

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

Pahl/Beitz

Konstruktion

Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung
Methoden und Anwendung

6. 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	12
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	37
2.1 Grundlagen technischer Systeme	37
2.1.1 System, Anlage, Apparat, Maschine, Gerät, Baugruppe, Einzelteil	37
2.1.2 Energie-, Stoff- und Signalumsatz	39
2.1.3 Funktionszusammenhang	42
2.1.3.1 Aufgabenspezifische Beschreibung	42
2.1.3.2 Allgemein anwendbare Beschreibung	45
2.1.3.3 Logische Beschreibung	46
2.1.4 Wirkzusammenhang	49
2.1.4.1 Physikalische Effekte	50
2.1.4.2 Geometrische und stoffliche Merkmale	51
2.1.5 Bauzusammenhang	53
2.1.6 Systemzusammenhang	53
2.1.7 Resultierende methodische Leitlinie	55
2.2 Grundlagen methodischen Vorgehens	57
2.2.1 Vorgang des Problemlösens	57
2.2.2 Kennzeichen guter Problemlöser	62
2.2.2.1 Intelligenz und Kreativität	62
2.2.2.2 Entscheidungsverhalten	63

2.2.3	Lösungsprozess als Informationsumsatz	65
2.2.4	Allgemeine Arbeitsmethodik	66
1.	Wahl des zweckmäßigen Denkens	67
2.	Individuelle Arbeitsstile	68
2.2.5	Allgemein wiederkehrende Methoden	72
1.	Analysieren	72
2.	Abstrahieren	73
3.	Synthese	73
4.	Methode des gezielten Fragens	74
5.	Methode der Negation und Neukonzeption	74
6.	Methode des Vorwärtsschreitens	75
7.	Methode des Rückwärtsschreitens	75
8.	Methode der Faktorisierung	76
9.	Methode des Systematisierens	76
10.	Arbeitsteilung und Zusammenarbeit	77
2.3	Grundlagen integrierter Rechnerunterstützung	77
2.3.1	Der Konstruktionsarbeitsplatz	78
2.3.2	Rechnerinterne Beschreibung von Produktmodellen	79
1.	Mentale Modelle	79
2.	Informationsmodelle	80
3.	Produktmodelle	84
2.3.3	Datenverwaltung	84
Literatur:		87
3	Methoden zur Produktplanung, Lösungssuche und Beurteilung	90
3.1	Produktplanung	90
3.1.1	Neuheitsgrad eines Produkts (Innovation).	91
3.1.2	Produktlebenszyklus	92
3.1.3	Unternehmensziele und ihre Auswirkungen	92
3.1.4	Durchführung der Produktplanung	93
1.	Aufgabe und Vorgehen	93
2.	Analysieren der Situation	96
3.	Aufstellen von Suchstrategien	98
4.	Finden von Produktideen	101
5.	Auswählen von Produktideen	103
6.	Definieren von Produkten	103
7.	Praxis der Produktplanung	104
3.2	Lösungssuche	106
3.2.1	Konventionelle Methoden und Hilfsmittel	107
1.	Kollektionsverfahren	107
2.	Analyse natürlicher Systeme	107
3.	Analyse bekannter technischer Systeme	109
4.	Analogiebetrachtungen	111
5.	Messungen, Modellversuche	111
3.2.2	Intuitiv betonte Methoden	112

1. Brainstorming	.113
2. Methode 635.	.115
3. Galeriemethode	.116
4. Delphi-Methode.	.117
5. Synektik	.117
6. Kombinierte Anwendung.	.119
3.2.3 Diskursiv betonte Methoden.	.120
1. Systematische Untersuchung des physikalischen Zusammenhangs.	.120
2. Systematische Suche mit Hilfe von Ordnungsschemata	.122
3. Verwendung von Katalogen	.129
3.2.4 Methoden zur Lösungskombination.	.136
1. Systematische Kombination.	.136
2. Kombinieren mit Hilfe mathematischer Methoden	.138
3.3 Auswahl- und Bewertungsmethoden.	.139
3.3.1 Auswählen geeigneter Lösungsvarianten.	.139
3.3.2 Bewerten von Lösungsvarianten.	.143
1. Grundlagen von Bewertungsverfahren.	.143
2. Vergleich von Bewertungsverfahren.	.158
Literatur.	.160
4 Der Produktentwicklungsprozess.	.164
4.1 Allgemeiner Lösungsprozess.	.164
4.2 Arbeitsfluss beim Entwickeln	.168
4.2.1 Inhaltliche Planung	.168
4.2.2 Zeitliche und terminliche Planung	: 175
4.2.3 Kostenplanung des Projekts des Produkts.	.176
4.3 Effektive Organisationsformen.	.180
4.3.1 Interdisziplinäre Zusammenarbeit	.180
4.3.2 Führung und Teamverhalten.	.184
Literatur.	.185
5 Methodisches Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung.	.187
5.1 Bedeutung einer geklärten Aufgabenstellung ;	.187
5.2 Erarbeiten der Anforderungsliste	.188
5.2.1 Inhalt	.189
5.2.2 Aufbau	.190
5.2.3 Erkennen und Aufstellen von Anforderungen	.191
1. Grundlegende Anforderungen	.192
2. Technisch-kundenspezifische Anforderungen.	.193
3. Attraktivitätsanforderungen.	.193
4. Ergänzen/Erweitern der Anforderungen.	.193
5. Festlegen der Forderungen und Wünsche.	.195
5.2.4 Beispiele.	.196
5.3 Anwenden von Anforderungslisten	.198

5.3.1 Fortschreibung	198
1. Anfangssituation	198
2. Zeitliche Abhängigkeit	199
5.3.2 Partielle Anforderungslisten	200
5.3.3 Weitere Verwendung	200
5.4 Praxis der Anforderungsliste	201
Literatur	202
6 Methodisches Konzipieren	203
6.1 Arbeitsschritte beim Konzipieren	203
6.2 Abstrahieren zum Erkennen der wesentlichen Probleme	204
6.2.1 Ziel der Abstraktion	204
6.2.2 Systematische Erweiterung der Problemformulierung	206
6.2.3 Problem erkennen aus der Anforderungsliste	209
6.3 Aufstellen von Funktionsstrukturen	214
6.3.1 Gesamtfunktion	214
6.3.2 Aufgliedern in Teilfunktionen	215
6.3.3 Praxis der Funktionsstruktur	224
6.4 Entwickeln von Wirkstrukturen	227
6.4.1 Suche nach Wirkprinzipien	227
6.4.2 Kombinieren von Wirkprinzipien	230
6.4.3 Auswählen geeigneter Wirkstrukturen	233
6.4.4 Praxis der Wirkstruktur	236
6.5 Entwickeln von Konzepten	237
6.5.1 Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten	237
6.5.2 Bewerten von prinzipiellen Lösungsvarianten	240
6.5.3 Praxis der Konzeptfindung	246
6.6 Beispiele zum Konzipieren	247
6.6.1 Eingriff-Mischbatterie für Haushalte	248
6.6.2 Prüfstand zum Aufbringen von stoßartiger Lasten	260
Literatur	274
7 Methodisches Entwerfen	276
7.1 Arbeitsschritte beim Entwerfen	276
7.2 Leitlinie beim Gestalten	283
7.3 Grundregeln zur Gestaltung	285
7.3.1 Eindeutig	286
7.3.2 Einfach	293
7.3.3 Sicher	298
1. Begriffe, Art und Bereiche der Sicherheitstechnik	298
2. Prinzipien der unmittelbaren Sicherheitstechnik	302
3. Prinzipien der mittelbaren Sicherheitstechnik	307
4. Sicherheitstechnische Auslegung und Kontrolle	318
7.4 Gestaltungsprinzipien	324
7.4.1 Prinzipien der Kraftleitung	326

1. Kraftfluss und Prinzip der gleichen Gestaltfestigkeit . . .	326
2. Prinzip der direkten und kurzen Kraftleitung	327
3. Prinzip der abgestimmten Verformungen	329
4. Prinzip des Kraftausgleichs.	334
5. Praxis der Kraftleitung	335
7.4.2 Prinzip der Aufgabenteilung	338
1. Zuordnung der Teilfunktionen.	338
2. Aufgabenteilung bei unterschiedlichen Funktionen	340
3. Aufgabenteilung bei gleicher Funktion.	344
7.4.3 Prinzip der Selbsthilfe	348
1. Begriffe und Definitionen.	348
2. Selbstverstärkende Lösungen.	351
3. Selbstaussgleichende Lösungen.	355
4. Selbstschützende Lösungen.	357
7.4.4 Prinzip der Stabilität und Bistabilität	359
1. Prinzip der Stabilität	359
2. Prinzip der Bistabilität	361
7.4.5 Prinzip der fehlerarmen Gestaltung	364
7.5 Gestaltungsrichtlinien.	366
7.5.1 Zuordnung und Übersicht	366
7.5.2 Ausdehnungsgerecht	367
1. Erscheinung der Ausdehnung	367
2. Ausdehnung von Bauteilen.	368
3. Relativausdehnung zwischen Bauteilen.	374
7.5.3 Kriech- und relaxationsgerecht	381
1. Werkstoffverhalten unter Temperatur.	381
2. Kriechen 1	381
3. Relaxation	384
4. Konstruktive Maßnahmen.	386
7.5.4 Korrosionsgerecht	388
1. Ursachen und Erscheinungen	389
2. Korrosion freier Oberflächen.	389
3. Berührungsabhängige Korrosion.	394
4. Beanspruchungsabhängige Korrosion.	395
5. Beispiele korrosionsgerechter Gestaltung.	399
7.5.5 Verschleißgerecht	402
1. Ursachen und Erscheinungen	402
2. Konstruktive Maßnahmen.	403
7.5.6 Ergonomiegerecht	404
1. Ergonomische Grundlagen	404
2. Tätigkeiten des Menschen und ergonomische Bedingungen	407
3. Erkennen ergonomischer Anforderungen.	409
7.5.7 Formgebungsgerecht	411
1. Aufgabe und Zielsetzung	411

2. Formgebungsrechte Kennzeichen	414
3. Richtlinien zur Formgebung	415
7.5.8 Fertigungsgerecht	418
1. Beziehung Konstruktion - Fertigung	418
2. Fertigungsgerechte Baustruktur.	419
3. Fertigungsgerechte Gestaltung von Werkstücken	426
4. Fertigungsgerechte Werkstoff- und Halbzeugwahl	437
5. Einsatz von Standard- und Fremdteilen.	440
6. Fertigungsgerechte Fertigungsunterlagen	441
7.5.9 Montagegerecht	441
1. Montageoperationen.	441
2/ Montagegerechte Baustruktur.	443
3. Montagegerechte Gestaltung der Fügestellen	446
4. Montagegerechte Gestaltung der Fügeteile.	446
5. Leitlinie zur Anwendung und Auswahl	446
7.5.10 Instandhaltungsgerecht	452
1. Zielsetzung und Begriffe.	452
2. Instandhaltungsgerechte Gestaltung	454
7.5.11 Recyclinggerecht	456
1. Zielsetzungen und Begriffe.	456
2. Verfahren zum Recycling	458
3. Recyclinggerechte Gestaltung	460
4. Beispiele recyclinggerechter Gestaltung	466
5. Bewerten hinsichtlich Recyclingfähigkeit	469
7.5.12 Risikogerecht	472
1. Risikobegegnung	472
2. Beispiele risikogerechter Gestaltung	473
7.5.13 Normengerecht	479
1. Zielsetzung der Normung	479
2. Normenarten	480
3. Bereitstellung von Normen	482
4. Normengerechtes Gestalten.	482
5. Normen entwickeln	484
7.6 Bewerten von Entwürfen.	487
7.7 Beispiel zum Entwerfen.	489
Literatur.	509
8 Methodisches Ausarbeiten.	522
8.1 Arbeitsschritte beim methodischen Ausarbeiten	522
8.2 Systematik der Fertigungsunterlagen	524
8.2.1 Erzeugnisgliederung	524
8.2.2 Zeichnungssysteme.	527
8.2.3 Stücklistensysteme.	531
8.2.4 Aspekte des Rechnereinsatzes.	537
8.3 Kennzeichnung von Gegenständen	540

8.3.1 Nummerungstechnik	540
1. Sachnummernsysteme	542
2. Klassifikationsnummernsysteme	543
8.3.2 Sachmerkmale	545
Literatur	551
9 Lösungsfelder	553
9.1 Schlussarten bei mechanischen Verbindungen	553
9.1.1 Funktionen und generelle Wirkungen	554
9.1.2 Stoffschluss	555
9.1.3 Formschluss	556
9.1.4 Kraftschluss	557
" 1. Reibkraftschluss	558
2. Feldkraftschluss	558
3. Elastischer Kraftschluss	560
9.1.5 Anwendungsrichtlinien	561
9.2 Maschinenelemente und Getriebe	562
9.3 Antriebe und Steuerungen	563
9.3.1 Antriebe, Motoren	563
1. Funktionen	563
2. Elektrische Antriebe	564
3. Fluidische Antriebe	566
4. Anwendungsrichtlinien	570
9.3.2 Steuerungen	571
1. Funktionen und Wirkprinzipien	571
2. Mechanische Steuerungsmittel	572
3. Fluidische Steuerungsmittel	572
4. Elektrische Steuerungsmittel	572
5. Speicherprogrammierbare Steuerungen	573
6. Numerische Steuerungen	573
7. Anwendungsrichtlinien	573
9.4 Verbundbauweisen	574
9.4.1 Allgemeines	574
9.4.2 Anwendungen und Grenzen	575
9.4.3 Bauarten	576
1. Faserverbundbauweisen	576
2. Sandwichbauweisen	579
3. Hybride Bauweisen	580
9.5 Mechatronik	581
9.5.1 Allgemeine Struktur und Begriffe	581
9.5.2 Ziele und Grenzen	582
9.5.3 Entwicklung mechatronischer Lösungen	583
9.5.4 Beispiele	584
9.6 Adaptronik	590
9.6.1 Allgemeines und Begriffe	590

9.6.2	Ziele und Grenzen	593
9.6.3	Entwicklung adaptiver Baustrukturen	594
9.6.4	Beispiele	594
	Literatur	597
10	Entwickeln von Baureihen und Baukästen	600
10.1	Baureihen	600
10.1.1	Ähnlichkeitsgesetze	601
10.1.2	Dezimalgeometrische Normzahlreihen	605
10.1.3	Darstellung und Größenstufung	608
	1. Normzahlendiagramm	608
	2. Wahl der Größenstufung	608
10.1.4	Geometrisch ähnliche Baureihen	612
10.1.5	Halbähnliche Baureihen	618
	1. Übergeordnete Ähnlichkeitsgesetze	618
	2. Übergeordnete Aufgabenstellung	620
	3. Übergeordnete wirtschaftliche Forderungen der Fertigung	621
	4. Anpassen mit Hilfe von Exponentengleichungen	623
	5. Beispiele	626
10.1.6	Entwickeln von Baureihen	632
10.2	Baukästen	634
10.2.1	Baukastensystematik	635
10.2.2	Vorgehen beim Entwickeln von Baukästen	640
10.2.3	Vorteile und Grenzen von Baukastensystemen	649
10.2.4	Beispiele	651
10.3	Neuere Rationalisierungsansätze	656
10.3.1	Modularisierung und Produktarchitektur	656
10.3.2	Plattformbauweise	657
	Literatur	658
11	Methoden zur qualitätssichernden Produktentwicklung	661
11.1	Nutzung methodischen Vorgehens	661
11.2	Fehler und Störgrößen	665
11.3	Fehlerbaumanalyse	666
11.4	Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA)	674
11.5	Methode QFD	677
	Literatur	680
12	Kostenerkennung	682
12.1	Beeinflussbare Kosten	682
12.2	Grundlagen der Kostenrechnung	684
12.3	Methoden der Kostenerkennung	687
12.3.1	Vergleich mit Relativkosten	687
12.3.2	Schätzen über Materialkostenanteil	692

12.3.3	Schätzen mit Regressionsrechnungen	.693
12.3.4	Hochrechnen mit Ähnlichkeitsbeziehungen	.696
1.	Grundentwurf als Basis	.696
2.	Operationselement als Basis	.702
12.3.5	Kostenstrukturen	.706
12.4	Kostenzielvorgabe	.708
12.5	Regeln zur Kostenminimierung	.710
	Literatur	.711
13	Rechnerunterstützung	.713
13.1	Übersicht	.713
13.2	Ausgewählte Beispiele	.719
1.	Durchgängige Rechnerunterstützung	.719
2.	Programme für Einzelaufgaben	.719
3.	Sonstige CAD-Anwendungen	.726
13.3	Arbeitstechnik mit CAD-Systemen	.726
13.3.1	Erzeugen eines Produktmodells	.727
1.	Notwendige Partialmodelle	.727
2.	Arbeitstechnik beim Konzipieren	.730
3.	Arbeitstechnik beim Entwerfen	.731
4.	Generelle Modellierungsstrategie	.732
13.3.2	Beispiele	.733
13.4	Möglichkeiten und Grenzen der CAD-Technik	.734
13.5	CAD-Einführung	.735
	Literatur	.737
14	Übersicht und verwendete Begriffe	.740
14.1	Einsatz der Methoden	.740
14.2	Erfahrungen in der Praxis	.745
14.3	Verwendete Begriffe	.748
	Literatur	.751
15	Sachverzeichnis	.753