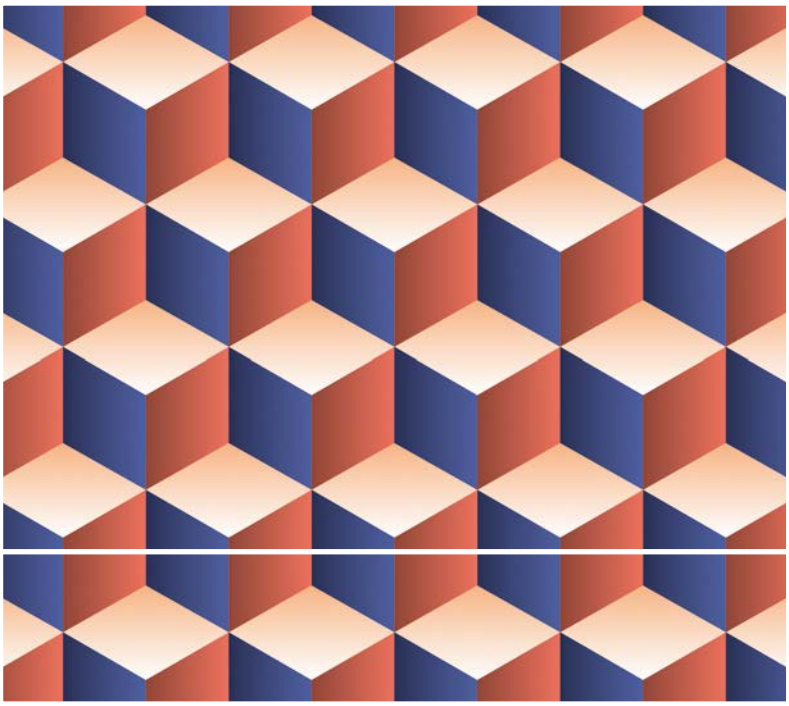
Klaus-Jörg Conrad

Grundlagen der Konstruktionslehre

Maschinenbau, Strategien, Menschen



9., aktualisierte Auflage

HANSER

Disclaimer zur Barrierefreiheit

Der Carl Hanser Verlag unternimmt große Anstrengungen, um seine Produkte barrierefrei zu machen. Dazu gehört auch, dass Bilder oder Tabellen für blinde und sehbehinderte Menschen zugänglich gemacht werden. Dies geschieht durch zusätzliche beschreibende Texte (Alternativtexte), die in den Daten integriert sind. Die Alternativtexte können von assistiven Technologien (z. B. Screenreadern) vorgelesen werden. Bei der Erstellung dieser Texte kommt eine KI zum Einsatz. Die inhaltliche Verantwortung liegt weiterhin bei den Lektor:innen und Autor:innen.

Conrad

Grundlagen der Konstruktionslehre



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Klaus-Jörg Conrad

Grundlagen der Konstruktionslehre

Maschinenbau, Strategien, Menschen

9., aktualisierte Auflage

HANSER

Der Autor:
Prof. Dipl.-Ing. Klaus-Jörg Conrad, Burgdorf

Print-ISBN: 978-3-446-48751-2
E-Book-ISBN: 978-3-446-48752-9

Die allgemein verwendeten Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benützt werden dürften.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Werkes, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.
Wir behalten uns auch eine Nutzung des Werks für Zwecke des Text und Data Mining nach § 44b UrhG ausdrücklich vor.

© 2026 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München
Vilshofener Straße 10 | 81679 München | info@hanser.de
www.hanser-fachbuch.de
Lektorat: Dipl.-Ing. Natalia Silakova-Herzberg
Herstellung: le-tex publishing services GmbH, Leipzig
Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München
Covergestaltung: Max Kostopoulos
Titelmotiv: © stock.adobe.com/punsayaporn
Satz: Eberl & Koesel Studio, Kempten
Druck: CPI Books GmbH, Leck
Printed in Germany

Vorwort

Die neunte 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.

Ein besonderes Anliegen war uns bei dieser neuen Auflage die Optimierung der Barrierefreiheit. Das gesamte Werk wurde technisch so aufbereitet, dass es den aktuellen Anforderungen an die digitale Zugänglichkeit entspricht und von allen Lesern – unabhängig von eventuellen Beeinträchtigungen – optimal genutzt werden kann.

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 Kons-

truktionslehre 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, Hoch-

schulen 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 Doppelangaben 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 acatech – 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 aktuelle 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 Oktober 2026

Klaus-Jörg Conrad

Inhalt

Vorwort ..... **V**

1 Konstruktionslehre und Konstruktion **1**

1.1 Einführung und Erfahrungen 7

1.2 Konstruktion im Betrieb 12

1.3 Konstruktionsmethodik 17

1.4 Konstruktionsarten 19

1.5 Konstruktionsmethodik – Erwartungen 24

1.6 Zusammenfassung 28

2 Grundlagen des systematischen Konstruierens **29**

2.1 Technische Systeme 30

2.1.1 Grundlagen und Begriffe 30

2.1.2 Energie-, Stoff- und Informationsumsatz 34

2.1.3 Blackbox-Methode 37

2.1.4 Funktionsbeschreibung 39

2.1.5 Wirkprinzipien für Teilfunktionen 43

2.1.6 Entwicklungsschritte technischer Systeme 44

2.2 Grundlegende Arbeitsmethoden 48

2.3 Informationsverarbeitung in der Konstruktion 52

2.4 Zusammenfassung 59

3 Integrierte Produktentwicklung ... 60
3.1 Der Entwicklungsprozess ... 61
3.2 Der Lösungsprozess ... 64
3.3 Bearbeiten von Ingenieuraufgaben ... 67
3.4 Ablauf bei der Lösungssuche ... 69
3.5 Ablauf des Konstruktionsprozesses ... 71
3.6 Interdisziplinäre Zusammenarbeit ... 79
3.7 Grundlagen der Kommunikation ... 82
3.8 Grundlagen der Teamarbeit ... 92
3.9 Ablauf des Designprozesses ... 97
3.10 Ablauf von Ergonomieprozessen ... 101
3.11 Useware-Entwicklungsprozess ... 105
3.12 Kennzahlen Entwicklung und Konstruktion ... 107
3.12.1 Aufgaben und Tätigkeiten ... 109
3.12.2 Durchlaufzeiten ... 109
3.13 Zusammenfassung ... 111

4 Konstruktionsphase Planen ... 113
4.1 Planen der Produkte ... 114
4.2 Klären der Aufgabenstellung ... 117
4.3 Anforderungslisten ... 120
4.3.1 Anforderungsarten ... 121
4.3.2 Anforderungskataloge ... 122
4.3.3 Formblatt für Anforderungslisten ... 128
4.3.4 Aufstellen der Anforderungsliste ... 129
4.3.5 Ergonomische Anforderungen ... 134
4.3.6 Designanforderungen ... 138
4.4 Qualitätssicherung beim Planen ... 140
4.5 Quality Function Deployment (QFD) ... 141
4.6 Zusammenfassung ... 150

5 Konstruktionsphase Konzipieren ... 151
5.1 Abstrahieren und Problem formulieren ... 152
5.2 Funktionsstruktur und Funktionsanalyse ... 154
5.3 Lösungen finden mit merkmalorientierten Methoden ... 158
5.3.1 Lösungen finden durch Analogien ... 159

5.3.2 Lösungen finden durch Variation ... 160
5.3.3 Lösungen finden durch Kombination ... 160
5.4 Lösungsprinzipien suchen ... 161
5.4.1 Analyse von Veröffentlichungen ... 162
5.4.2 Analyse bekannter technischer Systeme ... 163
5.4.3 Anregungen durch Analogien ... 163
5.4.4 Erkenntnisse aus Versuchen ... 164
5.4.5 Kreativität und Intuition ... 164
5.4.6 Brainstorming ... 167
5.4.7 Brainwriting ... 169
5.4.8 Methode 635 ... 169
5.4.9 Mapping-Techniken ... 171
5.4.10 Methode Morphologischer Kasten ... 181
5.4.11 Methode der Ordnenden Gesichtspunkte ... 185
5.4.12 Methode Konstruktionskatalog-Einsatz ... 189
5.4.13 Methode Problemlösungsbaum ... 195
5.5 Konstruieren mit Zulieferkomponenten ... 197
5.5.1 Zulieferkomponenten und Eigenentwicklungen im Vergleich ... 198
5.5.2 Produktentwicklung mit Zulieferkomponenten ... 199
5.5.3 Zulieferorientiertes Konstruieren ... 202
5.6 Lösungen entwickeln mit Bionik ... 204
5.6.1 Technische Biologie und Bionik ... 206
5.6.2 Bionischer Denk- und Handlungsprozess ... 207
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 ... 215
5.7.4 Sensoren ... 215
5.7.5 Ausblick und Hinweise ... 216
5.8 Bewerten von Lösungsvarianten ... 217
5.8.1 Grundlagen der Bewertung ... 217
5.8.2 Vorteil-Nachteil-Vergleich ... 218
5.8.3 Dominanzmatrix ... 218
5.8.4 Paarweiser Vergleich ... 219

5.8.5 Erkennen von Bewertungskriterien ... 220
5.8.6 Bewertung mit Punkten ... 221
5.8.7 Bewertungspraxis in der Konzeptphase ... 223
5.9 Qualitätssicherung beim Konzipieren ... 228
5.10 Konzept und Konzeption ... 229
5.11 Zusammenfassung ... 231

6 Konstruktionsphase Entwerfen ... 233
6.1 Allgemeine Forderungen an technische Produkte ... 233
6.2 Arbeitsschritte beim Entwerfen ... 234
6.3 Anwendung der Arbeitsschritte beim Entwerfen ... 237
6.3.1 Gelenkige Aufhängung entwerfen und gestalten ... 237
6.3.2 Entwerfen mit 3D-CAD/CAM-Systemen ... 245
6.4 Grundsätze für das Entwerfen ... 246
6.5 Gestaltungsgrundregeln ... 248
6.5.1 Grundregel „Eindeutig“ ... 249
6.5.2 Grundregel „Einfach“ ... 250
6.5.3 Grundregel „Sicher“ ... 251
6.6 Gestaltungsprinzipien ... 254
6.6.1 Prinzipien der Kraftleitung ... 257
6.6.2 Regeln zur kraftflussgerechten Gestaltung ... 259
6.7 Gestaltungsrichtlinien ... 262
6.7.1 Fertigungsgerechte Gestaltung ... 264
6.7.2 Montagegerechte Gestaltung ... 278
6.7.3 Lärmarm konstruieren ... 286
6.7.4 Recyclinggerechte Gestaltung ... 292
6.7.5 Konstruktionsablauf mit Recyclingorientierung ... 303
6.7.6 Entsorgungsgerechte Gestaltung ... 320
6.8 Bewerten von Entwürfen ... 326
6.9 Qualitätssicherung beim Entwerfen ... 330
6.10 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) ... 331
6.11 Zusammenfassung ... 338

7 Konstruktionsphase Ausarbeiten ... 341
7.1 Erzeugnisgliederung ... 344
7.2 Technische Zeichnungen ... 348

7.2.1 Grundlagen ... 350
7.2.2 Zeichnungen – Normen und Regeln ... 353
7.3 Stücklisten ... 357
7.3.1 Stücklistenaufbau ... 358
7.3.2 Stücklistenarten ... 362
7.3.3 Gliederung der Stücklistenarten ... 369
7.3.4 Verwendung von Stücklisten ... 370
7.4 Nummernsysteme ... 372
7.4.1 Nummerungstechnik – Grundlagen ... 373
7.4.2 Arten und Eigenschaften von Nummern ... 374
7.4.3 Ziele der Nummerung ... 375
7.4.4 Identnummern ... 375
7.4.5 Klassifizierungsnummern ... 376
7.4.6 Nummernsysteme ... 380
7.4.7 Sachnummern ... 382
7.4.8 Sachnummernsystem ... 383
7.5 Sachmerkmale ... 385
7.5.1 Sachmerkmalleisten ... 387
7.5.2 Anzahl und Wertigkeit der Sachmerkmale ... 390
7.5.3 Sachnummernsystem durch Klassifizierung über Sachmerkmale ... 390
7.5.4 Methode zum Erarbeiten von Sachmerkmalen ... 399
7.6 Qualitätssicherung beim Ausarbeiten ... 403
7.7 Qualitätsdenken ... 404
7.8 Zusammenfassung ... 405

8 Konstruktion und Kosten ... 407

8.1 Kostenbegriffe ... 409
8.2 Kosteneigenschaften ... 410
8.3 Einflussgrößen auf die Herstellkosten ... 411
8.3.1 Anforderungen ... 412
8.3.2 Lösungsprinzip ... 413
8.3.3 Baugröße ... 414
8.3.4 Stückzahl ... 414
8.4 Kostengünstig Konstruieren ... 415

8.5 Kostenermittlungsverfahren ... 418
8.6 Relativkosten ... 419
8.6.1 Vorteile und Nachteile ... 420
8.6.2 Erarbeiten und Aktualisieren ... 420
8.6.3 Darstellung und Beispiel ... 421
8.6.4 Gültigkeit der Relativkosten ... 423
8.6.5 Einsatz der Methode ... 423
8.7 ABC-Analyse ... 426
8.8 Wertanalyse ... 433
8.8.1 Entwicklung der Wertanalyse ... 435
8.8.2 Grundbegriffe der Wertanalyse ... 435
8.8.3 Auswahlkriterien für Wertanalyseprojekte ... 440
8.8.4 System Wertanalyse ... 440
8.9 Methode zur Kostenanalyse ... 443
8.10 Herstellkostenermittlung durch Kalkulation ... 445
8.11 Zusammenfassung ... 452

9 Rechnerunterstütztes Konstruieren und Digitalisierung ... 453
9.1 CAD/CAM – Begriffe und Systeme ... 454
9.1.1 CAD – Computer Aided Design ... 454
9.1.2 CAP – Computer Aided Planning ... 455
9.1.3 CAM – Computer Aided Manufacturing ... 456
9.1.4 CAQ – Computer Aided Quality Assurance ... 456
9.1.5 PPS – Produktionsplanung und -steuerung ... 456
9.1.6 CAD/CAM ... 457
9.1.7 CAID – Computer Aided Industrial Design ... 458
9.2 Konstruieren mit 3D-CAD/CAM-Systemen ... 458
9.3 Informationstechnik und Konstruktionsprozess ... 467
9.4 Analoge Welt – digitale Aktivitäten ... 471
9.4.1 Algorithmen und Digitalisierung ... 472
9.4.2 Digitalisierung und digitale Transformation ... 475
9.4.3 Automatisierung ... 477
9.4.4 Ethik – Grundlagen und Begriffe ... 478
9.4.5 Künstliche Intelligenz ... 479
9.4.6 Neuronale Netze und maschinelles Lernen ... 482

9.4.7 Software-Engineering ... 484
9.5 Digitalisierung in der Konstruktion ... 485
9.5.1 Transformationsprozess im Unternehmen ... 486
9.5.2 Digitales Büro im Unternehmen ... 487
9.5.3 Informationsflüsse im Unternehmen ... 488
9.5.4 IT-Sicherheit zum Schutz vor Cyberattacken ... 490
9.6 Zusammenfassung ... 493

10 Übungsaufgaben ... 495
10.1 Aufgabenstellungen ... 495
10.1.1 Aufgabenstellungen zu Kapitel 1 ... 495
10.1.2 Aufgabenstellungen zu Kapitel 2 ... 496
10.1.3 Aufgabenstellungen zu Kapitel 3 ... 499
10.1.4 Aufgabenstellungen zu Kapitel 4 ... 501
10.1.5 Aufgabenstellungen zu Kapitel 5 ... 504
10.1.6 Aufgabenstellungen zu Kapitel 6 ... 513
10.1.7 Aufgabenstellungen zu Kapitel 7 ... 516
10.1.8 Aufgabenstellungen zu Kapitel 8 ... 523
10.1.9 Aufgabenstellungen zu Kapitel 9 ... 525
10.2 Lösungen ... 526
10.2.1 Lösungen zu Kapitel 1 ... 526
10.2.2 Lösungen zu Kapitel 2 ... 528
10.2.3 Lösungen zu Kapitel 3 ... 533
10.2.4 Lösungen zu Kapitel 4 ... 537
10.2.5 Lösungen zu Kapitel 5 ... 546
10.2.6 Lösungen zu Kapitel 6 ... 562
10.2.7 Lösungen zu Kapitel 7 ... 567
10.2.8 Lösungen zu Kapitel 8 ... 573
10.2.9 Lösungen zu Kapitel 9 ... 575

11 Menschenorientierte Konstruktion ... 577
11.1 Menschenorientierung ... 578
11.1.1 Konstruktionsorientierung auf Menschen ... 579
11.1.2 Kompetenz der Konstrukteure ... 580
11.1.3 Ethik – Grundlagen und Begriffe ... 581
11.1.4 Ethik – Grundsätze und Leitlinien ... 583

11.1.5 Ingenieurpsychologie ... 586
11.2 Konstruktionsstrategie für Gerontik©-Produkte ... 591
11.2.1 Begriff Gerontik© ... 591
11.2.2 Zukunftstechnologien ... 592
11.2.3 Erfahrung und Alter ... 593
11.2.4 Demografischer Wandel ... 595
11.2.5 Bedürfnisse der Menschen ... 595
11.2.6 Bedeutung der Gerontik© ... 598
11.2.7 Fachgebiete mit dem Wortbildungselement Geronto ... 600
11.2.8 Anforderungen an Produkte der Gerontik© ... 606
11.2.9 Lösungen entwickeln mit Gerontik© ... 609
11.2.10 Nutzung von Prinzipien ... 610
11.2.11 Anzahl der Prinzipien ... 612
11.2.12 Sieben Prinzipien der Gerontik© ... 614
11.2.13 Grundbegriffe des Designs ... 617
11.2.14 Prinzipien des Universal Design ... 619
11.2.15 Grundbegriffe der Ergonomie ... 621
11.2.16 Entwicklung eines Sattelstuhls ... 624
11.2.17 Strategie für Gerontikprodukte ... 626
11.2.18 Zusammenfassung ... 627
11.3 Strategie für frugale Produkte ... 627
11.3.1 Frugale Produkte ... 628
11.3.2 Frugale Innovation ... 629
11.3.3 Geplantes Vorgehen ... 631
11.4 Strategien gegen Obsoleszenz ... 632
11.4.1 Geplante Obsoleszenz ... 632
11.4.2 Optimale Lebens- oder Nutzungsdauer von Produkten ... 633
11.4.3 Kernempfehlungen und Handlungsempfehlungen ... 634
11.5 Reparatureignung von Produkten ... 635
11.5.1 Instandhaltung ... 635
11.5.2 Instandsetzungsgerechtes Konstruieren ... 637
11.5.3 Reparatur-Nutzen und Aufwand ... 638
11.6 Agile Produktentwicklung ... 642
11.6.1 Agil – Begriffsklärung ... 642
11.6.2 Agile Managementmethoden ... 643

11.6.3 Scrum-Methode ... 645
11.6.4 User Story Mapping ... 651
11.6.5 Zusammenfassung ... 653
11.7 Wertschöpfung und Verschwendung ... 654
11.7.1 Verschwendung in Prozessen ... 655
11.7.2 Verschwendung in der Konstruktion ... 657
11.8 Biologisierung – Bioökonomie ... 658
11.9 Nachhaltigkeit ... 664

12 Maschinenelemente ... 668
12.1 Systematik und Einteilung ... 668
12.2 Informationsblätter Maschinenelemente ... 669

13 Quellen und weiterführende Literatur ... 687
13.1 Konstruktionslehre und Konstruktionsmethodik ... 687
13.2 Integrierte Produktentwicklung ... 688
13.2.1 Interdisziplinäre Zusammenarbeit ... 688
13.2.2 Kommunikation ... 688
13.2.3 Grundlagen der Teamarbeit ... 689
13.2.4 Ablauf Designprozesse ... 689
13.2.5 Ablauf Ergonomieprozesse ... 689
13.2.6 Useware-Entwicklungsprozess ... 689
13.2.7 Kennzahlen ... 689
13.3 Konstruktionsphase Planen ... 690
13.3.1 Qualität in der Konstruktion ... 690
13.4 Konstruktionsphase Konzipieren ... 690
13.4.1 Ideenfindung ... 690
13.4.2 Mapping-Techniken ... 691
13.4.3 Konstruktionskataloge ... 691
13.4.4 Bionik ... 692
13.4.5 Mechatronik ... 693
13.5 Konstruktionsphase Entwerfen ... 693
13.6 Sicherheit ... 694
13.6.1 Fertigung und Montage ... 694
13.6.2 Lärmarm konstruieren ... 695
13.6.3 Recycling und Entsorgung ... 695

13.7 Konstruktionphase Ausarbeiten ... 696
13.7.1 Technisches Zeichnen ... 696
13.7.2 Stücklisten ... 696
13.7.3 Nummernsysteme ... 696
13.8 Konstruktion und Kosten ... 697
13.9 Rechnerunterstütztes Konstruieren und Digitalisierung ... 698
13.9.1 Analoge Welt – digitale Aktivitäten ... 698
13.9.2 Digitalisierung in der Konstruktion ... 699
13.10 Menschenorientierte Konstruktion ... 700
13.10.1 Menschenorientierung ... 700
13.10.2 Ethik – Grundsätze und Leitlinien ... 700
13.10.3 Ingenieurpsychologie ... 700
13.10.4 Konstruktionsstrategie für Gerontik-Produkte ... 701
13.10.4.2 Anforderungen an Produkte der Gerontik© ... 701
13.10.4.3 Prinzipien der Gerontik© ... 702
13.10.5 Grundlagen Design ... 702
13.10.6 Design und Ergonomie ... 703
13.10.7 Grundlagen Ergonomie ... 703
13.10.8 Arbeitsgestaltung ... 704
13.10.9 Strategie für frugale Produkte ... 704
13.10.9.2 Frugale Innovation ... 704
13.10.10 Strategien gegen Obsoleszenz ... 705
13.10.11 Reparatureignung von Produkten ... 705
13.10.12 Agile Produktentwicklung ... 705
13.10.13 Wertschöpfung und Verschwendung ... 706
13.10.14 Biologisierung – Bioökonomie ... 706
13.10.15 Nachhaltigkeit ... 707
13.11 Maschinenelemente ... 707

Index ... 709

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.

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.

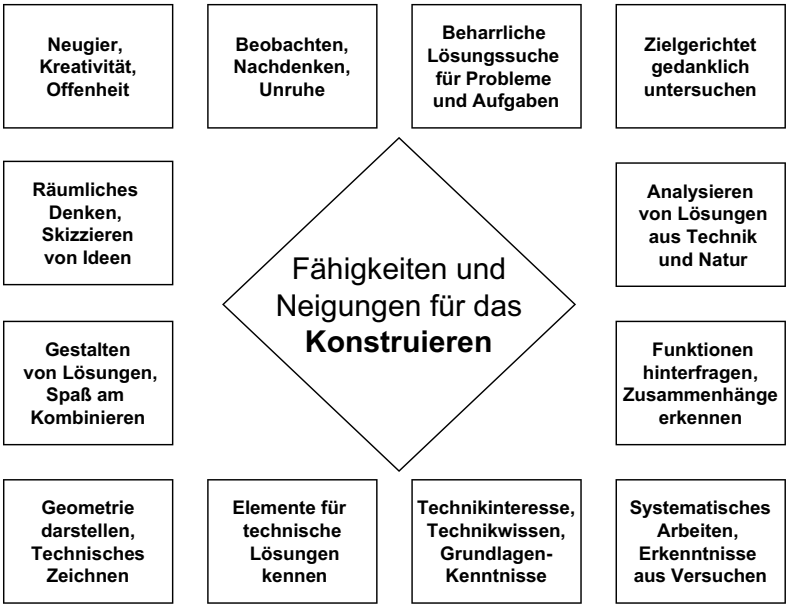


Bild 1.1 Wissensbasis für das Konstruieren

Konstruktion von lat. „constructio“ bedeutet Zusammenfügung oder Verbindung und umfasst im logischen Sinn den Ablauf, der erforderlich ist, um einfache Elemente zu komplexen Gegenständen zusammenzusetzen. 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 *Erlhoff/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.

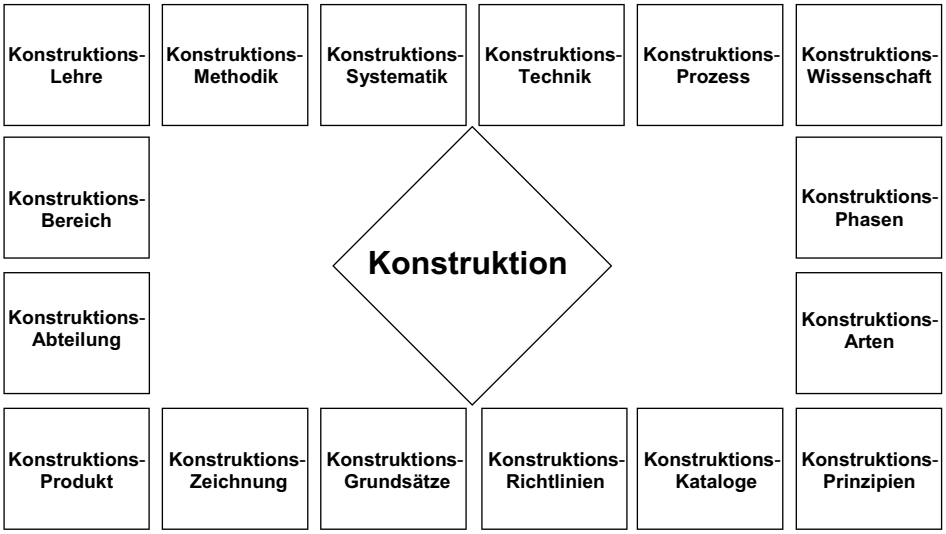


Bild 1.2 Konstruktionsbegriffe

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 Routinetätigkeiten.

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 Blackbox-Methode anwenden Lösungsprinzipien suchen Lösungselemente für Funktionen Systematische Lösungsentwicklung Lösungsvarianten untersuchen Konzept festlegen
Aufgabenstellung als Text mit Prinzipskizzen lesen und umsetzen Maschinenelemente auswählen, um Funktionen zu erfüllen Entwurfsberechnung durchführen Geometrie gestalten Werkstoffe auswählen Normteile und Handelsteile einsetzen Entwurfszeichnung erstellen mit Teiledaten und Festigkeits-berechnung	Entwerfen	Entwerfen nach Arbeitsschritten Grobentwurf skizzieren Entwurfsberechnung durchführen Geometrie gestalten Werkstoffe auswählen Grundregeln, Prinzipien und Richt-linien der Gestaltung anwenden Maschinenelemente, Normteile und Handelsteile für die Funktionen wählen Entwurfszeichnung erstellen mit Tei-ledaten 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.

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 ± 5° 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 Funktionssicherheit und hohen Stückzahlen gering sind.

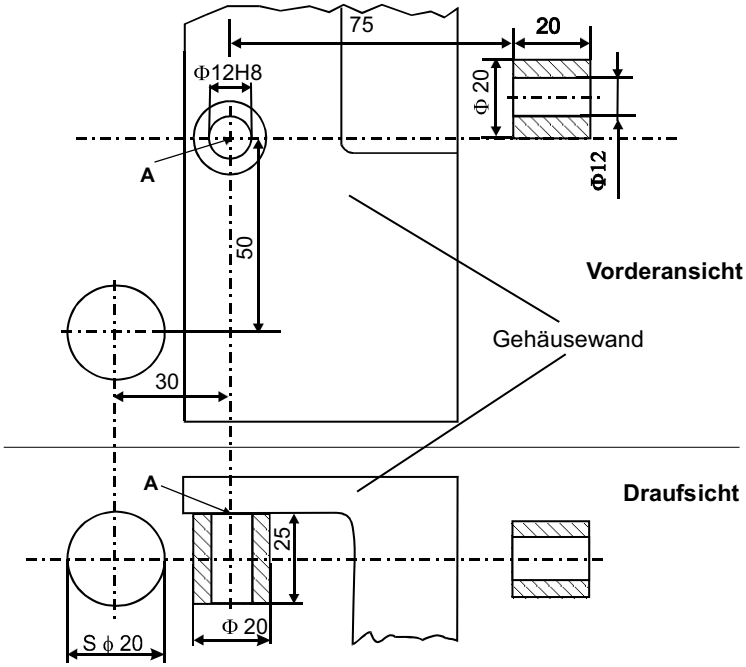


Bild 1.3 Skizze der Aufgabe mit den geometrischen Bedingungen

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.

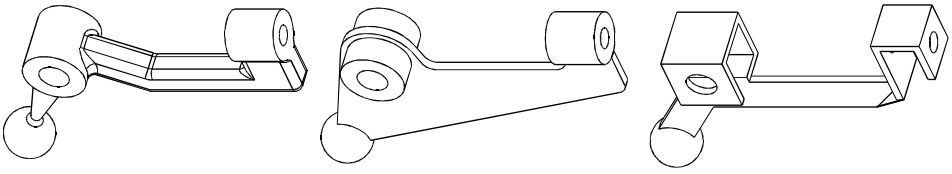


Bild 1.4 Drei Entwürfe mit unterschiedlichen Schwerpunkten

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.

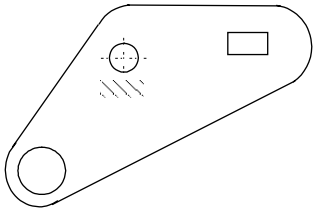


Bild 1.5
Schematische Skizze zur Lösungsfindung

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.

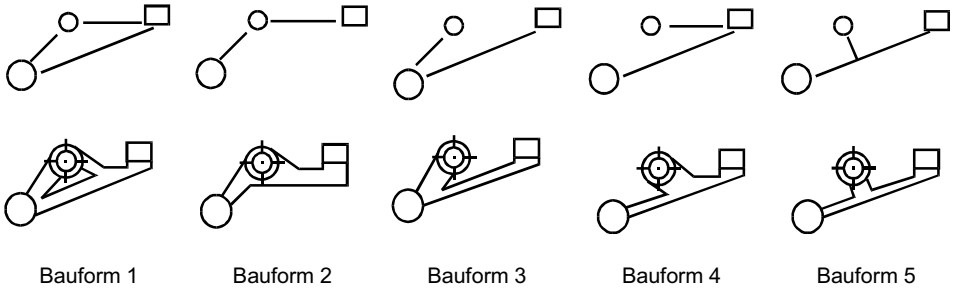


Bild 1.6 Fünf mögliche Bauformen als Strichskizzen und als Bauteile

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.

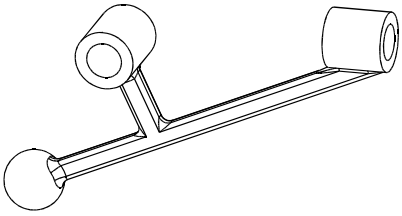


Bild 1.7
Lösungsskizze eines Kunststoffteils

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.

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.

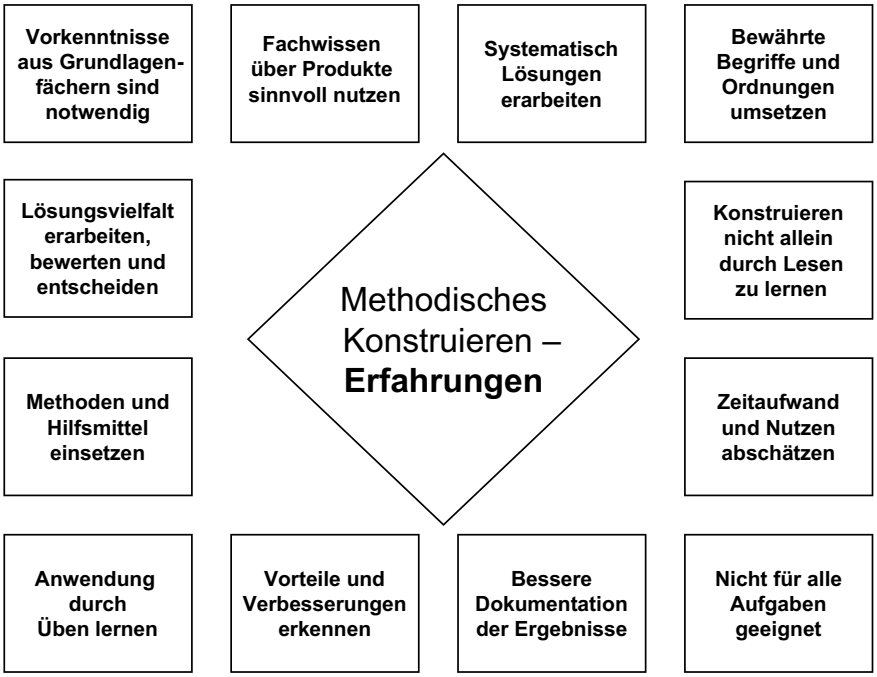


Bild 1.8 Wissensbasis für die Erfahrungen beim methodischen Konstruieren

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).

Mit der Arbeitsteilung trennte sich die Konstruktion zunehmend von der Produktion. Als Schnittstelle wurde die technische Zeichnung geschaffen, deren Darstellungsart und Symbole genormt wurden. Seitdem ist die Aufgabe der Abteilung „Entwicklung und Konstruktion“ das Festlegen der Produkteigenschaften, ausgehend von der Aufgabenstellung in Form von Informationen auf verschiedenen Arten von Zeichnungen, Stücklisten und technischen Beschreibungen. In den letzten Jahren wurden jedoch Methoden entwickelt und Hilfsmittel eingesetzt, die diese **funktionsorientierte** durch eine **prozessorientierte Arbeitsweise** ersetzen. Insbesondere sollen Projektmanagement, Teamarbeit und der Einsatz von EDV-Systemen eine effektivere Produktentwicklung ermöglichen.

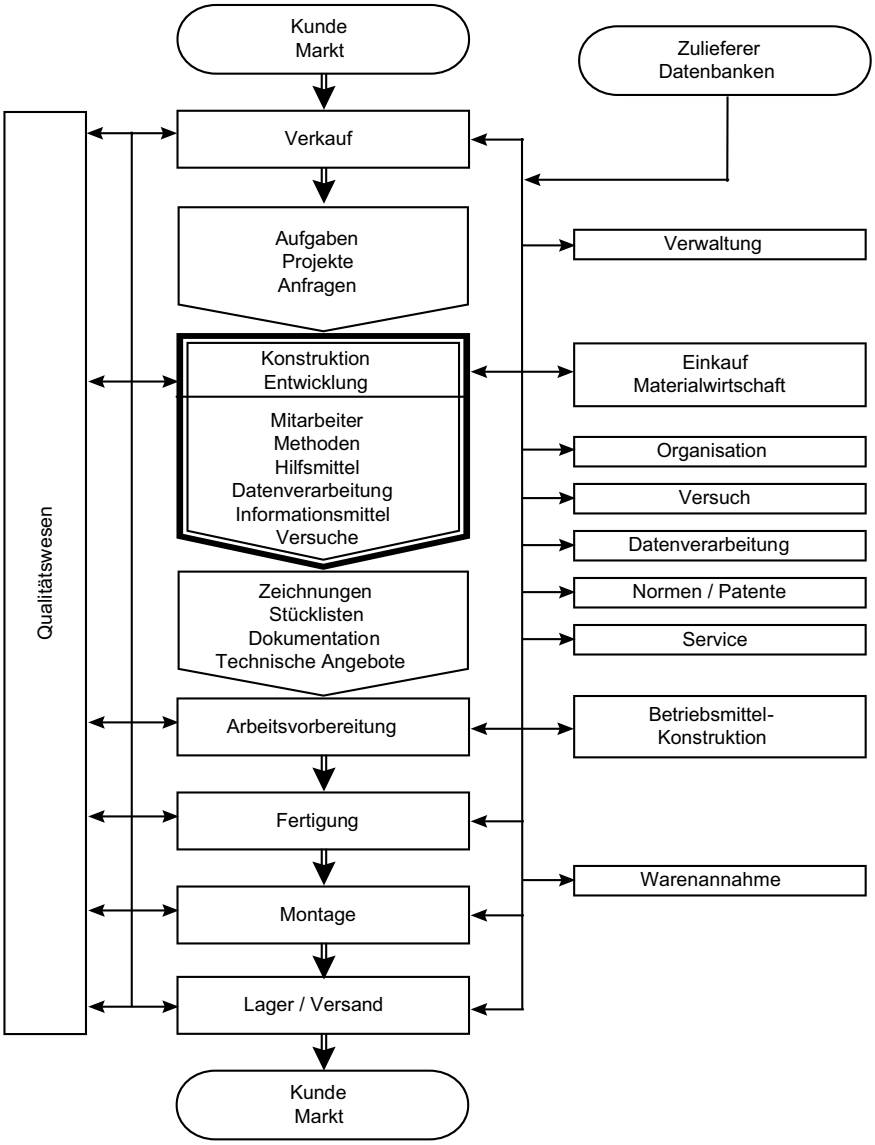


Bild 1.9 Vereinfachte Darstellung der Informationsverbindungen in Unternehmen

Die in der Übersicht in Bild 1.9 gezeigte Aufgliederung ist nicht für alle Unternehmensgrößen und nicht für alle Produktarten gültig, sondern eine häufig anzutreffende Organisationsform für Abläufe und Informationsverbindungen. Dargestellt sind die typischen Abteilungen, die bei der Produktentstehung Teilaufgaben erledigen, und der Informationsaustausch zwischen den Unternehmensbereichen. Die zentrale Stellung der Konstruktion ist ebenso hervorgehoben wie der Einfluss des Qualitätswesens auf alle Bereiche des Unternehmens.

Diese Arbeitsteilung hat nicht nur Vorteile, sondern auch die Nachteile, dass oft zu wenig fertigungs-, montage- und damit kostengerecht konstruiert wird. Konstrukteure arbeiten unter enormem Zeitdruck und sollen trotzdem alle Erkenntnisse, Regeln und Anforderungen erfüllen, die durch den Stand der Technik bekannt sind.

Die **Produktarten** Einzel-, Kleinserien- oder Serienprodukte bedeuten unterschiedlichen Aufwand in den Abteilungen und bei den Abläufen im Betrieb. Da alle Produkte, die konstruiert werden, auch hergestellt werden müssen, sind in der Konstruktion gute Kenntnisse der Fertigungstechnik erforderlich. Insbesondere sind die im Betrieb vorhandenen Fertigungsmöglichkeiten und die Eigenschaften der Werkzeugmaschinen als unternehmensspezifisches Fertigungswissen für die Gestaltung von Produkten zu nutzen. Schon in der Produktentwicklung ist die Zusammenarbeit von Produktion und Konstruktion notwendig.

Nach der **Fertigungsart** eines Unternehmens lassen sich ebenfalls Regeln ableiten, die die Entwicklung und Konstruktion beeinflussen. Nach Untersuchungen des VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.) wird heute nach Serien-, Kleinserien-, Gemischt- und Einzelfertiger unterschieden.

Die Entwicklung von **Einzelprodukten** erfolgt in der Regel durch einen einmaligen Durchlauf der wichtigsten Abteilungen. Versuch und Erprobung werden, falls erforderlich, an der Kundenmaschine durchgeführt.

Soll ein **Kleinserienprodukt** entwickelt werden, so sind Funktionsmuster oder Labormuster sinnvoll, die im Rahmen einer Produktverbesserung die angegebenen Abteilungen noch einmal durchlaufen. Gemischtfertiger haben mehrere Fertigungsarten im Unternehmen, d. h. es werden z. B. Blechteile in Großserien und Blecheinzelteile hergestellt.

Das schrittweise Entwickeln von **Serienprodukten** beinhaltet das wiederholte Durchlaufen von Entwicklung, Konstruktion usw., um mit den neuen Erkenntnissen oder Informationen aus dem Musterbau und der Nullserienerprobung das Produkt zu optimieren. Die sich daraus ergebenen Abläufe im Unternehmen bei verschiedenen Fertigungsarten zeigt Bild 1.10.

Werkzeugmaschinen, Fertigungstechnik und die Fähigkeiten der Menschen sind die wichtigsten Voraussetzungen für die Herstellung von technischen Produkten in Betrieben und Unternehmen. Produkte sind Erzeugnisse, die als Ergebnis des Entwickelns und Konstruierens hergestellt oder angewendet werden (VDI 2223). Produkte werden für einen Markt entwickelt.

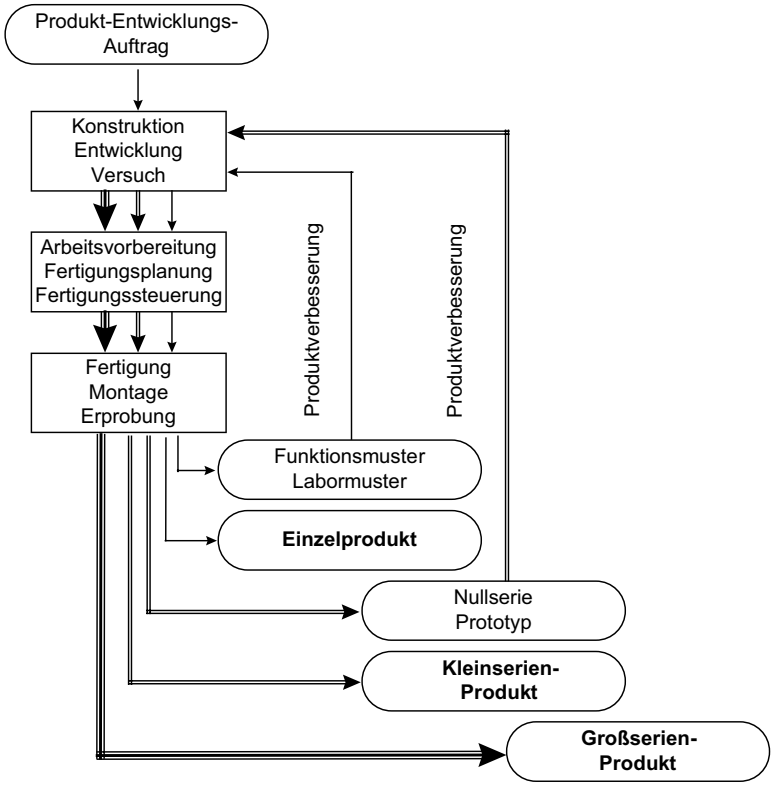


Bild 1.10 Produktarten und Abläufe bei der Produktentwicklung

Die **Produktentwicklung** wird stets von den Anforderungen des Marktes und vom Stand der Technik beeinflusst. Mit den immer schneller erforderlichen neuen Produkten, dem Einsatz von rechnerunterstützten Verfahren und durch Anwendung moderner Managementtechniken unterliegt der Bereich Konstruktion und Entwicklung einem stetigen Wandel und Anpassungsprozess. Eine Produktentwicklung, wie sie im folgenden Bild 1.11 gezeigt wird, muss und wird nicht in jedem Unternehmen anzutreffen sein. Dargestellt werden die heute üblichen Einflussfaktoren und Problemschwerpunkte. Als **Einflussfaktoren** werden neben der Funktion Qualität, Zeit und Kosten auftreten, für die die **Problemschwerpunkte** Projektabwicklung, Mitarbeiter und Methoden/Hilfsmitteleinsatz bekannt sind. Als Beispiele gelten benutzerunfreundliche Produkte, die nicht alle geforderten Funktionen oder mehr als gefordert erfüllen, zu hohe Herstellkosten verursachen oder verspätet auf den Markt kommen.

Produkte für alle Menschen ist der zentrale Anspruch in dem folgenden Bild 1.12, der darauf hinweisen soll, dass die Konstruktionslehre nicht nur geeignet ist, die Grundlagen zu vermitteln für Investitionsgüter, sondern auch die für Konsumgüter. Hier sollen also Methoden und Beispiele für Maschinenbauprodukte und für menschenorientierte Produkte behandelt werden. Dazu gehören natürlich auch die

Grundlagen-Kenntnisse und die Kenntnisse der menschenorientierten Konstruktion in Kapitel 11. Im oberen Teil des Bildes sind die in den Unternehmen umzusetzenden Aufgaben und einige Eigenschaften der Menschen angegeben. Im unteren Teil des Bildes ist ein Teil der Anforderungen aus den Märkten genannt. Die rechte Seite in Bild 1.12 bezieht sich auf menschenorientierte Produkte, die linke Seite gilt für beide Produktbereiche.

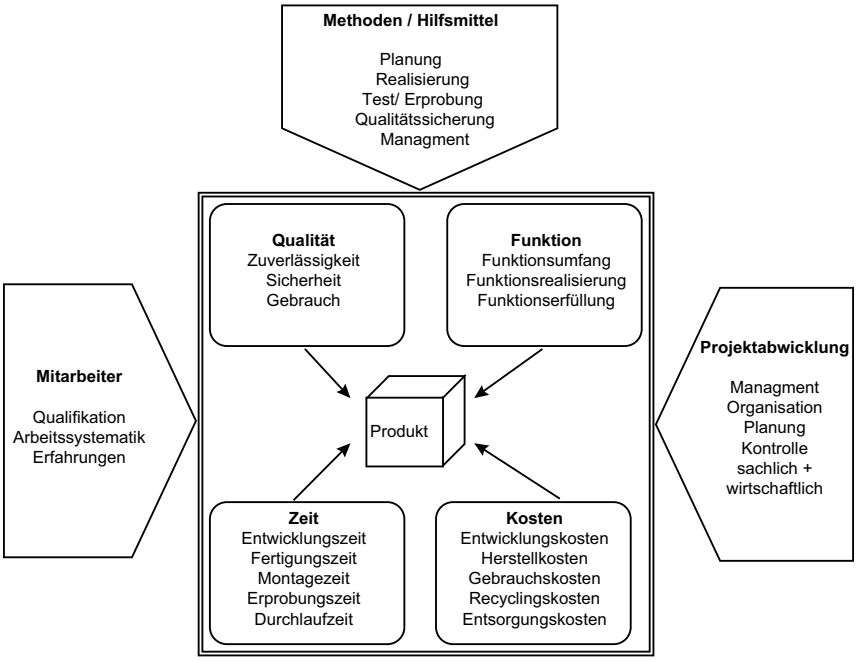


Bild 1.11 Produktentwicklung – Einflussfaktoren und Problemschwerpunkte

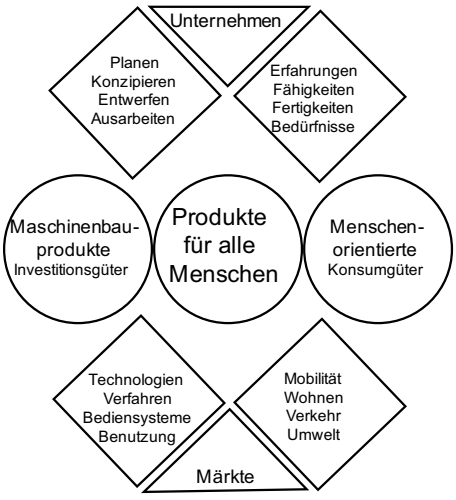


Bild 1.12
Produkte für alle Menschen

1.3 Konstruktionsmethodik

Konstruktive Tätigkeiten sind äußerst vielseitig. Wie Untersuchungen der verschiedensten Produkte mit den zugehörigen speziellen Erfahrungen zeigen, ergeben sich Tätigkeiten, die weder organisatorisch noch in ihrer Vorgehensweise in eine starre Schablone zu pressen sind.

Der entscheidende Einfluss der Konstrukteure auf den technischen und wirtschaftlichen Wert eines Produktes erfordert ein geordnetes, übersichtliches und nachprüfbares Vorgehen zum Entwickeln von guten Lösungen. Das Fertigen, Montieren, Beschaffen usw. kann nur in dem vom Konstrukteur festgelegten Umfang optimiert werden, wobei schon seit einigen Jahren durch Projektarbeit im Team wesentliche Verbesserungen erzielt werden konnten. Gerade die Zusammenarbeit mit den Produktionsbereichen kann den nützlichen Effekt des systematischen Arbeitens als sinnvolle Vorgehensweise auf die Konstruktion übertragen. Solange die Konstrukteure über das notwendige Anwenden von Fachwissen hinaus nicht methodisch vorgehen und eine solche Arbeitsweise nicht verlangt wird, können die Vorteile nicht genutzt werden. Nach *Pahl/Beitz* soll eine Konstruktionsmethodik bestimmte Anforderungen erfüllen, die in Bild 1.13 dargestellt sind. Die Konstruktionsmethodik muss prinzipiell bei jeder konstruktiven Tätigkeit unabhängig von Produkten anwendbar sein, das Finden optimaler Lösungen ermöglichen und erleichtern sowie mit Begriffen, Methoden und Erkenntnissen anderer Disziplinen verträglich sein.

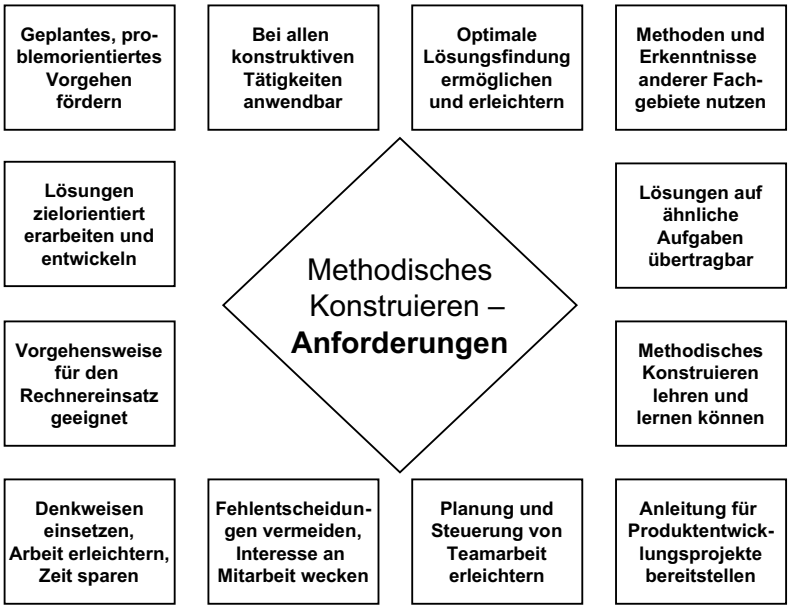


Bild 1.13 Wissensbasis für die Anforderungen an das methodische Konstruieren

Konstruktionsmethodik umfasst die Vorgehensweisen beim Entwickeln und Konstruieren nach Ablaufplänen mit Arbeitsschritten und Konstruktionsphasen unter Beachtung von Richtlinien und Methoden sowie technischen und organisatorischen Hilfsmitteln. Dabei werden die Erkenntnisse der Konstruktionswissenschaft und der Denkpsychologie, aber auch insbesondere die Erfahrungen bei den verschiedenen Anwendungen in der Konstruktionspraxis eingesetzt.

Die Konstrukteure erhalten Methoden und Hilfsmittel, die es ihnen gestatten, systematisch und zielorientiert zu arbeiten, um effektiver und besser als bisher Lösungen zu finden. Der Einsatz von EDV und CAD/CAM-Systemen zur Unterstützung der täglichen Arbeit im Konstruktionsbüro erfordert zunehmend gut aufbereitete Informationen.

Gute **Konstrukteure** und **Konstrukteurinnen** schaffen mit Begabung, Intuition und Erfahrung durch die schrittweise Realisierung von durchdachten Lösungen sehr gute Produkte. Sie haben durch ihre **Denkweise** ein Problemlösungsverhalten entwickelt, das im Kopf so abläuft, dass es einem individuellen methodischen Vorgehen entspricht. Durch die Konstruktionsmethodik soll dieses Erarbeiten von Lösungen unterstützt und vereinfacht werden, sodass eine klare Darstellung und eine sinnvolle Ergänzung stattfinden kann. In der Ausbildung befindlichen Konstrukteuren dient das systematische Vorgehen mit Methoden und Hilfsmitteln schnell und effektiv, einen eigenen, effizienten Arbeitsstil zu entwickeln.

Die Ergebnisse des ersten Beispiels zeigten bereits die Vorteile, wenn ein **Lösungskonzept** systematisch erarbeitet wird. Durch methodisches Konstruieren wird versucht, auch in den Anfangsbereich des Konstruierens Methode zu bringen, um bereits hier aus vielen möglichen Lösungen die besten auszuwählen.

Ein vollständiges Lösungsfeld aller einigermaßen brauchbaren Lösungen zu schaffen bedeutet, dass frühere Lösungen, jetzige Konkurrenzlösungen und alle heute noch denkbaren Lösungen überschaubar dargestellt werden. Aus dieser Lösungsvielfalt sind dann mit geeigneten Bewertungsmethoden die besten Lösungen auszuwählen. Dies ist bei immer kürzerer Produktlebensdauer am Markt, komplexeren Produkten und höheren Anforderungen an die Produkte von großer Bedeutung.

Der Konstrukteur muss jedoch darauf achten, dass er nicht vor lauter interessanten Lösungsvarianten das eigentliche Ziel übersieht und dadurch in angemessener Zeit keine entscheidungsreifen Lösungen erarbeitet. Die Nutzung der Methoden muss sinnvoll festgelegt werden. Dabei ist sicher auch der enorme Termindruck in den Konstruktionsabteilungen ein wirksames Mittel gegen allzu viel Methodik.

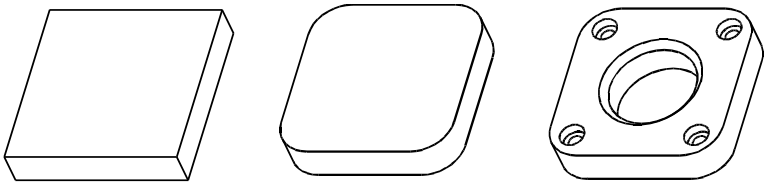
Das methodische Konstruieren wird heute als Stand der Technik betrachtet, da alle grundlegenden Erkenntnisse als VDI-Richtlinien veröffentlicht wurden und die Konstruktionsmethodik fester Bestandteil in der Ingenieurausbildung ist. Ein wesentlicher Gesichtspunkt für eine methodische Behandlung der Konstruktionslehre ist die Tatsache, dass Studierende während des Studiums nur mit ca. 10…20 % aller Maschinen in Kontakt kommen, weil in der Regel nicht mehr Fächer konstruktiv behandelt werden.

Methodenwissen ist wichtiger als Einzelwissen und Faktenwissen, da ohnehin nicht alles gelehrt werden kann.

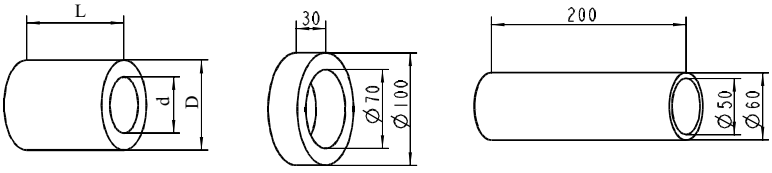
1.4 Konstruktionsarten

Zur Ergänzung der bisher genannten Begriffe sollen hier die vorgestellt werden, die in den Unternehmen verwendet werden, um Konstruktionsbereiche oder um den Umfang und die Merkmale einer Konstruktion hervorzuheben. Damit wird außerdem die Struktur, also die Gliederung der Konstruktion in Arbeitsabschnitte und nach Arbeitsumfang, erklärt.

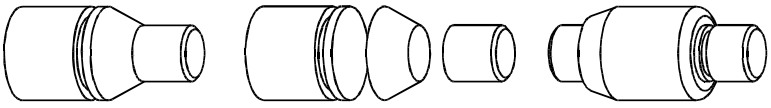
Als Beispiel für die **Konstruktionsarten** ist in Bild 1.14 jeweils ein einfaches Einzelteil dargestellt, so wie es heute beim rechnerunterstützten Konstruieren mit 3D-CAD-Systemen konstruiert wird. Bei der **Neukonstruktion** wird entsprechend der Aufgabenstellung ein Einzelteil als Grundkörper mit Geometrieelementen, wie Gerade, Kreis usw. in einer Ebene skizziert und z. B. durch die Eingabe der Höhe ein Körper erzeugt, der mit Formelementen, wie Fasen, Radien oder Bohrungen modelliert wird, bis das geforderte Einzelteil fertig ist. Der Konstrukteur muss also alle Arbeitsschritte von der Idee bis zum fertigen Teil durchführen.



a) Neukonstruktion



b) Variantenkonstruktion



c) Anpassungskonstruktion

Bild 1.14 Konstruktionsarten mit Beispielen

Die **Variantenkonstruktion** wird angewendet, wenn gleichartige Bauteile darzustellen sind, die bei gleicher Grundgeometrie nur in unterschiedlichen Abmessungen gebraucht werden, wie z. B. Rohre oder Scheiben mit verschiedenen Längen und Durchmessern.

Die **Anpassungskonstruktion** wird angewendet, um vorhandene Bauteile für neue oder geänderte Anforderungen anzupassen bzw. zu ändern. Als Beispiel soll eine Welle betrachtet werden, die für die Aufnahme anderer Antriebselemente einen zusätzlichen Wellenzapfen erhält und anders angeordnete Formelemente.

Die Definitionen der Konstruktionsarten können nach den erforderlichen Arbeitsschritten und nach den Produktarten, wie in Tabelle 1.2 angegeben, allgemein formuliert werden.

Tabelle 1.2 Konstruktionsarten – Kennzeichen und Ergebnisse

Konstruktionsart	Kennzeichen	Ergebnis
Neukonstruktion	Alle Tätigkeiten von der Idee bis zur Darstellung und eindeutigen Beschreibung müssen vollständig durchgeführt werden.	Neues Produkt als Maschine, Baugruppe, Einzelteil usw.
Varianten-konstruktion	Varianten werden ohne neue Prinziplösungen durch Kombination, Anordnung oder Ergänzung bewährter Elemente, Baugruppen usw. erarbeitet.	Produkte mit vielfältigen Einsatzmöglichkeiten für ähnliche Anforderungen durch geplante Varianten. Beispiele sind Getriebe, Verbindungselemente, Armaturen.
Anpassungs-konstruktion	Kundenwünsche mit speziellen Anforderungen an vorhandene Produkte werden durch neu zu konstruierende Teilbereiche erfüllt.	Angepasste Produkte mit kundenspezifischen Eigenschaften wie z. B. Werkzeugmaschinen für bestimmte Werkstücke.

Für die Konstruktionsarten Neu-, Varianten- oder Anpassungskonstruktion werden beim methodischen Konstruieren die Arbeitsschritte festgelegt, die als zu bearbeitende Konstruktionsphasen unterschiedlichen Umfang haben. Als **Konstruktionsphasen** werden die vier Arbeitsschritte Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten bezeichnet, in die die Aufgaben zerlegt werden können. Die Zuordnung der Konstruktionsphasen zu den Konstruktionsarten enthält Bild 1.15. Dabei ist zu beachten, dass die unterschiedlichen Produkte in den Unternehmen gewisse Streubereiche bei der Zuordnung bedeuten. Einige Produkte werden z. B. nur als Einzelteile in der Ausarbeitungsphase variiert, während Getriebe in der Regel als Baugruppenvarianten noch einen gewissen Anteil an Größenstufungsberechnungen und Entwurfsuntersuchungen erfordern. Mit dieser Aufteilung der Gesamtaufgabe in Teilaufgaben ergibt sich ein systematischer Ablauf beim Konstruieren.

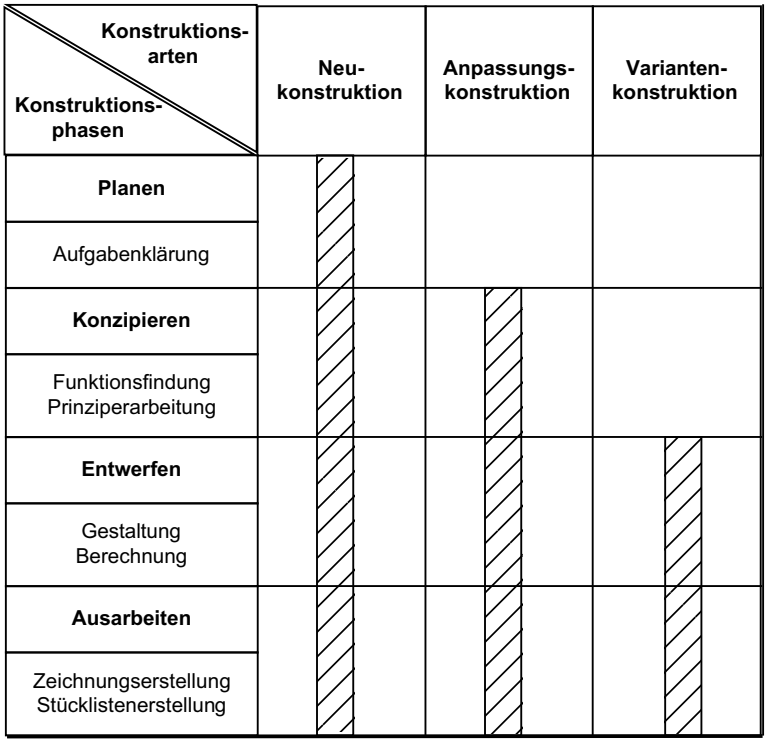


Bild 1.15 Zuordnung von Konstruktionsphasen zu den Konstruktionsarten

Das **Planen** umfasst alle Tätigkeiten, um aus den vorliegenden Angaben alle Anforderungen an das Produkt zu erkennen und eindeutig zu beschreiben. Erst danach wird beim **Konzipieren** ein Konzept erarbeitet, das für die notwendigen Funktionen physikalische Prinzipien festlegt. Beim **Entwerfen** werden ausgewählte Prinzipien durch gestaltete Bauteile zu Produkten entwickelt, indem Werkstoffe, Abmessungen, Teilearten und Verbindungen in geeigneter Form zu kombinieren sind. In den Entwürfen sind alle Angaben für Zeichnungen und Stücklisten enthalten, die für das **Ausarbeiten** erforderlich sind.

Die schematische Darstellung in Bild 1.15 ist als Übersicht zu verstehen, die das Grundsätzliche zeigt. So wird z. B. bei der Anpassungskonstruktion nur für zusätzliche Teilaufgaben das Konzipieren erforderlich, ebenso wird bei der Variantenkonstruktion nicht immer das Entwerfen erforderlich.

Für jede Konstruktionsart ist aber eine Aufgabenklärung und die Ausarbeitung einer Anforderungsliste erforderlich.

Die Zeitanteile für die einzelnen Konstruktionsphasen sind schon allein für die Planung und für die Bewertung eines Konstruktionsbereiches von großem Interesse. Sie werden in der Regel durch Firmenbefragungen ermittelt. Die Ergebnisse solcher Befragungen sind in dem Bild 1.16 dargestellt. Da neben den Tätigkeiten für die vier Konstruktionsphasen noch ein Bereich „Sonstiges“ für Routinearbeiten mit einem Aufwand von bis zu einem Tag pro Woche anfallen kann, bleiben für die Konstruktionsarbeiten nur noch ca. 80 %. Außerdem zeigt die Praxis, dass das Planen als erste Phase immer wichtiger wird, weil die Arbeiten für die Aufgabenklärung einen ganz entscheidenden Einfluss auf die Produktentwicklung und auf die Auftragsabwicklung haben. Die Phase Planen wurde deshalb nach eigenen Erfahrungen mit bis zu 5 % festgelegt. Für das Fallbeispiel aus dem Werkzeugmaschinenlabor Aachen fehlt diese Angabe. Die Prozentzahlen geben jeweils den Zeitaufwand an bezogen auf den Gesamtaufwand mit 100 %. Ein Vergleich des Zeitaufwands für die gesamte Konstruktionsdauer in den verschiedenen Firmen mit früheren Angaben ergibt nur sehr geringe Abweichungen, die noch im Streubereich liegen.

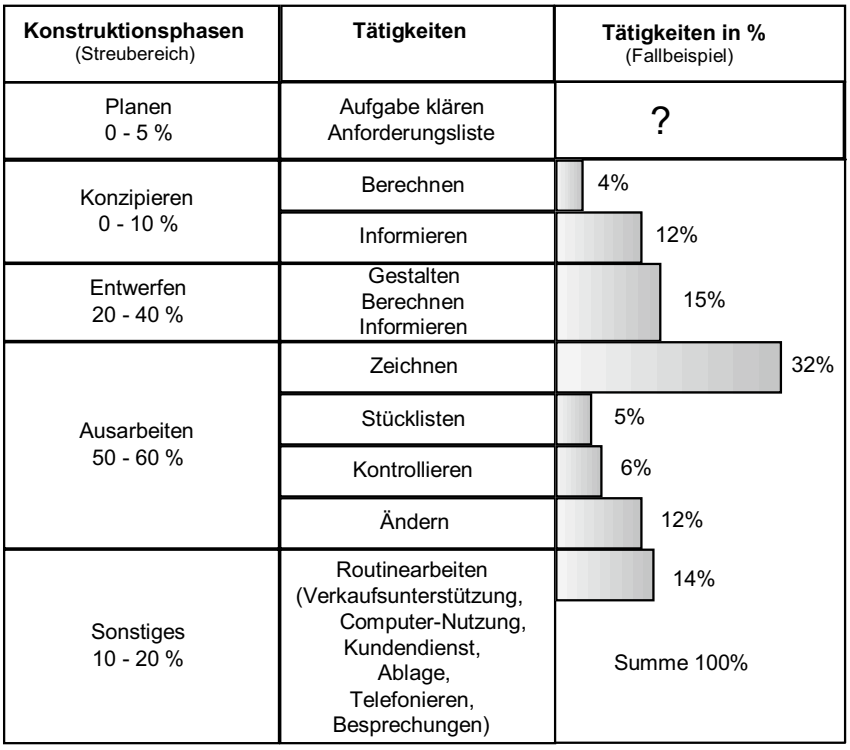


Bild 1.16 Konstruktionstätigkeiten mit Zeitanteilen

Der Arbeitsaufwand in der Konstruktion wird immer dann analysiert, wenn der Einsatz neuer Techniken (z. B. EDV) oder wirtschaftliche Bedingungen dazu Anlass geben. Das rechnerunterstützte Konstruieren ist besonders geeignet, die Konstruktionsphasen Entwerfen und Ausarbeiten effektiver durchzuführen.

Die kreativen Tätigkeiten werden besonders in den ersten Phasen des Konstruierens eingesetzt, wenn das Konzept erarbeitet wird. Diese Aussagen sind zugeordnet zu den Konstruktionsphasen in Bild 1.17 enthalten. Außerdem sind noch die mittleren Zeitanteile von allen Arbeitsschritten den Konstruktionsphasen zugeordnet, sodass sich ein dem Arbeitsaufwand entsprechender Verlauf ergibt, der durch Addieren der Zeitanteile entsteht.

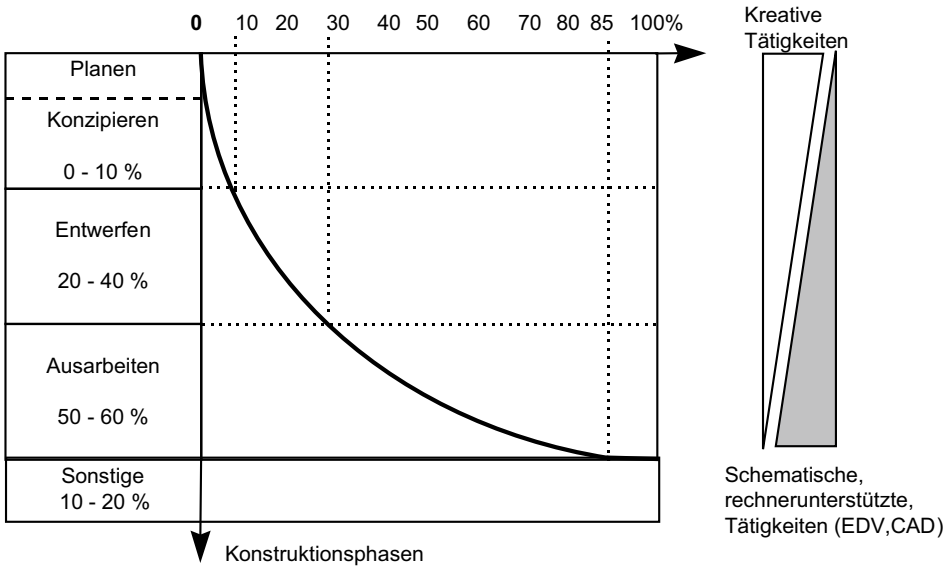


Bild 1.17 Arbeitsaufwand für Konstruktionsphasen (nach *Ehrlenspiel*)

In den Unternehmen ist die Organisation der Konstruktionsbereiche häufig in Abteilungen oder Gruppen so, dass für bestimmte Aufgaben Mitarbeitergruppen zuständig sind, die im Produktentstehungsprozess spezielle Aufgaben durchführen. Diese Spezialisierung ist insbesondere in größeren Unternehmen und bei komplexen Produkten anzutreffen, wie z. B. im Werkzeugmaschinenbau. Die folgende Tabelle 1.3 enthält übliche **Konstruktionsbereiche** und die erforderlichen Erläuterungen.

Tabelle 1.3 Konstruktionsbereiche – Abteilungen und Kennzeichen

Konstruktionsbereich	Abteilung	Kennzeichen
Angebotskonstruktion	Angebotsabteilung	Kundenanfragen nach spezifischen Problemlösungen mit vorhandenen oder neuen Produkten werden konstruktiv untersucht. Beispiel: Bearbeitung von speziellen Werkstücken auf Drehmaschinen.
Entwicklungskonstruktion	Entwicklung	Entwicklung neuer Produkte nach Kundenauftrag oder Marktbedarf mit allen Konstruktionsphasen.
Auftragskonstruktion	Auftragsabwicklung	Kundenauftragsbearbeitung zur Veranlassung aller Aktivitäten im Unternehmen zum Bau und Betrieb einschließlich erforderlicher Anpassungen für den Auftrag.
Werkzeugkonstruktion	Werkzeugbau	Werkzeuge für Fertigungsverfahren als Neuentwicklung, Variante oder Anpassung für Kundenaufträge
Betriebsmittelkonstruktion	Vorrichtungsbau	Vorrichtungen für Fertigungs-, Montage- oder Prüfaufgaben im Produktentstehungsprozess.

1.5 Konstruktionsmethodik – Erwartungen

Die Konstruktionslehre erhebt nicht den Anspruch, vollständig oder abgeschlossen zu sein. Die Methoden sind miteinander verträglich und praktikabel entwickelt worden, um Lehre und Praxis zu vereinfachen und zu unterstützen:

- Unterstützung der Lehre durch bessere Einführung, Grundlagen, Hilfen und Beispiele
- Unterstützung der Praxis durch Informationen, neue Erkenntnisse und Weiterbildung

Die grundlegenden Erwartungen, die zum Teil schon Erfahrungen sind, enthält zusammengefasst als Regeln die Wissensbasis in Bild 1.18.

Das methodische Konstruieren zu lernen, ist nicht allein durch das Lesen von Büchern oder Berichten möglich. Da die rein intuitive Tätigkeit methodisch unterstützt wird, sind konstruktive Erfahrungen immer noch wichtig. Gute Lösungen sind erreichbar, aber nicht unbedingt die „genialen“ Lösungen sehr guter Konstrukteure. Die Metho-

dik verhilft zu mehr Lösungsvarianten, und damit im Allgemeinen auch zu besseren Lösungen. Der Kern der Aufgabe wird durch systematisches Arbeiten schneller erkannt.

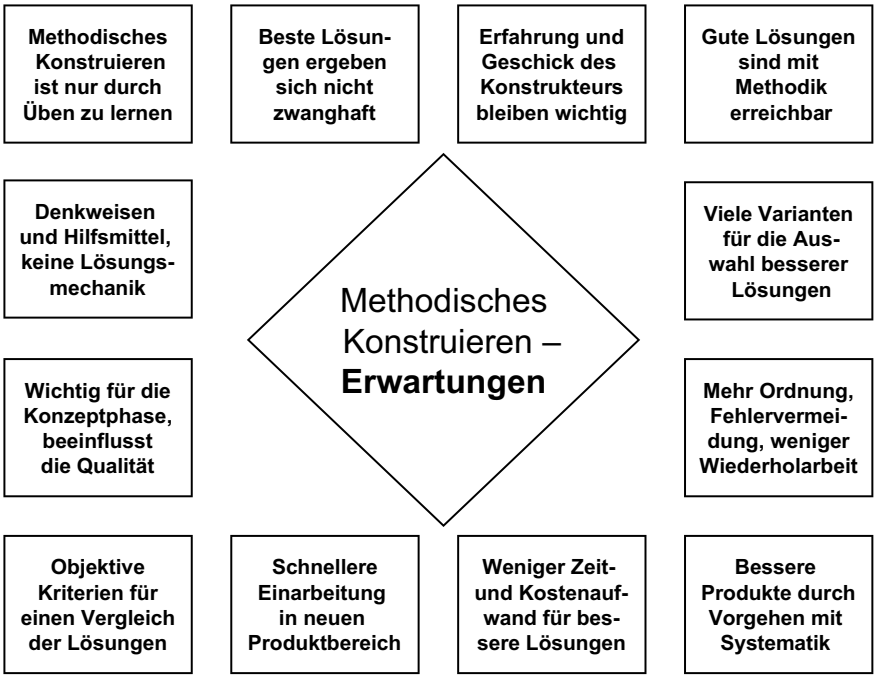


Bild 1.18 Wissensbasis für die Erwartungen beim methodischen Konstruieren

Die Konzeptphase ist wichtig, weil hier noch in Richtung guter oder schlechter Lösung beeinflusst werden kann, aber sie ist nur ein Teil der Konstruktionsarbeit (ca. 10 %, Entwurf 20…40 %, Ausarbeiten 50…60 %). Die Konzeptphase ist nicht für alle Produktarten gleich wichtig. Die Prinzipien von gleichförmigen Getrieben, Turbomaschinen, Motoren usw. liegen fest. Hier ist Methodik nur bei Detailproblemen interessant (z. B. Ventilsteuerung von Motoren). Produktbereiche mit stärkerer Lösungsvielfalt können die Methodik besser anwenden, wie z. B. Verfahrenstechnik, Verpackungs-, Lebensmittel-, Textiltechnik-, Haushaltsmaschinen usw.

Durch das methodische Konstruieren sind außer den Angaben in Bild 1.18 noch folgende Erwartungen vorhanden:

1. Die Diskutierbarkeit der Lösungen nach objektiven Kriterien wird durch Konstruktionsmethodik im Team oder mit Vorgesetzten verbessert.
2. Verantwortlichkeit und Delegationsfähigkeit werden durch klare Aufgabenunterteilung möglich.

3. Vermeidung unnützer Arbeit wegen geänderter Aufgabenstellung, wenn zusätzliche Anforderungen das bisherige Konzept unmöglich machen.
4. Schnellere Einarbeitung in einen neuen Produktbereich, da gezielte Fragestellungen möglich und frühere Entwicklungsarbeiten schriftlich dokumentiert vorliegen (nicht nur Zeichnungen, sondern auch Konzeptvarianten, Bewertungen, Lösungsalternativen usw.).
5. Insgesamt werden weniger Zeit und Kostenaufwand im Konstruktionsbüro im Mittel bessere Lösungen ergeben. Der objektive Nachweis ist jedoch schwierig, wegen der vielen Einflussgrößen und langer Zeitspannen, die zu betrachten sind. Sofern es nicht übertrieben wird, dürfte methodisches Vorgehen rationeller sein als wenig geplantes.
6. Systematische Vorgehensweisen durch Anwendung von Konstruktionsmethoden werden bei der Verbesserung der ohnehin schon sehr perfekten technischen Produkte – auch wenn nur kleine Schritte bedacht werden – in Zukunft zunehmen.
7. Die produktneutrale oder generelle Konstruktionslehre für Maschinensysteme hat neben dem Vorteil der systematischen Lösungsfindung auch noch den Vorteil, einen besseren Überblick über das verzweigte Gebiet des Maschinenwesens zu liefern.

Die Konstruktionsmethodik hatte von Anfang an als Ziel, Methoden und Hilfsmittel zur Entwicklung von technisch optimalen Produkten bereitzustellen, wobei insbesondere die Prinzipfindung, also die Konzeptphase, unterstützt werden sollte. Dabei wurden im Laufe der Jahre viele Ziele konkreter erkannt, die aber bisher nur teilweise von der Konstruktionswissenschaft bearbeitet wurden. Daraus ergaben sich Probleme für die Akzeptanz der Methodik in der Praxis bzw. sie bestehen noch.

Konstrukteure setzen in der Regel nur die Methoden und Hilfsmittel ein, von denen sie durch einen praktischen Nutzen schnell überzeugt werden können. Als sehr vorteilhaft hat sich das systematische Vorgehen in der Lehre durchgesetzt, da viele Studierende dadurch die Scheu vor konstruktiven Aufgaben verlieren und gleichzeitig ein gewisses Interesse für die Konstruktion entsteht.

Aus den Erwartungen ergeben sich die Ziele, die durch Konstruktionsmethodik erreicht werden sollen. Diesen Zielen sind Formulierungen zuzuordnen, die direkt im Bereich Konstruktion und Entwicklung zu bewerten sind, wie Tabelle 1.4 zeigt. Einige der Ziele sind jetzt schon bekannt, weitere werden mit Methoden, Hilfsmitteln und Hinweisen in den nächsten Abschnitten umfangreich erläutert.

Die **Ziele der Konstruktionsmethodik** können aufgegliedert werden in:

- technische Ziele
- organisatorische Ziele
- persönliche Ziele
- didaktische Ziele

Tabelle 1.4 Ziele der Konstruktionsmethodik (nach *Ehrlenspiel*)

Zieleigenschaft	Zielbeschreibung
Technische Ziele	■ Entwicklung von neuen Produkten unterstützen ■ Verbesserung von Produkten unterstützen ■ Optimierung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses von Produkten
Organisatorische Ziele	■ Rationalisierung der Konstruktionsarbeit ■ Verkürzung von Konstruktionszeit und damit der Lieferzeit ■ Erleichtern von Teamarbeit ■ Erleichtern von Projektarbeit ■ Nachvollziehbarkeit von Konstruktionslösungen ■ Objektivierung der Konstruktionsarbeit ■ Verbesserung des Rechnerunterstützten Konstruierens ■ Verkürzung der Einarbeitungszeit für Konstrukteure
Persönliche Ziele	■ Hilfestellung bei neuen Situationen ■ Steigerung der Kreativität ■ Darstellbarkeit des Konstruktionsablaufs ■ Erweiterung des Problembewusstseins ■ Verbesserung der Präsentation der Konstruktion ■ Besserer Überblick über die Fachgebietsentwicklung
Didaktische Ziele	■ Konstruieren lehr- und lernbar gestalten ■ Rationalisierung der Lehre ■ Interesse wecken für Konstruktionstätigkeit

Eine ausführliche Darstellung vieler Überlegungen und viele Ergebnisse von wissenschaftlichen Untersuchungen hat *Ehrlenspiel* veröffentlicht. Hier sollen nur die wesentlichen Gründe für die bisher noch unzureichende **Nutzung der Konstruktionsmethodik** in der Praxis zusammengefasst vorgestellt werden:

- Konstrukteure in der Praxis und z. T. auch Studierende, haben zum großen Teil im Unterbewussten ablaufende Problemlösungs- und Vorgehensmethoden ausgebildet („Normalbetrieb des Denkens“), die nur schwer in ein System einzuordnen sind und nur durch intensives Üben „umprogrammiert“ werden können.
- Gerade für das Üben allein und vor allem im Team, steht in Aus- und Weiterbildung viel zu wenig Zeit zur Verfügung. Dies wiederum ist wohl auf mangelnden Einblick in die „Ablaufmechanismen“ des Denkens und Handels zurückzuführen. Es ist ähnlich wie beim Radfahren und Schwimmen, die auch nicht nur theoretisch gelernt werden können. Statt Fähigkeiten und Verhaltensweisen werden im Übermaß Fakten vermittelt.
- Schwerpunkte praktischer Entwicklungs- und Konstruktionsarbeit, wie das Gestalten, das Entwerfen und Verwerfen, die Versuchstechnik, die zwischenmenschlichen und organisatorischen Belange kommen, aus welchen Gründen auch im-

mer, bisher zu kurz. Praktiker sehen sich bei einem Großteil ihrer Arbeit zu wenig unterstützt.

1.6 Zusammenfassung

Die Konstruktionslehre wurde als Fachgebiet entwickelt, um Tätigkeiten und Vorgehen beim Konstruieren branchenneutral zu vermitteln. Konstruktion ist ein Begriff, der häufig als Wortbildungselement verwendet wird, um besondere Teilbereiche, Aktivitäten usw. zu bezeichnen. Deshalb werden die wichtigsten Begriffe vorgestellt und erklärt. Die Anforderungen und Fähigkeiten, die zum Lösen von technischen Aufgaben durch eine Konstruktion vorhanden sein sollten, sind bekannt und werden mit einem Beispiel bewusst gemacht. Allgemeine Erfahrungen zur Anwendung der Konstruktionsmethodik und Angaben zu den Aufgaben der Konstruktionslehre geben einen ersten Überblick. Die Konstruktionspraxis in den Betrieben ist abhängig von der Organisation und den Produkten des Unternehmens. Dementsprechend wurde ein Informationsfluss vorgestellt mit der Einordnung und den Aufgaben des Bereichs Konstruktion und Entwicklung.

Die Produktentwicklung wird allgemein und für typische Produktarten erläutert. Dazu gehört in jedem produzierenden Unternehmen auch der Bereich der Produktion zur Herstellung der konstruierten Produkte. Eine enge Zusammenarbeit von Konstruktion und Produktion in prozessorientierten Unternehmen ist notwendig, um die Möglichkeiten der Fertigung und der Montage schon bei der Konstruktion zu berücksichtigen.

Konstruktionsmethodik wird allgemein und anhand von Anforderungen vorgestellt. Hinweise auf die Anwendung in der Praxis und ein Vergleich mit der Vorgehensweise guter Konstrukteure sind vorhanden. Die besondere Bedeutung der Entwicklung von Lösungskonzepten mit Methodik bei der Produktentwicklung zeigt auch, wie wichtig Methodenwissen ist. Die Konstruktionsarten Neu-, Varianten- und Anpassungskonstruktion wurden erläutert und im Zusammenhang mit den Konstruktionsphasen Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten vorgestellt.

Grundsätzlich gehören zu jeder Konstruktionsaufgabe das Klären der Aufgabenstellung und das Erarbeiten einer Anforderungsliste, um alle wesentlichen Informationen und Daten zu erfassen. Dazu gehören in der Praxis auch die Zeitanteile für die Konstruktionstätigkeiten und eine Aussage über den Arbeitsaufwand zur Erledigung der Konstruktionsphasen. Die in Firmen anzutreffenden Konstruktionsbereiche werden vorgestellt. Die Erwartungen durch den Einsatz der Konstruktionsmethodik sind so zusammengefasst, dass nach den Erfahrungen der letzten Jahre Nutzen und Aufwand abzuschätzen sind. Dazu gehören auch die Ziele und eine Aussage über die Nutzung der Methodik in der Praxis.

2
Grundlagen des systematischen Konstruierens

Konstruieren umfasst alle Tätigkeiten zur Darstellung und eindeutigen Beschreibung von gedanklich realisierten technischen Gebilden als Lösung technischer Aufgaben. Diese bereits formulierte Definition in der täglichen Praxis umzusetzen, ist nur dann effektiv möglich, wenn die dafür erforderlichen Grundlagenkenntnisse vieler Teilgebiete beherrscht werden. Dabei handelt es sich um naturwissenschaftlich-technische Grundlagen und um Kenntnisse in Fertigungstechnik, Konstruktionsgrundlagen, Maschinenelementen, Werkstofftechnik sowie dem Einsatz von Datenverarbeitung mit Programmanwendungen für Berechnungen und Geometrieerzeugung. Dieses Grundlagenwissen wird nicht behandelt, sondern als bekannt vorausgesetzt. Außerdem liegt hier der Schwerpunkt in der mechanischen Konstruktion von Maschinenbauprodukten, unter Beachtung der Schnittstellen, die entsprechend dem Stand der Technik häufig auch elektrische, elektronische und informationstechnische Komponenten enthalten. Beispiele sind mechatronische Produkte, wie z. B. ferngesteuerte Bedienelemente zum Öffnen und Schließen von Autotüren, moderne Bremssysteme in Automobilen oder Komponenten von Fotoapparaten.

Für das systematische Entwickeln und Konstruieren von Lösungen hat es sich bewährt, die Grundlagen der technischen Systeme und die daraus abgeleitete Vorgehensweise für die konstruktive Arbeit zu erläutern. Die dann folgende Vorstellung bewährter allgemeiner Arbeitsmethoden ist für das Verständnis der in der Konstruktion eingesetzten Methoden hilfreich. Als dritter Bereich wird in diesem Abschnitt die Informationsverarbeitung in der Konstruktion behandelt, die als sehr wichtiger Faktor beachtet werden muss. Bild 2.1 enthält die in diesem Kapitel vorgestellten Themen.

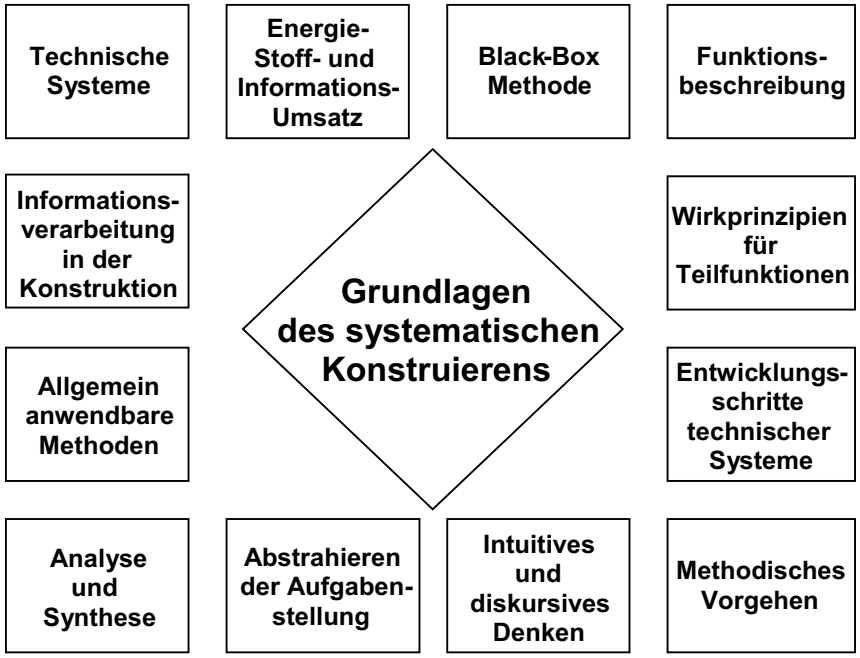


Bild 2.1 Wissensbasis Grundlagen des systematischen Konstruierens

2.1 Technische Systeme

2.1.1 Grundlagen und Begriffe

Technische Produkte sind in der Regel von Menschen erdacht, konstruiert und hergestellt worden. Je nach der Komplexität des Produkts gibt es dafür bewährte allgemeine Bezeichnungen, wie z. B. Drehmaschine, Schraube, Vorrichtung, Rasierapparat, Schreibgerät, Drucker oder Elektromotor. Als Oberbegriff für diese unterschiedlichen Produkte kann Technisches Gebilde festgelegt werden. **Technische Gebilde** sind die Lösungen technischer Aufgaben und umfassen Anlagen, Apparate, Maschinen, Geräte, Baugruppen, Maschinenelemente oder Einzelteile. Diese bekannten Bezeichnungen sind grob nach ihrem Einsatz geordnet, wobei die Benennungen aus der geschichtlichen Entwicklung und dem jeweiligen Verwendungsbereich erklärbar sind.

Da alle diese Produkte nach bestimmten ähnlichen Arbeitsschritten entstehen, die sich im Laufe der Jahre branchenspezifisch entwickelt haben, ergab sich für die Konstruktionslehre die Aufgabe, ein allgemeines Verfahren zu entwickeln, das eine technisch sinnvolle Vereinheitlichung zulässt. Die Systemtechnik lieferte dafür die entscheidende Grundlage und muss deshalb in den Grundlagen verstanden werden.

Als Beispiel eines einfachen technischen Systems soll eine Zahnradstufe vorgestellt werden. Sie besteht aus zwei unterschiedlichen Zahnrädern, die miteinander in Eingriff sind, siehe Bild 2.2.

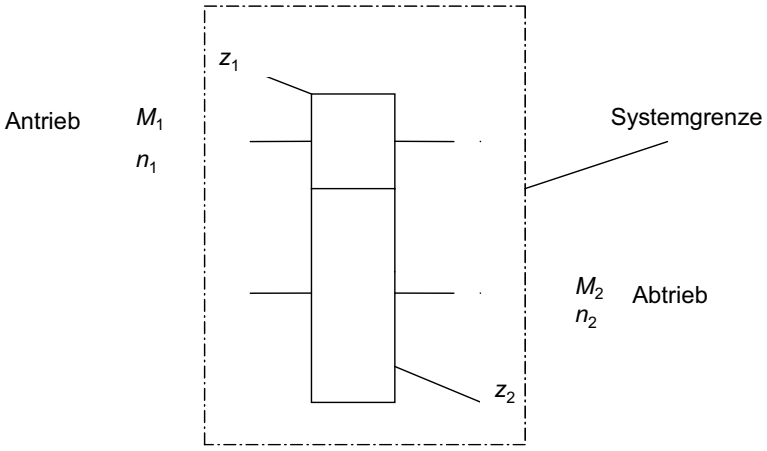


Bild 2.2 Mechanisches System Zahnradgetriebe

Die Systemstruktur besteht aus den Systemelementen Antriebsrad z_1 und Abtriebsrad z_2. Die Eigenschaften sind durch die Verzahnungsarten festgelegt, die durch Teilkreise, Modul usw. beschrieben werden. Als Wechselwirkungen sind tribologischer Kontakt, Traktion, Reibung usw. zu beachten. Die Systemfunktion wird beschrieben durch die Eingangsgrößen Drehmoment M_1 und Drehzahl n_1 und durch die Ausgangsgrößen Drehmoment M_2 und Drehzahl n_2. Die Funktionalität ergibt sich durch das Wandeln der Eingangsgrößen in die Ausgangsgrößen ($M_1, n_1 \rightarrow M_2, n_2$). Als Systemgrenze ist ein Zahnradgetriebe zu definieren, das nur eine Zahnradstufe enthält. Dargestellt wird hier nur das System.

Die Erkenntnisse der Systemtechnik werden eingesetzt, um für die Konstruktion ein allgemeines Vorgehen zu entwickeln. Zum Verständnis sind hier deshalb die wichtigsten Grundlagen kurz dargestellt. In der Systemtechnik werden Methoden aus unterschiedlichen Fachgebieten wie Biologie, Kybernetik und Informationstheorie kombiniert und auf die Technik angewendet. Zusammengefasst ergeben sich nach *Czichos* folgende Definitionen:

Ein **System** ist ein Gebilde, das durch **Funktion** und **Struktur** verbunden ist und durch eine **Systemgrenze** von seiner Umgebung virtuell abgegrenzt werden kann.

Die **Systemfunktion** besteht in der Überführung operativer Eingangsgrößen in funktionelle Ausgangsgrößen, sie wird getragen von der Struktur des Systems.

Die **Systemstruktur** besteht aus der Gesamtheit der Systemelemente, ihren Eigenschaften und Wechselwirkungen.

Bei der Gestaltung und Auslegung realer technischer Systeme sind natürlich noch alle bekannten Einflüsse zu berücksichtigen, die für die Funktion notwendig sind, sowie die Störungen oder unerwünschte Veränderungen. Beispiele sind Lagerungen, Schmierung, Temperatur, Geräusche oder Verformungen.

Technische Systeme sind künstlich erzeugte geometrisch-stoffliche Gebilde, die einen bestimmten Zweck (Funktion) erfüllen, also Operationen (physikalische, chemische, biologische Prozesse) bewirken (nach *Ehrlenspiel*).

Technische Produkte entstehen, wenn das geometrisch-stoffliche Gebilde vorrangig betrachtet wird und nicht der Prozess oder das Verfahren, das das Gebilde durchführt.

Technische Systeme ergeben sich durch eine fachliche Ordnung der technischen Gebilde:

- Maschinen als primär energieumsetzende technische Gebilde
- Apparate als primär stoff- oder materieumsetzende technische Gebilde
- Geräte als primär signalumsetzende technische Gebilde

Technische Systeme können nach *Czichos* in Gruppen eingeteilt werden:

Materialbasierte technische Systeme

Aufgabe: Stoffe gewinnen, bearbeiten, transportieren, usw.

Beispiele: Produktionsanlagen, Transportsysteme

Energiebasierte technische Systeme

Aufgabe: Energie umwandeln, verteilen, nutzen, usw.

Beispiele: Generator, Antriebssysteme

Informationsbasierte technische Systeme

Aufgabe: Informationen generieren, übertragen, darstellen, usw.

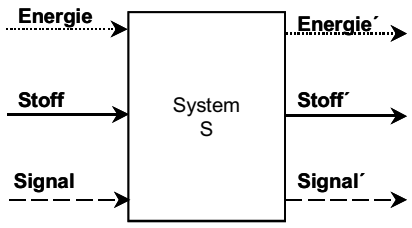
Beispiele: DVD-Player, Smartphone

In einem **Prozess** werden alle systeminternen Vorgänge, also Stoffe, Energien und Informationen umgeformt, transportiert oder gespeichert. Deshalb hat sich bewährt für konstruktive Aufgaben den Prozess mit allen systeminternen Vorgängen in Form einer **Blackbox** darzustellen, um den Kern der Aufgabe besser zu erfassen. Prozesse legen fest, welche Aktivitäten in welcher Reihenfolge stattfinden, um bestimmte Eingaben in etwas Wertvolleres als Ergebnisse zu verwandeln.

Das **Technische System** kann entsprechend obiger Definitionen auch als Oberbegriff für technische Produkte wie Einzelteile, Baugruppen, Maschinen, Geräte, Apparate und Anlagen verwendet werden. Die Bedeutung hat sich praktisch nicht verändert, es werden nur neue vorteilhafte Größen der Systemtechnik nutzbar. Nach wie vor bestehen Maschinen aus Einzelteilen und Baugruppen ebenso wie Geräte und Apparate, nur haben diese jeweils unterschiedliche Verwendungsbereiche. Jetzt lassen sich auch noch Fertigungssysteme oder Verkehrssysteme einordnen, siehe Bild 2.3.

Beispiele typischer Produkte des Maschinen-, Geräte- und Apparatebaus zeigen, dass die Bezeichnungen von Produkten nicht konsequent erfolgten, sondern dass eher eine willkürliche Festlegung in der Praxis stattfand. So sollten nach den Definitionen technische Systeme zum Schreiben bzw. Rechnen nicht als Maschinen, sondern als Schreib- bzw. Rechengeräte bezeichnet werden, da diese primär dem Umsatz von Informationen und nicht dem von Energie dienen. Landmaschinen sind keine Maschinen, sondern Apparate zum Umsatz von Stoffen (Getreide). Werkzeugmaschinen sind Apparate, da sie ebenfalls primär dem Umsatz von Stoffen dienen (Rohteile in Fertigteile). Eine Umbenennung ist nicht sinnvoll und in der Praxis nicht realisierbar.

<table>
<tr><th>Begriff</th><th>Beispiel</th></tr>
<tr><td>Technische Systeme sind künstlich erzeugte geometrisch-stoffliche Gebilde, die einen bestimmten Zweck erfüllen, also Operationen bewirken.</td><td>▪ Kupplung
▪ Antriebssystem für PKW
▪ Fertigungssystem
▪ Verkehrssystem</td></tr>
<tr><td>Systeme sind durch Funktion und Struktur verbunden und durch eine Systemgrenze virtuell abgegrenzt.

Sie stehen mit ihrer Umgebung durch Eingangs- und Ausgangsgrößen in Verbindung, die die Systemgrenzen überschreiten.</td><td>
</td></tr>
<tr><td>Teilsysteme sind Bestandteile von Systemen und erforderlich für die Aufgabe des Systems.

Systemgrenzen legen fest, was zum betrachteten System gehört.</td><td>Motor TS 1
Kupplung TS 2
Getriebe TS 3
Antriebswellen TS 4

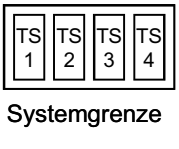

</td></tr>
</table>

Bild 2.3 Systembegriffe in der Konstruktion

Mit der allgemeinen Beschreibung als energie-, stoff- und informationsumsetzende Systeme sind eindeutige Verhältnisse gegeben, ohne bewährte Begriffe infrage zu stellen. Die Verwendung des Systembegriffs, also das Denken in Systemen, bietet einige Vorteile für Planung, Konstruktion und Produktion von technischen Produkten. Insbesondere das dadurch unterstützte abstrakte Modellieren, das Erkennen wichtiger Eigenschaften von technischen Systemen und die Bedeutung der Schnittstellen an den Systemgrenzen sind für die Produktgestaltung wichtig.

2.1.2 Energie-, Stoff- und Informationsumsatz

Alles physikalische Geschehen in Maschinen ist an den Umsatz von Energie, Stoffen oder Informationen gebunden. Energie, Stoffe und Informationen sind als „Produkte“ zu verstehen, die in Maschinen umgesetzt werden und physikalisch gesehen mannigfaltige Formen annehmen können.

Nach einer Deutung von *v. Weizsäcker*, die hier in stark vereinfachter Form nach *Rodenacker* zitiert wird, hängen diese „Produkte“ wie folgt zusammen:

Die Physik lässt sich als Lehre von der Bewegung der Materie auffassen, Energie als das Vermögen, Materie zu bewegen oder auch als Maß der Menge der Bewegung. Materie und Formen sind immer miteinander verknüpft. Form bedeutet Informationen oder Menge der Alternativen. Im technischen Bereich wird statt Materie der Begriff Stoff und statt Information für die Konstruktion der Begriff Signale verwendet. Geräte werden unabhängig von den übertragbaren Informationen für eine bestimmte Form von Signalen ausgelegt.

In Maschinen werden oft alle drei „Produkte“ gleichzeitig umgesetzt, wobei ein Umsatz als **Hauptumsatz**, die anderen als **Nebenumsatz** zu betrachten sind. Die Umsatzarten sind meist miteinander verknüpft, wie das bei folgenden Beispielen der Fall ist:

- der Energieumsatz einer Wasserturbine mit dem Stoffumsatz
- der Stoffumsatz einer Pumpe mit dem Energieumsatz
- der Signalumsatz einer Hydrauliksteuerung mit dem Energie- und Stoffumsatz

Es wird immer das für die Konstruktion Relevante in Betracht gezogen, also vorrangig der Haupt- und dann der Nebenumsatz. Die Analyse **technischer Systeme** zeigt, dass ein Prozess stattfindet, um Energien, Stoffe und Signale zu leiten, zu verändern oder zu speichern. Es hat sich bewährt, je nach Aufgabenstellung, wahlweise Signale oder Informationen einzusetzen.

Beispiel Drehmaschine analysieren: Die in Bild 2.4 vereinfacht dargestellte Drehmaschine soll schrittweise analysiert werden, um zu zeigen, welche Überlegungen sich für Konstrukteure aus **Systemuntersuchungen** ergeben.

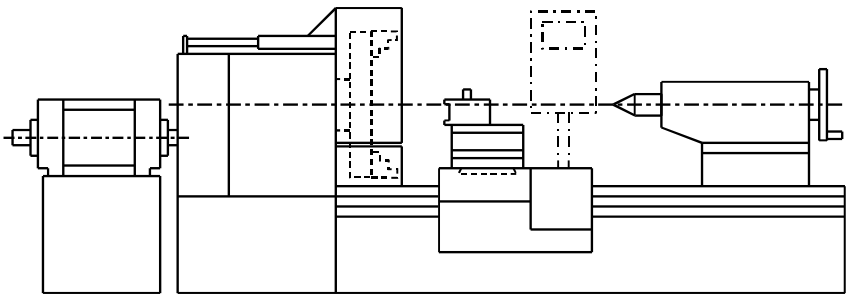


Bild 2.4 Spitzendrehmaschine; vereinfacht (nach *Fa. Wohlenberg*)

Drehmaschinen sind von ihrem Einsatz in fast allen Werkstätten so bekannt, dass sie sich als Beispiel sehr gut eignen. Es ist sehr gut zu erkennen, dass alle drei Umsatzarten bei diesem System zusammenwirken, um die Hauptfunktion zu erfüllen. Beim Drehen ist die Hauptfunktion die geforderte Geometrie des Werkstücks durch Relativbewegungen von Werkzeugen zum Werkstück unter Abtrennen von Materialteilchen zu erzeugen. Eine **Drehmaschine** ist eine Werkzeugmaschine zum Herstellen von rotationssymmetrischen Teilen. Sie kann also als Fertigungssystem für Drehteile bezeichnet werden. Für Konstrukteure wird dieses System sofort durchschaubar, wenn sie sich klar machen, welche Funktionen durch die verschiedenen Baugruppen erfüllt werden. Die Baustruktur mit den wesentlichen Elementen ist Bild 2.5 zu entnehmen.

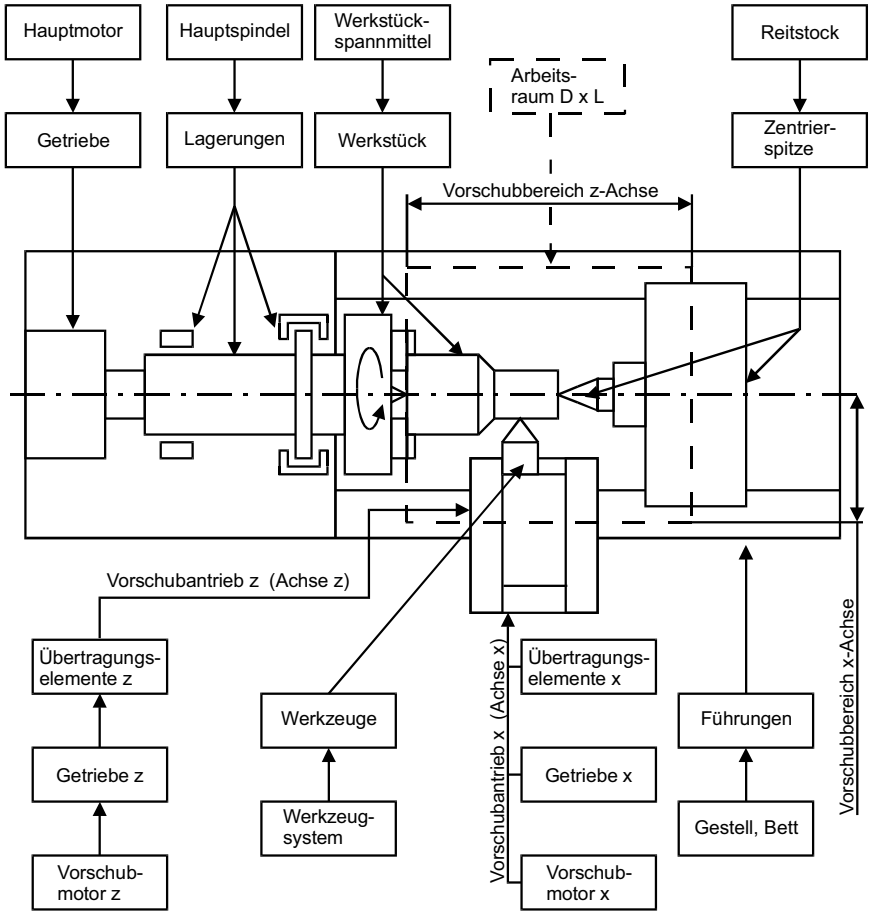


Bild 2.5 Vereinfachte Systemdarstellung einer Drehmaschine

Diese Darstellung deutet schon wichtige Baugruppen, wie z. B. Bettschlitten, Reitstock, Spindelkasten, Antrieb und Bett, als Teilsysteme an, die für die Gesamtfunktion der Drehmaschine vorhanden sein müssen. Alle Teilsysteme sind um den Arbeitsraum $D \times L$ als Kernbereich jeder Drehmaschine angeordnet. Sie können durch systematisches Variieren der Anordnung und Anzahl der Teilsysteme zu einigen abgewandelten Bauformen führen, wie z. B. Futterdrehmaschine, Plandrehmaschine oder Senkrechtdrehmaschine. Die Systemgrenzen wurden nicht eingezeichnet, um die Übersichtlichkeit zu erhalten.

Für das Einspannen der Rohteile ist ein Futter oder eine Planscheibe vorhanden, die vom Dreher mit einem speziellen Werkzeug betätigt wird, um das Rohteil zum Bearbeiten in einer bestimmten Lage zu halten. Ein Reitstock wird eingesetzt für lange oder schwere Wellen, die auf beiden Seiten eingespannt werden müssen. Die Werkzeuge werden als Drehmeißel nach der Form der Oberfläche, nach der Art der Bearbeitung usw. ausgewählt, eingerichtet und deren Schneidenlage gemessen, bevor sie in den Werkzeugträger eingesetzt werden. Durch diese Baugruppen wird der Stoffumsatz realisiert.

Die Steuerung ist erforderlich zur Bedienung der Maschine, zur Programmeingabe und zum Automatikbetrieb. Zur Umsetzung der Steuerungsfunktionen sind entsprechende Komponenten wie Messsysteme, Sensoren und Bedienelemente erforderlich. Durch diese Baugruppen wird der Informationsumsatz realisiert.

Der Antrieb des Werkstücks erfolgt über den Hauptantrieb und ein Getriebe oder einen Spindelmotor bis zur Hauptspindel mit dem Futter. Die Werkzeugbewegungen werden in der Regel durch zwei Vorschubantriebe für den Bettschlitten erzeugt. Alle Baugruppen befinden sich auf einem Drehmaschinenbett, das noch weitere Funktionen erfüllt. Durch diese Baugruppen wird der Energieumsatz realisiert.

Die entsprechende Bedeutung der Umsatzarten an einer CNC-Drehmaschine ist einer Darstellung in Bild 2.6 zu entnehmen. Der Hauptumsatz ist hier der Stoffumsatz, der Rohteile in Fertigteile umwandelt, wobei Späne als Abfall entstehen. Dafür ist ein Energieumsatz erforderlich, damit die elektrische Energie in mechanische Energie zur Drehbearbeitung vorhanden ist.

Die Antriebe der Drehmaschine werden durch Signale gesteuert, die durch die Informationen des NC-Programms vorgegeben werden. Gleichzeitig wird durch das NC-Programm die Drehteilkontur festgelegt.

Ein Vergleich der vereinfachten **Systemdarstellung einer Drehmaschine** in Bild 2.5 mit dem Energie-, Stoff- und Informationsumsatz in Bild 2.6 zeigt die geänderte Beschreibungsform. Statt konkreter Elemente und Baugruppen werden nur noch allgemeine und neutrale Begriffe gewählt. Die Vorgehensweise wird abstrakter, damit aber auch lösungsneutraler.

Diese Darstellung einer Systemanalyse für das Beispiel Drehmaschine wird in den folgenden Abschnitten über die Blackbox-Methode bis auf die Beschreibung der

Funktionen weitergeführt, um den Kern der Aufgabe zu erkennen. Sie hat auch das Ziel zu zeigen, wie durch eine Systemanalyse eine Systemsynthese in der Produktentwicklung zu unterstützen ist.

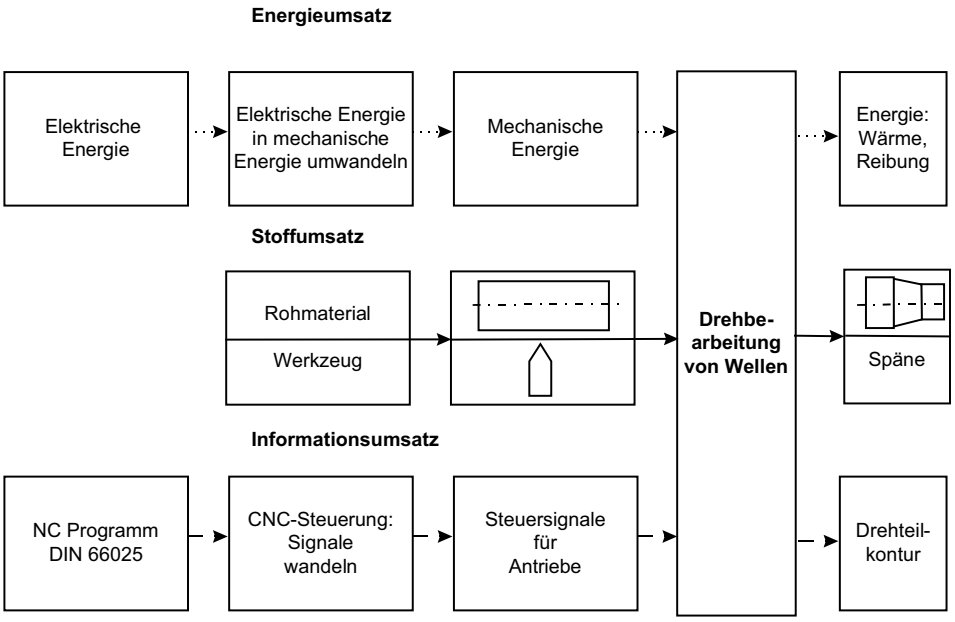


Bild 2.6 Vereinfachter Energie-, Stoff- und Informationsumsatz von Drehmaschinen

2.1.3 Blackbox-Methode

Die abstrakteste Darstellung eines Systems ergibt sich als übergeordnetes System ohne erkennbare Strukturen. Als Eingangs- und Ausgangsgrößen werden nur die drei Grundgrößen Energie, Stoff und Information angegeben. Diese Beschreibung ist immer anwendbar und gilt deshalb für Teile, Gruppen, Produkte, Anlagen usw. Das übergeordnete System wird mit Blackbox bezeichnet, da eine Lösung für das in der Blackbox angegebene System noch nicht bekannt ist. Der Einsatz der grundlegenden Erkenntnisse der Systemtechnik führte zur Entwicklung der Blackbox-Methode, die in Bild 2.7 vorgestellt wird.

Die **Blackbox-Methode** ist die Darstellung des physikalischen Geschehens in Maschinen durch die drei Grundgrößen Energie, Stoff und Information. Es werden nur die Eingangs- und Ausgangsgrößen zur Beschreibung von Vorgängen, Funktionen usw. benutzt, ohne die Lösung zu kennen.

Die verschiedenen Möglichkeiten für die drei Grundgrößen sind beispielhaft unter der Blackbox in Bild 2.7 angegeben. Zu überlegen sind jeweils die vorhandenen Eingangsgrößen und die gewünschten Ausgangsgrößen. Eine vereinfachte Form ist die Blockdarstellung in Bild 2.8, wobei stets die realen Angaben der Konstruktionsaufgabe einzutragen sind.

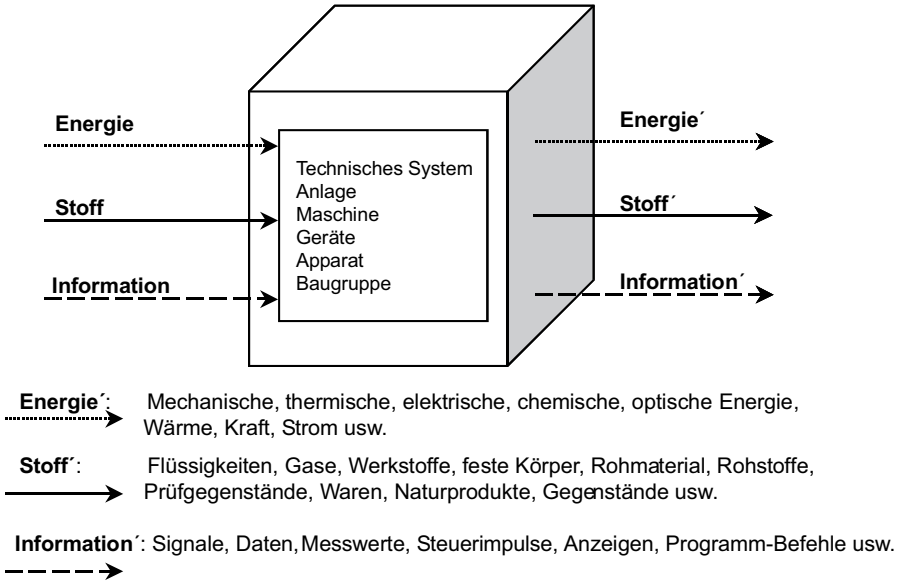


Bild 2.7 Blackbox-Darstellung technischer Systeme

Für das Wort Gesamtfunktion wird dann ein Satz, eine Funktion oder eine klare Bezeichnung eingetragen. Beispiele dafür sind „Pkw-Radbereich heben zum Radwechsel“ „Flasche entkorken“ „Drehbearbeitung von Wellen“. Ebenso sind die drei Grundgrößen Energie, Stoff und Information konkret zu beschreiben, wenn eine Blockdarstellung für eine Aufgabe erstellt wird.

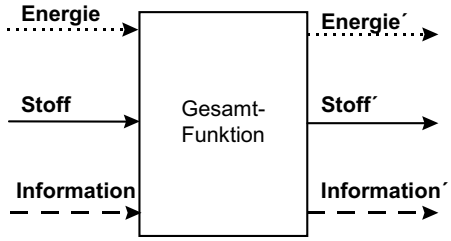


Bild 2.8
Vereinfachte Blackbox-Darstellung

Durch den Umsatz ändern sich die Eingangsgrößen in entsprechende Ausgangsgrößen, deren Bezeichnung dann jeweils angepasst an die Aufgabenstellung gewählt werden, wie z. B. Eingangsdrehmoment und Ausgangsdrehmoment für die Gesamtfunktion Drehmoment wandeln, ohne anzugeben welche Lösung geeignet sein könnte. Funktionen werden in die Blackbox geschrieben oder skizziert. Alle Eingangs- und Ausgangsgrößen sind mit Quantitäts-, Qualitäts- und Kostenangaben so genau wie möglich festzulegen. Für das Beispiel der Systemanalyse einer Drehmaschine enthält das Bild 2.9 eine Blackbox, die allgemein für Werkzeugmaschinen anwendbar ist.

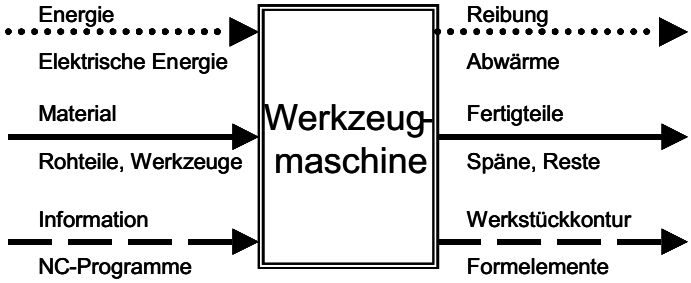


Bild 2.9
Technisches System Werkzeugmaschine als Blackbox

Werkzeugmaschinen sind technische Systeme, die aus Rohteilen durch Anwendung von Fertigungsverfahren Fertigteile herstellen.

2.1.4 Funktionsbeschreibung

Die Beschreibung von Konstruktionsaufgaben wird abhängig von der Denkweise der Mitarbeiter in den verschiedenen Abteilungen unterschiedlich erfolgen. Während Vertriebsmitarbeiter eher zu wortreichen Erklärungen tendieren, sind Konstrukteure stets bemüht, mit wenigen Worten den Kern einer technischen Aufgabe zu beschreiben.

Für technische Aufgaben beschreiben sie die Zusammenhänge zwischen Eingangsgrößen und Ausgangsgrößen, um Lösungen zu suchen. Diese Zusammenhänge sind zur Aufgabenerfüllung erforderlich und sollten eindeutig sein. Zweckmäßig wird das Beschreiben und Lösen konstruktiver Aufgaben durch das Formulieren einer lösungsneutralen Funktion beschrieben, wie z. B. Längsbewegung erzeugen. Funktionsbeschreibungen in der Konstruktion sind Formulierungen der Aufgaben auf einer abstrakten Ebene, die sich als zweckmäßig erwiesen haben. Die Funktion hat in der Konstruktion also eine andere Bedeutung als in der Mathematik.

Der **Funktionsbegriff** in der Konstruktion kann auf verschiedene Weise definiert werden:

- Die Funktion beschreibt den allgemeinen und gewollten Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen. (*Pahl/Beitz*)
- Eine Funktion im Sinne der Konstruktionsmethodik ist die lösungsneutrale Formulierung des gewollten (geplanten, bestimmungsgemäßen) Zwecks eines technischen Gebildes. (*Ehrlenspiel*)
- Unter Funktion soll die vollständige Beschreibung einer Tätigkeit eines bereits vorhandenen oder noch zu konstruierenden technischen Gebildes verstanden werden. (*Koller*)

Zu allen Definitionen gibt es umfangreiche Erläuterungen, die die Bedeutung des Funktionsbegriffs für den Konstrukteur unterstreichen. Allen gemeinsam ist, dass zunächst nicht bekannt ist, durch welche Lösungen eine solche Funktion erfüllt wird. Die Funktion wird damit zu einer Formulierung der Aufgabe auf einer abstrakten und lösungsneutralen Ebene. Funktionsbegriffe in der Konstruktion enthält Bild 2.10.

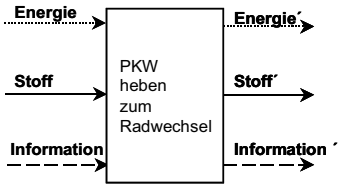
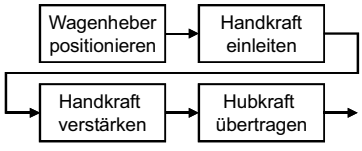
Begriff	Beispiel
Funktion ist die lösungsneutrale Formulierung des Zwecks eines technischen Gebildes. Funktionen sind mit Substantiv und Verb zu beschreiben. Die Darstellung erfolgt als Block mit Ein- und Ausgangsgrößen.	▪ Temperatur messen ▪ Werkstück spannen ▪ Drehmoment übertragen ▪ Drehzahl schalten
Gesamtfunktion beschreibt die Aufgabe und die Umsetzung von Energie, Stoff und Informationen der Eingangsgrößen in Ausgangsgrößen. Die Größen und Eigenschaften am Ein- und Ausgang sind bekannt.	
Teilfunktionen werden formuliert, um Lösungselemente zu finden, die für die Realisierung der Gesamtfunktion erforderlich sind. Die Gesamtaufgabe wird in Teilaufgaben zerlegt, um schrittweise Lösungen zu erarbeiten.	▪ Wagenheber positionieren ▪ Handkraft einteilen ▪ Handkraft verstärken ▪ Hubkraft übertragen
Funktionsstruktur ist die Bezeichnung für die sinnvolle und verträgliche Verknüpfung von Teilfunktion zur Gesamtfunktion. Durch unterschiedliche Reihenfolge und Anordnung der Teilfunktionen ergeben sich Lösungsvarianten.	

Bild 2.10 Funktionsbegriffe in der Konstruktion

Funktionen können den genannten Flüssen des Energie-, Stoff- und Informationsumsatzes zugeordnet werden. Diese Angaben sollten durch die beteiligten physikalischen Größen ergänzt und sind falls erforderlich, genau festzulegen. In den meisten technischen Anwendungen wird es sich stets um die Kombination aller drei Umsatzarten handeln, wobei entweder der Stoff- oder der Energiefluss die Funktionsstruktur maßgebend bestimmt.

Beispiel: Das Bild 2.11 zeigt für die in diesem Abschnitt genannten Regeln und Festlegungen eine **Funktionsbeschreibung** für den Arbeitsraum einer Drehmaschine als Ausgangsbasis für Neuentwicklungen. Dargestellt ist die Systemsynthese mit Gesamtfunktion und den Eingangs- und Ausgangsgrößen sowie den ersten beiden Funktionsstrukturen, die noch weiter zu entwickeln sind. Ausgehend von der Gesamtfunktion mit den Eingangs- und Ausgangsgrößen erfolgt die Aufgliederung in Teilfunktionen in zwei Schritten, wobei auch Systemgrenzen angegeben wurden.

Ist die Gesamtaufgabe ausreichend genau bekannt, d. h., sind alle beteiligten Größen und ihre bestehenden oder geforderten Eigenschaften bezüglich des Ein- und Ausgangs bekannt, kann auch die Gesamtfunktion angegeben werden. Die Funktionsbeschreibung beginnt mit der Formulierung der Gesamtfunktion. Sind mit diesen Angaben Lösungen realisierbar, so folgen die weiteren Schritte der systematischen Entwicklung. Eine Aufteilung der Gesamtfunktion in Teilfunktionen ist erforderlich, um für komplexere Aufgaben Lösungselemente zu finden. Die Gesamtaufgabe wird dadurch in Teilaufgaben zerlegt.

Die Teilfunktionen sind dann sinnvoll und verträglich zu verknüpfen, um die Gesamtfunktion zu erfüllen. Dabei ist es möglich, durch Ändern der Reihenfolge oder der Anordnung unterschiedliche Möglichkeiten zum Erfüllen der Gesamtfunktion zu entwickeln. Die so entstehenden Funktionsstrukturen sind in Form von Blockdarstellungen mit Angabe der Teilfunktion besonders übersichtlich darzustellen.

Beispiel: Bei der Funktionsbeschreibung darf die Abstraktion nicht zu weit getrieben werden, um die Lösungsfindung nicht unnötig zu erschweren. Eine Funktion „Materie leiten“ wäre beispielsweise viel zu allgemein für die Lösungssuche von Elementen für den Transport von Kartons. Die Funktion „Kartons transportieren“ führt den Konstrukteur sofort zu Ideen für Lösungselemente, wie z. B. Sackkarre, Transportband, Rollgang, Wagen oder Hängeförderer.

Mit zunehmender Angabe von immer mehr Teilfunktionen muss sich der Konstrukteur immer intensiver gedanklich mit der zu lösenden Aufgabe auseinandersetzen. Die Grenzen dieser Methode sind dann schnell zu erkennen, insbesondere, wenn es sich um komplexere Aufgaben handelt. Trotzdem gibt es Bereiche in der Entwicklung, die dieses Vorgehen sinnvoll nutzen können. Als weiterer Bereich kann die Lehre genannt werden, da hiermit eine Möglichkeit vorhanden ist, um das notwendige Eindringen in das konstruktive Denken zu fördern.

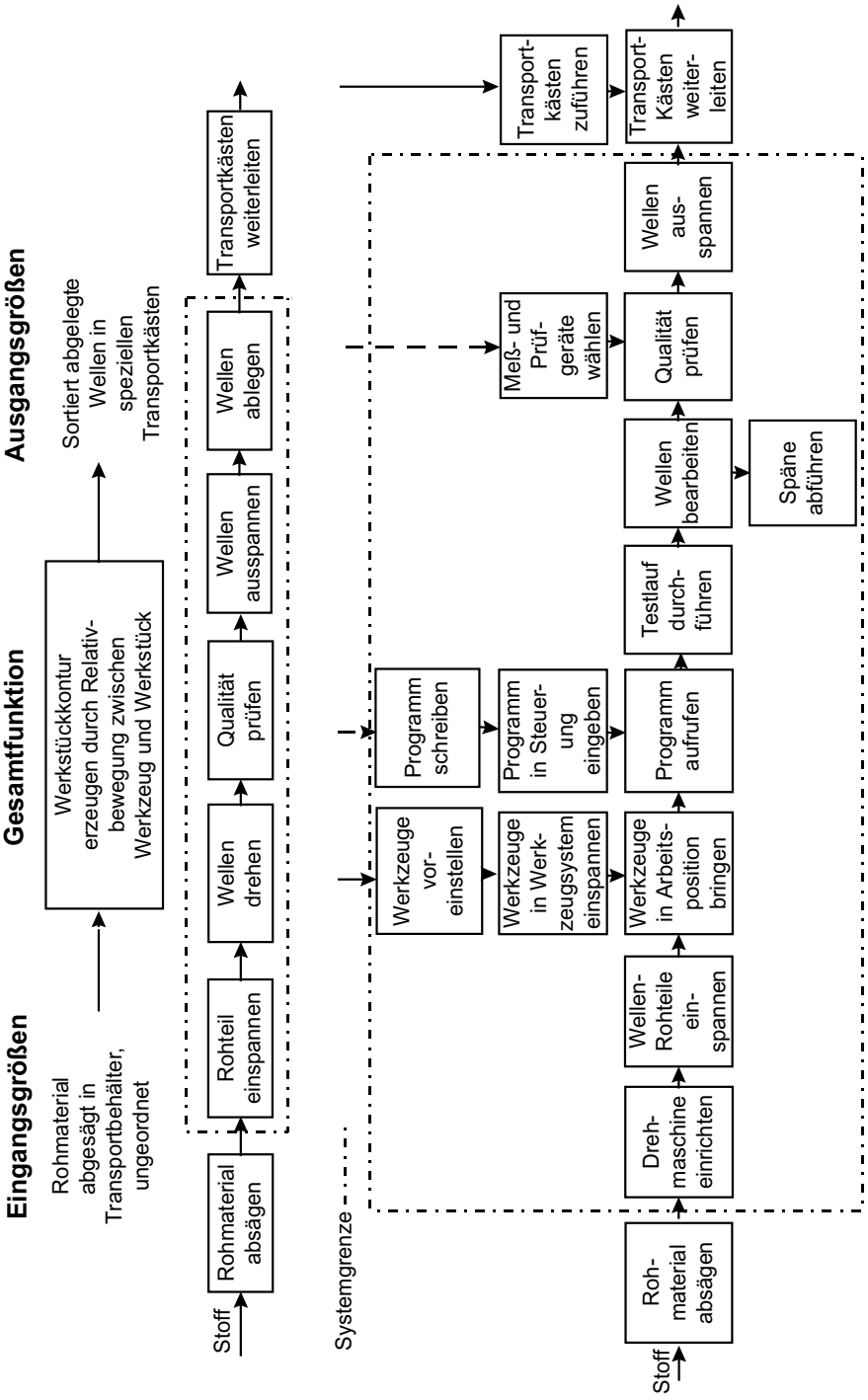


Bild 2.11 Funktionsstruktur für die Drehbearbeitung von Wellen

2.1.5 Wirkprinzipien für Teilfunktionen

Die Festlegung von Teilfunktionen durch Konstrukteure geschieht in der Regel bereits unter Beachtung von physikalischen Gesetzen, stofflichen Eigenschaften und mit gewissen Vorstellungen von den Abmessungen der Teillösungen. Wenn z. B. ein Drehmoment übertragen werden soll, weiß der Konstrukteur aus der Aufgabenstellung auch die technischen Daten wie Größe des Drehmoments und dass die Übertragung von einer Welle auf eine Nabe erfolgen soll. Daraus ergeben sich dann schnell konkrete Prinzipskizzen, die z. B. mit dem Hilfsmittel **Konstruktionskatalog** zu mehreren Lösungskonzepten führen.

Die in Kapitel 5 behandelten Konstruktionskataloge sind inzwischen sehr umfangreich in der Literatur veröffentlicht worden und unterstützen insbesondere das systematische Erarbeiten von Lösungsalternativen.

Die Blackbox-Darstellung mit Angabe der Teilfunktion sowie den Eingangs- und Ausgangsgrößen wird also schrittweise durch einen physikalischen Effekt sowie durch geometrische und stoffliche Merkmale zu einer **Prinziplösung** (Wirkprinzip) entwickelt, Bild 2.12.

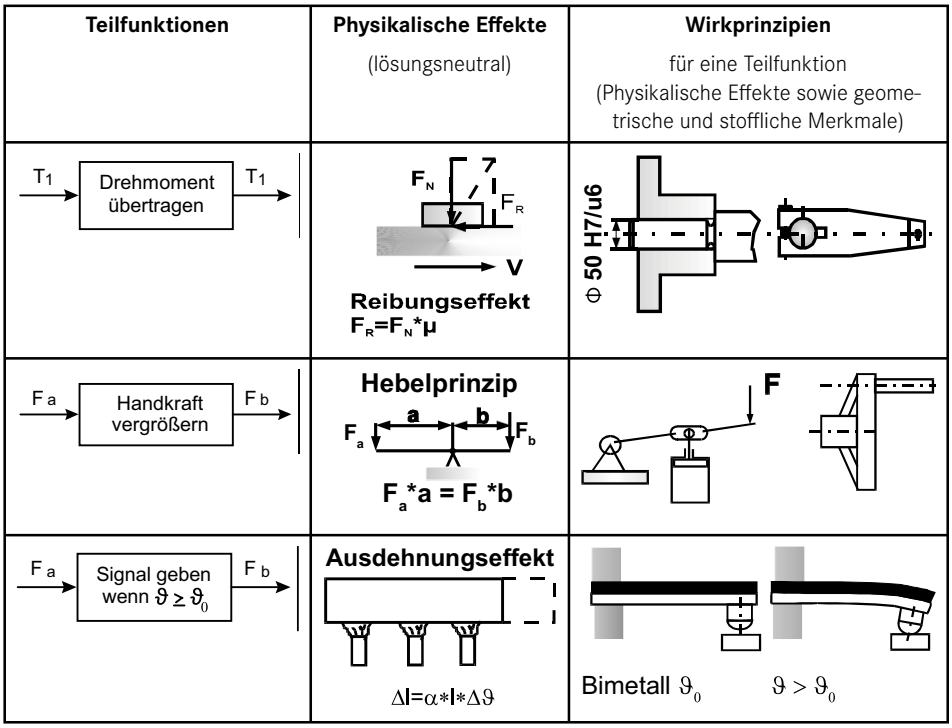


Bild 2.12 Erfüllen von Teilfunktionen durch Wirkprinzipien (nach *Pahl/Beitz*)

Drehmoment übertragen (durch Reibungseffekt)

Kann durch Pressverbindungen oder durch Klemmverbindungen erfolgen. Die stoffliche Ausführung ist skizziert, die Welle als geometrische Form ebenfalls.

Kraft vergrößern (durch Hebelgesetz)

Das Hebelgesetz wird oft angewendet. Die Wahl verschiedener Angriffspunkte für Kräfte und Drehbewegungen sowie der entsprechenden Bewegungen führt zu Handrädern oder dem hier nur als Strichskizze angedeuteten Pumpenhebel.

Signal geben (durch Temperaturänderung über Ausdehnungseffekt)

Die Realisierung erfolgt durch Bimetall, das aus zwei fest miteinander verbundenen Metallschichten besteht. Der Längen-Temperaturkoeffizient ist in beiden Schichten unterschiedlich groß. Das führt bei Temperaturänderungen zu einer Streifenkrümmung, die die Signalübertragung bewirkt.

2.1.6 Entwicklungsschritte technischer Systeme

Die Entwicklung technischer Systeme kann in vier Schritten erfolgen und ist in Bild 2.13 mit einem Beispiel dargestellt:

- Funktionen festlegen durch Funktionsbeschreibung und Funktionsstruktur
- Wirkprinzip festlegen durch physikalische Effekte sowie geometrische und stoffliche Merkmale mit Wirkstruktur
- Baugruppen festlegen durch Verbinden von Bauteilen zu Baugruppen mit Baustruktur
- technisches System festlegen für technische Produkte mit Systemstruktur

Die Funktionsbeschreibung und die Wirkprinzipien von Teilfunktionen wurden bereits erläutert. Die für das Entwickeln von Wirkprinzipien erforderlichen Kenntnisse über physikalische Effekte sowie über stoffliche und geometrische Merkmale sind noch zu erläutern.

Physikalische Effekte beschreiben die durch physikalische Gesetze vorhandene Zuordnung der beteiligten Größen. Da das physikalische Geschehen die Grundlage vieler Lösungen ist, ist für den Einsatz im konstruktiven Bereich eine entsprechende Aufbereitung sehr hilfreich. Insbesondere *Koller* und *Rodenacker* haben hier umfangreiche Vorarbeiten durchgeführt, sodass heute Kataloge aller wichtigen physikalischen Effekte so vorliegen, dass Konstrukteure sie nutzen können.

Teilfunktionen werden oft erst durch Verbinden mehrerer physikalischer Effekte erfüllt, z. B. die Wirkung eines Bimetalls durch den Effekt der thermischen Ausdehnung und durch das Hookesche Gesetz. Außerdem können Teilfunktionen durch unterschiedliche Effekte erfüllt werden, wie z. B. für die Funktion „Kraft vergrößern“.

Stoffliche und geometrische Merkmale sind allgemein bekannt unter den Bezeichnungen Werkstoffe und Gestaltung. Die systematische Gliederung der Werkstoffe führt dann zu den Werkstoffarten und zu den Werkstoffeigenschaften, während bei der Gestaltung der Geometrieelemente überlegt und festgelegt werden müssen:

- die Art der Flächen
- die Form der Flächen
- die Lage der Flächen
- die Größe der Flächen
- die Anzahl der Flächen

Die erforderlichen Bewegungen können ebenfalls systematisch gegliedert werden:

- Bewegungsart (Drehbewegung, Längsbewegung)
- Bewegungsform (gleichförmig, ungleichförmig)
- Bewegungsrichtung (in *x*- oder *z*-Richtung oder um die *z*-Achse)
- Bewegungsbetrag (Geschwindigkeitswert) und
- Bewegungsanzahl (eine oder mehrere Bewegungen)

Für die Flächen und für die Realisierung der erforderlichen Bewegungen muss die Art des Werkstoffes festgelegt werden unter Beachtung der Werkstoffeigenschaften (elastisch, plastisch, Festigkeit, Härte usw.). Eine Vorstellung über die Gestalt wird erst durch die Festlegung der Werkstoffeigenschaften, der Flächeneigenschaften und der Bewegungen erreicht.

Wirkprinzip, Prinziplösung oder Konzept bezeichnet eine erste Darstellung der Überlegungen für die Lösung einer Aufgabe. Es enthält den Zusammenhang von physikalischen Effekten mit geometrischen und stofflichen Merkmalen zur Realisierung der Funktionen.

Für eine erfolgreiche Produktentwicklung ist ein gutes Konzept die wichtigste Voraussetzung. Ohne Konzept scheitern viele gute Ideen, weil wesentliche Zusammenhänge nicht erkannt werden.

Die Gesamtfunktion wird durch die Kombination der Wirkprinzipien der Teilfunktionen zu einer Lösung realisiert. Es sind natürlich auch mehrere unterschiedliche Kombinationen möglich, die als Prinzipkombination bezeichnet werden.

Die Kombination mehrerer Wirkprinzipien für die Teilfunktionen führt zu Lösungsprinzipien für die Gesamtaufgabe. Diese sind aber oft noch zu wenig konkret, um das Prinzip der Lösungen beurteilen zu können. Sie müssen durch überschlägige Rechnungen zur Auslegung und durch grobmaßstäbliche Skizzen zur Untersuchung der Geometrie genauer beschrieben werden. Die entwickelten Lösungsprinzipien für die

Teilfunktionen und deren Anordnung zu einer Gesamtlösung erfordern in der Regel weitere Überlegungen über die Struktur und Anpassung sowie deren zeichnerische Darstellung.

Baugruppen entstehen durch das Zusammenfassen von Bauteilen mit Verbindungselementen entsprechend den Funktionen, die mit anderen Baugruppen und Einzelteilen Bestandteile von Maschinen sind. Bei der Festlegung der Baustruktur, also der Baugruppen für ein Produkt, sind beispielsweise die Konstruktionsaufgaben, die Fertigungsmöglichkeiten, die Montage, die Qualität, die Kosten und die Ergonomie zu beachten. Als Ergebnis entsteht ein Produkt, das sich aus mechanischen, elektrischen und steuerungstechnischen Baugruppen zusammensetzen lässt.

Beispiel: Es wird eine Pinole für ein Reitstockoberteil einer Drehmaschine betrachtet, für die in Bild 2.13 die grundlegenden Entwicklungsschritte dargestellt sind.

Eine Pinole ist eine Rundführung, die eine Zentrierspitze enthält, zur Aufnahme von Kräften dient und in einem festgelegten Bereich verstellbar sein muss. Ausgehend von der Funktion, Drehmoment in Axialkraft umwandeln, erfolgt eine Aufgliederung in Teilfunktionen, die in der Baugruppe realisiert werden müssen. Diese Teilfunktionen sind das Ergebnis weiterer Überlegungen unter Beachtung der Gesamtaufgabe. Deshalb wurde die gleichzeitige Übertragung der Dreh- in eine Längsbewegung berücksichtigt, die durch das Lösungselement Gewindespindel/Mutter realisiert wurde. Dafür sind die physikalischen Effekte angegeben sowie eine vereinfachte Darstellung der Baugruppe Reitstockpinole. Eine Pinole ist eine Rundführung, die häufig in Werkzeugmaschinen eingesetzt wird. In Kombination mit dem Schraubgelenk wird das dann erforderliche Schubgelenk für die Geradführung der Pinole als formschlüssiges Führungselement eingesetzt. Diese Baugruppe gehört zu einer Drehmaschine mit vielen weiteren Komponenten. Als technisches System zum Fertigen von Drehteilen muss es dem Menschen als Bediener angepasst sein und sollte mit allen möglichen Wirkungen die Umgebung nicht negativ beeinflussen.

Technische Systeme sind im allgemeinen Bestandteil eines übergeordneten Systems, z. B. eines Produktionsbetriebes. Dort gibt es neben Drehmaschinen noch viele andere Fertigungseinrichtungen, Mess- und Prüfeinrichtungen sowie Transporteinrichtungen. Zu einem technischen System gehören technische Produkte, Menschen und die Umgebung.

In einem technischen System sind viele Menschen tätig, die auf das technische System im Sinne der Funktionserfüllung einwirken. Sie beeinflussen das System durch Bedienung und/oder Überwachung. Dabei sind sie Wirkungen ausgesetzt, wie z. B. Lärm, Wärme oder Werkstückungenauigkeiten, die nicht gewollt sind und deshalb stören. Außerdem wird das Gesamtsystem auf die Umgebung und auf andere Menschen einwirken. Auch diese Einflüsse und deren Auswirkungen müssen bei der Entwicklung von technischen Systemen beachtet werden.

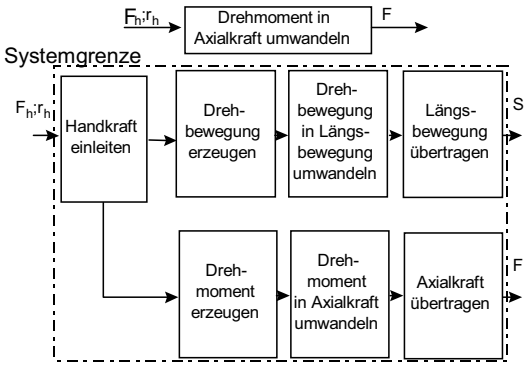
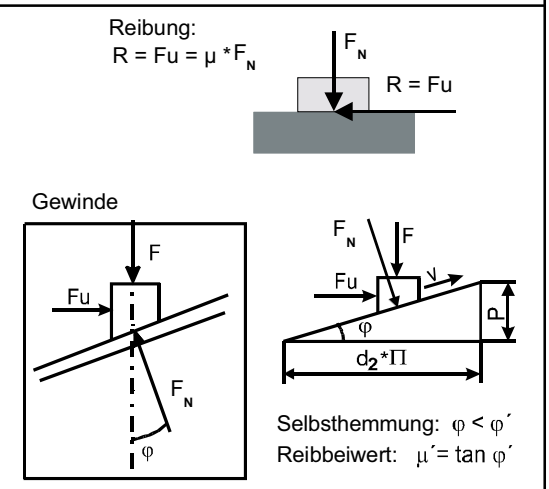
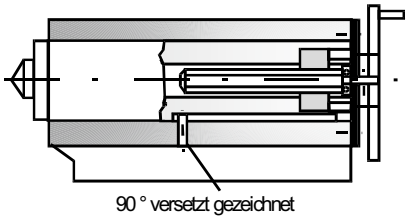
Schritt	Elemente	Struktur	Beispiel
Funktionen festlegen	**Funktionen**	Funk-tions-struktur	
Wirkprinzip festlegen	Physikalische Effekte sowie geometrische und stoffliche Merkmale ergeben **Wirk-prinzipien**	Wirk-struktur	
Baugruppen festlegen	**Bauteile Verbin-dungen Baugruppen**	Bau-struktur	
Technisches System festlegen	**Technische Produkte Mensch Umgebung**	System-struktur	

Bild 2.13 Entwicklungsschritte technischer Systeme (nach *Pahl/Beitz*)

2.2 Grundlegende Arbeitsmethoden

Das **methodische Vorgehen** beim Konstruieren erfolgt nach Regeln und Ansätzen, die allgemein anwendbar und Grundlage bzw. Hilfsmittel für die später behandelten speziellen Methoden in der Konstruktion sind. Die Vorschläge für eine solche Arbeitsmethodik wurden von verschiedenen Fachgebieten entwickelt und gelten in ihren Grundlagen fachübergreifend. Sie werden deshalb auch für Aufgabenstellungen eingesetzt, die nicht ausschließlich konstruktiver Art sind. Außerdem soll eine allgemeine Arbeitsmethodik branchenunabhängig und ohne fachspezifische Vorkenntnisse einsetzbar sein. Nach *Pahl/Beitz* ergibt sich folgender Ablauf.

Arbeitsschritte für das methodische Vorgehen beim Lösen von Aufgaben:

- *Ziele definieren.* Das Gesamtziel und die möglichen Teilziele sind zu nennen und ihre Bedeutung ist zu erläutern.

  (Motivation zur Lösung der Aufgabe und Unterstützung der eigenen Einsicht.)
- *Bedingungen aufzeigen.* Klarstellen von Anfangs- und Randbedingungen.

  (Ungenügende Klärung führt zu Fehlern; Anfang und Grenzen unbedingt definieren)
- *Vorurteile auflösen, beseitigen.* Unvoreingenommenheit herstellen, wozu jeder Beteiligte zunächst grundsätzlich bereit sein muss.

  (Erst dann ist eine breit angelegte Lösungssuche ohne Denkfehler möglich.)
- *Lösungsvarianten suchen.* Aus mehreren Lösungen die günstigste auswählen; Auswahl durch Vergleich.
- *Bewertung durchführen.* Auswählen, Bewerten; objektive und umfassende Kriterien anwenden, um Ziele und gegebene Bedingungen (Anforderungen) zu erfüllen.
- *Entscheidungen fällen.* Bewertung erleichtert Entscheidungen; ohne Entscheidungen ist kein Erkenntnisfortschritt möglich.

Folgende Methoden werden vorgestellt:

- intuitives und diskursives Denken
- Abstrahieren der Aufgabenstellung
- Analyse und Synthese
- allgemein anwendbare Methoden

Diese Methoden dienen dem besseren Verständnis und unterstützen die Konstrukteure insbesondere dann, wenn sie die Eigenheiten, Fähigkeiten und Grenzen der Menschen berücksichtigen, die durch Denken konstruktive Probleme lösen.

Die folgenden grundlegenden Methoden werden in Anlehnung an die ausführlichere Darstellung vorgestellt. Für einen ersten Überblick ist dies ausreichend. Methoden sind stets durch Anwenden zu lernen. Dafür gibt es spezielle Fachbücher, Richtlinien und Veranstaltungen, die bei Bedarf einzusetzen sind.

Intuitives Denken anwenden

Intuitives Denken und Vorgehen vollzieht sich stark einfallsbetont, wobei die Erkenntnis plötzlich in das Bewusstsein fällt und kaum beeinflussbar oder nachvollziehbar ist.

Die Lösung einer Aufgabe entsteht durch Nachdenken und einfallsbetontes Erkennen.

Vorteil: Intuition führt zu guten oder sehr guten Lösungen.

Nachteile rein intuitiver Arbeitsweise:

- Der richtige Einfall kommt selten zum gewünschten Zeitpunkt, denn er kann ja nicht erzwungen oder erarbeitet werden.
- Das Ergebnis hängt stark von Veranlagung und Erfahrung des Bearbeiters ab.
- Es besteht die Gefahr, dass sich Lösungen nur innerhalb eines fachlichen Horizontes des Bearbeiters vor allem durch dessen Vorfixierung einstellen.

Diskursives Denken anwenden

Diskursives Denken ist ein bewusstes Vorgehen, um eine Aufgabe schrittweise zu bearbeiten. Die Lösung entsteht in Teilschritten und ist nachvollziehbar, da die Gedankeninhalte nacheinander dargestellt werden.

Die Arbeitsschritte werden bewusst vollzogen, sind beeinflussbar und mitteilsam, indem die einzelnen Ideen oder Lösungsansätze analysiert, variiert und kombiniert werden. Sie sind durch eine geeignete Dokumentation als Unterlagen vorhanden, können diskutiert und weiterentwickelt werden. Wichtigstes Merkmal dieses Vorgehens ist also, dass eine zu lösende Aufgabe selten sofort in ihrer Gesamtheit angegangen wird, sondern dass diese zunächst in übersehbare Teilaufgaben aufzugliedern ist, um letztere dann leichter schrittweise lösen zu können.

Intuitives und diskursives Arbeiten stellen keinen Gegensatz dar. Die Erfahrung zeigt, dass die Intuition durch diskursives Arbeiten angeregt wird. Es sollte stets angestrebt werden, komplexe Aufgabenstellungen schrittweise zu bearbeiten, wobei es zugelassen bzw. erwünscht ist, Einzelprobleme intuitiv zu lösen. Für ein tieferes Eindringen wäre es erforderlich, bestimmte Eigenheiten des Denkprozesses zu kennen bzw. auszunutzen.

Aufgabe bearbeiten durch Abstrahieren

Abstrahieren heißt Absehen von etwas für die Überlegung Unwesentlichem.

Dieser übergeordnete Zusammenhang ergibt sich in der Regel aus der Analyse aufgrund erkannter Merkmale, die allgemein und damit weitreichend beschrieben werden können. Die wesentlichen Merkmale führen dazu, die in ihnen enthaltenen Lösungen zu suchen und zu finden. Die Abstraktion unterstützt also gleichermaßen kreative als auch systematische Denkvorgänge. Mithilfe der Abstraktion ist es eher möglich, ein Problem so zu definieren, dass es von Zufälligkeiten der Entstehung oder Anwendung befreit wird und damit eine allgemeingültige Lösung ergibt.

Beispiel: Konstruiere keine Schraubverbindung, sondern suche eine zweckmäßige Lösung Platten und Träger zur Kraftübertragung bei definierter Lage zu verbinden.

Aufgabe bearbeiten durch Analyse

Analyse ist in ihrem Wesen Informationsgewinnung durch Zerlegen, Aufgliedern und Untersuchen der Eigenschaften einzelner Elemente und deren Zusammenhänge.

Es geht dabei um Erkennen, Definieren, Strukturieren und Einordnen. Die gewonnenen Informationen werden nach *Pahl/Beitz* zu einer Erkenntnis verarbeitet. Zur eindeutigen und klaren Aufgabenstellung gehört eine Analyse des vorliegenden Problems: Problemanalyse.

Problemanalyse heißt, das Wesentliche vom Unwesentlichen zu trennen und bei komplexeren Aufgabenstellungen durch Aufgliedern einzelne, übersehbare Teilprobleme für eine diskursive Lösungssuche vorzubereiten. Die Problemanalyse ist mit der wichtigste Schritt beim methodischen Arbeiten.

Bei der Lösung von Aufgaben ist eine **Strukturanalyse**, d. h. das Suchen nach strukturellen Zusammenhängen, hilfreich. Es werden z. B. hierarchische Strukturen oder logische Zusammenhänge ermittelt, um mithilfe von Analogiebetrachtungen Gemeinsamkeiten oder auch Wiederholungen zwischen unterschiedlichen Systemen aufzuzeigen.

Die **Schwachstellenanalyse** ist ein weiteres Hilfsmittel. Dieser Ansatz geht davon aus, dass jedes System, also auch ein technisches Produkt, Schwachstellen und Fehler besitzt, die durch Unwissenheit und Denkfehler, durch Störgrößen und Grenzen, die im physikalischen Geschehen selbst liegen, sowie durch fertigungsbedingte Fehler hervorgerufen werden. Konzepte und Entwürfe sind auf Schwachstellen zu analysieren, um Verbesserungen zu finden und unter Umständen Anregungen zu neuen Lösungsprinzipien zu erhalten.

Aufgabe bearbeiten durch Synthese

Synthese bedeutet Zusammenfügung und Verknüpfung einzelner Informationen, Elemente oder Teile zu einem höheren Ganzen durch Bilden von Verbindungen mit insgesamt neuen Wirkungen und das Aufzeigen einer zusammenfassenden Ordnung. Typisch sind das Suchen und Finden sowie das Zusammensetzen und Kombinieren.

Wesentliches Merkmal konstruktiver Tätigkeit ist das Zusammenfügen einzelner Erkenntnisse oder Teillösungen zu einem funktionierenden Gesamtsystem, d. h. das Verknüpfen von Einzelheiten zu einer Einheit. Allgemein ist bei einer Synthese das Ganzheits- oder Systemdenken zu empfehlen. Es bedeutet, dass bei einer Bearbeitung einzelner Teilaufgaben oder bei zeitlich aufeinanderfolgenden Arbeitsschritten immer die Gegebenheiten der Gesamtaufgabe behandelt werden müssen. Dadurch wird verhindert, trotz Optimierung einzelner Baugruppen oder Teilschritte, eine ungünstige Gesamtlösung zu erhalten.

Beispiel: Die Teile Zahnräder, Wellen, Lager, Schmiereinrichtungen, Dichtungen, Gehäuse und Schrauben lassen sich zu Getrieben zusammensetzen und kombinieren.

Aufgabe bearbeiten durch Anwendung allgemeiner Methoden

Grundlage für methodisches Arbeiten sind oft folgende Methoden:

- *Methode des gezielten Fragens.* Fragen stellen, um Intuition anzuregen und den Denkprozess zu fördern. Das kann auch durch Fragenkataloge oder Checklisten erfolgen, die zusätzlich das diskursive Denken unterstützen.
- *Methode der Faktorisierung.* Gesamtproblem in Teilprobleme zerlegen und diese dann lösen. Definierbare einzelne Elemente (Faktoren) sind Bestandteile des Systems. Anwendung: Aufgliedern in Teilfunktionen und Auswählen von geeigneten Lösungselementen unter Beachtung von Unverträglichkeiten beim Kombinieren mithilfe von Funktionsstrukturen.
- *Methode der Negation und Neukonzeption.* Bewusste Umkehrung vorhandener Lösungen oder von Lösungselementen, um neue Möglichkeiten zu finden, z. B. rotierend – stehend, innen – außen, weglassen – hinzufügen.
- *Methode des Systematisierens.* Systematisches Ändern von Lösungselementen, um durch Variation zu mehr Lösungen zu kommen. Beispielsweise können sich durch systematisches Einsetzen verschiedener Verbindungselemente einige neue Erkenntnisse ergeben, die für die Lösungsfindung sinnvoll sind. Das Finden von Lösungen durch Aufbau und Ergänzung einer Ordnung fällt dem Menschen leichter.
- *Methode des Vorwärtsschreitens.* Lösungsansatz wird benutzt, um durch möglichst viele Wege, die von diesem Ansatz wegführen, neue, weitere Lösungen zu finden.

Ein **Beispiel** ist in Bild 2.14 für die Entwicklung von Welle-Nabe-Verbindungen gezeigt. Die Pfeile verweisen auf mögliche Wege der schrittweisen Verbesserung und Entwicklung, rein funktionsorientiert ohne wirtschaftliche Betrachtung.

- *Methode des Rückwärtsschreitens.* Ausgehend von einer Zielsituation wird versucht, rückwärtsschreitend möglichst viele Wege zu finden. Beispiel: Erstellen von Arbeitsplänen und Fertigungssystemen zur Bearbeitung eines fest vorgegebenen Werkstückes in Form einer technischen Zeichnung (Zielsituation). Der Arbeitsvorbereiter muss sich überlegen, aus welchen Rohteilen mit welchen Fertigungs- und Prüfverfahren das gezeichnete Werkstück kostengünstig hergestellt werden kann.

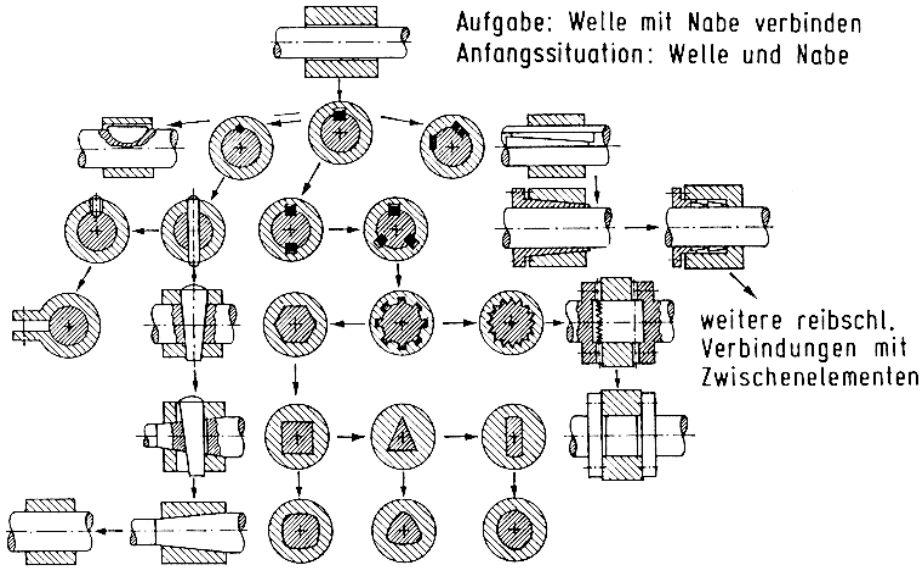


Bild 2.14 Methode des Vorwärtsschreitens für Welle-Nabe-Verbindungen (nach *Pahl/Beitz*)

2.3 Informationsverarbeitung in der Konstruktion

Konstruktionsprozesse beginnen meist mit einer mehr oder weniger umfangreichen Aufgabenstellung über das zu entwickelnde Produkt. Für den Lösungsprozess besteht ein großer Informationsbedarf und es erfolgt eine ständige **Informationsverarbeitung**. Da außerdem in der Konstruktion erfahrungsgemäß ungefähr 75 % der Herstellkosten festgelegt werden, müssen sehr viele Regeln und Erkenntnisse beachtet werden. Dies bezieht sich z. B. auf Werkstoffe, Fertigungsmöglichkeiten, Montage und Qualität. Die Konstruktion benötigt ein **Informationswesen**, wie in Bild 2.15 dargestellt.

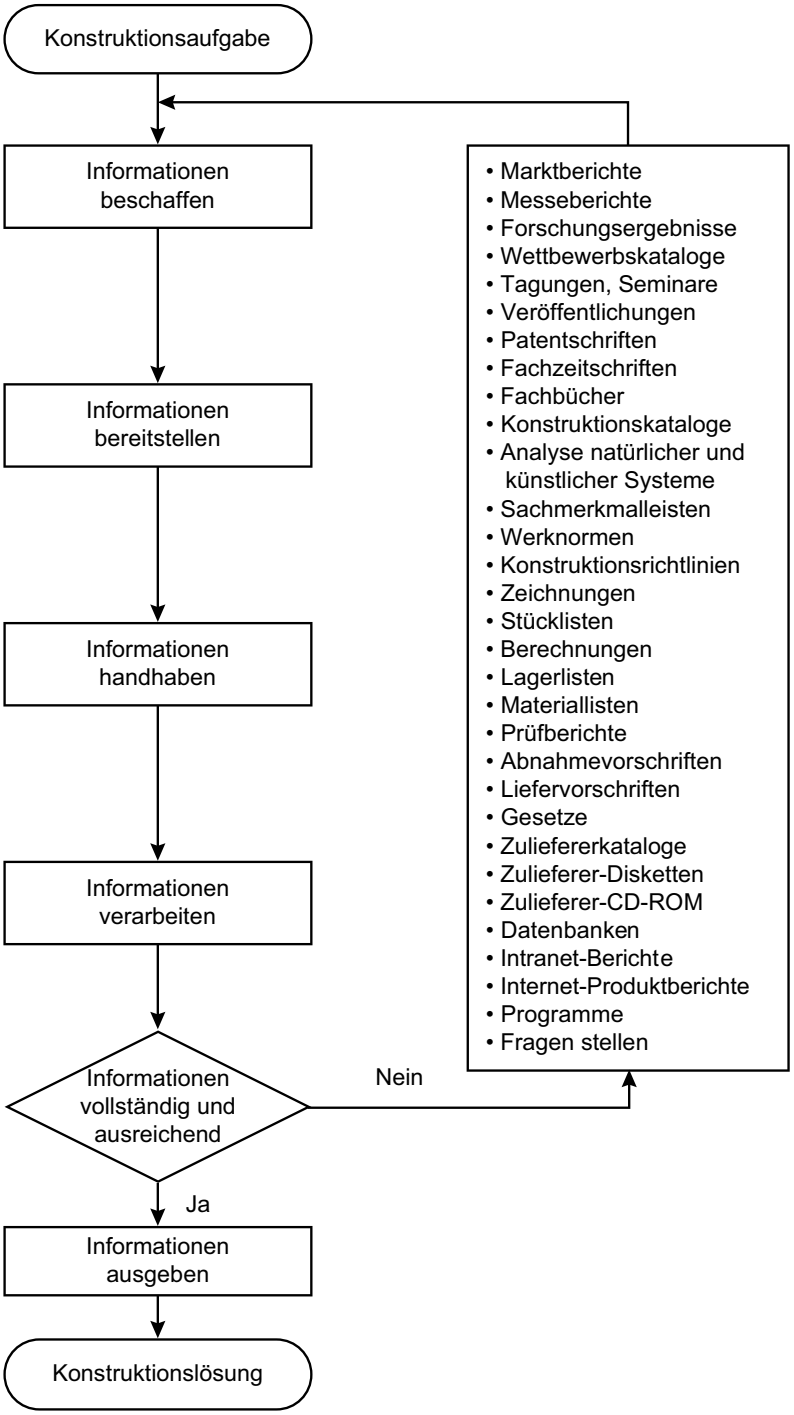


Bild 2.15 Informationsumsatz in der Konstruktion

Die Informationen kommen aus allen Abteilungen des Unternehmens, von Zulieferern, von Kunden, vom Markt, aus Veröffentlichungen usw. und können in folgende Teilaufgaben unterteilt werden.

Teilaufgaben des Informationswesens für die Konstruktion:

- Informationen beschaffen
- Informationen bereitstellen
- Informationen handhaben
- Informationen verarbeiten
- Informationen ausgeben

Die Informationsbeschaffung ist ebenso wie die Bereitstellung und Handhabung von Informationen eine indirekte Konstruktionstätigkeit, die aber bei den vielfältigen Informationsquellen von Konstrukteuren intensiv genutzt werden muss. Das Beschaffen von Informationen umfasst sowohl die Bestellung von Büchern, Patenten, Normen oder Vorschriften als auch die Kenntnisse, die durch das Lesen von Berichten, Zeitschriften oder von Produktkatalogen gewonnen werden. Informationen, die zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort zur Verfügung stehen, erfüllen durch gezieltes Bereitstellen die zweite Aufgabe.

Zur Informationshandhabung gehört das Verwalten, Archivieren und Aktualisieren von Unterlagen, die als Kataloge in gedruckter Form oder auf Speichermedien vorliegen.

Die Informationsverarbeitung und die Informationsausgabe zählen zu den direkten Konstruktionstätigkeiten, da für das Entwerfen, Berechnen, Gestalten und Zeichnen Informationen umgesetzt werden und in Form von Zeichnungen, Stücklisten und Produktbeschreibungen als Ergebnis der Konstruktionstätigkeit vorliegen.

Der Konstruktionsprozess hat sich in den letzten Jahren durch ein sehr breites Angebot an bestehenden Informationen, die aus der ganzen Welt kurzfristig durch moderne Medien beschaffbar sind, gewandelt. Außerdem wird heute weltweit im internationalen Firmenverbund in verschiedenen Ländern am gleichen Projekt gearbeitet. Als weitere Gründe sind die gestiegene Komplexität der Produkte und die erhöhte Verantwortung der Konstrukteure zu nennen, die heute nicht nur vielfältige Umweltvorschriften beachten müssen, sondern auch die Gesetze der Produkthaftung und die stark gestiegenen Qualitätsansprüche der Kunden zu erfüllen haben.

Der **Aufwand für die Informationsbeschaffung** allein nimmt heute schon einen Anteil von 5...15 % der Arbeitszeit der Konstrukteure ein. Wird noch der Zeitaufwand für Kommunikation und Weiterbildung hinzugefügt, so kann fast die halbe Arbeitszeit dafür erforderlich werden. Die Aufgaben des Konstrukteurs haben sich also erheblich verändert.

Als **Arbeitsmethoden der Informationsverarbeitung** sind offene und geschlossene Informationsflüsse bekannt. In der Konstruktion sind alle Informationen für die Ent-