

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

1	Einführung	1
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
1.2.3.1	Systemtechnik	17
1.2.3.2	Wertanalyse	19
1.2.3.3	Konstruktionsmethoden	21
1.3	Zielsetzung vorliegender methodischer Konstruktionslehre	28
	Literatur	29
2	Grundlagen	39
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
2.1.3.1	Aufgabenspezifische Beschreibung	44
2.1.3.2	Allgemein anwendbare Beschreibung	47
2.1.3.3	Logische Beschreibung	49
2.1.4	Wirkzusammenhang	51
2.1.4.1	Physikalische Effekte	52
2.1.4.2	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
2.2.2.1	Intelligenz und Kreativität	64
2.2.2.2	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	93
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 erforderlichen 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	
4	Der Produktentwicklungsprozess	189
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	
5	Methodisches Klären und Präzisieren	213
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
6	Methodisches Konzipieren	231
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	Methodisches Entwerfen	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 Baustuktur	446
3.	Fertigungsgerechte Gestaltung von Werkstücken	453
4.	Fertigungsgerechte Werkstoff- und Halbzeugwahl	465
5.	Einsatz von Standard- und Fremdteilen	467
6.	Fertigungsgerechte Unterlagen	468
7.5.9	Montagegerecht	468
1.	Montageoperationen	468
2.	Montagegerechte Baustuktur	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
8	Methodisches Ausarbeiten	551
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 Rechnereinsatzes	566
8.3	Kennzeichnung von Gegenständen	569
8.3.1	Nummerungstechnik	569
1.	Sachnummernsysteme	570

XVIII Inhaltsverzeichnis

2.	Klassifikationsnummernsysteme	572
8.3.2	Sachmerkmale	573
Literatur		579
9	Lösungsfelder	581
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 adaptiver Baustrukturen	620

9.6.4 Beispiele	621
Literatur	623
10 Entwickeln von Baureihen und Baukästen	629
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
11 Methoden zur qualitätssichernden Produktentwicklung ..	689
11.1 Nutzung methodischen Vorgehens	689
11.2 Fehler und Störgrößen	693
11.3 Fehlerbaumanalyse	694
11.4 Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA)	702
11.5 Methode QFD	705
Literatur	708
12 Kostenerkennung	711
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
13 Rechnerunterstützung	743
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
14 Übersicht und verwendete Begriffe	775
14.1 Einsatz der Methoden	775
14.2 Erfahrungen in der Praxis	780
14.3 Verwendete Begriffe	782
Literatur	786
Sachverzeichnis	787