
Erzeugnisse 333  
Erzeugnisstruktur 334  
Ethik 460  
ethische Grundsätze 557  
ethische Leitlinien 559  
EU-Maschinenverordnung 250  
Evaluation 115

**F**

Fähigkeiten 586  
Fehler 321, 606  
Fehlerbaumanalyse 321  
Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse  
(FMEA) 322  
Feingestalten 233  
Fertigteil 270  
Fertigungsart 26  
fertigungsgerechtes Gestalten 265  
Fertigungskosten 431  
FMEA 227, 321  
Forderungen 129  
Fortschrittsgespräche 233  
Fremdfertigung 263  
Fremdteil 348  
frugale Dienstleistungen 599  
frugale Innovation 598  
frugale Produkte 597  
Fügen 273  
Funktion 51, 420  
Funktionsanalyse 161  
Funktionsbegriff 51  
Funktionsbeschreibung 52  
funktionsorientierte Arbeitsweise 25  
funktionsorientierte Recherche 204  
Funktionsstruktur 160  
Funktionsteil 270  
Funktionszuordnung 438

**G**

Gebilde, technische 42  
Gebinde 383  
Gebrauchsfunktion 420  
Gebrauchsgüter 569  
Gebrauchstauglichkeit 579  
Gebrauchstauglichkeit/Usability 562  
Gedankenlandkarte 176  
Gefahren  
– deterministische 249  
– stochastische 248  
Geltungsfunktion 420  
Gemeinkosten 395  
Gemischtfertigung 116  
generierendes Vorgehen 80



geplante Obsoleszenz 601  
 Gerontik 564  
 – Anforderungen 578  
 – Produkte 91  
 Gerontik©  
 – Sieben Prinzipien 583  
 Gerontiker 584  
 Gerontikprodukte 571, 585  
 Geronto 564  
 Gerontologie 572  
 Gerontoökologie 573  
 Gerontopsychiatrie 574  
 Gerontopsychologie 573  
 Gerontosoziologie 574  
 Gerontotechnik 573  
 Gerontotechnologie 573, 575  
 Gesamtfunktion 160  
 Gesamtkosten 395  
 Gesamtstücklisten 337  
 Gesichtspunkte  
 – ordnende 188  
 Gestalten 243  
 Gestaltung 233, 243  
 Gestaltungsbewertung 243, 316  
 Gestaltungsgrundregel 245  
 – eindeutig 246  
 – einfach 247  
 – sicher 248  
 Gestaltungsprinzipien 243, 251  
 Gestaltungsrichtlinien 243, 258  
 – grundsätzliche 260  
 gesunder Menschenverstand 471  
 Gewichtungsfaktoren 217, 221  
 Grunddaten 360  
 Grundstruktur mechatronischer Systeme  
 214  
 Gruppenzeichnungen 338, 345  
 Gruppen-Zeichnungen 343  
 Gussteile 272  
 Güter 569

## H

Handhaben 273  
 Handlungsempfehlungen 603  
 Handwerk 607  
 Hauptklasse 379

Hauptklassen 372  
 Hauptumsatz 46  
 Herstellkosten 202, 395, 428, 431  
 – Einflussgrößen 397  
 Hilfsmittel 24  
 House of Quality 148

## I

Ideenfindung  
 – Methoden 176  
 Identifizieren 363  
 Identifizierungsnummer 363  
 Identnummern 364  
 Industrial Design 587  
 Informationsbeschaffung 65  
 Informationsflüsse 468  
 Informationsnummern 363  
 Informationsquellen 66  
 Informationssystem für Relativkosten  
 408  
 Informationstechnik 450  
 Informationsverarbeitung 63  
 Informationswesen 63  
 Ingenieuraufgaben 78  
 Ingenieure 119  
 Ingenieurpsychologie 560  
 Inhaltsebene 94  
 Innovation 598  
 innovative Analogien 599  
 Inspektion 603  
 Instandhaltung 294, 603  
 instandhaltungsgerechte Konstruktion  
 604  
 Instandsetzung 603, 605  
 integrierte Produktentwicklung 71  
 Intelligenz 461  
 interdisziplinäre Zusammenarbeit 89, 106,  
 119, 561  
 Intuition 170  
 Intuitives Denken 59  
 Investitionsgüter 570  
 Ist-Zustand  
 – digital 466  
 iterativ und inkrementelles Vorgehen  
 619  
 IT-Sicherheit 470

**K**

- Kataloge 66, 192
- Kausalitätsprinzip 582
- Kennzahlen
  - Entwicklung 115
  - Konstruktion 115
- Keramikteile 272
- Kernempfehlungen 602
- Killerphrasen 171
- Klassifizieren 363
- Klassifizierung 366
  - über Sachmerkmale 381
- Klassifizierungsnummern 363
- Klassifizierungssystem 372
- Kleinserienfertigung 116
- Kleinserienprodukt 26
- Kombinieren 165
- Kommunikation 92
- Kompetenz 553, 607
- Kompetenzatlas 554
- Konstruieren 17, 88
  - gießgerechtes 272
  - kostengünstiges 402
  - lärmarm 280
  - montagegerecht 276
  - rechnerunterstützt 451
  - rechnerunterstütztes 437
- Konstrukteur 17
  - Arbeitsweise 88
  - Denkweise 30
- Konstruktion 16, 19, 24
  - Bedeutung 68
  - Kostenerkennung 401
  - menschenorientiert 551
- Konstruktionsablauf 84
- Konstruktionsalltag
  - organisierte Maßnahmen 87
- Konstruktionsarten 31
- Konstruktionsausbildung 18
- Konstruktionsbereiche 36
- Konstruktionsgrundsätze 243
- Konstruktionskataloge 54, 192, 196
- Konstruktionslehre 15, 18, 23
  - Aufgaben 24
- Konstruktionsmethodik 30, 451
  - Anwendung 24
  - Erwartungen 36
  - Nutzung 38
  - Ziele 38
- Konstruktionsorientierung 553
- Konstruktionsphasen 33, 84
  - Zeitanteile 34
- Konstruktionsprozess 16, 74, 82, 450, 620
- Konstruktionsregeln 298
  - Aufarbeitung 299
- Konstruktionsrichtlinien 66
- Konstruktionstechnik 16
- Konstruktionstermine 68
- Konstruktionswissenschaft 16
- Konsumgüter 569
- Konzept 181, 227
- Konzeptlandkarten 181
- Konzipieren 33, 84, 157, 227
- korrigierendes Vorgehen 80
- Kosten 395
  - Änderungskosten 398
  - -beeinflussung 394, 398
  - -beurteilung 398
  - -eigenschaften 396
  - -entstehung 393
  - -erkennung 401
  - -ermittlungsverfahren 403
  - -festlegung 393
  - fixe 395
  - -früherkennung 395
  - -informationssysteme 402
  - senken 426
  - variable 395
  - -wissen 393
  - -ziele 393
- Kostenanalyse 401
  - Methode 426
- Kostenarten 395
- Kostenstellen 395
- Kostenträger 395
- Kraftfluss 254
  - Grundsätze 255
  - Regeln zur Gestaltung 255
- Kreativität 169
- Kreislaufwirtschaft 287
- Kultur der Reparatur 606
- Kundenakte 468
- Künstliche Intelligenz (KI) 461f.

künstliche neuronale Netze (KNN) 464  
 Kurzkalkulation 402

## L

Lastenheft 128  
 Literaturrecherchen 167  
 Lösung  
 – prinzipielle 166  
 Lösungselemente 184  
 Lösungskataloge 191, 197  
 Lösungskonzept 31  
 Lösungsprinzip  
 – Arbeitsschritte 157  
 Lösungsprozess 75

## M

Map 618  
 Mapping-Techniken 175  
 maschinelles Lernen (ML) 464  
 Maschinelles Lernen (ML) 462  
 Maschinenelemente 18, 633  
 – Einteilung 634  
 Maschinenethik 460  
 Maschinenrichtlinie 250, 281  
 Maschinenstundensatzrechnung 433  
 Materialkosten 429, 431  
 Material-Recycling 306  
 Mechatronik 211  
 mechatronische Systeme 213  
 Mengenübersichtsstückliste 353  
 Mensch 586, 616  
 menschenorientierte Konstruktion 551  
 menschliche Zuverlässigkeit 563  
 Mensch-Maschine-Interaktion 553  
 Merkmal 374  
 – Definition 130  
 – stoffliche und geometrische 55  
 Merkmalausprägung 374  
 Methode 24  
 – allgemeine 61  
 Methode 635 173 f.  
 Methodenwissen 31  
 Methodik 424  
 Methodik beim Konstruieren 82  
 methodische Produktplanung 122

methodisches Vorgehen 58  
 Mind Map 176  
 Modellierung 442  
 Modul 576  
 Montage 273, 275  
 montagegerechte Baugruppen 276  
 montagegerechte Einzelteile 276  
 montagegerechte Gestaltung 273, 276  
 Montageoperationen 274  
 Montageprozess 273  
 Montieren 273  
 Moral 556  
 Morphologie 183  
 Morphologischer Kasten 183

## N

nachhaltige Entwicklung 630  
 Nachhaltigkeit 629  
 Nachhaltigkeit in der Konstruktion  
 631  
 Nebenumsatz 46  
 Neukonstruktion 31, 161  
 Neuronale Netze 463  
 Normen 66  
 Normteil 348  
 Notfallmanagement 472  
 Nummer 362  
 – auftragsabhängig 370  
 – auftragsunabhängige 370  
 – dekadische Gliederung 365  
 – dezimale Gliederung 365  
 Nummernschlüssel  
 – Platzen 364  
 Nummernsystem 361, 368  
 – Anforderungen 362  
 – Aufbau 381  
 – teilsprechendes 372  
 – vollsprechendes 372  
 Nutzerbefragungen 579  
 Nutzerbeteiligung 579  
 Nutzungskontext 579

## O

Objektkataloge 197  
 Obsoleszenz 600

Obsoleszenzmanagement 600  
Ökobilanz 289  
Ökologie 630  
Ökonomie 630  
Operationskataloge 197  
Ordrende Gesichtspunkte 188, 191  
Ordnungsschema 189

## P

Parallelnummernsystem 369, 372  
Parsimonieprinzip 581  
Pflichtenheft 128  
Phasen des Lebenszyklus 286  
Philosophie 556  
physikalische Effekte 55, 190  
Planen 84  
Planung neuer Produkte 122  
Platzkostenrechnung 432  
PPS 373, 440  
praktische Philosophie 556  
Prinzip 581  
Prinzip der Aufgabenteilung 252  
Prinzip der Kraftleitung 251  
Prinzip der Selbsthilfe 252  
Prinzip der Zerlegung 583  
Prinzipien des Universal Design 589  
Prinziplösung 54  
Prioritätenfolge Abfall 288  
Problemanalyse 61  
Problemlösungsbaum 197  
Problemschwerpunkte 27  
Produktarten 26  
Produkte  
- recyclinggerecht gestaltete 309  
Produkte für alle 564  
Produkte für Alle 28  
Produkteigenschaften 258  
Produktentstehungsprozess 74  
Produktentwicklung 27, 451  
Produktergonomie 591  
Produktgestaltung 231  
Produktionsergonomie 591  
Produktionsprozess 275  
- Probleme 73  
Produktionsrückläufe 287  
Produktkonzeption 228

Produktkreislauf 295  
Produktlebensphasen 286  
Produktplanung 122  
- Impulse 124  
Produktverantwortung 285  
Programmerweiterung 442  
Projektion 339  
- orthogonale 339  
Prozess 44  
Prozess der Produktentwicklung 74  
Prozesse 466  
Prozess-Landkarte 466  
Prozessmodell 111  
prozessorientierte Arbeitsweise 25  
Prozesswissen 616  
Prüfen 273  
Psychografie 109  
Punktbewertung 220

## Q

QFD 147f., 321  
Qualität 129, 146  
Qualitätsdenken 390  
Qualitätsplanung 147, 390  
Qualitätssicherung 146, 226, 320, 390  
Qualitätssicherungsmethoden 321  
Quality Function Deployment 148

## R

Realisierung 115  
Recycling 287  
- Begriffe 290  
- Kreislaufarten 291  
Recyclingbehandlungsprozesse 294  
Recyclingformen 292  
recyclinggerechte Gestaltung 285  
Recyclingorientierte Produktentwicklung  
310  
Regeln  
- allgemeine 304  
Relation 181  
Relationsmerkmal 374  
Relativkosten 404  
Relativkostenblätter 406  
Relativkostenkatalog 405, 408f.

Relativkostenobjekte  
 – Auswahlkriterien 405  
 Relativkostenzahlen 406  
 Reparatur 604  
 Reparatureignung 603  
 Reparieren 605  
 Roadmap 600

**S**

Sachebene 94  
 Sachinhalt 96  
 Sachmerkmal 373  
 Sachmerkmale für Teilearten 386  
 Sachmerkmalreihe 375 f.  
 Sachmerkmalverzeichnis 377  
 Sachnummer 370  
 Sachnummernsystem 371, 378  
 Sattelstuhl 593  
 Schlüsselwort 177  
 Schmiedeteile 272  
 Schriftfeld 348  
 schrittweise Abstraktion 158  
 schwache KI 462  
 Schwachstellenanalyse 61  
 Scrum 611  
 Scrum-Methode 612  
 Scrum-Prozess 614  
 Scrum-Prozessmodell 613  
 Selbstkosten 395  
 Selbstoffenbarung 96  
 selbstschützende Lösungen 253  
 Selbsttranszendenz 569  
 selbstverstärkende Lösungen 252  
 Sender-Empfänger-Modell 93  
 Sensoren 215  
 Serienfertigung 116  
 Serienprodukt 26  
 Sicherheit 248  
 sieben Verschwendungsarten 622  
 Skelettmodell 242  
 Software-Engineering 465  
 Solo-Brainstorming 173  
 starke KI 463  
 stochastische Gefahren 248  
 Strategie der Lösungssuche 79  
 Strategie für frugale Produkte 599

Strategien gegen Obsoleszenz  
 602  
 Strukturanalyse 61  
 Strukturgestaltung 115  
 Strukturstückliste 354  
 Strukturstufen 334  
 Stücklisten 347, 360  
 – Arten 352, 359  
 – Aufbau 348  
 – Formulare 348  
 – Informationen aus 361  
 – Sinn und Zweck 360  
 – Textbausteine 360  
 Stücklistenaufbau  
 – fertigungs- und montageorientiert  
 360  
 Stücklistenfeld 349  
 Stücklistensatz 333, 336  
 Summenkurve 414  
 Synthese 61  
 System 43  
 – mechatronisches 213  
 Systemarchitektur 576  
 systematische Methoden 183  
 Systemuntersuchungen 46  
 System Wertanalyse 424

**T**

Task Board 616, 618  
 Team 104  
 – Eigenschaften 104  
 Teamarbeit 101  
 Teamorganisation 102, 104  
 Teamorientierung im Unternehmen  
 102  
 Technik 564  
 Technische Biologie 206, 625  
 Technische Freihandzeichnungen  
 443  
 Technische Gebilde 18, 42  
 Technische Produkte 44  
 Technische Systeme 44, 46, 58  
 technische Wertigkeit Wt 221  
 Teil 348  
 Teilearten 348  
 Teilestammdaten 360

Teileverwendungsnachweis 359  
Teilfunktionen 160, 184  
Testmethoden 74  
Transformationsprozess in Unternehmen  
458, 467  
Transzendenz 569

## U

Umweltproblematik 287  
umweltverträglich 286  
umweltverträgliche Produkte 285  
Umweltverträglichkeit 314  
Ungewissheit 610  
Universal Design 589  
unterscheidende Merkmale 188  
Usability 563, 579f.  
User Experience 563  
User Story Mapping 618  
Useware 113  
– Entwicklungsprozess 113  
Useware-Engineering 114

## V

Value Management 423  
Variantenkonstruktion 31  
Variantenstücklisten 358  
Variantenübersichten 358  
Variationsmerkmale 165  
Variieren 165  
Verbraucherbefragungen 579  
Verbrauchsgüter 569  
Verbundnummernsystem 369, 372  
Verhaltensweisen 425  
Vernetzung 466  
Verschwendung 622  
Verständlichkeit 98  
Versuche 168  
Verwendbarkeitsmerkmale 373  
Verwendung 292  
Verwertung 292  
Vier-Ebenen-Modell 96  
Virtualisierung 453  
virtuelle Produktentwicklung 451  
virtuelles Produkt 453  
Vision 89

Vorkalkulation 402, 431  
Vormontage 275

## W

WA-Aufgaben  
– Auswahlkriterien 423  
WA-Projekte  
– Grundregeln 424  
Wartung 603  
Weiterverwendung 293  
Weiterverwertung 293  
Werknormen 66, 263  
Werkstückgestaltung  
– fertigungsgerechte 265  
Wert 422  
Wertanalyse 411, 416, 418 ff.  
– Objekt 420  
– Zweck 419  
Wertgestaltung 419  
Wertschöpfung 621  
Wertskala  
– nach VDI 2225, Nutzwertanalyse  
220  
Wertverbesserung 419  
Wiederholteil 348  
Wiederverwendung 293  
Wiederverwertung 293  
Wirkprinzip 56  
wirtschaftliche Wertigkeit Ww 221  
Wirtschaftlichkeit 393  
– funktionsmäßige 393  
– herstellungsmäßige 393  
Wissensbasis 16  
Wünsche 129  
W-Wörter  
– Fragenreihe 173

## Z

Zehnerregel 391  
Zeichnung  
– Inhalt 342  
– technische 338  
– Zweck 343  
Zeichnungen 337  
Zeichnungsarten 346

- Zeichnungsinhalt 339  
Zeichnungssatz 333, 336  
Zeichnungsstücklisten 348  
Zufriedenheit 563  
Zukunftstechnologien 101, 565  
Zulieferkomponenten 199  
zulieferorientiertes Konstruieren 203  
Zulieferteile 125  
Zulieferungen 199  
Zusammenbauzeichnungen 338, 345  
Zuschlagskalkulation 428  
zweigeteilter Sattelstuhl 594