

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

| | | |
|----------|--|-----------|
| ■ | Vorwort | 5 |
| 1 | Konstruktionslehre und Konstruktion | 15 |
| 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 |
| 2 | Grundlagen des systematischen Konstruierens | 41 |
| 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 |
| 3 | Integrierte Produktentwicklung | 71 |
| 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 |
| 4 | Konstruktionsphase Planen | 121 |
| 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 |
| 5 | Konstruktionsphase Konzipieren | 157 |
| 5.1 | Abstrahieren und Problem formulieren | 158 |
| 5.2 | Funktionsstruktur und Funktionsanalyse | 159 |
| 5.3 | Lösungen finden mit merkmalorientierten 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 |
| 6 | Konstruktionsphase Entwerfen | 231 |
| 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 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 7 | Konstruktionsphase Ausarbeiten | 331 |
| 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 Sachmerkmalelisten | 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 |
| 8 | Konstruktion und Kosten | 393 |
| 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 |
| 11 | Menschenorientierte Konstruktion | 551 |
| 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 [®] -Produkte | 564 |
| 11.2.1 | Begriff Gerontik [®] | 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 [®] | 570 |
| 11.2.7 | Fachgebiete mit dem Wortbildungselement Geronto | 572 |
| 11.2.8 | Anforderungen an Produkte der Gerontik [®] | 578 |
| 11.2.9 | Lösungen entwickeln mit Gerontik [®] | 581 |
| 11.2.10 | Nutzung von Prinzipien | 581 |
| 11.2.11 | Anzahl der Prinzipien | 583 |
| 11.2.12 | Sieben Prinzipien der Gerontik [®] | 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 |
|  | Sachwortverzeichnis | 675 |

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.

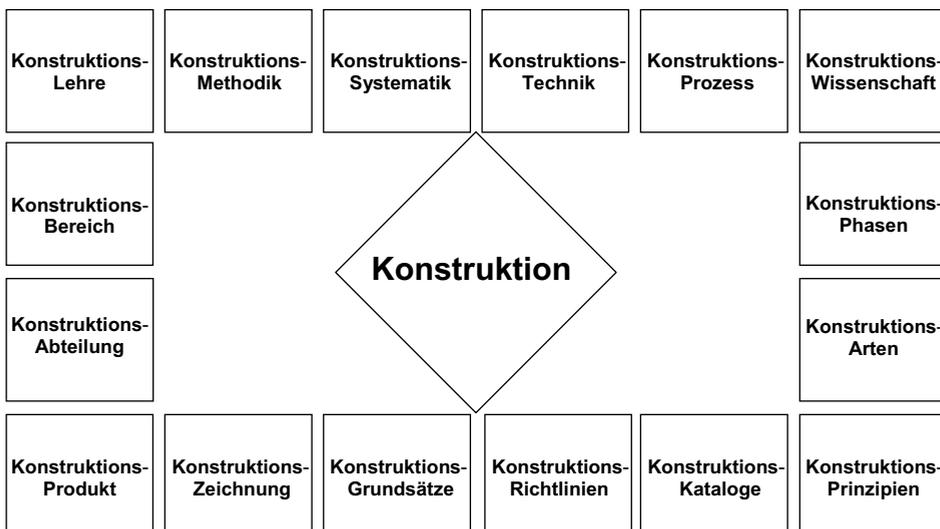


Bild 1.2 Konstruktionsbegriffe

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.

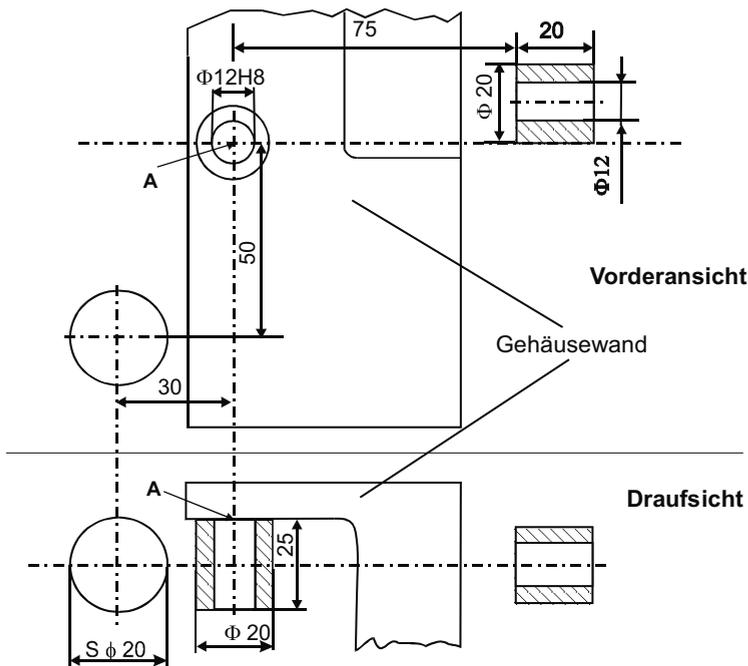


Bild 1.3 Skizze der Aufgabe mit den geometrischen Bedingungen

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.

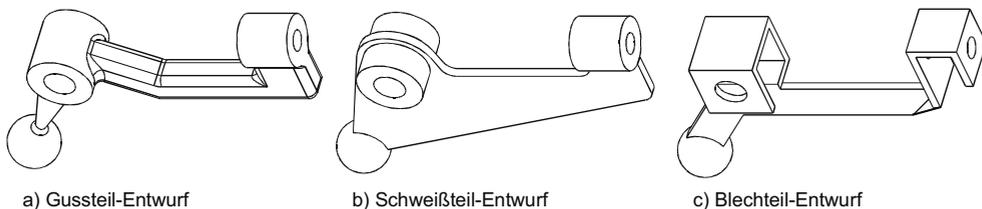


Bild 1.4 Drei Entwürfe mit unterschiedlichen Schwerpunkten

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 Einzelfertigung 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.

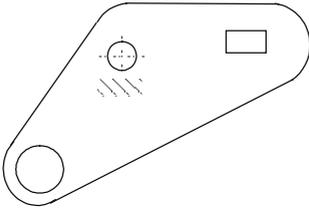


Bild 1.5 Schematische Skizze zur Lösungsfindung

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.

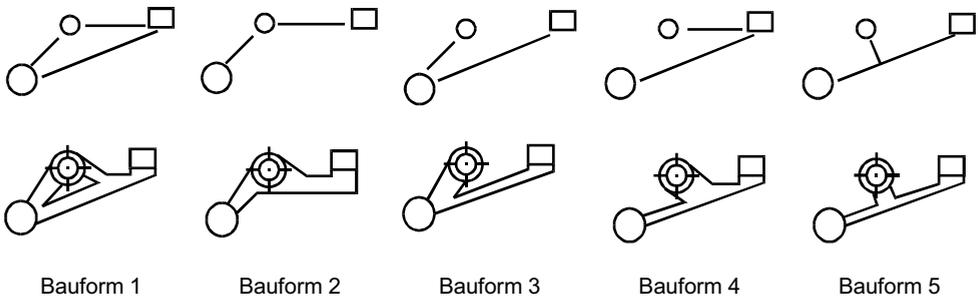


Bild 1.6 Fünf mögliche Bauformen als Strichskizzen und als Bauteile

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.

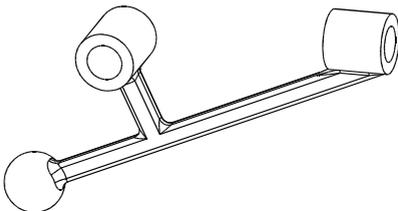


Bild 1.7 Lösungsskizze eines Kunststoffteils

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.

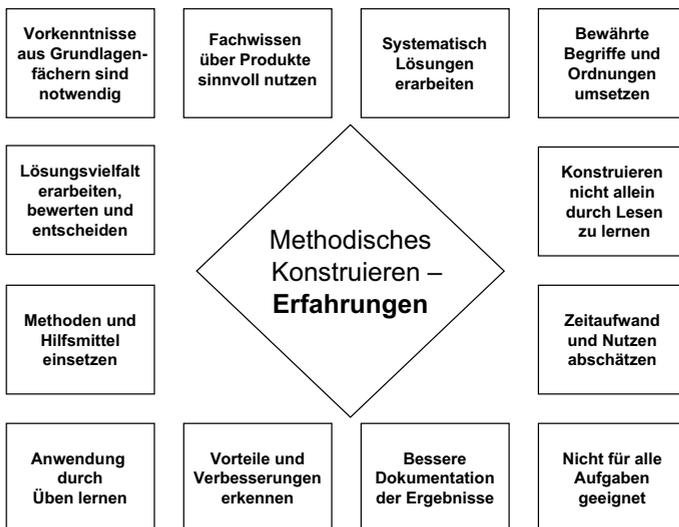


Bild 1.8 Wissensbasis für die Erfahrungen beim methodischen Konstruieren

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