

Gerhard Pahl · Wolfgang Beitz  
Jörg Feldhusen · Karl-Heinrich Grote

Pahl/Beitz

# Konstruktionslehre

Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung  
Methoden und Anwendung

7. Auflage

Mit 445 Abbildungen

 Springer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Der Entwickler und Konstrukteur	1
1.1.1	Aufgaben und Tätigkeiten	1
1.1.2	Stellung im Unternehmen	6
1.1.3	Künftige Aspekte	8
1.2	Methodisches Vorgehen bei der Produktentwicklung	9
1.2.1	Anforderungen und Bedarf	9
1.2.2	Historische Entwicklung	11
1.2.3	Heutige Methoden	17
	1. Systemtechnik	17
	2. Wertanalyse	19
	3. Konstruktionsmethoden	21
1.3	Zielsetzung vorliegender methodischer Konstruktionslehre	28
	Literatur	29
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>39</b>
2.1	Grundlagen technischer Systeme	39
2.1.1	System, Anlage, Apparat, Maschine, Gerät, Baugruppe, Einzelteil	39
2.1.2	Energie-, Stoff- und Signalumsatz	41
2.1.3	Funktionszusammenhang	44
	1. Aufgabenspezifische Beschreibung	44
	2. Allgemein anwendbare Beschreibung	47
	3. Logische Beschreibung	49
2.1.4	Wirkzusammenhang	51
	1. Physikalische Effekte	52
	2. Geometrische und stoffliche Merkmale	53
2.1.5	Bauzusammenhang	56
2.1.6	Systemzusammenhang	56
2.1.7	Resultierende methodische Leitlinie	57
2.2	Grundlagen methodischen Vorgehens	59
2.2.1	Vorgang des Problemlösens	59
2.2.2	Kennzeichen guter Problemlöser	64
	1. Intelligenz und Kreativität	64
	2. Entscheidungsverhalten	65

2.2.3	Lösungsprozess als Informationsumsatz .....	67
2.2.4	Allgemeine Arbeitsmethodik .....	68
	1. Wahl des zweckmäßigen Denkens .....	69
	2. Individuelle Arbeitsstile .....	70
2.2.5	Allgemein wiederkehrende Methoden .....	74
	1. Analysieren .....	74
	2. Abstrahieren .....	75
	3. Synthese .....	75
	4. Methode des gezielten Fragens .....	76
	5. Methode der Negation und Neukonzeption .....	76
	6. Methode des Vorwärtsschreitens .....	76
	7. Methode des Rückwärtsschreitens .....	77
	8. Methode der Faktorisierung .....	78
	9. Methode des Systematisierens .....	78
	10. Arbeitsteilung und Zusammenarbeit .....	78
2.3	Grundlagen integrierter Rechnerunterstützung .....	79
2.3.1	Der Konstruktionsarbeitsplatz .....	79
2.3.2	Rechnerinterne Beschreibung von Produktmodellen ...	80
	1. Mentale Modelle .....	80
	2. Informationsmodelle .....	82
	3. Produktmodelle .....	86
2.3.3	Datenverwaltung .....	86
	Literatur .....	89

### 3 Methoden zur Produktplanung, Lösungssuche und Beurteilung .....

3.1	Produktplanung .....	93
3.1.1	Neuheitsgrad eines Produkts – Produktinnovation ....	94
3.1.2	Produktlebenszyklus .....	97
	1. Begrifflichkeit .....	97
	2. Produktlebenszyklusmanagement (PLM) .....	99
3.1.3	Unternehmensziele und ihre Auswirkungen .....	102
3.1.4	Durchführung der Produktplanung .....	103
	1. Analysieren der Situation .....	105
	2. Aufstellen von Suchstrategien .....	110
	3. Finden von Produktideen .....	112
	4. Auswählen von Produktideen .....	117
	5. Definieren von Produkten .....	119
	6. Umsetzungsplanung und Entwicklungsauftrag ....	119
	7. Klären und Präzisieren .....	120
3.2	Lösungssuche .....	121
3.2.1	Konventionelle Methoden und Hilfsmittel .....	122
	1. Kollektionsverfahren .....	122
	2. Analyse natürlicher Systeme .....	122
	3. Analyse bekannter technischer Systeme .....	124

4.	Analogiebetrachtungen .....	126
5.	Messungen, Modellversuche .....	126
3.2.2	Intuitiv betonte Methoden .....	127
1.	Brainstorming .....	128
2.	Methode 635 .....	130
3.	Galeriemethode .....	131
4.	Delphi-Methode .....	132
5.	Synektik .....	132
6.	Kombinierte Anwendung .....	134
3.2.3	Theorie des erfinderischen Problemlösens TRIZ .....	134
1.	Einordnung der TRIZ in die Allgemeine Konstruktionsmethodik .....	135
2.	Methoden und Werkzeuge der TRIZ .....	135
3.2.4	Diskursiv betonte Methoden .....	142
1.	Systematische Untersuchung des physikalischen Zusammenhangs .....	142
2.	Systematische Suche mit Hilfe von Ordnungsschemata .....	145
3.	Verwendung von Katalogen .....	150
3.2.5	Methoden zur Lösungskombination .....	156
1.	Systematische Kombination .....	159
2.	Kombinieren mit Hilfe mathematischer Methoden .....	160
3.3	Auswahl- und Bewertungsmethoden .....	162
3.3.1	Auswählen geeigneter Lösungsvarianten .....	162
3.3.2	Bewerten von Lösungsvarianten .....	166
1.	Grundlagen von Bewertungsverfahren .....	166
2.	Vergleich von Bewertungsverfahren .....	181
Literatur .....		183
<b>4</b>	<b>Der Produktentwicklungsprozess .....</b>	<b>189</b>
4.1	Allgemeiner Lösungsprozess .....	189
4.2	Arbeitsfluss beim Entwickeln .....	193
4.2.1	Inhaltliche Planung .....	193
4.2.2	Zeitliche und terminliche Planung .....	200
4.2.3	Kostenplanung des Projekts und des Produkts .....	203
4.3	Effektive Organisationsformen .....	203
4.3.1	Interdisziplinäre Zusammenarbeit .....	203
4.3.2	Führung und Teamverhalten .....	208
Literatur .....		210
<b>5</b>	<b>Methodisches Klären und Präzisieren .....</b>	<b>213</b>
5.1	Bedeutung einer geklärten Aufgabenstellung .....	213
5.2	Erarbeiten der Anforderungsliste .....	214
5.2.1	Inhalt .....	215
5.2.2	Aufbau .....	216

5.2.3	Erkennen und Aufstellen von Anforderungen .....	217
1.	Grundlegende Anforderungen .....	218
2.	Technisch-kundenspezifische Anforderungen .....	219
3.	Attraktivitätsanforderungen .....	219
4.	Ergänzen/Erweitern der Anforderungen .....	219
5.	Festlegen der Forderungen und Wünsche .....	221
5.2.4	Ergänzen/Erweitern der Anforderungen .....	222
5.2.5	Beispiele .....	224
5.3	Anwenden von Anforderungslisten .....	226
5.3.1	Fortschreibung .....	226
1.	Anfangssituation .....	226
2.	Zeitliche Abhängigkeit .....	227
5.3.2	Partielle Anforderungslisten .....	228
5.3.3	Weitere Verwendung .....	228
5.4	Praxis der Anforderungsliste .....	229
	Literatur .....	230
<b>6</b>	<b>Methodisches Konzipieren .....</b>	<b>231</b>
6.1	Arbeitsschritte beim Konzipieren .....	231
6.2	Abstrahieren zum Erkennen der wesentlichen Probleme .....	232
6.2.1	Ziel der Abstraktion .....	232
6.2.2	Systematische Erweiterung der Problemformulierung ..	234
6.2.3	Problem erkennen aus der Anforderungsliste .....	237
6.3	Aufstellen von Funktionsstrukturen .....	242
6.3.1	Gesamtfunktion .....	242
6.3.2	Aufgliedern in Teilfunktionen .....	243
6.3.3	Praxis der Funktionsstruktur .....	252
1.	Falsche Verwendung des Funktionsbegriffs .....	255
6.4	Entwickeln von Wirkstrukturen .....	255
6.4.1	Suche nach Wirkprinzipien .....	255
6.4.2	Kombinieren von Wirkprinzipien .....	259
6.4.3	Auswählen geeigneter Wirkstrukturen .....	261
6.4.4	Praxis der Wirkstruktur .....	263
6.5	Entwickeln von Konzepten .....	265
6.5.1	Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten .....	265
6.5.2	Bewerten von prinzipiellen Lösungsvarianten .....	268
6.5.3	Praxis der Konzeptfindung .....	274
6.6	Beispiele zum Konzipieren .....	275
6.6.1	Eingriff-Mischbatterie für Haushalte .....	276
1.	Hauptarbeitsschritt: Klären der Aufgabenstellung und Erarbeiten der Anforderungsliste .....	276
2.	Hauptarbeitsschritt: Abstrahieren und Erkennen der wesentlichen Probleme .....	276
3.	Hauptarbeitsschritt: Aufstellen der Funktionsstruktur .....	279

4.	Hauptarbeitsschritt: Suche nach Lösungsprinzipien zum Erfüllen von Teilfunktionen .....	279
5.	Hauptarbeitsschritt: Auswählen geeigneter Wirkprinzipien .....	285
6.	Hauptarbeitsschritt: Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten .....	285
7.	Hauptarbeitsschritt: Bewerten der prinzipiellen Lösungen .....	285
8.	Ergebnis .....	285
6.6.2	Prüfstand zum Aufbringen von stoßartigen Lasten ...	288
1.	Hauptarbeitsschritt: Klären der Aufgabe und Erarbeiten der Anforderungsliste .....	288
2.	Hauptarbeitsschritt: Abstrahieren zum Erkennen der wesentlichen Probleme .....	288
3.	Hauptarbeitsschritt: Aufstellen von Funktionsstrukturen .....	291
4.	Hauptarbeitsschritt: Suche nach Lösungsprinzipien zum Erfüllen der Teilfunktionen .....	292
5.	Hauptarbeitsschritt: Kombinieren von Wirkprinzipien zur Wirkstruktur .....	292
6.	Hauptarbeitsschritt: Auswählen geeigneter Varianten .....	295
7.	Hauptarbeitsschritt: Konkretisieren zu Konzeptvarianten .....	295
8.	Hauptarbeitsschritt: Bewerten der Konzeptvarianten .....	302
	Literatur .....	302
7	<b>Methodisches Entwerfen</b> .....	305
7.1	Arbeitsschritte beim Entwerfen .....	305
7.2	Leitlinie beim Gestalten .....	312
7.3	Grundregeln zur Gestaltung .....	314
7.3.1	Eindeutig .....	315
7.3.2	Einfach .....	322
7.3.3	Sicher .....	327
	1. Begriffe, Art und Bereiche der Sicherheitstechnik ..	327
	2. Prinzipien der unmittelbaren Sicherheitstechnik ...	330
	3. Prinzipien der mittelbaren Sicherheitstechnik ....	336
	4. Sicherheitstechnische Auslegung und Kontrolle ....	346
7.4	Gestaltungsprinzipien .....	353
7.4.1	Prinzipien der Kraftleitung .....	354
	1. Kraftfluss und Prinzip der gleichen Gestaltfestigkeit .....	354
	2. Prinzip der direkten und kurzen Kraftleitung ....	355
	3. Prinzip der abgestimmten Verformungen .....	358

	4. Prinzip des Kraftausgleichs .....	362
	5. Praxis der Kraftleitung .....	363
7.4.2	Prinzip der Aufgabenteilung .....	366
	1. Zuordnung der Teilfunktionen .....	366
	2. Aufgabenteilung bei unterschiedlichen Funktionen .....	368
	3. Aufgabenteilung bei gleicher Funktion .....	373
7.4.3	Prinzip der Selbsthilfe .....	376
	1. Begriffe und Definitionen .....	376
	2. Selbstverstärkende Lösungen .....	379
	3. Selbstausgleichende Lösungen .....	383
	4. Selbstschützende Lösungen .....	384
7.4.4	Prinzip der Stabilität und Bistabilität .....	386
	1. Prinzip der Stabilität .....	387
	2. Prinzip der Bistabilität .....	389
7.4.5	Prinzip der fehlerarmen Gestaltung .....	391
7.5	Gestaltungsrichtlinien .....	393
7.5.1	Zuordnung und Übersicht .....	393
7.5.2	Ausdehnungsgerecht .....	394
	1. Erscheinung der Ausdehnung .....	395
	2. Ausdehnung von Bauteilen .....	396
	3. Relativausdehnung zwischen Bauteilen .....	402
7.5.3	Kriech- und relaxationsgerecht .....	408
	1. Werkstoffverhalten unter Temperatur .....	408
	2. Kriechen .....	410
	3. Relaxation .....	411
	4. Konstruktive Maßnahmen .....	414
7.5.4	Korrosionsgerecht .....	416
	1. Ursachen und Erscheinungen .....	416
	2. Korrosion freier Oberflächen .....	417
	3. Berührungsabhängige Korrosion .....	421
	4. Beanspruchungsabhängige Korrosion .....	422
	5. Beispiele korrosionsgerechter Gestaltung .....	426
7.5.5	Verschleißgerecht .....	429
	1. Ursachen und Erscheinungen .....	429
	2. Konstruktive Maßnahmen .....	430
7.5.6	Ergonomiegerecht .....	431
	1. Ergonomische Grundlagen .....	431
	2. Tätigkeiten des Menschen und ergonomische Bedingungen .....	434
	3. Erkennen ergonomischer Anforderungen .....	436
7.5.7	Formgebungsgerecht .....	438
	1. Aufgabe und Zielsetzung .....	438
	2. Formgebungsgerechte Kennzeichen .....	441
	3. Richtlinien zur Formgebung .....	442

7.5.8	Fertigungsgerecht .....	445
1.	Beziehung Konstruktion – Fertigung .....	445
2.	Fertigungsgerechte Baustruktur .....	446
3.	Fertigungsgerechte Gestaltung von Werkstücken ...	453
4.	Fertigungsgerechte Werkstoff- und Halbzeugwahl ..	465
5.	Einsatz von Standard- und Fremtteilen .....	467
6.	Fertigungsgerechte Unterlagen .....	468
7.5.9	Montagegerecht .....	468
1.	Montageoperationen .....	468
2.	Montagegerechte Baustruktur .....	470
3.	Montagegerechte Gestaltung der Fügestellen .....	470
4.	Montagegerechte Gestaltung der Fügeteile .....	473
5.	Leitlinie zur Anwendung und Auswahl .....	473
7.5.10	Instandhaltungsgerecht .....	479
1.	Zielsetzung und Begriffe .....	479
2.	Instandhaltungsgerechte Gestaltung .....	481
7.5.11	Recyclinggerecht .....	483
1.	Zielsetzungen und Begriffe .....	483
2.	Verfahren zum Recycling .....	485
3.	Recyclinggerechte Gestaltung .....	487
4.	Beispiele recyclinggerechter Gestaltung .....	493
5.	Bewerten hinsichtlich Recyclingfähigkeit .....	496
7.5.12	Risikogerecht .....	499
1.	Risikobegegnung .....	499
2.	Beispiele risikogerechter Gestaltung .....	500
7.5.13	Normengerecht .....	505
1.	Zielsetzung der Normung .....	505
2.	Normenarten .....	506
3.	Bereitstellung von Normen .....	508
4.	Normengerechtes Gestalten .....	509
5.	Normen entwickeln .....	510
7.6	Bewerten von Entwürfen .....	513
7.7	Beispiel zum Entwerfen .....	515
	Literatur .....	535
<b>8</b>	<b>Methodisches Ausarbeiten .....</b>	<b>551</b>
8.1	Arbeitsschritte beim methodischen Ausarbeiten .....	551
8.2	Systematik der Fertigungsunterlagen .....	553
8.2.1	Erzeugnisgliederung .....	553
8.2.2	Zeichnungssysteme .....	556
8.2.3	Stücklistensysteme .....	560
8.2.4	Aspekte des Rechneinsatzes .....	566
8.3	Kennzeichnung von Gegenständen .....	569
8.3.1	Nummerungstechnik .....	569
1.	Sachnummernsysteme .....	570



2. Klassifikationsnummernsysteme .....	572
8.3.2 Sachmerkmale .....	573
Literatur .....	579
<b>9 Lösungsfelder .....</b>	<b>581</b>
9.1 Schlussarten bei mechanischen Verbindungen .....	581
9.1.1 Funktionen und generelle Wirkungen .....	582
9.1.2 Stoffschluss .....	583
9.1.3 Formschluss .....	584
9.1.4 Kraftschluss .....	585
1. Reibkraftschluss .....	586
2. Feldkraftschluss .....	587
3. Elastischer Kraftschluss .....	588
9.1.5 Anwendungsrichtlinien .....	588
9.2 Maschinenelemente und Getriebe .....	589
9.3 Antriebe und Steuerungen .....	590
9.3.1 Antriebe, Motoren .....	591
1. Funktionen .....	591
2. Elektrische Antriebe .....	591
3. Fluidische Antriebe .....	593
4. Anwendungsrichtlinien .....	597
9.3.2 Steuerungen .....	598
1. Funktionen und Wirkprinzipien .....	598
2. Mechanische Steuerungsmittel .....	599
3. Fluidische Steuerungsmittel .....	599
4. Elektrische Steuerungsmittel .....	599
5. Speicherprogrammierbare Steuerungen .....	600
6. Numerische Steuerungen .....	600
7. Anwendungsrichtlinien .....	600
9.4 Verbundbauweisen .....	601
9.4.1 Allgemeines .....	601
9.4.2 Anwendungen und Grenzen .....	602
9.4.3 Bauarten .....	603
1. Faserverbundbauweise .....	603
2. Sandwichbauweisen .....	606
3. Hybride Bauweisen .....	607
9.5 Mechatronik .....	608
9.5.1 Allgemeine Struktur und Begriffe .....	608
9.5.2 Ziele und Grenzen .....	609
9.5.3 Entwicklung mechatronischer Lösungen .....	610
9.5.4 Beispiele .....	611
9.6 Adaptronik .....	617
9.6.1 Allgemeines und Begriffe .....	617
9.6.2 Ziele und Grenzen .....	620
9.6.3 Entwicklung adaptronischer Baustrukturen .....	620

9.6.4	Beispiele .....	621
	Literatur .....	623
<b>10</b>	<b>Entwickeln von Baureihen und Baukästen .....</b>	<b>629</b>
10.1	Baureihen .....	629
10.1.1	Ähnlichkeitsgesetze .....	630
10.1.2	Dezimalgeometrische Normzahlreihen .....	633
10.1.3	Darstellung und Größenstufung .....	636
1.	Normzahldiagramm .....	636
2.	Wahl der Größenstufung .....	637
10.1.4	Geometrisch ähnliche Baureihen .....	641
10.1.5	Halbähnliche Baureihen .....	645
1.	Übergeordnete Ähnlichkeitsgesetze .....	647
2.	Übergeordnete Aufgabenstellung .....	649
3.	Übergeordnete wirtschaftliche Forderungen der Fertigung .....	650
4.	Anpassen mit Hilfe von Exponentengleichungen ...	650
5.	Beispiele .....	655
10.1.6	Entwickeln von Baureihen .....	660
10.2	Baukästen .....	662
10.2.1	Baukastensystematik .....	663
10.2.2	Vorgehen beim Entwickeln von Baukästen .....	667
10.2.3	Vorteile und Grenzen von Baukastensystemen .....	678
10.2.4	Beispiele .....	680
10.3	Neuere Rationalisierungsansätze .....	684
10.3.1	Modularisierung und Produktarchitektur .....	684
10.3.2	Plattformbauweise .....	686
	Literatur .....	686
<b>11</b>	<b>Methoden zur qualitätssichernden Produktentwicklung ...</b>	<b>689</b>
11.1	Nutzung methodischen Vorgehens .....	689
11.2	Fehler und Störgrößen .....	693
11.3	Fehlerbaumanalyse .....	694
11.4	Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA) .....	702
11.5	Methode QFD .....	705
	Literatur .....	708
<b>12</b>	<b>Kostenerkennung .....</b>	<b>711</b>
12.1	Beeinflussbare Kosten .....	711
12.2	Grundlagen der Kostenrechnung .....	712
12.3	Methoden der Kostenerkennung .....	716
12.3.1	Vergleichen mit Relativkosten .....	716
12.3.2	Schätzen über Materialkostenanteil .....	722
12.3.3	Schätzen mit Regressionsrechnungen .....	722
12.3.4	Hochrechnen mit Ähnlichkeitsbeziehungen .....	725

1. Grundentwurf als Basis .....	725
2. Operationselement als Basis .....	731
12.3.5 Kostenstrukturen .....	734
12.4 Kostenzielvorgabe .....	737
12.5 Regeln zur Kostenminimierung .....	738
Literatur .....	740
<b>13 Rechnerunterstützung .....</b>	<b>743</b>
13.1 Übersicht .....	743
13.2 Ausgewählte Beispiele .....	749
1. Durchgängige Rechnerunterstützung .....	749
2. Programme für Einzelaufgaben .....	749
3. Sonstige CAD-Anwendungen .....	755
13.3 Arbeitstechnik mit CAD-Systemen .....	756
13.3.1 Erzeugen eines Produktmodells .....	756
1. Notwendige Partialmodelle .....	757
2. Arbeitstechnik beim Konzipieren .....	760
3. Arbeitstechnik beim Entwerfen .....	761
4. Generelle Modellierungsstrategie .....	762
13.3.2 Beispiele .....	763
13.4 Möglichkeiten und Grenzen der CAD-Technik .....	764
13.5 CAD-Einführung .....	765
13.6 Produktdatenmanagementsysteme (PDMS) .....	766
Literatur .....	771
<b>14 Übersicht und verwendete Begriffe .....</b>	<b>775</b>
14.1 Einsatz der Methoden .....	775
14.2 Erfahrungen in der Praxis .....	780
14.3 Verwendete Begriffe .....	782
Literatur .....	786
<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>787</b>