

Klaus-Jörg Conrad

Grundlagen der Konstruktionslehre

Maschinenbau, Strategien, Menschen



8., aktualisierte und erweiterte Auflage

HANSER

Konstruktionsgrundlagen

	Inhaltsverzeichnis	7
1	Konstruktionslehre und Konstruktion	15
2	Grundlagen des systematischen Konstruierens	41
3	Integrierte Produktentwicklung	71
4	Konstruktionsphase Planen	121
5	Konstruktionsphase Konzipieren	157
6	Konstruktionsphase Entwerfen	231
7	Konstruktionsphase Ausarbeiten	331
8	Konstruktion und Kosten	393
9	Rechnerunterstütztes Konstruieren und Digitalisierung	437

Anwendungsübungen

10	Übungsaufgaben	475
	Aufgabenstellungen	475
	Lösungen	503

Orientierung auf Menschen

11	Menschenorientierte Konstruktion	551
----	--	-----

Grundlagenkenntnisse

12	Maschinenelemente	633
----	-------------------------	-----

Literaturverzeichnis

13	Quellen und weiterführende Literatur	653
----	--	-----

	Sachwortverzeichnis	675
--	---------------------------	-----

Klaus-Jörg Conrad

Grundlagen der Konstruktionslehre

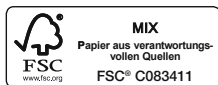
Maschinenbau, Strategien, Menschen

8., aktualisierte und erweiterte Auflage

HANSER

Der Autor:

Prof. Dipl.-Ing. Klaus-Jörg Conrad, Burgdorf



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en, Herausgeber) 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(en, Herausgeber) 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 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 benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, sind vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Schutzvermerke:

Salli® Sattelstühle

Gerontik© : Prof. Klaus-Jörg Conrad

Gerontotechnik® : GGT Deutsche Gesellschaft für Gerontotechnik® mbH Iserlohn

Mindjet®MindManager® : Dagmar Herzog

Mind Maps & Concept Maps: Nückles, Gurlitt, Pabst, Renkl

© 2023 Carl Hanser Verlag München

Internet: www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Natalia Silakova-Herzberg

Herstellung: Frauke Schafft

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Titelbild: © stock.adobe.com/sdecoret

Satz: Eberl & Koesel Studio, Kempten

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

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

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

Vorwort

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

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

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

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

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

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

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

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

Das wesentliche Ziel dieses Buches ist die Vermittlung einer systematischen und methodischen Arbeitsweise in einem Umfang, der es Konstrukteurinnen und Konstrukteuren ermöglicht, einen persönlichen Arbeitsstil zu entwickeln oder zu verbessern. Damit ist es sowohl für Studierende im Ingenieurstudium an Fachhochschulen, Hochschulen und Universitäten, als auch in der Praxis sinnvoll nutzbar. Das Lehrbuch wurde selbstverständlich für Konstrukteurinnen und für Konstrukteure geschrieben. Wegen der Übersichtlichkeit wurden nicht immer 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 aca-tech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung, dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und dem Verband der Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA) veröffentlicht, dafür vielen Dank.

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

Burgdorf, im Januar 2023

Klaus-Jörg Conrad

Inhalt

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

3.10	Ablauf von Ergonomieprozessen	109
3.11	Ueware-Entwicklungsprozess	113
3.12	Kennzahlen Entwicklung und Konstruktion	115
3.12.1	Aufgaben und Tätigkeiten	116
3.12.2	Durchlaufzeiten	117
3.13	Zusammenfassung	119

4 Konstruktionsphase Planen **121**

4.1	Planen der Produkte	122
4.2	Klären der Aufgabenstellung	124
4.3	Anforderungslisten	127
4.3.1	Anforderungsarten	128
4.3.2	Anforderungskataloge	129
4.3.3	Formblatt für Anforderungslisten	135
4.3.4	Aufstellen der Anforderungsliste	136
4.3.5	Ergonomische Anforderungen	141
4.3.6	Designanforderungen	144
4.4	Qualitätssicherung beim Planen	146
4.5	Quality Function Deployment (QFD)	147
4.6	Zusammenfassung	155

5 Konstruktionsphase Konzipieren **157**

5.1	Abstrahieren und Problem formulieren	158
5.2	Funktionsstruktur und Funktionsanalyse	159
5.3	Lösungen finden mit merkmalarientierten Methoden	163
5.3.1	Lösungen finden durch Analogien	164
5.3.2	Lösungen finden durch Variation	165
5.3.3	Lösungen finden durch Kombination	165
5.4	Lösungsprinzipien suchen	166
5.4.1	Analyse von Veröffentlichungen	167
5.4.2	Analyse bekannter technischer Systeme	167
5.4.3	Anregungen durch Analogien	168
5.4.4	Erkenntnisse aus Versuchen	168
5.4.5	Kreativität und Intuition	168
5.4.6	Brainstorming	171
5.4.7	Brainwriting	172
5.4.8	Methode 635	173
5.4.9	Mapping-Techniken	175
5.4.10	Methode Morphologischer Kasten	183
5.4.11	Methode der Ordnenen Gesichtspunkte	188
5.4.12	Methode Konstruktionskatalog-Einsatz	192
5.4.13	Methode Problemlösungsbaum	197
5.5	Konstruieren mit Zulieferkomponenten	198
5.5.1	Zulieferkomponenten und Eigenentwicklungen im Vergleich	199
5.5.2	Produktentwicklung mit Zulieferkomponenten	201
5.5.3	Zulieferorientiertes Konstruieren	203

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

6 Konstruktionsphase Entwerfen 231

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

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

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

9 Rechnerunterstütztes Konstruieren und Digitalisierung 437

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

10 Übungsaufgaben 475

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

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

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

12 Maschinenelemente 633

12.1	Systematik und Einteilung	633
12.2	Informationsblätter Maschinenelemente	634

13 Quellen und weiterführende Literatur 653

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

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

	Sachwortverzeichnis	675
---	----------------------------------	------------

Konstruktionslehre und Konstruktion

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

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



Bild 1.1 Wissensbasis für das Konstruieren

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

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

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

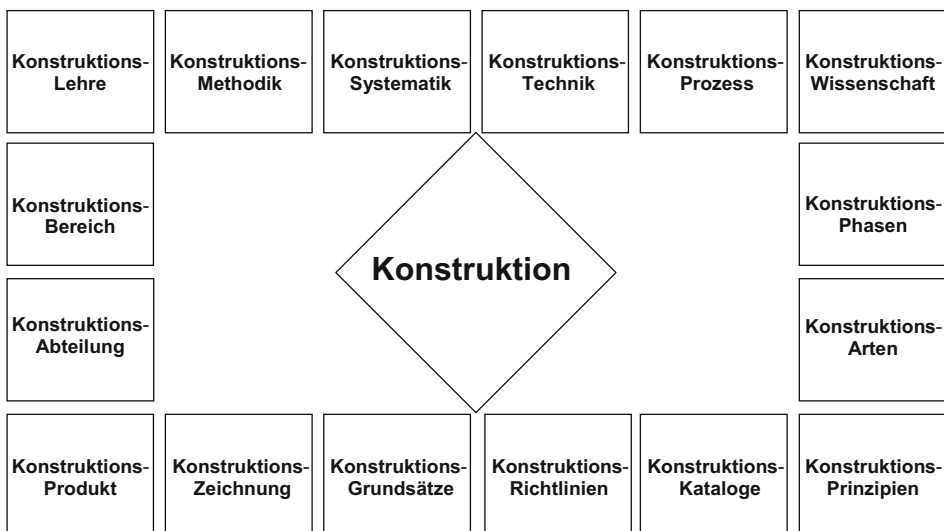


Bild 1.2 Konstruktionsbegriffe

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabelle 1.1 Vergleich von Konstruktionsübungen mit methodischem Konstruieren

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

■ 1.1 Einführung und Erfahrungen

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

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

Erkenntnisse erster eigener Konstruktionsarbeiten bei kritischer Betrachtung:

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

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

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

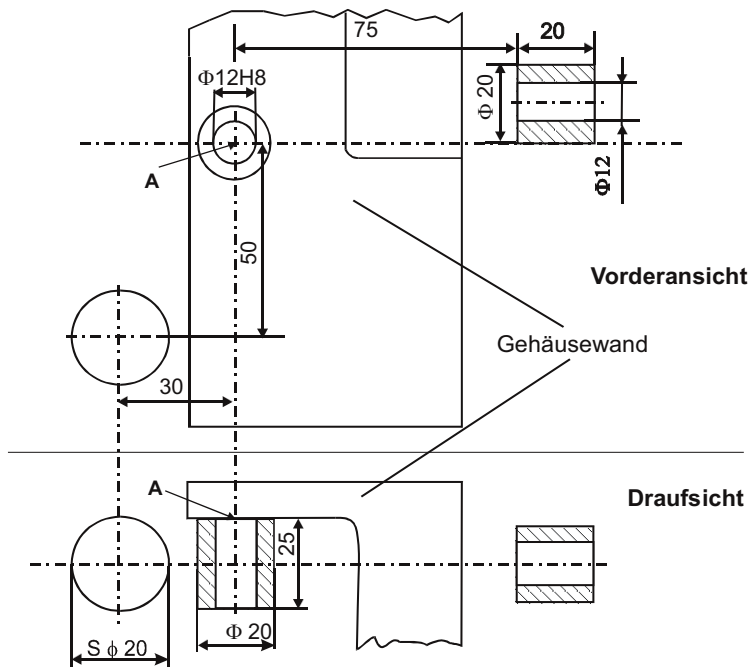


Bild 1.3 Skizze der Aufgabe mit den geometrischen Bedingungen

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

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

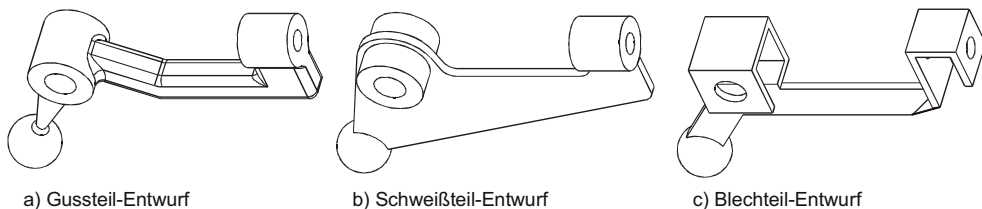


Bild 1.4 Drei Entwürfe mit unterschiedlichen Schwerpunkten

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

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

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

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

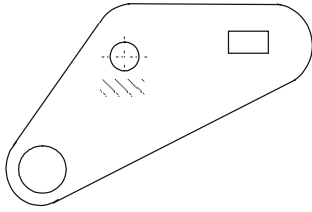


Bild 1.5 Schematische Skizze zur Lösungsfindung

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

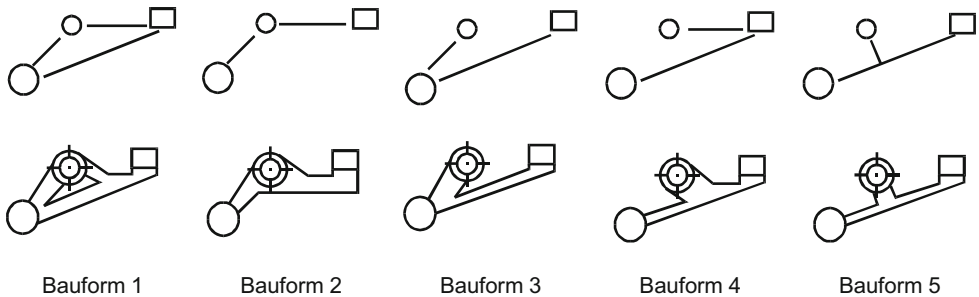


Bild 1.6 Fünf mögliche Bauformen als Strichskizzen und als Bauteile

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

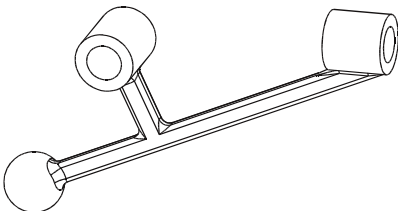


Bild 1.7 Lösungsskizze eines Kunststoffteils

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

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

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

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

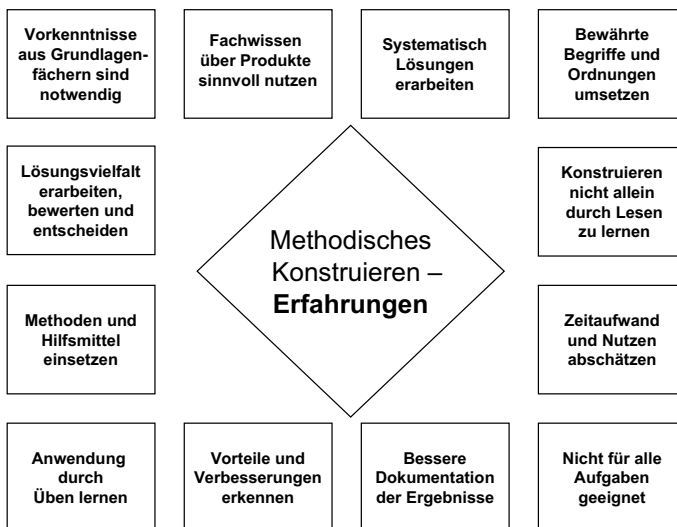


Bild 1.8 Wissensbasis für die Erfahrungen beim methodischen Konstruieren

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

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

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

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

Die Konstruktionslehre benötigt Methoden und Hilfsmittel

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

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

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

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

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

■ 1.2 Konstruktion im Betrieb

Eine **Konstruktion** kann auch heute noch auf verschiedene Weise entstehen. Es gibt immer noch Handwerksbetriebe, in denen ein Meister alle Tätigkeiten durchführt, die von der Anfrage eines Kunden über Konstruktionsvorbereitung, 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).

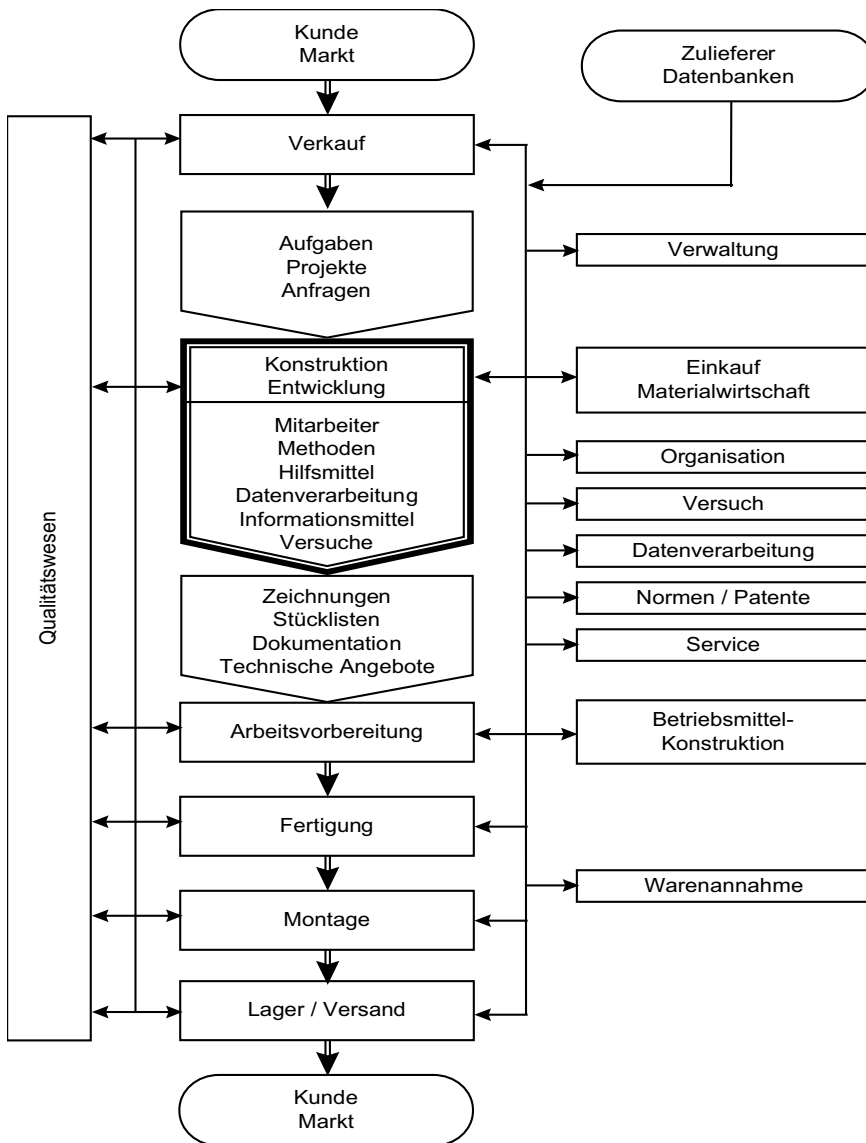


Bild 1.9 Vereinfachte Darstellung der Informationsverbindungen in Unternehmen

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.

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 ergebenden 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.

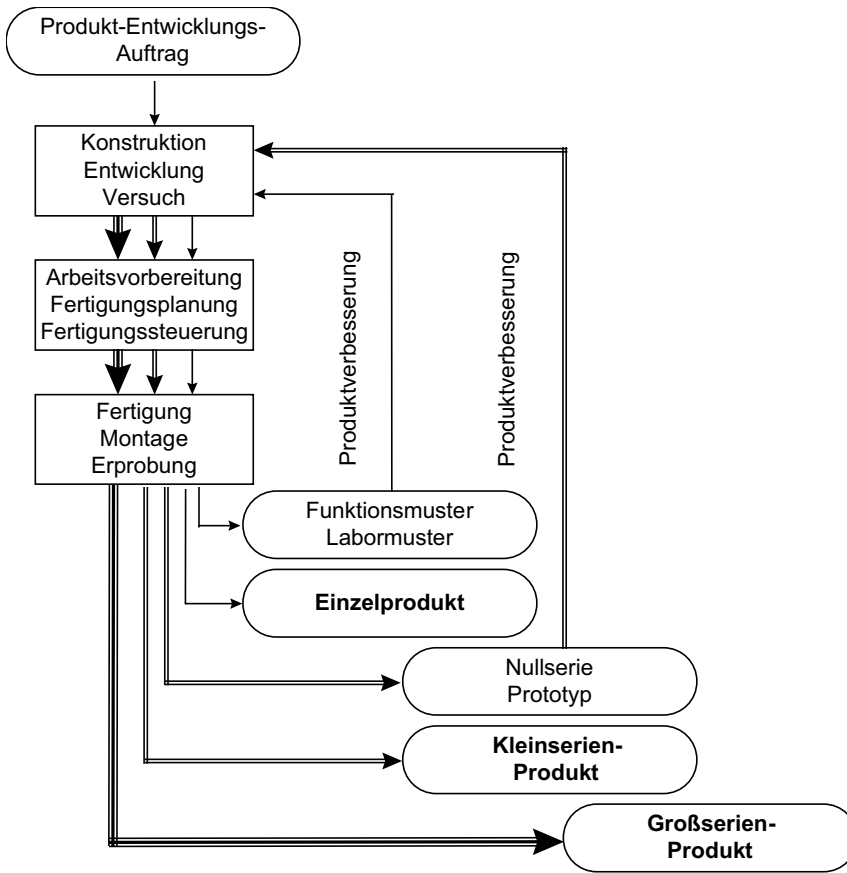


Bild 1.10 Produktarten und Abläufe bei der Produktentwicklung

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/Hilfsmiteileinsatz 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.

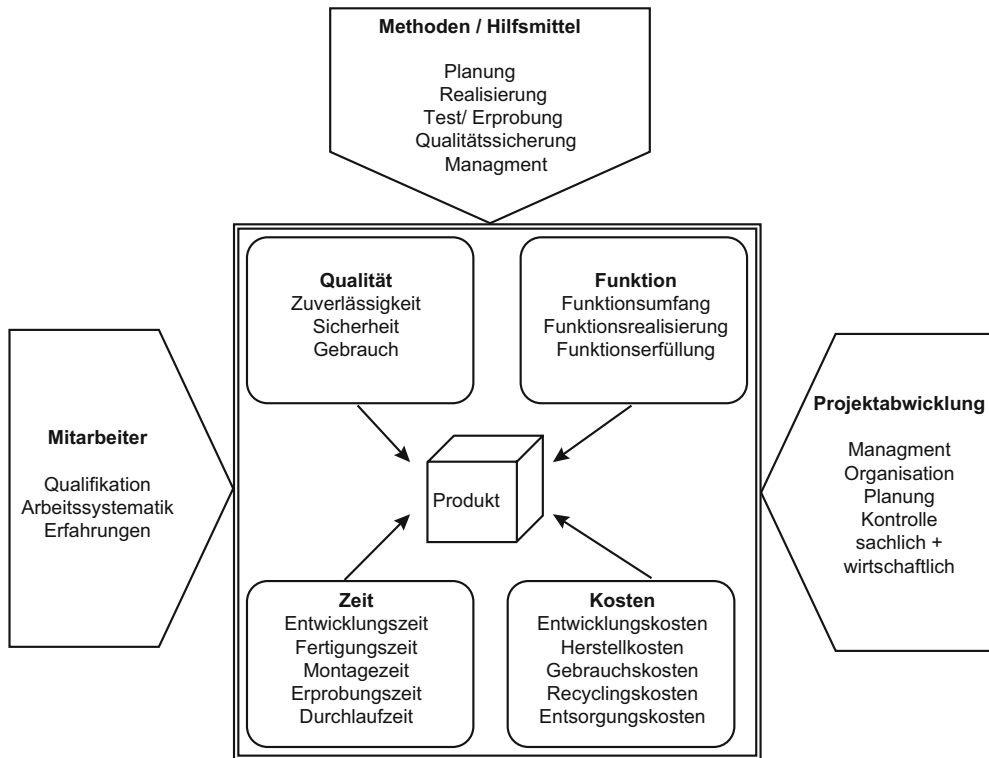


Bild 1.11 Produktentwicklung – Einflussfaktoren und Problemschwerpunkte

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 sind 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.