



Leseprobe

Klaus Ehrlenspiel, Harald Meerkamm

Integrierte Produktentwicklung

Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit

ISBN (Buch): 978-3-446-44089-0

ISBN (E-Book): 978-3-446-44908-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44089-0>

sowie im Buchhandel.

Inhalt

Vorwort zur 6. Auflage	V
Vorwort zur 5. Auflage	VII
Vorwort zur 4. Auflage	IX
Vorwort zur 3. Auflage	XI
Vorwort zur 2. Auflage	XIII
Vorwort zur 1. Auflage	XV
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung und möglicher Leserkreis	1
1.2 Gliederung des Buches	9
1.3 Zur Akzeptanz und Weiterentwicklung der Konstruktionsmethodik ...	12
1.4 Forschungsbedarf	19
1.4.1 Eine Vision für eine mögliche Entwicklungsmethodik- Forschung	21
2 Technische Systeme und ihre Eigenschaften	25
2.1 Einleitung	25
2.2 Der Systembegriff	28
2.2.1 Allgemeingültiges	28
2.2.2 Technische Systeme	35
2.3 Eigenschaften und Klassifikation technischer Systeme	38
2.3.1 Allgemeingültiges zu Eigenschaften	38
2.3.2 Klassifikation technischer Systeme	40
2.3.3 Verknüpfung von Sach- und Handlungssystemen	51
2.4 Der Lebenslauf technischer Systeme und ihre Planung im Handlungssystem	62

3	Der Mensch als Problemlöser	67
3.1	Was ist ein Problem?	68
3.1.1	Allgemeine Probleme	68
3.1.2	Die Konstruktionsaufgabe als Problem	74
3.2	Der problemlösende Mensch	77
3.2.1	Gedächtnismodelle	78
3.2.2	Was heißt Denken?	81
3.2.3	Denkschwächen und Denkfehler	89
3.3	Maßnahmen zur Lösung von Problemen	92
3.3.1	Das TOTE-Schema	103
3.3.2	Der Problemlösungs- und der Vorgehenszyklus	106
3.3.3	Der Vorgehenszyklus und zugehörige Strategien	123
3.3.4	Beispiel zum Vorgehenszyklus	127
3.4	Konstruktionsprozesse von Einzelpersonen	133
3.4.1	Projekt 1: Versuchsbedingungen (nach Dylla)	134
3.4.2	Erkenntnisse aus Projekt 1	138
3.4.3	Projekt 2: Konstruktionsprozesse von Praktikern (Günther)	145
3.4.4	Zum bildhaften Gedächtnis und Faktenwissen des Konstrukteurs	147
3.4.5	Wodurch zeichnen sich erfolgreiche Einzelkonstrukteure aus?	151
3.5	Konstruktionsprozesse von Gruppen in Unternehmen	153
3.6	Denk- und Informationsökonomie als ein Haupteinfluss des Verhaltens	157
3.7	Fehler – nicht nur beim Konstruieren	167
3.8	Die Wirksamkeit von Methoden	173
3.8.1	Überblick über Methoden	173
3.8.2	Warum Methoden verwenden?	175
3.8.3	Sind Methoden praktisch wirksam? Welche Lehre?	184
3.9	Ist Konstruieren Kunst oder Wissenschaft?	189
3.10	Persönliche Integrationsfähigkeit – angeboren oder erlernbar?	192
4	Methodik der Integrierten Produkterstellung im Unternehmen	197
4.1	Konventionelle – nicht integrierte – Produkterstellung	198
4.1.1	Der Prozess der Produkterstellung	198
4.1.2	Einflüsse auf den Prozess der Produkterstellung	200
4.1.3	Arbeitsteilung zur Bewältigung der Komplexität der Produkterstellung	203

4.1.3.1	Begründung und Arten der Arbeitsteilung	203
4.1.3.2	Dokumente als Folge der Arbeitsteilung	206
4.1.4	Aufbauorganisation	208
4.1.5	Ablauforganisation und Vorgehenspläne	211
4.1.6	Praxisbeispiel einer Produkterstellung: Heizgerät	219
4.1.7	Probleme heutiger Produkterstellung	226
4.1.7.1	Gründe für die Probleme aus der Geschichte der Produkterstellung	226
4.1.7.2	Probleme der konventionellen – nicht integrierten – Produkterstellung am Beispiel Entwicklung und Konstruktion	228
4.2	Integrierte Produkterstellung	233
4.2.1	Was heißt Integrierte Produkterstellung?	234
4.2.2	Bewusstseinsänderung	239
4.2.2.1	Entwicklung der Produkterstellung	240
4.2.2.2	Entwicklung des wissenschaftlichen Weltbildes	240
4.2.3	Begründung integrierter Produkterstellung aus dem Informationsfluss	243
4.2.3.1	Arten und Organisation des Informationsflusses	243
4.2.3.2	Folgen der schnittstellenbedingten Informationsverarbeitung	247
4.2.4	Methodensystem für die integrierte Produkterstellung	249
4.3	Organisatorische Methoden der integrierten Produkterstellung	253
4.3.1	Produktbezogene Aufbauorganisation	253
4.3.2	Methoden der Ablauforganisation	256
4.3.3	Gruppen- und Teamarbeit	262
4.3.3.1	Was versteht man unter einer Gruppe, was unter einem Team?	262
4.3.3.2	Vorteile und Anwendungsbereiche von Gruppenarbeit ..	262
4.3.3.3	Probleme bei Teamarbeit	263
4.3.3.4	Regeln für effektive Teamarbeit	265
4.3.4	Projektmanagement	267
4.3.4.1	Aufgaben des Projektmanagements	268
4.3.4.2	Einsatzbereiche des Projektmanagements	272
4.3.4.3	Methoden und Hilfsmittel des Projektmanagements ...	273
4.4	Integrierende Vorgehensweisen	274
4.4.1	Simultaneous Engineering	275
4.4.1.1	Idee und Arbeitsweise des Simultaneous Engineering ..	275
4.4.1.2	Auswirkungen des Simultaneous Engineering	277
4.4.1.3	Praxisbeispiel zu Simultaneous Engineering: Entwicklung eines digitalen Manometers	280

4.4.1.4	Realisierung des Simultaneous Engineering (SE) in der Praxis	284
4.4.2	Qualitäts- und Sicherheitsmanagement	286
4.4.3	Qualitätssteigerung mit QFD	292
4.5	Auswirkung der Integration: Merkmale erfolgreicher Unternehmen ...	297
5	Entwicklung und Konstruktion – Grundlagen	305
5.1	Ziele, Aufgaben und Tätigkeiten in Entwicklung und Konstruktion	307
5.1.1	Definition und Bedeutung des Entwickelns und Konstruierens ..	307
5.1.2	Ziele des Entwickelns und Konstruierens	311
5.1.3	Tätigkeiten und Konstruktionsphasen	312
5.1.3.1	Klären der Aufgabenstellung	321
5.1.3.2	Konzipieren	322
5.1.3.3	Entwerfen	324
5.1.3.4	Ausarbeiten	326
5.1.4	Arten des Konstruierens	328
5.1.4.1	Konstruktionen unterschiedlicher Bearbeitungstiefe: Konstruktionsarten	328
5.1.4.2	Konstruktionen mit unterschiedlicher Eigenschafts- ermittlung durch Berechnung und Versuche	334
5.1.4.3	Korrigierendes und generierendes Vorgehen	335
5.1.4.4	Konstruktionen höherer Komplexität – mechatronische Produkte	339
5.1.4.5	Konstruktionen unterschiedlicher Art der Hauptforderung – Design for X	350
5.1.4.6	Kundengebundene und kundenoffene Konstruktion	351
5.1.4.7	Konstruktionen mit unterschiedlichen Konstruktionszeiten und -kosten	351
5.1.5	Wie arbeitet man sich in ein neues Produktspektrum ein?	354
5.2	Management in Entwicklung und Konstruktion	356
5.2.1	Organisation und Führungsanforderungen	357
5.2.1.1	Die Mitarbeiterstruktur	357
5.2.1.2	Berufsbilder in Konstruktion und Fertigungsvorbereitung	362
5.2.1.3	Organisation	364
5.2.1.4	Führungsanforderungen	365
5.2.2	Leistungssteigerung, Durchlaufzeitverkürzung und Effizienzmessung in Entwicklung und Konstruktion	371
5.2.2.1	Was heißt Leistungssteigerung in Entwicklung und Konstruktion?	372
5.2.2.2	Vorgehensweise bei der Rationalisierung und Durchlaufzeitverkürzung	375

5.2.2.3	Leistungsmessung in Entwicklung und Konstruktion . . .	378
5.2.2.4	Kosten der Konstruktionsabteilung	380
5.2.2.5	Computereinsatz beim Entwickeln und Konstruieren . . .	381
5.2.2.6	Zur Begründung der Termin- und Kapazitätsplanung . . .	388
5.2.2.7	Durchführung der Termin- und Kapazitätsplanung	389
5.2.2.8	Einführung einer Termin- und Kapazitätsplanung	392
6	Methodik der integrierten Produkterstellung IPE in Entwicklung und Konstruktion	395
6.1	Einleitung und Zielsetzung	395
6.2	Darstellung der IPE-Methodik	397
6.2.1	Inhalte	397
6.2.2	Elemente der IPE-Methodik und ihr Zusammenwirken	399
6.2.3	Zum flexiblen Einsatz der IPE-Methodik	402
6.3	Anwendung der IPE-Methodik in unterschiedlichen Bereichen	409
6.3.1	Vergleich der Methodikelemente in drei Unternehmensbereichen	409
6.3.2	Einsatz von Vorgehensplänen	411
6.3.2.1	Aufteilung in unterschiedliche Teilprozesse am Beispiel der Produktion	411
6.3.2.2	Aufteilung in unterschiedliche Teilprozesse und Teilobjekte am Beispiel Konstruktion	412
6.3.2.3	Beispiele für einen Vorgehensplan bei integrierter Produkterstellung	414
6.4	Unternehmens- und produktspezifische Anpassung und Einführung der IPE-Methodik	415
6.4.1	Vorgehensweise	415
6.4.2	Personenbezogene Voraussetzungen	418
6.5	Anwendung für das Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren	419
6.5.1	Vorgehenspläne für die Hauptforderung Funktion	420
6.5.2	Vorgehen für beliebige Hauptforderungen – Design for X	427
7	Sachgebundene Methoden für die Entwicklung und Konstruktion	433
7.1	Methodenbaukasten	434
7.1.1	Struktur und Anwendung des Methodenbaukastens	434
7.1.2	Auswahl von Methoden	437
7.1.3	Beispiel für eine Methodenauswahl	440
7.2	Methoden zu Produktplanung und Innovation	443
7.2.1	Produktstrategien und Innovation	444

7.2.2	Ermitteln des Unternehmenspotenzials	451
7.2.3	Ermitteln des Produktpotenzials	454
7.2.4	Finden von Produktbereichen und Produktideen	457
7.2.5	Organisatorische und psychologische Maßnahmen zur Förderung der Innovationsfähigkeit	468
7.2.6	Praxisbeispiel: Müllgroßbehälter	471
7.3	Methoden zur Aufgabenklärung	474
7.3.1	Zweck und Gültigkeitsbereich der Methoden	475
7.3.2	Systematisches Finden von Anforderungen	478
7.3.2.1	Arten von Anforderungen	480
7.3.2.2	Hilfsmittel für das Ermitteln von Anforderungen	484
7.3.3	Aufgabenklärung und Systemabgrenzung mittels Black-Box	489
7.3.4	Problemanalyse durch Systemgrenzenverschiebung	489
7.3.5	Aufgabenanalyse durch Abstraktion	491
7.3.6	Erstellen einer Anforderungsliste und Anforderungsmanagement	494
7.3.7	Aufgabenklärung und Vorgehensstrukturierung „Kreative Klärung“	496
7.4	Methoden zur Aufgabenstrukturierung	499
7.4.1	Organisatorische Strukturierung	500
7.4.1.1	Strukturieren nach Modulen	501
7.4.1.2	Strukturieren nach der Bearbeitungsreihenfolge von Modulen	504
7.4.2	Inhaltliche Strukturierung nach Funktionen	507
7.4.2.1	Zweck und Begründung der Methode	509
7.4.2.2	Begriffe zu Funktion	512
7.4.2.3	Definition der Elemente und Symbole einer Funktionsstruktur	514
7.4.2.4	Funktionsstruktur für Geräte mit zentraler Steuerung (Mechatronik)	517
7.5	Methoden zur (prinzipiellen) Lösungssuche	518
7.5.1	Grundlagen zur Lösungssuche	519
7.5.2	Strategien zur Lösungssuche	521
7.5.3	Nahe liegende Lösungen suchen	522
7.5.4	Lösungssuche mit Kreativitätstechniken (Intuitives Vorgehen) ..	523
7.5.5	Lösungssuche mit Systematiken (Diskursives Vorgehen)	530
7.5.5.1	Ordnungsschemata	530
7.5.5.2	Konstruktionskataloge	538
7.5.5.3	Ordnungsschemata für physikalische Effekte	539
7.5.5.4	Ordnungsschemata zur Lösung technischer Widersprüche (Altshuller; TRIZ)	549

7.5.5.5	Checklisten	551
7.5.6	Kombination von Lösungsprinzipien: morphologischer Kasten ..	552
7.5.6.1	Zweck und Begründung der Methode	553
7.5.6.2	Beispiele für die Verwendung des morphologischen Kastens	557
7.6	Methoden zum Gestalten – Variation der Gestalt	557
7.6.1	Direkte Variation der Gestalt	564
7.6.1.1	Variation der Flächen und Körper	564
7.6.1.2	Variation der Flächen- und Körperbeziehungen	567
7.6.1.3	Variation der Stoffart	573
7.6.2	Indirekte Variation der Gestalt	573
7.6.2.1	Variation der stofflichen Eigenschaften im Einzelnen ...	573
7.6.2.2	Variation des Fertigungs- und Montageverfahrens	574
7.6.2.3	Variation der Bewegungen	575
7.6.2.4	Variation der Kraftübertragung	578
7.6.2.5	Variation der Getriebeart	585
7.6.3	Umkehrung als negierendes Variationsmerkmal	587
7.6.4	Vorgehen beim zeichnerischen Gestalten und Variieren von Lösungen	588
7.6.5	Variationsbeispiel Wellenkupplung	592
7.7	Methoden zum Gestalten – Gestaltungsprinzipien	596
7.7.1	Prinzip der Funktionsvereinigung/-trennung	597
7.7.2	Prinzip der Integral-/Differenzialbauweise	601
7.7.3	Prinzip des Kraftflusses	605
7.7.4	Prinzip des Lastausgleichs	609
7.7.5	Prinzip der Selbsthilfe	613
7.8	Analysemethoden für Produkteigenschaften	617
7.8.1	Überlegung und Diskussion als Analysemethode	621
7.8.1.1	Methoden zur Schwachstellenanalyse	621
7.8.1.2	Methode der Schadensanalyse	624
7.8.2	Rechen- und Simulationsmethoden, Optimierung, Kennzahlenmethoden	627
7.8.2.1	Berechnungsarten technischer Sicherheiten	627
7.8.2.2	Weitere rechnerische Analysemethoden	628
7.8.3	Versuchsmethoden	629
7.9	Methoden zum Beurteilen und Entscheiden	634
7.9.1	Zweck und Gültigkeitsbereich der Methoden	634
7.9.2	Eigenheiten und Schwachstellen realer Bewertungs- und Entscheidungsprozesse	636
7.9.3	Hilfen zur Verbesserung der Entscheidungssicherheit	639
7.9.4	Auswahl von Bewertungsmethoden	641

7.9.5	Methoden für die einfache Bewertung	642
7.9.6	Methoden für die intensive Bewertung, Nutzwertanalyse	646
7.9.7	Multikriterielles Bewerten	652
7.10	Methoden zur Informations- und Wissensverarbeitung	655
7.10.1	Zweck und Begründung	655
7.10.2	Informationsgewinnung – Informationsquellen	659
7.10.3	Informationsverarbeitung – Informationsfluss	660
7.10.4	Informationsweitergabe – Dokumentation – Produktpiraterie ...	663
7.10.5	Formen individueller Informationsverarbeitung und Kommunikation	666
7.10.6	Schutzrecht-Strategie im Produktlebenszyklus	669
7.10.7	Verhalten in Krisen	674
8	Entwicklungs- und Konstruktionsbeispiele	681
8.1	Entwicklung einer Fiscentgrätungsmaschine	683
8.1.1	Was zeigt das Beispiel?	683
8.1.2	Aufgabe klären	684
8.1.2.1	Aufgabe analysieren	684
8.1.2.2	Aufgabe formulieren (Anforderungsliste erarbeiten)	685
8.1.3	Funktionen ermitteln	687
8.1.3.1	Gesamtfunktion/Teilfunktionen formulieren	687
8.1.3.2	Funktionsstruktur erarbeiten	688
8.1.4	Lösungsprinzipien suchen	691
8.1.4.1	Physikalische Effekte suchen	691
8.1.4.2	Wirkflächen, Wirkbewegungen, Stoffarten suchen	691
8.1.5	Konzept erarbeiten	693
8.1.5.1	Lösungsprinzipien zu Konzeptvarianten kombinieren ...	693
8.1.5.2	Orientierende, entwicklungsbegleitende Versuche	693
8.1.5.3	Prototyp gestalten, bauen und testen	693
8.1.5.4	Versuchsergebnisse und Probleme	695
8.1.6	Was kann man daraus lernen?	696
8.2	Neukonstruktion eines Tragetaschenspenders (Dispenser), der ein Marktflop wurde	696
8.2.1	Was zeigt das Beispiel?	696
8.2.2	Ausgangssituation	697
8.2.3	Aufgabe klären	697
8.2.4	Lösungen suchen	698
8.2.5	Lösungen auswählen und verwirklichen	700
8.2.6	Was kann man daraus lernen?	702
8.3	Die Konstruktion einer Wandhalterung – ein nicht optimaler Prozess ..	703
8.3.1	Was zeigt das Beispiel?	703

8.3.2	Die Konstruktionsaufgabe	704
8.3.3	Versuchsdurchführung	705
8.3.4	Der Konstruktionsprozess der Versuchsperson „Otto“	706
8.3.5	Analyse des Prozesses	710
8.3.6	Was kann man daraus lernen?	711
8.4	Einfacherer Lastausgleich für Planetengetriebe	712
8.4.1	Was zeigt das Beispiel?	712
8.4.2	Ausgangssituation	713
8.4.3	Aufgabe klären	716
8.4.4	Lösungen suchen	718
8.4.5	Lösungen auswählen und verwirklichen	719
8.4.6	Das Entstehen einer Erfindung	720
8.4.7	Das Risiko der Werkstoffwahl	722
8.4.8	Was kann man daraus lernen?	723
8.5	Geräuschgünstiger Unterdruckstellantrieb	723
8.5.1	Was zeigt das Beispiel?	723
8.5.2	Technische Aufgabenstellung	724
8.5.3	Struktur der Beispieldarstellung	725
8.5.4	Aufgabenklärung und erste Lösungsideen	726
8.5.5	Entscheidung zwischen korrigierendem und generierendem Vorgehen	730
8.5.6	Suche nach weiteren Lösungen	731
8.5.7	Lösungsanalyse zur Lösungsauswahl	734
8.5.8	Was kann man daraus lernen?	739
8.6	Montagegünstige Konstruktion eines Reihenschalters	740
8.6.1	Was zeigt das Beispiel?	740
8.6.2	Ausgangssituation	741
8.6.3	Konstruktionsablauf	742
8.6.3.1	Lösung L1 (Iteration 1)	744
8.6.3.2	Lösung L2 (Iteration 2)	745
8.6.3.3	Lösung L3 (Iteration 3)	746
8.6.3.4	Lösung L4 (Iteration 4)	748
8.6.4	Was kann man daraus lernen?	750
8.7	Entwicklung einer Pkw-Kennzeichenhalterung	752
8.7.1	Was zeigt das Beispiel?	752
8.7.2	Aufgabe klären	752
8.7.3	Lösungen suchen	755
8.7.4	Lösungen auswählen	758
8.7.5	Lösung	761
8.7.6	Was kann man daraus lernen?	762

8.8	Ein fertigungstechnologisch neues Rohbaukonzept für die Straßenbahn-Plattform Avenio	763
8.8.1	Was zeigt das Beispiel?	763
8.8.2	Ausgangssituation	764
8.8.3	Vorgehensweise im Projekt	765
8.8.3.1	Team	765
8.8.3.2	Organisation, Projektmanagement	765
8.8.3.3	Methodeneinsatz	766
8.8.3.4	IT-Einsatz	766
8.8.3.5	Prinzipielle Vorgehensweise	769
8.8.4	Aufgabe klären	770
8.8.4.1	Aufgabe analysieren	770
8.8.4.2	Aufgabe formulieren, Anforderungsliste erstellen	771
8.8.5	Funktionsstruktur	772
8.8.6	Lösungsprinzipien suchen	774
8.8.6.1	Modularisierungsmöglichkeiten	774
8.8.6.2	Technologiefindung	776
8.8.6.3	Knotenkonzepte	777
8.8.7	Erarbeiten einer Konzeptlösung	780
8.8.7.1	Wagen-Konzept	780
8.8.7.2	Korrosionsschutz-Konzept	782
8.8.8	Prototyp bauen (und testen)	783
8.8.8.1	Wagen-Konzept	783
8.8.8.2	Korrosionsschutz-Konzept	785
8.8.9	Ergebnisse der Umsetzung	786
8.8.10	Was kann man daraus lernen?	786
8.9	Faser-Entstaubung: bessere Qualität und weniger Kosten	789
8.9.1	Was zeigt das Beispiel?	789
8.9.2	Problembeschreibung	789
8.9.3	Aufgabe klären hinsichtlich Funktion	790
8.9.4	Aufgabe klären hinsichtlich Herstellkosten	790
8.9.5	Lösungssuche und neues Konzept	792
8.9.6	Konstruktion, Erprobung und Einsatz	792
8.9.7	Was kann man daraus lernen?	793
9	Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren	795
9.1	Kosten konstruieren?	795
9.1.1	Kosten senken aus der Nutzersicht (Lebenslaufkosten, life-cycle-costs)	797
9.1.2	Kosten senken aus Herstellersicht	799
9.1.3	Kostenverantwortung der Konstruktion	801

9.1.4	Probleme beim Kostengünstigen Konstruieren	802
9.1.5	Einflussgrößen auf die Herstellkosten eines Produkts	805
9.2	Vorgehen: zielkostengesteuertes Konstruieren (Target Costing)	813
9.2.1	Ermittlung und Aufspalten des Kostenzieles	818
9.2.2	Suche kostengünstiger Lösungen	821
9.2.3	Konstruktionsbegleitende Kalkulation – Kostenermittlung beim Konstruieren	825
9.2.4	Beispiel für Kostengünstiges Konstruieren: Gehäuse einer Zentrifuge	829
9.3	Integrierend wirkende Methoden und Organisationsformen	836
9.3.1	Fertigungs- und Kostenberatung	836
9.3.2	Wertanalyse	838
9.3.3	Target Costing	841
9.3.3.1	Grundsätzliches Vorgehen beim Target Costing	841
9.3.3.2	Beispiel für Target Costing: Betonmischer in Einzel- und Kleinserienfertigung	843
9.3.4	Kostengünstig Konstruieren mit integrierten Rechnerwerkzeugen 854	
9.3.4.1	Kosteninformationssysteme	854
9.3.4.2	Anwendung eines Kosteninformationssystems	856
9.4	Variantenmanagement	863
9.4.1	Ursachen von Produkt- und Teilevielfalt	865
9.4.2	Auswirkungen der Produkt- und Teilevielfalt auf Herstellkosten	869
9.4.3	Analyse der Varianten- und Teilevielfalt	871
9.4.4	Verringerung der Produkt- und Teilevielfalt	876
9.4.4.1	Technische Maßnahmen	876
9.4.4.2	Organisatorische Maßnahmen	880
9.4.5	Baureihenkonstruktion	880
9.4.5.1	Normzahlreihen als Hilfsmittel zur Baureihenkonstruktion	883
9.4.5.2	Grundsätzliches Vorgehen	883
9.4.5.3	Ähnlichkeitsgesetze als Hilfsmittel zur Baureihenkonstruktion	885
9.4.6	Beispiel für eine Baureihe	888
9.4.7	Baukastenkonstruktion	890
9.4.7.1	Grundsätzliches	892
9.4.7.2	Aufbau von Baukästen – Begriffe	895
9.4.7.3	Entwickeln von Baukästen	897

10	Begriffe	903
11	Anhang des gedruckten Buches	919
A1	Erstellen von Funktionsstrukturen	919
A1.1	Elemente und Symbole	919
A1.1.1	Die logischen Operationen	920
A1.1.2	Arten von Relationen	921
A1.2	Formale Regeln zum Umgang mit den Elementen	921
A1.2.1	Die Reihenfolgeregel	921
A1.2.2	Die Vollständigkeitsregel	922
A1.2.3	Die Strukturartenregel	922
A1.2.4	Die dynamische Regel	923
A1.2.5	Die Strukturierungsregel	924
A1.3	Inhaltliche Regeln zum Umgang mit den Elementen	925
A1.3.1	Die Flussregel	925
A1.3.2	Die Umsatzartenregel	925
A1.3.3	Die Umsatztypregel	925
A1.3.4	Die Verknüpfungsregeln	927
A1.3.5	Zustandsänderungen mit elementaren Operationen	930
A1.3.6	Verwendung technischer Operationen	932
A1.4	Erstellen von Funktionsstrukturen	933
A1.4.1	Analyse bestehender technischer Systeme	933
A1.4.2	Synthese neuer technischer Systeme	934
A1.4.3	Aufbau von Nebensätzen	936
A2	Verfügbare Konstruktionskataloge	936
A3	Strukturierte Methodensammlung (Methodenbaukasten)	938
A4	Anhang im Internet (Inhaltsangabe) (Adresse im Vorwort)	938
	Literatur	941
	Stichwortverzeichnis	979

Vorwort zur 6. Auflage



„Der größte Feind der Qualität ist die Eile“

Henry Ford

Das obige Motto soll uns Mut machen trotz zunehmender Hektik sich auf das Wesentliche zu konzentrieren.

Was wurde bei der 6. Auflage verändert?

Das Buch wurde wieder – zum 5. Mal – auf den neuen Stand des Denkens und Arbeitens gebracht. Dabei stellte sich heraus, dass viele Grundlagen, die nun vor mehr als 25 Jahren hier niedergelegt oder referiert wurden, nach wie vor gültig sind. – Das betrifft vor allem das zwischenmenschliche Arbeiten: Die Integration, die von der Führung vorgelebt werden muss und in der Teamarbeit realisiert wird. (Kapitel 4.3; 4.4; 5.2). Ferner, die immer wichtiger werdende Integration der Spezialisten mit ihrem jeweiligen Wissen. (Kapitel 7.4; Kapitel 7.5).

Auch die „Digitalisierung“, die angeblich radikal alles verändert, hat zur Voraussetzung, dass zuerst „nachgedacht und systematisiert werden muss ehe programmiert wird“. (Kapitel 5.2.2.5; sie ist aber hier ohnehin kein Schwerpunkt!).

Die 2016 überarbeitete Richtlinie VDI 2221 geht nicht mehr vom Begriff „Konstruktion“ aus, sondern verwendet nur noch den Begriff „Produktentwicklung“. In diesem Buch werden diese Begriffe, wie auch in der Industrie, synonym verwendet. Allerdings wird Produktentwicklung eher als Oberbegriff für den Gesamtprozess verwendet und Konstruktion mehr für die zugehörige Detailarbeit. Die neue Richtlinie spricht auch von „Aktivitäten“ und vermeidet die in der Praxis (siehe z. B. VDMA) eingeführten Begriffe Konstruktions-Arten und Phasen (Kapitel 5.1.3 und Kapitel 5.1.4). Wegen der Praxis-Relevanz werden diese Begriffe beibehalten.

Was ist, abgesehen von vielen kleineren Aktualisierungen, neu bearbeitet worden?

- Die Bedeutung des intuitiven Entwickelns in Kapitel 1.1 d
- Lebensdauerplanung von Produkten in Kapitel 2.4

- Wann wird Methodik in der Praxis wirksam? Aus Diss. Graner [128/3] Kapitel 1.3 Abschn. 5 und Kapitel 3.8.3 Ende
- Persönliche Integrationsfähigkeit, ein neues Kapitel 3.10
- Qualität und Sicherheit in Kapitel 4.4.2
- Die 2016 neu bearbeitete Richtlinie VDI 2221 „Entwicklung technischer Produkte und Systeme“ in Kapitel 5.1.3; 6.2.3
- Das Scheitern von Innovationen in Kapitel 7.2.1 Ende
- Open Innovation in Kapitel 7.2.4 d
- Organisatorische u. psychologische Maßnahmen zur Förderung der Innovationsfähigkeit Kapitel 7.2.5
- Anforderungsmanagement intensiver in Kapitel 7.3.6
- Methode TRIZ ausführlicher in Kapitel 7.5.5.4
- Wie ist persönliches (ex- und implizites) Wissen vermittel- und beschaffbar? Kapitel 7.10.1
- Änderungsmanagement in Kapitel 7.10.4 c
- Wie sich verhalten in einer Krise? Neues Kapitel 7.10.7
- ein neues Praxisbeispiel (Entstaubung von Baumwollfasern) Kapitel 8.9
- Variantenmanagement; Baukasten-Strategien (Modul-Bauweise; Modularisierung; Produktarchitektur: Kapitel 9.4; 9.4.3 und 9.4.7)

Wir sind dankbar Herrn Felix Prumbohm, VDMA, Betriebswirtschaft, Lyoner Straße 18, 60528 Frankfurt

Dr.-Ing. J. Ponn (Hilti) für Mitarbeit am Kapitel 9.4; 9.4.3

Dipl. Ing. C. Münzberg (PE; TUM) bei Kapitel 7.5.5.4 (TRIZ); 7.10.7 (Krisen)

Dankbar sind wir Herrn Prof. Dr. F. Lang (Leiter des Instituts für Psychogerontologie an der Universität Erlangen-Nürnberg) für seine wertvollen Anregungen und Hinweise zum Kapitel 3.10.

Im Übrigen wurde auf Grund konkreter Leserwünsche inhaltlich Vieles auf den neuesten Stand gebracht, manches weggelassen, die Literatur ergänzt und Fehler beseitigt. Wir sind froh, dass Frau Eva Körner helfen konnte, unansehnliche Bilder zu reparieren; (PE, TU München).

Wieder geht ein besonderes Wort des Dankes an den Lektor des Hanser-Verlags Herrn Dipl.-Ing. Herzberg. Wie bisher ist er uns sehr engagiert und hilfreich zur Seite gestanden.

München und Erlangen, im Herbst 2016 *Klaus Ehrlenspiel u. Harald Meerkamm*

PS: Je eine Datei Arbeitsblätter bzw. Checklisten, die die wichtigsten Bilder des Buches unmittelbar für die Konstruktionsarbeit zusammenfassen und auch einen Katalog wesentlicher physikalischer Effekte ist beim Hanser-Verlag als pdf-Datei aus dem Internet abrufbar. <http://hanser-fachbuch.de>

Im Suchfeld angeben: Autor oder Buchtitel. Dann > Mehr > Extras > Internet Anhang

■ Vorwort zur 5. Auflage



„Wir irren uns empor“

(Das Wechselspiel von Theoriebildung und experimenteller Überprüfung.

Nach Prof. Dr. Gerhard Vollmer, TU Braunschweig).

Wir haben uns entschlossen, das Buch ab dieser Auflage gemeinsam zu bearbeiten: Harald Meerkamm und Klaus Ehrlenspiel. Wir kennen uns ja seit langem und haben früher schon Ideen und Bilder ausgetauscht.

Zudem hat Herr Meerkamm in seinem Lehrgebiet „Integrierte Produktentwicklung (IPE)“, so viel interessante, in der Praxis erprobte Gedanken und Erfahrungen, dass es schade wäre, wenn sie in diesem Buch nicht aufgegriffen würden (Kapitel 4.2). Das betrifft auch die komplexe Integration verschieden gewichteter Anforderungen und Wissensbereiche bei Design for X („Multikriterielle Bewertung“, Kapitel 7.9.7). – Ein Beispiel dafür zeigt das neue Kapitel 8.8 „Ein fertigungstechnologisch neues Rohbaukonzept für die Straßenbahn-Plattform Avenio“. Dem faszinierenden Thema Produktentwicklung tut eine erneuerte Sicht gut.

Das obige Buchmotto passt zum Prozess des „Trial and Error“ bzw. des hier durchgängigen Vorgehenszyklus (Kapitel 3.3.1). Das Wechselspiel von Theorie und Rückmeldung aus der industriellen Praxis ist uns wichtig. Und wir versuchen es zu verbessern, wie es ja Gerhard Vollmer in seiner Evolutionären Erkenntnistheorie immer wieder anspricht. [17/3]

Was wurde bei der 5. Auflage außerdem verändert?

Zur Integration aller sich aus dem Produktlebenslauf ergebender Zustände gehören nicht nur z. B. die Anforderungs- oder die Montagegerechtigkeit, die in einem materiellen Produkt verwirklicht werden soll, sondern auch die immateriellen Dienstleistungen, die mit dem Produkt verknüpft sein können. Jeder kennt z. B. beim PKW die nutzerspezifische Dienstleistung per Anzeige im Display „Der Reifendruck hinten rechts ist zu niedrig“ oder „Sie müssen demnächst zum TÜV“.

Diese Verknüpfung zu so genannten Hybriden Produkten im Sinne einer ganzheitlichen Kundenlösung wurde insbesondere in Kapitel 4.2 betont. Auch sie muss eingeplant werden. (Wir danken Herrn Dipl.-Ing. Schenkl [PE TU München] für die Mithilfe).

Am Ende von Kapitel 4.2.4 wurde ferner ein Hinweis auf das „Produktmanagement“, einem integrativen Ansatz aus dem Vertrieb, aufgenommen. Diese neue Querschnittsfunktion im Unternehmen hat im Wesentlichen die gleiche Zielsetzung wie die Integrierte Produktentwicklung.

Überarbeitet wurde in Kapitel 2.3.3d das Komplexitätsmanagement SE, das im Zeichen der Vielfaltsexplosion nicht nur an Produkten immer wichtiger wird (Kapitel 3.8.2). (Dank an Frau Dipl.-Ing. Kirner, PE TUM)

In Kapitel 5.1.4.4 wurde ein neues Beispiel für Mechatronik (Lidar-Verstellung) mit Hilfe von Dr. Stefanie Zirkler (früher PE TU München) aufgenommen.

Wir danken Dr. Grieb für die Ergänzungen in Kapitel 5.2.2.5 „Computereinsatz ...“

In Kapitel 7.2.4 wurde das „Mind-Mapping“ als eine weitere Kreativmethode eingefügt.

Aus dem Vorhaben Akinet „Neue Produktideen von Kunden“ wurde ebenfalls in Kapitel 7.2.4d die Methode Kunden einzubinden, dank der Hilfe von Herrn Dipl.-Ing. A. Lang (IMAN Solutions GmbH), eingebracht.

Mit der „Hybriden Gruppenarbeit“ wurde in Kapitel 7.5.4b ein Ansatz von Kollegen Hacker aufgenommen, der, eher als das Brainstorming, das Generieren neuer Ideen ermöglicht.

In Kapitel 7.9.5c wurde auf ein neues Software-basiertes Bewertungsverfahren nach I. Schulz hingewiesen.

Im Kapitel 7.10 wurde mit Hilfe von Herrn Dipl.-Ing. Schenkl der Abschnitt über Produktpiraterie aktualisiert; (PE TU München).

Welche Schutzrecht-Strategien im Produktlebenszyklus geplant werden sollten, wurde dank des Beitrags von Frau Dr. Alexandra Nißl in einem neuem Kapitel 7.10.6 aufgenommen; (früher PE TU München).

Wir sind dankbar für die Unterstützung von Mitarbeitern des Lehrstuhls von Prof. Dr.-Ing. Wartzack. Hier ist vor allem zu nennen Herr Dr.-Ing. Andreas Stockinger. Er hat besonders zum Kapitel 8.8 beigetragen. Ferner haben wir uns gefreut, dass die Herren Dipl.-Ing. L. Übel und Dipl.-Ing. M. Bohrer der Firma Siemens (Infrastructure & Cities Sector, Rail Systems Division, Erlangen) dies Kapitel durch eigene Beiträge bereichert haben.

Schließlich danken wir dem VDMA für neuere Untersuchungen: Herrn Dr. M. Lutz und Dr. S. Krebs.

Im Übrigen wurde auf Grund konkreter Leserwünsche inhaltlich Vieles auf den neuesten Stand gebracht, manches weggelassen, die Literatur ergänzt und Fehler beseitigt. Wir sind froh, dass Frau Eva Körner helfen konnte, unansehnliche Bilder zu reparieren; (PE TU München).

Wie bisher auch, kann im Internet (Adresse unten) eine detaillierte Liste der neuen Inhalte gegenüber der letzten Ausgabe eingesehen werden.

Wieder geht ein besonderes Wort des Dankes an den Lektor des Hanser-Verlags Herrn Dipl.-Ing. Herzberg. Wie bisher ist er uns sehr engagiert und hilfreich zur Seite gestanden.

München und Erlangen, im Herbst 2012 *Klaus Ehrlenspiel u. Harald Meerkamm*

PS: Je eine Datei **Arbeitsblätter** bzw. **Checklisten**, die die wichtigsten Bilder des Buches unmittelbar für die Konstruktionsarbeit zusammenfassen und auch einen Katalog wesentlicher physikalischer Effekte und widerspruchorientierter und biologischer Assoziationen bringen, ist beim Hanser-Verlag als pdf-Datei aus dem Internet abrufbar. <http://hanser-fachbuch.de>

Im Suchfeld angeben: Autor oder Buchtitel. Dann > Mehr >Extras > Internet Anhang

Ferner ist in diesem Anhang auch der aus dem Buch Ponn, J.; Lindemann, U.: „Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte“. (2. Aufl. Berlin: Springer 2008; 2011) enthalten. Dieser kann aktualisiert eingesehen werden unter www.cidad.de.

■ Vorwort zur 4. Auflage



„Der intuitive Geist ist ein heiliges Geschenk und der rationale Geist sein treuer Diener“.

Albert Einstein

Gerade Einstein hätte wohl niemand diesen Ausspruch zugetraut: Die Dominanz der unbewussten Erfahrung über das rationale Kalkül. – Aber das ist auch eine der Ideen dieses Buches: Vieles geschieht nämlich beim Entwickeln aus dem unbewussten, impliziten Antrieb und Einfall, und trotzdem müssen wir immer wieder den expliziten, rationalen Methodiker ins Schiff holen, um Kurs halten zu können. – Hier wird es „Schritt 1“ und „Schritt 2“ genannt. – Das Buch ist offenbar

inzwischen ein „Standardbuch“ geworden: Alle 2 bis 3 Jahre ist eine neue Auflage fällig, die ich versuche, neuen Erkenntnissen und Praxisproblemen anzupassen. – Das ist nötig, denn das Buch richtet sich nicht nur an Studierende und Hochschuldozenten, sondern auch an leitende Führungskräfte der Industrie.

Was wurde bei der 4. Auflage verändert?

Das Komplexitätsmanagement wird nicht nur im Zeichen der Variantenvielfalt immer wichtiger. Ich habe dazu in Kapitel 2.3.3 d mit Unterstützung von Dr. Maurer und seinen Mitarbeitern einen kurzen Aufriss mit der Literatur eingefügt.

Neue denk- und arbeitspsychologische Erkenntnisse wurden eingebracht: Forschungsergebnisse zum Wirken der Intuition in Kapitel 3.1.1; 3.2.2; 7.9.2 stellen eine Vertiefung und Bestätigung des Bisherigen dar. (Nach dem Chef eines Max-Planck-Instituts in Berlin, Gigerenzer [108/3]). – Ein Beispiel, der „Magische Würfel“ zeigt, wie man Probleme sowohl intuitiv, wie rational lösen kann.

In Kapitel 4.1.5 wird ein weiteres Beispiel methodischen Vorgehens aus der Praxis (bei HILTI) gebracht.

In Kapitel 4.3.4.2 werden das Projektmanagement und der Projektplan im Vergleich zum Vorgehensplan der Konstruktionsmethodik näher besprochen.

Neu sind Untersuchungen in Kapitel 4.4.1.4 zur Realisierung des Simultaneous Engineering in der Praxis.

Kapitel 5.1.5 enthält eine Anleitung zur Einarbeitung von Neulingen in der Praxis.

Welche Leistung die DV-Technik im Bereich Produktentwicklung bisher bringt und was voraussichtlich zu erwarten ist, wurde in einem neuen Kapitel 5.2.2.5 wenigstens kurz, als Überblick, angesprochen. Die Anregung kam von Prof. Birkhofer/TU Darmstadt. Dies dient nur zur Orientierung, denn der Schwerpunkt des Buches liegt im Denk- und Arbeitsverhalten beim Entwickeln von Produkten und in den dafür zweckmäßigen Methoden.

Die Möglichkeiten zur Innovation (Kapitel 7.2.1) wurden überarbeitet. Eine kurze Einführung zum Plagiatschutz ist in Kapitel 7.10.4 c aufgenommen worden.

Aktuelle Erkenntnisse zur Führung in Unternehmen wurden in Kapitel 5.2.1.4 eingebracht.

Wie bisher auch, kann im Internet (Adresse unten) eine Liste der neuen Inhalte gegenüber der letzten Ausgabe eingesehen werden.

Im Übrigen wurde auf Grund konkreter Leserwünsche inhaltlich Vieles auf den neuesten Stand gebracht, manches weggelassen, die Literatur ergänzt und Fehler beseitigt. Es wurde die neue deutsche Schreibweise verwendet, da sie zunehmend gebräuchlich wird. Es wird ferner im ganzen Buch der Einfachheit halber nicht geschlechtsspezifisch unterschieden (z.B. Ingenieure und Ingenieurinnen, was nicht heißen soll, dass ich mich nicht über Echo von dieser Seite freuen würde).

Ich bin dankbar für die Unterstützung von derzeitigen und früheren Mitarbeitern des Lehrstuhls von Prof. Lindemann. Ich möchte besonders nennen Herrn Dr.-Ing. U. Herfeld/Audi für Durchsicht und Ergänzung von Kapitel 4.4.1.4 und 5.2.2.5. Ebenso Herrn Dr.-Ing. J. Günther/HILTI, für Inhalte in dem gleichen Kapitel 4.4.1.4 und vor allem in 4.1.5 (Praxisnahes Einführen von Methoden). Herr Dr.-Ing. J. Ponn/HILTI und Dr.-Ing. M. Maurer/Teseon haben mir sowohl mit der jeweiligen Dissertation, wie mit den Büchern zusammen mit Prof. Lindemann viele Anregungen gegeben. Damit möchte ich Prof. Lindemann insgesamt für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung danken.

Wieder ein besonderes Wort des Dankes an den Lektor des Hanser-Verlags Herrn Dipl.-Ing. Herzberg. Wie bisher ist er mir sehr engagiert und hilfreich zur Seite gestanden. Es macht Spaß mit ihm zu arbeiten!

München, im März 2009

Klaus Ehrlenspiel

PS: Je eine Datei **Arbeitsblätter** bzw. **Checklisten**, die die wichtigsten Bilder des Buches unmittelbar für die Konstruktionsarbeit zusammenfassen und auch einen Katalog wesentlicher physikalischer Effekte und widerspruchsorientierter und biologischer Assoziationen bringen, ist beim Hanser-Verlag als pdf-Datei aus dem Internet abrufbar. Im Suchfeld angeben: ISBN-Nummer oder Autor oder Buchtitel.

Adresse: <http://downloads.hanser.de>

■ Vorwort zur 3. Auflage



„Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind“.

Albert Einstein

Ein Buch in der 3. bearbeiteten Auflage vor sich zu haben, ist für den Autor einerseits erhehend, weil er merkt, daß er beim Leser offensichtlich ankommt. – Andererseits ist er aber auch frustriert, weil so eine Buchbearbeitung ja auch einen persönlichen Lernprozeß beinhaltet: Heute würde ich das Buch teilweise anders schreiben und kürzer halten. Deshalb zwei Fragen, die Sie als Leser evtl. haben:

1. Wie können Sie als Leser/in sich schnell in dem Buch zurechtfinden? ...

Ein Vorschlag: Lesen Sie als erstes Kapitel 1, die Einleitung und dann vielleicht Kapitel 3.9, das die Denkweise des Buches noch mal „auf den Punkt“ bringt. – Nach den „Technischen Systemen“ in Kapitel 2 und dem „Menschen als Problem-

löser“ in Kapitel 3 geht es um die Integrierte Produkterstellung IPE zuerst im ganzen Unternehmen (Kapitel 4) und dann in den weiteren Kapiteln um Entwicklung und Konstruktion.

2. Wie kommen Sie am schnellsten mit der Methoden-Idee des Buches beim Entwickeln und Konstruieren zurecht?

Praxisuntersuchungen haben gezeigt: Wir konstruieren wegen der beschränkten Kapazität unseres Arbeitsgedächtnisses üblicherweise nach Hacker „opportunistisch“ [16/1]. Das heißt, wir lösen die uns nahe liegenden Teilprobleme möglichst einfach und schnell, intuitiv entsprechend unserer Erfahrung: „Stufe 1 eines Zweistufen-Vorgehens“ (Kognitive Ökonomie, Kapitel 3.6, Bild 3.56). So kommen wir relativ rasch zu einer akzeptablen Gesamtlösung. Wenn wir aber damit doch unzufrieden sind oder irgendwo nicht mehr weiterkommen bzw. in einer „kritischen Situation“ (Kapitel 3.5) sind, sollten wir in „Stufe 2“ Methoden einsetzen. Die Frage ist nur, welche und wie. (Lesen Sie das Gleichnis „Bergwanderung“ in Kapitel 6.2.3)

Daß die Arbeitsmethodik anpassungsfähig und flexibel sein muß, wird in Kapitel 6.2.3 beschrieben. Dabei ist der universell anwendbare Vorgehenszyklus beim Problemlösen am wichtigsten (Kapitel 3.3.2). Man braucht aber auch eine Grundlage für den Projektablauf, wie er z. B. in Bild 6.11 als Vorgehensplan gezeigt ist. Damit kann man auch bei komplexen, z. B. mechatronischen Produkten schon mal arbeiten. – Weil aber sowohl die Produkte wie die Situationen des Entwickelns vielfältig sind, wird auch darüber hinaus eine Vielfalt von ergänzenden Methoden gezeigt. Und damit wird das Buch leider dick!

3. Und wie kann man das Ganze an Schulen möglichst effektiv lehren? Dafür wird auf einen Vorschlag eines empirisch untersuchten Lehrtrainings in Kapitel 3.8.3 hingewiesen: Nur die wichtigsten Methoden an immer wieder neuen Praxisbeispielen einüben und immer wieder üben [85/3]. Sie müssen so selbstverständlich werden und ins Unbewußte absinken, wie wir beim Autofahren auch nicht laufend nachdenken, wie dies oder jenes nun gehen könnte!

4. Was wurde bei der 3. Auflage verändert?

Die aktuelle Entwicklung mechatronischer Produkte wurde eingebracht (VDI 2206). Ferner wurden die Hinweise zur Innovation und zum Einsatz der Bionik verstärkt. Die neuen denk- und arbeitspsychologischen Erkenntnisse von Dörner, Hacker [16/1], Lindemann [86/3] und die Untersuchungen über das Verhalten von Entwicklungsgruppen und von Führungspersonen in der Praxis wurden eingebracht (Badke-Schaub u. Frankenberger [76/3], Stempfle [63/5]). – Im übrigen wurde inhaltlich Vieles auf den neuesten Stand gebracht, manches weggelassen, die Literatur ergänzt und Fehler beseitigt.

Ein Wort des Dankes an den Lektor des Hanser-Verlags Herrn Dipl.-Ing. Herzberg. Auch diesmal ist er mir sehr engagiert und hilfreich zur Seite gestanden. Es ist eine Freude mit ihm zu arbeiten!

Und schließlich einen späten Dank an Prof. M. M. Andreasen, Technical University of Denmark, Lyngby, der schon 1987 ein Buch „Integrated Produkt Development“ veröffentlicht hat und damit der klare Vorläufer dieses Buches und anderer ähnlicher Gedanken war [61/4]. Aus mir unerfindlichen Gründen wurde dieser Hinweis schon bei der ersten Auflage 1995 vergessen. Deshalb sei er hier allem vorangestellt!

München, im Juli 2006

Klaus Ehrlenspiel

PS: Eine Datei **Arbeitsblätter und Checklisten**, die die wichtigsten Bilder des Buches unmittelbar für die Konstruktionsarbeit zusammenfaßt und vor allem einen Katalog wesentlicher physikalischer Effekte bringt, ist beim Hanser Verlag als pdf-Datei aus dem Internet abrufbar. Adresse <http://download.hanser.de>

■ Vorwort zur 2. Auflage



„Unsere Probleme sind nicht die **technischen**. Darüber freuen wir uns, wenn wir welche haben. Unsere Probleme sind **menschliche**: Mit anderen Abteilungen, mit der Führung“.

(Entwicklungsingenieure einer großen Münchner Firma in einem system-technischen Seminar)

Das Buch ist in der ersten Auflage 1995 zu meiner Emeritierung als Summe meiner Erfahrungen aus Praxis, Forschung und Lehre entstanden. Sieben Jahre später ist aus zwei Gründen eine neue bearbeitete Auflage sinnvoll.

Zum einen hat sich das Buch bis zum Schluß der 1. Auflage gut verkauft. Wie eine neutrale Untersuchung [11/1] ergab, wurde es zu einem der meistempfohlenen Bücher im Bereich Entwicklung und Konstruktion des Maschinenbaus.

Zum anderen sind insbesondere bei der Fortführung der Forschung mit Denkpsychologen (Prof. Dörner/Bamberg und Prof. Hacker/Dresden) durch die Professoren Birkhofer/Darmstadt (Nachfolger Pahl) und Lindemann/München (mein Nachfolger), Erkenntnisse entstanden, die für Hochschule und Praxis einfach fundamental sind. Diese wurden, allerdings nur kurz, besonders in Kapitel 3.4 bis 3.8 angesprochen. Damit wird der schon ursprünglich angelegte „menschzentrierte“ Schwerpunkt des Buches noch mehr betont. – Mehr über Methoden zum Qualitätsmanagement wünschten sich etliche Leser (Kapitel 4.4.2). – Die Praxis hat gezeigt, daß Methoden an die Bedingungen „vor Ort“ angepaßt werden müssen und somit

flexibel einzusetzen sind (Kapitel 6.2.3). Manche Methoden (z.B. TRIZ zur innovativen Lösungssuche, Kapitel 7.5.5.4) haben verstärktes Interesse erfahren und manche, wie das Variantenmanagement, Baukastensysteme (Kapitel 9.4), werden einfach zunehmend wichtiger.

Schließlich sollten die Verbesserungsvorschläge von Kollegen – insbesondere von FHS – berücksichtigt werden. Die Literatur mußte aktualisiert werden. Es wurde von DM auf € umgestellt und Fehler waren zu korrigieren.

Als Kürzel für Integrierte Produktentwicklung wurde in der 1. Auflage „IP“ verwendet. Bei den vielen inzwischen entstandenen Vorlesungen, Studienrichtungen und Praxisorganisationsformen hat sich das Kürzel IPE durchgesetzt, das nun übernommen wird.

Danken möchte ich den oben genannten Kollegen für die vertrauensvolle Weiterführung der Diskussion von Forschungsergebnissen und Praxisproblemen. Prof. Lindemann und die Angehörigen seines Lehrstuhls, insbesondere Herr Dr. Kiewert, haben mir immer wieder weitergeholfen. Herr Dr. Günther, der in der Praxis besonders daran interessiert ist, hat die Neuerungen in Kapitel 3 gegengelesen. Dem VDMA, Herrn Dr. Leyendecker und Dr. Wirth, sei für die Daten zur Aktualisierung der Statistik in Kapitel 5.2 gedankt. – Dank schulde ich dem Verlag Carl Hanser für die Fortführung der gemeinsamen Arbeit. Hier besonders dem Lektor Herrn Dipl.-Ing. Herzberg, der mich nicht nur motiviert hat, sondern mir immer wieder direkt selbst z.B. bei EDV-Problemen geholfen hat. Ohne ihn wäre keine neue Auflage entstanden. – Der Leser möge die sicher noch verbliebenen Fehler und Bild-Unsauberkeiten entschuldigen: Eine Folge der Softwareprobleme beim Umstellen von Apple auf PC und der termingebundenen „Ein-Mann-Bearbeitung“. (Bereits nach 8 Jahren große Probleme mit der Weiterverarbeitung von DV-Beständen. – Eine erschreckende Erfahrung im Hinblick auf die Forderung der Industrie nach jahrzehntelanger Nutzung!) Ich hoffe aber, daß der Inhalt „rüber kommt“. Darauf kommt's schließlich an. Um den Buchpreis erträglich zu halten, wurde das Autorenhonorar fast auf null gesetzt.

Meiner Frau möchte ich für das nicht leichtfallende Verständnis danken, daß sich ihr Mann plötzlich wieder intensiv in die Berufsarbeit gestürzt hat.

München, im August 2002

Klaus Ehrlenspiel

PS: Eine Datei **Arbeitsblätter und Checklisten**, die die wichtigsten Bilder des Buches unmittelbar für die Konstruktionsarbeit zusammenfaßt und vor allem einen Katalog wesentlicher physikalischer Effekte bringt, ist beim Hanser Verlag als pdf-Datei aus dem Internet abrufbar.

Adresse: <http://download.hanser.de>

■ Vorwort zur 1. Auflage



Die Wirklichkeit ist nicht so oder so, sondern so und so.

(Harry Mulisch)

Dieses Buch ist das Ergebnis von einem Jahrzehnt Konstruktionserfahrung in der Industrie und rund zwei Jahrzehnten Konstruktionsmethodik an der Hochschule. Konstruieren hat mich immer begeistert: Neues erdenken, trotz zahlreicher Einschränkungen und Probleme; zu erleben, daß ein Produkt funktioniert und sich durchsetzt. – Konstruktionsmethodik ist mindestens ebenso interessant: das Erkennen, was beim Konstruieren wirkt, wie man systematisch bessere Produkte findet, und wie man das Konstruieren lehrfähig macht.

Weiter gebracht haben mich die Gedanken meines Vorgängers Professor Rodenacker, die langjährige Zusammenarbeit mit den Kollegen Pahl und Dörner und viele Diskussionen mit den Kollegen Andreasen, Beitz, Birkhofer, Jung, J. Müller und Roth. Anregend waren auch die ICED-Konferenzen und die Diskussionen mit Dr.-Ing. Hubka.

Das Engagement für die Integration betrieblicher Bereiche zum gemeinsamen Produkterfolg haben der DFG Sonderforschungsbereich 336, vor allem mit dem Kollegen Milberg, und rund 70 Kostensenkungsseminare in der Industrie verstärkt. Ich habe dabei erkannt, daß die rein sachbezogene Methodik allein nicht ausreicht, sondern daß Denk- und Handlungseigenheiten von Konstrukteuren, von Gruppen, ja von ganzen Unternehmen einbezogen werden müssen.

Allein hätte ich dieses Buch so nicht geschrieben. Ohne meine Mitarbeiter am Lehrstuhl und ihr Engagement – vor allem im letzten Jahr – wäre es nicht entstanden. Deshalb möchte ich ihnen ausführlicher, als es sonst üblich ist, danken.

Am Anfang des Diskussions- und Arbeitsprozesses vor sechs Jahren waren die Herren Dr.-Ing. N. Dylla, Dr.-Ing. E. Feichter, Dr.-Ing. A. Kiewert meine Gesprächspartner. Erste Entwürfe für Kapitel erarbeiteten Dr.-Ing. J. Bruckner, Dr.-Ing. E. Lenk, Dr.-Ing. R. Schiebeler, Dr.-Ing. G. Stoll, Dr.-Ing. P. Stolz, Dr.-Ing. R. Stuffer, Dr.-Ing. R. Wellniak, Dr.-Ing. M. Wolfram und Dipl.-Ing. E. Steinmeier.

Danach gründeten wir den „Buch-Club“, der aus Frau Dipl.-Ing. U. Phleps, und den Herren Dr.-Ing. A. Kiewert, Dr.-Ing. J. J. Wach und Dr.-Ing. V. Weinbrenner bestand. Das Management übernahm mit großem Engagement Dr.-Ing. J. J. Wach, der viel zur Neukonzeption beitrug, danach Dr.-Ing. V. Weinbrenner. Er steuerte das Buchprojekt mit Umsicht und Einsatz bis zum Druck und trug, wie auch Dipl.-Ing. U. Phleps und Dr.-Ing. A. Kiewert, viel zur Klärung der Gedanken, der Struktur und der Details bei.

Für die Arbeit an folgenden Teilbeiträgen möchte ich mich bei meinen Mitarbeitern ganz besonders bedanken:

Dipl.-Ing. S. Ambrosy (Kapitel 7.10; 8.1), Dipl.-Ing. G. Allmansberger (Arbeitsblätter und Checklisten), Dipl.-Ing. R. Bernard (Kapitel 8.7), Dr.-Ing. J. Bruckner (7.9) Dipl.-Ing. G. Hechtel (7.9), Dipl.-Ing. S. Danner (4.4.2; 7.8), Dipl.-Ing. R. Eiletz (7.3; 7.4, Anhang A1), Dipl.-Ing. A. Giapoulis (7.5.5; 7.6.4; 8.5), Dipl.-Ing. J. Günther (7.5; 8.3), Dipl.-Ing. R. Irlinger (7.6), Dr.-Ing. A. Kiewert (5.1.4.7; 7.1; 7.2.9), Dipl.-Ing. R. Klee-dörfer (7.7), Dipl.-Ing. P. Merat (9.4), Dr.-Ing. A. Schlüter (5.1.4.3; 8.6), Dipl.-Ing. Dipl. Wirtsch. Ing. S. Uebelhör (4.4.2; 7.8), Dipl.-Ing. R. Simons (8.7), Dipl.-Ing. M. Steiner (9.3.4), Dr.-Ing. J. J. Wach (4.1.6), Dr.-Ing. V. Weinbrenner (8.2).

An den umfangreichen Korrekturlesungen waren genannte Herren und intensiv Frau Dipl.-Ing. U. Phleps sowie die Herren Dr.-Ing. E. Feichter, Dr.-Ing. A. Kiewert, Dr.-Ing. J. J. Wach und Dr.-Ing. V. Weinbrenner beteiligt. Ihnen und den externen kritischen Gutachtern, den Herren Prof. Dr.-Ing. R. Baumgarth, Prof. Dr. D. Dörner, Prof. Dr.-Ing. D. Fischer und Dipl.-Ing. G. Zoll möchte ich ganz herzlich danken.

Für das Erstellen der Bilder danke ich Frau S. Frick und Frau J. Schulz.

Ich möchte ferner zahlreichen Firmen danken. Sie haben indirekt an diesem Buch mitgewirkt, indem sie eingewilligt haben, daß ihre Praxisbeispiele – allerdings meist etwas verfremdet – aufgenommen werden. Der Dank gilt den Firmen Behr, BHS Werk Sonthofen, BMW, Heckler und Koch, MTU Friedrichshafen, Rafi, Renk, Trützschler, Webasto, Zahnradfabrik Passau.

Gedankt sei auch dem Carl Hanser Verlag für die angenehme Zusammenarbeit und gute Ausführung. Es sei angemerkt, daß der Verlag von einem Teil der Herstellkosten entlastet wurde, um den Buchpreis vor allem für Studenten noch tragbar zu machen.

Meiner Frau danke ich für das Verständnis und die Geduld bei der zeitlichen und inneren Abwesenheit ihres Mannes.

im August 1994

*Klaus Ehrlenspiel
Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau TU München*

und fallabhängiger Disposition, müssen aber von Zeit zu Zeit auf ihre Effizienz überprüft werden. „Es gibt zu viele starre und schwerfällige Strukturen, die zu wenig flexibel rasche Reaktionen verhindern“ [9/4].

Erfahrungen in der **Lehre** aus dem Bereich der Entwicklung und Konstruktion haben gezeigt, dass auch schon der Einsatz allgemeiner Vorgehenspläne (wie in Bild 5.8 oder 6.12) für eine beschleunigte Einarbeitung und Know-how-Übernahme sehr hilfreich ist. Über die Konstruktion und Entwicklung hinaus wäre es interessant, über allgemeine Vorgehenspläne zur gesamten Produkterstellung als Basis für die Lehre zu verfügen.

4.1.6 Praxisbeispiel einer Produkterstellung: Heizgerät

Zweck des Beispiels

Das Beispiel soll zeigen, wie bei der üblichen konventionellen Produkterstellung Probleme entstehen können: Probleme aus ungenügender Zielsetzung, Mängel im Informationsaustausch, Mängel in der Ablaufplanung. Das Beispiel zeigt aber auch, wie man versucht, daraus zu lernen und durch Teamarbeit die Integration zu verbessern. Das Beispiel soll zusammen mit Kapitel 4.1.7 die Notwendigkeit zu mehr Integration in der Produkterstellung (Kapitel 4.2) aufzeigen.

Gesamtaufgabe

Ein größerer Hersteller von Zusatzheizungen für Kraftfahrzeuge (im Weiteren als Stammhaus bezeichnet) hatte einen kleineren, in Probleme geratenen Wettbewerber (im Weiteren als Zweigwerk bezeichnet) übernommen. Dieses örtlich weit entfernte Zweigwerk war auf dem Marktsegment Luftzusatzheizungen tätig, in dem das Stammhaus verstärkt Fuß fassen wollte. Dies sollte mit einer weitgehend neu zu entwickelnden Luftzusatzheizung geschehen, die sich durch bessere Funktionen und geringere Kosten gegenüber dem Wettbewerb abheben sollte.

Technik

Der Aufbau und die Funktionsweise des Heizgeräts stellte sich nach mehreren Konzeptverwerfungen und -änderungen wie folgt dar (vgl. Bild 4.19): Die Heizluft wird durch ein Heizluftgebläse angesaugt und durch das Heizgerät gefördert. Beim Passieren des Wärmeübertragers wird die Heizluft erwärmt. Die Brennluft wird vom Brennluftgebläse angesaugt und durch ein Luftführungssystem in die Brennkammer geleitet. Für einen optimalen Wärmeübergang liegt der Brenner mittig im Wärmeübertrager. Die Brennluft wird durch mehrere Löcher im Blechmantel der Brennkammer in den Brenner geleitet.

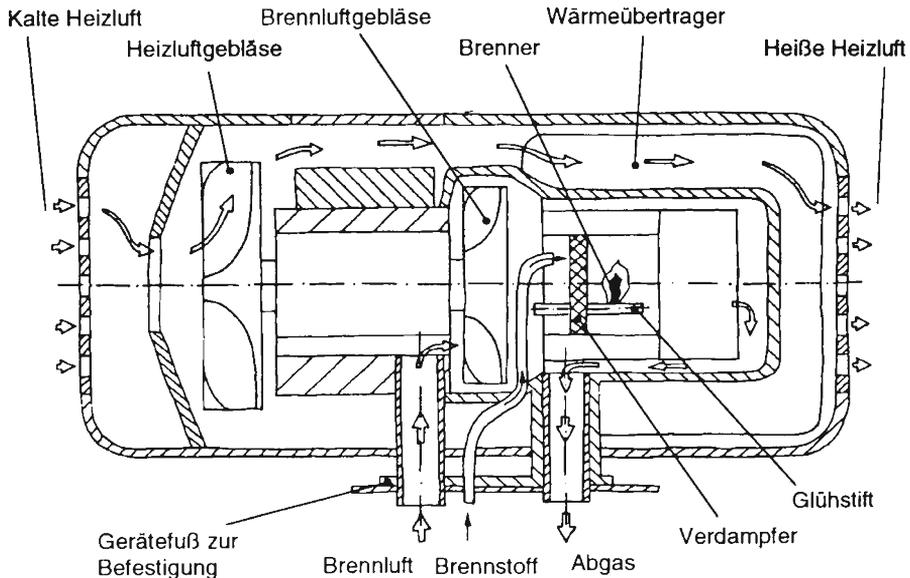


Bild 4.19 Das Heizgerät und seine Komponenten

Der Brennstoff wird von der Kraftstoffdosierpumpe aus dem Fahrzeugtank durch die Zuleitung dem Verdampfer bzw. Brenner zugeführt. Beim Durchtritt durch den Verdampfer wird der Kraftstoff durch Wärmerückführung aus der Brennkammer verdampft. Im Brenner werden dann der Kraftstoffdampf und die Brennluft miteinander vermischt. Durch den Glühstift wird die Verbrennung eingeleitet und das Kraftstoff-Luft-Gemisch zur Zündung gebracht. Die heiße Brennluft wird anschließend am Boden des Wärmeübertragers umgelenkt und strömt entgegen der Strömungsrichtung der Heizluft durch den Wärmeübertrager zum Abgasrohr. Ein elektronisches Steuergerät hat die Aufgabe, den gesamten Heizprozess zu regeln und zu überwachen. Als Sensoren dienen hierbei ein Flammwächter, ein Überhitzungsschutz und ein Temperaturfühler in der Ansaugluft.

Die gesamte Zusatzheizung ist vom Hersteller den Kundenwünschen entsprechend in das übergeordnete „System“ Kraftfahrzeug mit entsprechend komplexen Randbedingungen einzubinden.

Phase A

Die Entwicklung bzw. Erstellung der Zusatzheizung begann mit der Vorgabe der ersten Anforderungen an das Produkt von der Unternehmensleitung bzw. vom Vertrieb des Stammhauses (Bild 4.20). Es wurde im neuen Zweigwerk entwickelt, wobei die Projektleitung ihren Sitz im Stammhaus hatte. Wohl auch durch die große örtliche Trennung von Entwicklung und Projektleitung und dem damit einhergehenden mangelhaften Informationsaustausch erschien es längere Zeit so, als

ob die Entwicklung im neuen Zweigwerk ohne größere Probleme abliefe. Bei der Vorstellung bzw. Erprobung der ersten Prototypen nach etlichen Monaten zeigte sich jedoch, dass das System nicht den tatsächlichen Marktanforderungen entsprach und deutliche funktionelle Probleme mit den separaten Antrieben für Brennstoff- und Heizluftförderung auftraten. Überdies waren die Marktanforderungen nicht ausreichend erfasst bzw. beachtet worden, ferner fiel im Dauertest eine zentrale Komponente, der Verdampfer, sehr häufig aus. 16 Monate Entwicklungszeit waren in der Phase A inzwischen verstrichen.

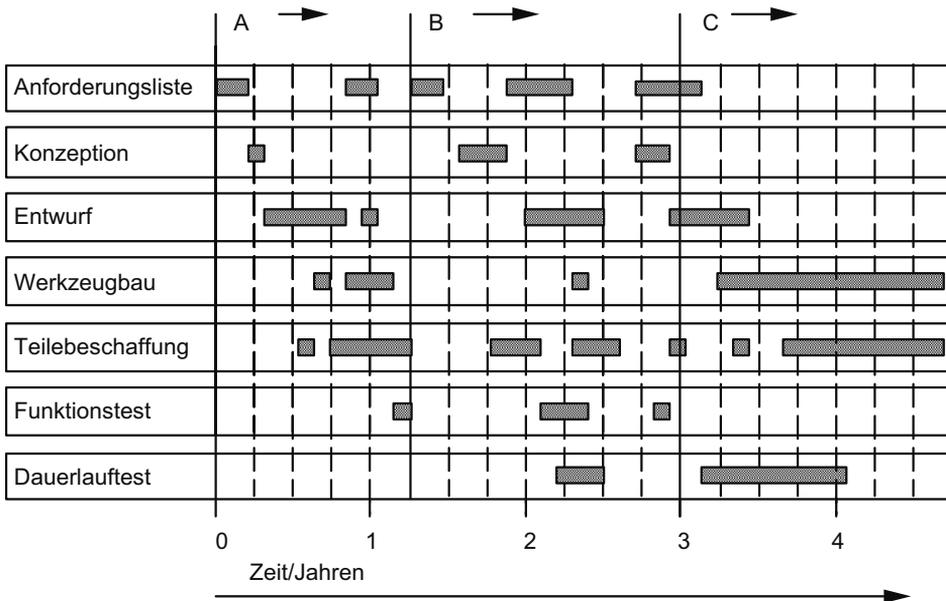


Bild 4.20 Projektablauf in der Übersicht

Phase B

Als Folge wurde unter neuer Leitung im Stammhaus eine genauere Marktanalyse durchgeführt, um die Anforderungen an das Produkt besser zu klären. Ferner erfolgte eine eingehende Schadensanalyse des im Dauertest häufig versagenden Verdampfers. Dabei zeigte sich, dass für eine zentrale Teilfunktion, die Brennstoff- und Heizluftförderung, ein neues Prinzip mit zwei separaten Antrieben angewandt wurde, ohne dass dessen Risiken durch entsprechende Voruntersuchungen ausreichend abgeschätzt worden waren. Konstruktions-FMEAs, Risikoabschätzungen oder umfassendere Versuche bzw. Simulationen zur Eigenschaftsfrüherkennung waren unzureichend durchgeführt worden. Das angewandte Prinzip war für die vorliegende Aufgabe nicht geeignet. Deshalb musste das Gesamtkonzept für das Produkt verworfen werden.

Da sich die große räumliche Entfernung von Entwicklung und Projektleitung nicht bewährt hatte, wurde die Entwicklung in das Stammhaus verlagert, um dort mit neuer Leitung und verstärkter bzw. geänderter Mannschaft die Entwicklung in einem klarer definierten Projekt fortzusetzen. In diesem Zusammenhang wurde auch die Organisationsstruktur vollständig umgebaut. Es wurde ein interdisziplinäres Team geschaffen, in dem u. a. der Vertrieb, das Controlling, die Arbeitsvorbereitung sowie Mitarbeiter aus den betroffenen Fachabteilungen für bestimmte Zeiträume eingebunden wurden. Hilfsmittel zur Projektsteuerung wurden eingesetzt, das Projekt bis zum Serienanlauf durchgeplant. Der geplante Serienanlauf musste trotzdem verschoben werden. Zur Unterstützung und der Verwirklichung einer „integrierten Produkterstellung“ wurde die Zusammenarbeit mit einer Unternehmensberatung aufgenommen.

Der weitere Projektfortschritt im Stammhaus bis zur ersten Produktionsvorserie gestaltete sich wie in Bild 4.21 bzw. im Folgenden dargestellt (die beschriebenen Teilschritte waren teilweise stark ineinander verschachtelt):

Die Entwicklungsarbeit im Stammhaus begann mit einer ausführlichen Überarbeitung der Anforderungsliste (Teilschritt 2). Hierbei wurden die Ergebnisse aus Patentrecherche, Marktanalyse, Schadensanalyse und die Vorgaben aus der Fahrzeugindustrie eingearbeitet. An diesem Anforderungsklärungsprozess war neben der Entwicklung insbesondere die Vertriebsabteilung beteiligt. In diesem Zusammenhang tauchte z. B. das Problem auf, dass der Vertrieb nicht genügend Benzinproben aus dem Ausland beschafft hatte.

Erste Entwürfe wurden durch die Entwicklung angefertigt (Teilschritt 3). Controlling und Vertrieb führten eine erste Wertanalyse durch. Zu den Wertanalysen merkte das Controlling an, dass es lästig sei, wegen „Pfennigbeträgen“ einen Berg an Formalismus bewältigen zu müssen. Die hierfür auftretenden Kosten würden dabei manchmal die gewünschten Einsparungen übersteigen.

Es folgte die Vorbereitung für den Bau eines Erprobungsgeräts mit Angebotseinholung und Bestellung von Musterteilen (Teilschritt 4). In der Konstruktion wurden detailliertere Entwürfe angefertigt. Das Projektteam führte eine Risikobetrachtung durch, und die Konstruktion berechnete die erforderlichen Toleranzen. Das Erprobungsgerät wurde montiert (Teilschritt 7), danach wurde es Funktionstests und firmenintern genormten Prüfungen unterworfen, und zwar für die Freigaben bzgl. Vertrieb, Systementwicklung, Einkauf, Arbeitsvorbereitung, Qualität und Entwicklung E-Technik. Unter Mitwirkung aller Abteilungen wurden die Bauteil- und Komponentenanforderungslisten genau festgelegt (Teilschritt 9). Des Weiteren erfolgte eine Konzeptbestätigung über eine Risikobetrachtung, in die ebenfalls alle Abteilungen eingebunden waren (Teilschritt 10).

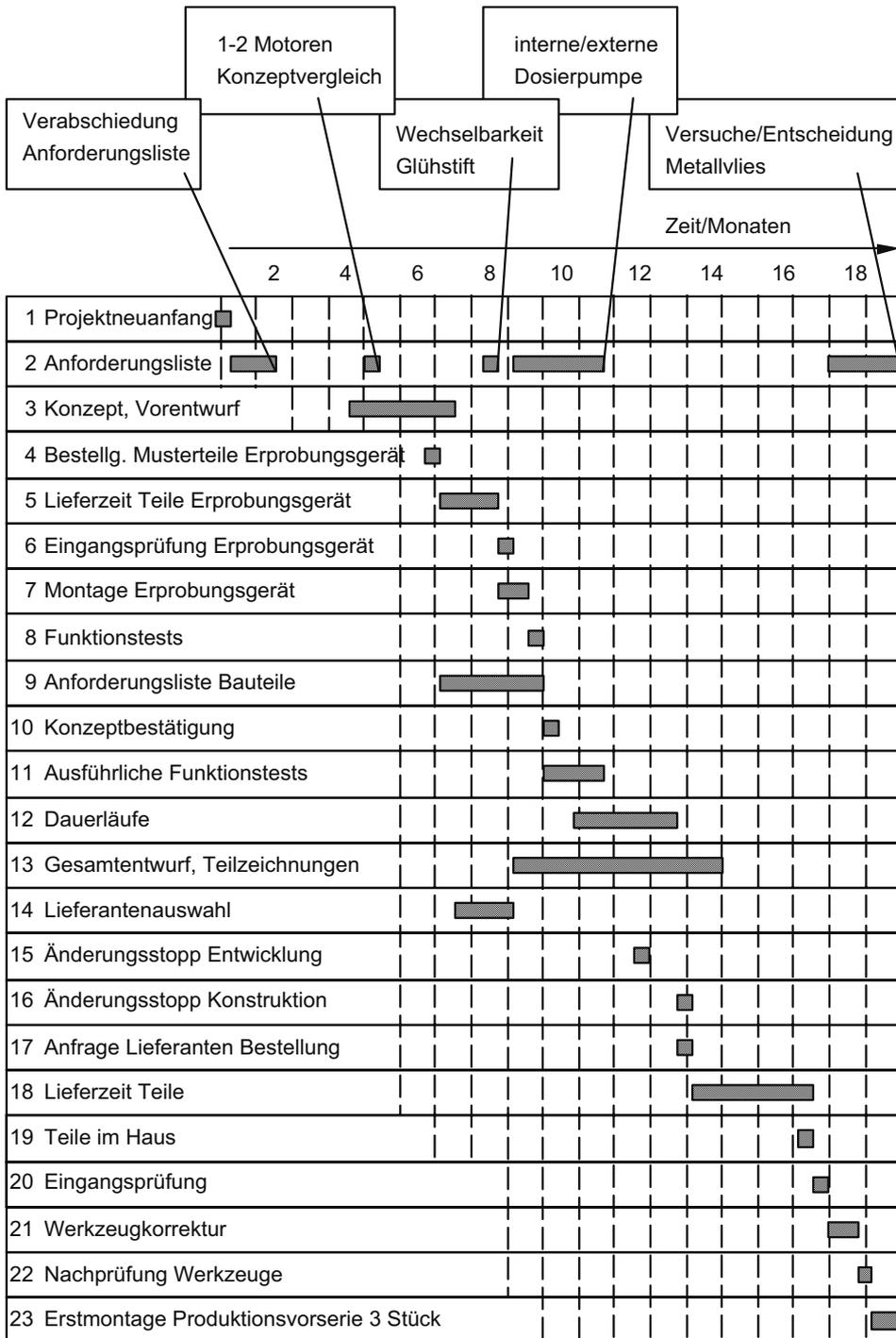


Bild 4.21 Detaillierter Ausschnitt aus dem Projektplan, Phase B

In diesem Zusammenhang dienten ausführliche Funktionstests und Dauerläufe durch den Versuch und die Konstruktion der Untermauerung der Risikoabschätzungen (Teilschritte 11/12). Dabei wurde wegen Komplikationen mit dem Leerlaufen der Kraftstoffleitung und nicht gelösten Temperaturproblemen das Gesamtkonzept erneut verworfen und zu einer Variante mit externer Dosierpumpe zurückgekehrt. Hier zeigte sich wiederum, dass die Qualitätssicherung und auch der Versuch zu wenig und zu spät in den Entstehungsprozess eingebunden waren, der Informationsaustausch zwischen den Abteilungen also ungenügend war.

Ausgehend von den festgestellten Schwachstellen bzw. Erfahrungen wurde wieder entsprechend umkonstruiert, die Konstruktion fertigte Stücklisten und Fertigungszeichnungen an. Die Arbeitsvorbereitung erarbeitete unter Mitwirkung der Qualitätssicherung die Arbeitspläne (Teilschritt 13). Parallel dazu erfolgte die Angebots-einholung und Auswahl der Lieferanten vorwiegend durch den Einkauf und die Arbeitsvorbereitung (Teilschritt 14).

Zur Absicherung des zum jetzigen Zeitpunkt im Projektverlauf vorgesehenen Änderungsstopps für die Entwicklung wurde der momentane Entwicklungsstand durch eine Risikobetrachtung bzw. Toleranzrechnung überprüft. Anschließend erfolgte die Werkzeugbestellung (Teilschritt 17). Die Werkzeuge wurden von der Qualitätssicherung und dem Versuch in Abstimmung mit dem Projektteam einer Eingangsprüfung unterzogen und teilweise korrigiert. In einem weiteren Schritt erfolgten die Nachprüfung und die Freigabe der Werkzeuge (Teilschritte 20/21/22).

Parallel dazu erfolgte auch die endgültige Bestellung der Zulieferteile, wobei selbst in dieser späten Phase noch Unsicherheiten bzgl. der Verwendung eines Metallvlieses als Verdampfer bestanden. Versuche hierzu wurden noch durchgeführt, während drei Zusatzheizungen der Produktionsvorserie bereits montiert wurden (Teilschritt 23). Schwierigkeiten bei der Montage zeigten, dass auch die Arbeitsvorbereitung nicht genügend bzw. zu spät in den Entwicklungsprozess integriert worden war.

Phase C

In der Phase C (siehe Bild 4.20) konnte die Luftzusatzheizung schließlich zur Serienreife weiterentwickelt werden.

Zusammenarbeit und Informationsfluss

Die insgesamt auffälligen Abstimmungsprobleme in dem Projekt wurden mit einer eingehenden Informationsfluss- bzw. Kommunikationsanalyse näher hinterfragt. Hierbei wurden alle Mitarbeiter des Projektteams rechtzeitig gebeten, über sämtliche von ihnen geführten Gespräche in einem zweiwöchigen Zeitraum Buch zu führen. In entsprechenden Formularen waren Zeitpunkt, Gesprächspartner, Initiator, Dauer und Anlass der Gespräche zu notieren. Eine Auswertung dieser Erhe-

bung ist in Bild 4.22 dargestellt. Das Bild zeigt sternförmig aufgetragen die Gespräche des im mittleren Kreis genannten Mitarbeiters (Entwickler Wärmetauscher), wobei die Darstellung Folgendes anzeigt:

- die Pfeilstärke gibt die gesamte Gesprächsdauer an,
- die Pfeilrichtung verdeutlicht, wer das Gespräch initiierte und
- die Zahl am Pfeil symbolisiert die Anzahl der geführten Gespräche.

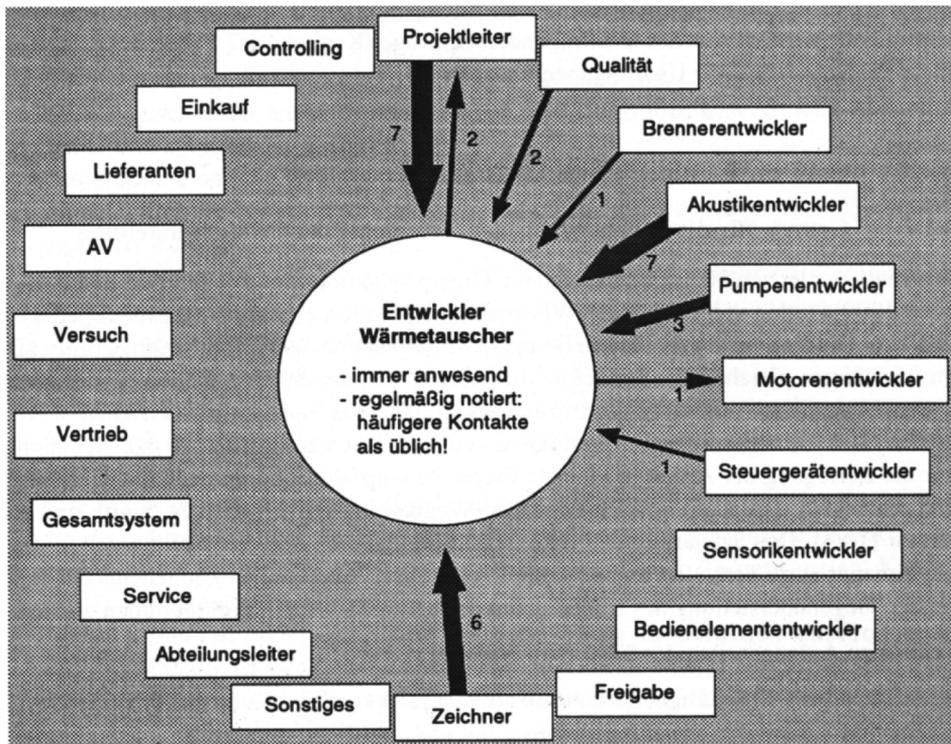


Bild 4.22 Auswertung des Informationsaustauschs eines Mitarbeiters über den Zeitraum von zwei Wochen. Die Zahlen beziehen sich auf die Häufigkeit der Gespräche, die Dicke der Pfeile auf deren Gesamtdauer (Bereichsangaben verändert). Siehe auch Bild 3.7

Durch diese Auswertung konnten so z. B. relativ eindeutig „Informationssenken“ erkannt werden. Der hier beschriebene Mitarbeiter – „Entwickler Wärmetauscher“ in der Mitte von Bild 4.22 – ging von sich aus sehr selten auf andere Projektbearbeiter zu: im Bild nur zweimal auf den Projektleiter und einmal auf den Motorverantwortlichen. Interviews zeigten, dass als Folge auch die anderen Mitarbeiter wenig Lust hatten, sich stets um die an sich unumgängliche Kommunikation mit ihm zu bemühen. Die Analysen wurden auch mit einer Abfrage des Soll-Zustands bezüglich der Kommunikation bei den jeweiligen Abteilungs- sowie Projektleitern

abgeglichen. Auch dies zeigte sehr deutlich die Schwächen im Informationsfluss auf. Das Beispiel zeigt außerdem, dass das zu stark introvertierte Verhalten dieses Mitarbeiters zu technischen Problemen, Zeitverlust und überhöhten Kosten führte. (Kapitel 3.5; Bild 3.7).

Erkannte Probleme

Bei diesem Fallbeispiel, das über die Analysen und entsprechende Korrekturmaßnahmen zu guter Letzt doch noch erfolgreich zu Ende gebracht werden konnte, tauchten in mehreren wichtigen Bereichen folgende Probleme auf:

1. Mangelnde Zusammenarbeit durch eine (zunächst) ungeeignete Organisationsstruktur, schlechte Koordination und Abstimmung und auch eine mangelhafte Leitung des Projekts.
2. Unzureichende Marktanalyse und Aufgabenklärung, unzureichende Risikoabschätzung, also insgesamt mangelhafter Methodeneinsatz.
3. Missachtung von persönlichen, menschlichen Eigenschaften und individuell unterschiedlichen Verhaltensweisen.

Diese Probleme können meist nicht isoliert betrachtet werden. Sie sind voneinander abhängig, eng vernetzt und sich gegenseitig bedingend. Stimmt sich z. B. der Einkauf nicht ausreichend mit dem Versuch ab (u.U. ein menschliches oder ein organisatorisches Problem), so können technische Probleme die Folge sein, was sich als massives Zeitproblem in der Konstruktion auswirken kann. Letztlich bewirkt Zeitmangel dann häufig hohe Kosten. Aus der nachfolgenden Umfrage (Kapitel 4.1.7.2) erkennt man, dass diese Probleme für viele Unternehmen typisch sind.

4.1.7 Probleme heutiger Produkterstellung

4.1.7.1 Gründe für die Probleme aus der Geschichte der Produkterstellung

Innerhalb der letzten 100 Jahre hat sich die Güterproduktion fundamental gewandelt. Bis circa 1900 wurden viele benötigte Wissensbereiche durch erfahrene Meister abgedeckt und zum Großteil auch von ihnen erledigt. Mit der zunehmenden Industrialisierung, als große Mengen gleichartiger Produkte von schnell anzulernenden Arbeitern zu fertigen Waren, begann die Aufteilung der früher vom Handwerker ganzheitlich verrichteten Arbeiten. Gleichzeitig wurden die Produkte und die Fabriken komplexer, so dass sich nicht nur die Zerlegung der Arbeit in kleinste Elemente empfahl, sondern auch die Trennung von planenden und ausführenden Arbeiten. Wegbereiter dafür waren A. Smith und F. Taylor [10/4]. Das Szenario der Produkterstellung hat sich seit den Anfangszeiten des Taylorismus stark verändert und verkompliziert. Diese Änderungen können aus der folgenden Gegenüberstellung des früheren und des heutigen Szenarios entnommen werden:

Früher zu Anfangszeiten des Taylorismus war

- ein **Produkt** über **lange Zeiträume unverändert** geblieben (z. B. T-Modell von Ford). Man hat die Abteilungen darauf optimiert ausrichten können. Es gab nur **wenige Varianten** (Ford: „Sie können jede Farbe haben, Hauptsache, sie ist schwarz“). Die Stückzahlen gleicher Produkte waren hoch.
- Das Produkt war **wenig komplex**: wenig Funktionen, kaum Elektrik, keine Elektronik. Mit einfachen Werkzeugen konnte ein normaler Arbeiter i. A. die Einzelteile herstellen, das Produkt montieren und warten.
- Das **Bildungsniveau der Arbeiter** und der meisten Angestellten war eher niedrig. Die stark hierarchischen Unternehmensstrukturen wurden größtenteils, auch wegen der noch schwachen Gewerkschaften, akzeptiert.
- Der **Markt** war ein **nationaler Verkäufermarkt**: Der Markt war aufgrund der großen Nachfrage von den Verkäufern dominiert. Der Preis wurde auf Grund der kalkulierten Kosten der Produktion gemacht.

Heute haben wir:

- einen **raschen Wandel der Produkte**. Der Faktor „Zeit“ hat insbesondere im Konsumbereich seit den 70er Jahren an Gewicht gewonnen. Wegen der großen Konkurrenz auf dem Weltmarkt wurde neben Preis und Qualität eine **kurze Innovationszeit** zum erfolgsbegründenden Kriterium. Die Innovationen folgen rasch aufeinander. Die Marktlebensdauer der dadurch schneller entwickelten Produkte sank von 1980 bis 1990 im Computerbereich um 46 % und im Kfz-Bau um 12,5 % (Bild 7.8). Ein neuer Typ von Wettbewerbern, der schnelle Konkurrent, hat so alle Branchen umgestaltet. Die Produktentwicklungszeit muss kurz sein, da oft nur noch der Erste am Markt guten Gewinn macht.
- Im Investitionsgüterbereich wird fast jedem Kunden seine Wunschvariante gebaut („Käufermarkt“). Man erstickt in der teuren **Variantenflut**. Die Losgrößen bzw. Stückzahlen sind stark zurückgegangen („Losgröße 1“; „individualisierte Massenproduktion“ [82/9]).
- Die Produkte und die Produktion sind z. T. durch Elektronik und Rechnersteuerung oft **sehr komplex** geworden: Mechatronik ist heute normal. Vieles wird automatisiert, was früher vom „Bediener“ gesteuert wurde.
- Die Forderung nach **Sicherheit, Zuverlässigkeit** und **Qualität** ist dominierend. Qualitäts-Sicherungsnachweise und die zugehörige Dokumentation sind umfangreicher und teurer geworden (Produkthaftungs-Gesetz; DIN ISO 9000 [7/4]).
- Das **Bildungsniveau** der Arbeiter und Angestellten ist heute höher. Auch sind sie selbstbewusster geworden. Sie lehnen sich gegen streng hierarchische, verkrustete Strukturen auf. Sie suchen nicht nur Verdienst, sondern auch Selbstverwirklichung in der Arbeit.
- Der Markt ist zum weltweiten **Käufermarkt** geworden: Der Kunde ist König. Die Preise richten sich nach der internationalen und zahlreich gewordenen Konkur-

renz und danach, „wie viel der Kunde zu zahlen bereit ist“ (vgl. Target Costing, Kapitel 9.3.3). Die Herstellkosten können nun nicht mehr einfach auf den Verkaufspreis hochgerechnet werden (bottom up), sondern der Produktpreis ist eine konstruktiv zu verwirklichende Zielgröße (top down).

- Die **Technikproduktion** ist **globalisiert**, d. h. vom Standort her flexibel: Es gibt weltweit technische Bildungs- und Produktionsmöglichkeiten und damit Bezugsquellen. Durch Automatisierung ist das „Meister-Know-how“ als deutscher Vorteil nicht mehr so wichtig wie früher. Frühere „Billigländer“ bringen bei entsprechenden Telekommunikations- und Verkehrsmöglichkeiten alteingesessene Produzenten in Bedrängnis.

4.1.7.2 Probleme der konventionellen – nicht integrierten – Produkterstellung am Beispiel Entwicklung und Konstruktion

Folgende drei Problembereiche in Entwicklung und Konstruktion sind sehr wahrscheinlich auch für die Produkterstellung insgesamt typisch:

- Problembereich 1: **organisatorische Probleme**. Hierunter fallen u. a. Zusammenarbeits-, Führungs-, Motivations-, Qualifikations- und Weiterbildungsprobleme sowie die Organisation von Hilfsmitteln (CAD; CAX; PDM; Simulation; Kataloge, ...).
- Problembereich 2: **Entwicklungs- und Konstruktionsprozess**. Hierunter fallen Probleme mit der Klärung der Anforderungen, der Suche nach Lösungen sowie mit der zeitlichen und inhaltlichen Steuerung der Prozesse (Terminprobleme).
- Problembereich 3: **technisch-wirtschaftliche Probleme** mit dem Produkt. Hierunter fallen die Funktions-, Fertigungs-, Werkstoff-, Zuverlässigkeits-, Umwelt- und Kostenprobleme.

Die Bewertung dieser drei Problembereiche wurde mit einer Umfrage 1991/92 abgefragt. Dies ist schon daher unerlässlich, weil eine sorgfältige Schwachstellenanalyse eine Grundvoraussetzung für entsprechende Verbesserungen der Produkterstellung und ihrer Abläufe ist.

a) Ergebnisse der Umfrage „Probleme in Entwicklung und Konstruktion“

Bei der Umfrage⁴ wurden rund 300 Mitarbeitern aus unterschiedlichen Unternehmen die in Bild 4.23 in Kurzform angegebenen Fragen gestellt: organisatorische Probleme: Fragen 1.1 bis 1.8, Probleme im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess: Fragen 2.1 bis 2.6; technisch wirtschaftliche Probleme: Fragen 3.1

4) Diese Umfrage wurde im Rahmen von Industrieseminaren zum „Kostengünstigen Konstruieren“ in den Jahren 1991 und 1992 durchgeführt. Die Befragten stammten zu 70% aus dem allgemeinen Maschinenbau, zu 17% aus der Kfz-Industrie und deren Zulieferern. Die Unternehmensgröße hatte einen Schwerpunkt bei 500–2000 Mitarbeitern (24%), rund die Hälfte waren Konstrukteure (Sachbearbeiter), 23% Gruppenleiter, 15% Abteilungsleiter. Einzel- und Kleinserienfertigung dominierte. – Nach neueren Beobachtungen (5. Auflage Buch) sind wesentliche Aussagen der Umfrage immer noch gültig.

bis 3.8. Manche Fragen waren redundant. Zeit- und Kostenprobleme wurden direkt abgefragt (Frage 2.4; 2.5; 3.7), die Frage nach der Produktqualität dagegen war indirekt in den Fragen 3.1 bis 3.6 enthalten. Die Antworten konnten in einer fünfstufigen Skala von 0 = sehr gut (keine Probleme), bis 4 = sehr schlecht (große Probleme) gegeben werden. Der Mittelwert aller Antworten lag bei 2,01.

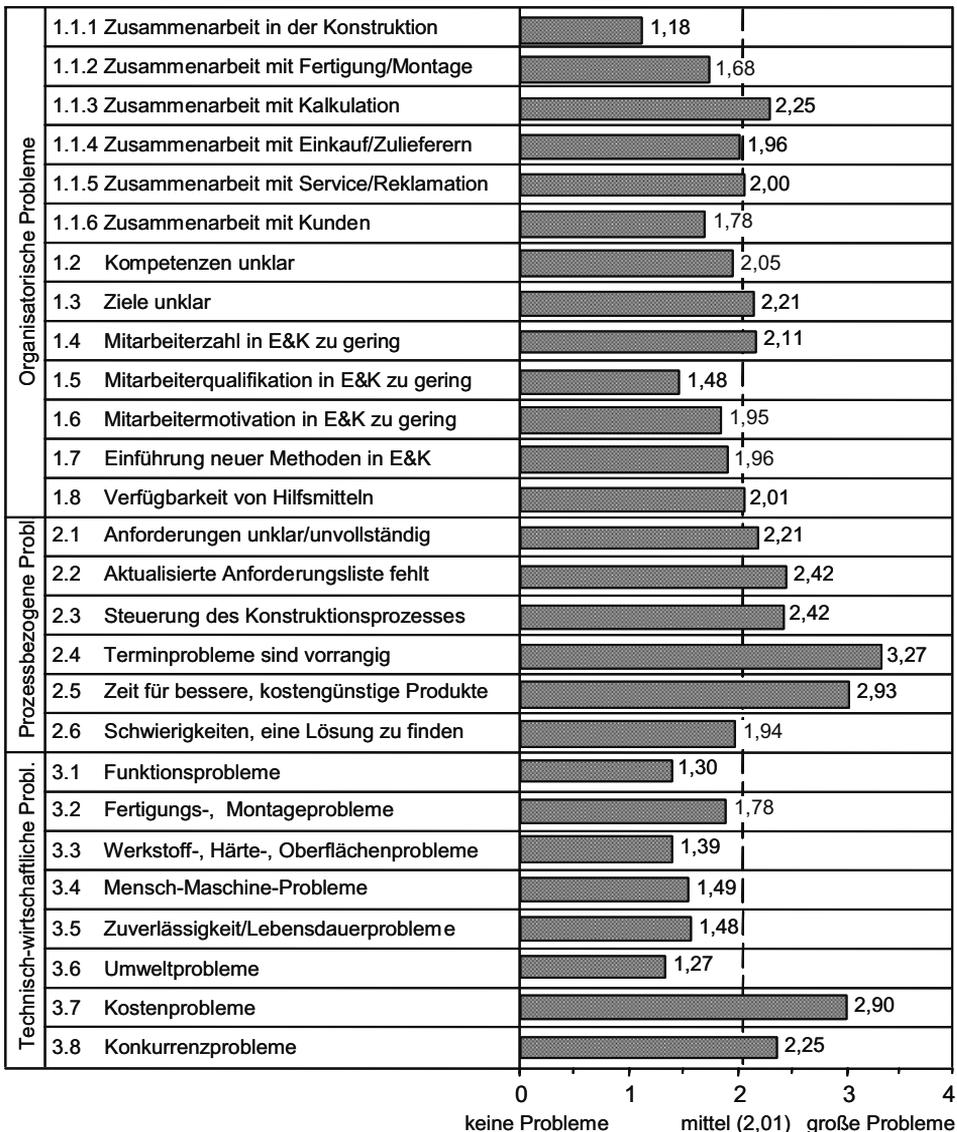


Bild 4.23 Auswertung von 295 Fragebögen zu Problemen in Entwicklung und Konstruktion

Stichwortverzeichnis

A

- ABC-Analyse 455, 798, 818f., 827, 831, 874
- abhängiger Funktionsträger 423
- Abhilfemaßnahme 627
- Ablauf
 - adaptiver 405
 - prozeduraler 409
 - verschachtelter 407
- Ablaufintegration 252
- Ablauforganisation 211, 256
- Ablaufsteuerung 152
- Abnehmerbereich 459, 462
- Abstraktion 97, 99, 489, 491, 510, 757
 - bildhafte 149
- Abstraktionsfähigkeit 418
- Abwicklung, konstruktive 372, 374
- adaptiv 405
- Adaptronik 346
- Ähnlichkeit
 - dynamische 886f.
- Ähnlichkeitsanalyse 855
- Ähnlichkeitsgesetze 882, 885, 888
- Aktor 517
- Akzeptanzbedingung 267
- Analysemethode 617
- Analyseproblem 77
- Änderungsdienst 495
- Änderungshäufigkeit 247
- Änderungskosten 870
- Änderungsmanagement 665
- Änderungsstopp 281
- Anforderung 111, 435, 468, 478, 643, 716, 806f., 813, 816, 819, 831, 856f.
 - Analyse und Formulierung 151
 - Arten 480, 551
 - Gliederung 480, 482, 484
- Anforderungsliste 282, 494, 551, 685ff., 739, 754, 769, 771, 845
- Anforderungsmanagement 495
- Angebot 551
- Angebotserstellung 901
- Angebotsingenieur 363
- Angebotstätigkeit 363
- Anpassungskonstruktion 331, 420f., 423
- Anwenderbaukasten 896
- Anzeige 518
- Arbeitsklima 418
- Arbeitsmethode 26
- Arbeitsprinzip 459, 461
- Arbeitsteilung 203, 247, 364
- Arbeitsvorbereitung für die Konstruktion 364
- Artteilung 204
- Assoziationen 563
- Aufbauorganisation, produktbezogene 253
- Aufgabe 67, 696
 - analysieren 111, 131, 491, 684, 726, 753
 - formulieren 111f., 131, 685
 - klären 111, 139, 321, 684, 697, 716, 752, 770
 - strukturieren 107, 111f., 131, 499, 726
- Aufgabenanalyse 491
- Aufgabenintegration 250
- Aufgabenklärung 110, 474, 476, 496, 696f., 703, 710f., 716, 723, 725, 727, 752
- Auftragsgespräch 806, 845
- Augmented Reality 386
- ausarbeiten 326
- Ausbildung 366
- Ausfallkurve für Produktidee 447
- Ausgangsgröße 545

Auslegungsberechnung 627
 Ausprägung 38
 Auswahlliste 641, 644f., 758
 automatische Arbeitsplanung und Kostenrechnung 856

B

Bauchentscheidung 73
 Bauelementematrix 56
 Baukasten 890, 895f.
 – geschlossener 896
 – offener 896
 – -struktur 898
 – Zuliefer- 896
 Baukastenkonstruktion 890, 897
 – Vorgehensweise 897
 Baukastensystem 893, 895f.
 Baureihe 806f., 812, 822f., 826, 829, 844, 852, 877, 880ff., 888, 890, 892
 Baureihenkonstruktion 880, 882f., 885
 Baustruktur 47, 501
 Bauweise 607f.
 Bearbeitungszeit 259, 352
 Bedienelement 517
 Bedienfunktion 517
 Bedingungszustand 927, 929
 begleitende Tätigkeit 312
 begriffliche Abstraktion 149
 Benchmarking 466, 841, 845
 Benutzeroberfläche 517
 Benutzerschnittstelle 517
 Berechnungsingenieur 362
 Berechnungsmethode 737
 Bergwanderung 6, 405
 – Analogie 405
 Berufsbilder 362
 Berührungs- und Kontaktart 569
 Beschaffungspotenzial 472
 Beschleunigungsfaktor durch CAD 380
 Betriebsklima 254, 271, 370, 377, 387, 840
 Bewertung 482
 – einfache 642
 – emotionale 19
 Bewertungs-
 – und Entscheidungsprozess 634
 Bewertungsmethode 641
 Beziehung (Relation) 515
 bildhaftes Gedächtnis 147

Bionik 460, 462, 529
 Black-Box 29, 44, 489
 Brainstorming 526
 Brainwriting 528
 Break even 845ff.
 Break even point 64

C

CAD 313, 374, 382, 384, 856
 – Beschleunigungsfaktor 380
 – Integration 856
 – Kosten 826
 – Prozess 141
 CAD-Einsatz 364
 Cauchy-Zahl 887
 CAx-System 284
 Checkliste 392, 484, 530, 551, 821, 824
 Chunk 79, 100
 Computer 19, 21, 178, 381
 Computereinsatz 381
 Concurrent Engineering 249, 275
 Conjoint Analyse 466, 841

D

Datenerhebung 661
 Datenverarbeitung 8
 Denk 408
 Denkblockade 545
 Denken 81
 – abstraktes 95
 – diskursives 81
 – intuitives 81
 – konkretes 95
 – kreatives 92, 526, 529
 – rationales 82
 Denkfehler 89, 167
 Denkformen 82
 Denkökonomie 157, 408
 Denkschwächen 89
 Design 460
 Design for X 8, 17, 407, 427, 431
 Design-Review 256, 838
 Detailkonstrukteur 362
 detaillieren 710
 Detaillierungstiefe 412
 dezimalgeometrisch gestufte Reihen 883
 DfX 776

Dichtung 615
Dienstleistung 197, 447, 454, 459
Differenzialbauweise 601
Differenzierte Zuschlagskalkulation 797, 799
Digital Mock-up 386
Dokument 206f., 312
Dokumentation 555
Durchlaufzeit 247, 259, 352, 806, 865, 869
Durchlaufzeitverkürzung 375, 377
DV-Informationssystem 880
- dynamische Regel 923
DV-Technik 381

E

EDV-Konfigurationssystem 901
Effekt
- physikalischer 49
Effektivität 656
Effektwahl 546
Effizienz 656
Effizienzmessung 371
Eigendynamik 72
Eigenerprobung 334
Eigenschaft 31, 36, 50, 512, 643
Eigenschaftsänderung 933
Eigenschaftscheckliste 845f.
Eigenschaftsfrüherkennung 618, 750
Eigenschafts-Rückfluss 60
Einarbeit
- Produktspektrum 354
Einführungskosten 823
Eingangsgröße 545
Einkauf 522
Einzelzeiten 890
elementare Operation 930
Elementarfunktion 513
Elementarisierung 556
Element (Teilsystem) 30, 514
Emotionen 81, 83
Energie 40
Energiefluss-Struktur 511
Energieumsatz 925, 931
Entscheidung 636
Entscheidungsfähigkeit 368
Entscheidungstabelle 900
Entscheidungsunsicherheit 638
Entscheidungsverhalten 638
Entscheidungsvorbereitung 634

Entsorgungskosten 797
Entstaubungsmaschine 542
Entwerfen 324, 559, 711
Entwicklung 11, 307, 309, 347, 357, 359,
368, 375, 380, 392, 954f.
Entwicklungs-
- und Konstruktionskosten 380
Entwicklungsanalyse 874
Entwicklungsantrag 282, 468
Entwicklungsauftrag 468, 477
Entwicklungskonstrukteur 362
Entwicklungslabor 621
Entwicklungsplanung 282
Entwicklungstätigkeit 308
Entwurf 324, 761
- endgültiger 324
Entwurfskonstrukteur 362
Entwurfsphase 561
epistemische Struktur 80
Erfindung 723
Erfolg 132, 151
Ergänzungszustand 926
Ergebnisebene 405
Evolution in der Technik 14
explizit 656

F

Faktenwissen 147
Feature 856f., 859ff.
featurebasierte Produktmodellierung 856
- Wiederhol- und Ähnlichtheilsuche 857
Federn 581
Fehler 167f., 298
Fehlerausgleich 826
Fehlerbaumanalyse 624
Fehlprognose 462
FEM-Simulation 619
Fertigungskonzept 771
Fertigungskosten
- aus Einzelzeiten 810, 812, 829, 890
- aus Rüstzeiten 809ff., 829, 869
Fertigungsmodell 861
Fertigungsplaner 363
Fertigungsplanung 856, 861
Fertigungstiefe
- Verringerung 868
Fertigungs- und Kostenberatung 374, 836
Festforderung 481

Finanzpotenzial 472
 Flussbild 34
 Flussregel 925
 Flusstruktur 42, 47, 510
 FMEA 622
 Folgeanforderung 734, 740
 Folgeentwurf 828f., 885, 889
 Folgefunktion 513
 Forderung
 – Folge 481
 formale Regel 925
 Formblattanalyse 622
 Formschluss 568
 Fortschrittskonstruktion 331, 373, 375,
 378, 388
 Fragebogen 486
 Frageliste 141
 Freigabebesprechung 421, 838
 Freigabetermin 414
 Fremderzeugnisanalyse 455
 Führung 156
 Führungsanforderung 368
 Führungsverhalten 370
 Functional Digital Mock-up 386
 Funktion 17, 459, 461, 507, 513
 – Anpassfunktion 896
 – auftragsspezifische 896
 – Basisfunktion 895
 – ermitteln 687
 – Gesamtfunktion 895, 898
 – Sonderfunktion 896, 900
 – Spezialfunktion 896
 – technische 514
 – Teilfunktion 508, 895, 899
 funktionale Baustuktur 21, 502
 funktionelle Baustuktur 872
 Funktionsaufteilung 556
 Funktionsbaum 513
 Funktionsbereich 209
 Funktionsdenken 839
 Funktionskosten 818ff., 839
 Funktionsliste 688
 Funktionsstruktur 34, 140, 508, 517, 688,
 772, 919, 933f.
 Funktionsstrukturvarianten 688ff., 696
 Funktionsträger 423, 514
 – maßgebender 55
 Funktionstrennung 597f., 615
 Funktionsvereinigung 597ff., 808, 928

G

Galeriemethode 529
 Gedächtnis
 – bildliches 81
 – Kurzzeit 79
 – Langzeit 101
 Gedächtnismodelle 78
 Gefühl 18, 71, 83, 87, 478, 638
 Geltungsfunktion 514
 Gemeinkosten 796, 854f., 857, 861f., 870,
 874
 generierendes Vorgehen 5, 338, 755
 Geometrie
 – Identifikation 859
 geometrische Ähnlichkeit 828
 Gesamtfunktion 424, 508f., 513, 522, 552,
 556, 753
 Gesamtfunktion/Teilfunktionen formulieren
 687
 Geschäftsfeld 898
 Gestalt
 – direkte Variation 564
 Gestalten 20, 324, 326, 559
 Gestaltung 17
 Gestaltungsrichtlinie 430
 Getriebe 128
 Getriebeararten 586
 Getriebefreiheitsgrad 579
 Gewichtskostenkalkulation 826f.
 Gewichtskostensatz 827
 Gewichtung 646, 650
 Gewinn 63, 801
 Gleichteileverwendung 777
 Grobarbeitsplanung, automatische 859
 Grundähnlichkeit 885
 Grundentwurf 828f., 852, 882, 885,
 888f.
 Grundtätigkeit 312
 Gruppe
 – kleine 262
 Gruppenarbeit 262, 639, 867
 – hybride 527

H

Halbähnlichkeit 828
 Halbwertszeit 179
 Handlungssystem 35

Hauptforderung 111, 350, 420, 427, 430, 482, 500, 725
Hauptfunktion 513, 558, 820
Hauptumsatz 29, 40, 925, 933
Herstellerbaukasten 895
Herstellerkriterien 454
Herstellkosten 796, 798 ff., 803, 805 ff., 818 f., 823, 827 ff., 831, 834 f., 840 ff., 846 ff., 850, 852, 855, 862, 869, 883 f., 889 f.
Herstellkostenstruktur 852
Heurismus 81
heuristische Kompetenz 73
– Methode 434
– Struktur 81
hierarchische Ordnung 499
Hüllelement 590
human factors 5
Human-FMEA 622
Hypothese 129

I

implizit 19, 656
Industrial Design 149
Information 40, 655 f.
– Arten der 656
– Handlungs- 658
– Prozess- 658
– Sach- 658
– Steuer 658
– Ziel- 658
Informations-Explosion 179
Informationsfluss 206, 224, 243, 660 f.
Informationsgewinnung 308
Informationsmethode 655 f.
Informations-Ökonomie 165
Informationsquellen 660
Informationsrückfluss 243
Informationssuche 659
Informationssystem 856 f.
Informationsträger 659
Informationsumsatz 308
Informationsverarbeitung 308, 656, 660
Informationsvorfluss 243
Informationsweitergabe 308
Innenhochdruckumformen 777
Innovation 101, 433, 447, 450, 468
Innovationsfähigkeit 468

Innovationshemmnisse 449
Innovationsmanagement 451
Innovationstempo 468
Input/Output 31
Integralbauweise 603 f., 877
Integration 4, 297, 970
– informatorische 250
– persönliche 250
integrierte Produkterstellung 375
Integrierte Produkterstellungsmethodik (IPE-Methodik) 4, 396
Intelligenztest 73, 141
interdisziplinärer Prozess 496
– Team 484, 495, 499
Interpolationsproblem 103, 105
Intuition 5, 523, 630, 638
Iteration 97, 101, 113, 161, 168, 711, 750

J

Job-Rotation 469

K

Kaizen (KVP) 722
Kalkulation
– konstruktionsbegleitende 825, 855, 858
– Koppelung von CAD und 826
– mitlaufende 814, 825
kalkulierter Preis 842
Kaufteile 849, 877
Kennzahlenmethoden 627 f.
Kernteam 265, 765
Klassifikation 40, 486
Kombination 536, 545, 552, 760
Kommunalität 873, 893
Kommunikation 156, 225, 880
Kommunikationsbedingung 267
Kommunikationsnetz 661
Kommunikationsschnittstelle 517
Kommunikationsstern 661
Komplexität 5, 45, 203, 328, 339, 662
– Beherrschung 867
Komplexitätsbewältigung 123
Komplexitätskosten 866, 869
Komplexitätsmanagement 58, 661, 865, 897
Kompliziertheit 45
Konfigurationssystem 880

- Konfigurator 901
- Konkretisierung 494
- Konkurrenz 522
- Konkurrenzanalyse 472
- Konstruieren
 - Bedeutung 309
 - kostengünstig 797, 799, 805f., 813ff., 818, 854, 856f.
 - Regeln 824, 831
 - Vorgehen beim kostengünstigen 815
 - Ziele 311
 - zielkostengesteuertes 845, 854
- Konstruktion 11, 307, 309, 347, 357, 359, 368, 375, 380, 392, 954f.
- Konstruktionsabteilung, Kosten der 380
- Konstruktionsart 328
- Konstruktionsaufgabe 74
- Konstruktionserfahrung 152
- Konstruktionskatalog 536, 538
- Konstruktionsleitsystem 309, 339, 351
- Konstruktionslogik 54
- Konstruktionsmethode, Wirksamkeit 16
- Konstruktionsmethodik 14, 17f., 315
 - starre 18
 - und CAD 19
 - wirksame 187
 - Ziel 18
- Konstruktionsphase 138, 312, 317, 328, 332, 500f.
- Konstruktionspotenzial 472
- Konstruktionsprozess
 - Gruppe 153
 - Steuerung 114
 - Theorie 25
- Konstruktionstätigkeit 308
- Konstruktionszeit 351
- konstruktive Abwicklung 372, 374, 388
- konstruktive Entscheidungsprozesse 374
- konventioneller Katalog 538
- Konzept 322
 - Lösungsprinzip 807
- Konzeptphase 17
- Konzeptvarianten 780
- Konzipieren 322, 411ff., 424ff., 710
- korrigierende oder generierende Vorgehensweise 726
- korrigierendes Vorgehen 5, 20, 337, 740, 751, 755
- Korrosionsschutz 782, 785
- Kosten 63, 841
 - Analyse 813
 - -beeinflussung 808
 - -beurteilung 808
 - -degression 812
 - des Kunden 847
 - -entstehung 801
 - -festlegung 802
 - Forechecking 843, 850
 - -früherkennung 814
 - -früherkennung, Hilfsmittel für die 815
 - -informationsmodell 856f.
 - -informationssystem 854, 856f.
 - -kalkulation 374
 - -kneten 843
 - -rechnung 799, 803f., 821, 841, 859, 861, 869
 - -rechnungsmodell 859, 861
 - -reduzierung, mögliche 862
 - -schätzung 826, 856
 - -senkungspotenzial 796, 816, 819, 824, 831, 842, 848ff.
 - -struktur 380, 798, 805, 811f., 818ff., 829ff., 848ff., 852, 858, 860, 889
 - Wachstumsgesetz 828
 - Ziel 795f., 807, 815f., 818f., 835ff., 841ff., 845f., 848, 850, 854
 - -ziel, Ableitung 843
 - -ziel, aufspalten 848
 - -ziel, Ermittlung 818
- Kostenensenken 11
- Kraftfluss 605, 609
- Kraftschluss 568
- kreative Klärung 430, 497
- Kreativität 523
- Kreativitätstechniken 102, 469, 523, 525
- Kreisschaltung 583, 922
- Kreisschluss 614
- Krise 674
- Krisenmanagement 676
- Kriterien, universelle 635
- kritische Situationen 469
- Kunde 475f.
- Kundenerprobung 334
- Kundenkontakt 468
- Kundenvielfalt 867

Kurzkalkulation mit Ähnlichkeitsbeziehungen
826, 828
Kurzzeitgedächtnis 79, 101, 140, 175

L

Lamellenkupplung 583
Langzeitgedächtnis 79, 175
Lastausgleich 609, 713
– elastischer 612f.
Lastenheft 321, 494, 769
Lebenslauf 486, 797f.
– System 62
Lebenslaufkosten 798, 848, 884
Lehrbarkeit 12
Lehre 16, 20, 97, 185
Leichtbau 765
Leistungssteigerung 372
Leistungsverzweigung 610
Leitlinie 486f., 537, 551
Leitstützstruktur 47
Lernen 239, 387
Lernprozess 114
Lieferantenvielfalt 867
Liegezeiten 247
life-cycle 240, 487
life-cycle-costs 63, 797f., 848
life-cycle-engineering 2, 51, 62, 199,
308
Life-Cycle Management PLM 799
limbisches System 83
Logik
– Entsorgungs- 54
– Konstruktions- 54
– Nutzungs- 54
– Produkt- 51
– Produktions- 54
logische Operation 920
Lösung
– analysieren 112, 139, 143, 151
– auswählen 112, 700, 758, 760
– bewerten 112, 139, 639f., 760
– prinzipielle 13, 17, 140
– suchen 112f., 121, 131, 171, 519, 521,
529f., 551, 553, 698, 718, 755
Lösungsfeld 555
Lösungsfixierung 150, 461
Lösungsfreiraum 76
Lösungspotenzial 497

Lösungsprinzip 426
Lösungssammlung 538
Lösungssuche 518
– korrigierende 17
Lösungssuchraum 751

M

Magischer Würfel 87
Makrokraftfluss 605
Makrozyklus
– Mechatronik 126, 345
Marketing 478
Marktanalyse 226, 444, 454
Marktkriterien 454
Marktlebensdauer 63
Marktnähe 479
Marktpreis 818, 854
maßgebender Funktionsträger 423
Materialkosten 803, 809, 812, 819, 827ff.,
831, 860
Materialkostenmethode 826f.
Materialwirtschaft 255, 374
Matrix 435, 532
– Organisation 254
Mechatronik 280, 340, 385, 412, 417, 517,
894
Meilenstein 281, 414
Mengenteilung 204
Menschenverhalten 5
Merkmal 512
– Beschaffenheits- 38
– Funktions- 38
– Mittel 69, 72
– mittelbar festgelegt 38
– Relations- 38
– unmittelbar festgelegt 38
– Zeit 73, 76
– Ziel 72
Merkmalliste 551
Methode 173, 634
– Leistungsfähigkeit 184, 434, 437, 441,
452, 454, 457, 461, 509, 511, 526, 528ff.,
541, 552ff.
– Lern- und Anwendungsaufwand 438
– Wirksamkeit 173, 187
Methodenauswahl 437, 440
Methodenbaukasten 400, 415, 434,
938

Methodeneinsatz
 – Aufwand 166
 Methodik
 – flexibler Einsatz 402
 – produktartsspezifisch 419
 – produktneutral 419
 – produktspezifisch 419
 Mikrokraftfluss 605, 607
 Mikrozyklus 345
 – Mechatronik 126
 Mindestforderung 481
 Mind Mapping 465f.
 Minimal-Methodik 159
 Mitarbeiter, räumliche Distanz der 662
 Mitarbeiterstruktur 357
 Mittelproblem 724
 Modell 27, 619
 Modelle
 – aufwandsarme 141
 Modellerstellung 114
 Modellierung 27, 34, 37, 208, 510, 661
 Modul 319, 500, 872
 Modularisierung 774
 Modularität 600, 872
 Montagegruppe 501
 Montageplanung 411
 Montagesystem 411
 morphologischer Baum 460, 533
 morphologischer Kasten 556f., 691, 760, 780
 Motivation 368, 418
 Münchner Vorgehensmodell 127

N

Nachrechnung 619, 627
 NC-Drehmaschine 41
 NC-Programmierer 364f.
 Nebenfunktion 513, 559, 820
 Nebenumsatz 29, 925, 927, 934
 Netzwerk
 – soziales 270, 391
 Neuigkeit 500
 Neukonstruktion 17, 330, 421 ff., 705, 710, 712
 Normalbetrieb des Denkens 9, 15, 20
 Normteile 823, 877
 Normung 378
 Normzahlreihe 883

Not Invented Here 449
 Nummernsystem 659
 Nutzerkriterien 454
 Nutzwertanalyse 649f.
 Nutzwertmatrix 650
 Nutzwertprofil 652

O

Ökologie 249
 Ökonomie des Denkens 171
 Oldhamkupplung 593
 Open Innovation 464
 Operation 509
 – ändern 931
 – leiten 931
 – speichern 931
 – technische 932
 – vereinigen 931
 – wandeln 931
 Operationsvereinigung 922f.
 Optimierung 55, 618, 627, 883
 ordnender Gesichtspunkt 531
 Ordnung, hierarchische 499
 Ordnungsschema 530f., 535, 539
 – eindimensionales 553
 Organisation 209, 211, 232, 305, 339, 354, 357, 364, 377, 401, 954f.
 – Ablauf- 211, 218
 – Aufbau- 208
 Organisationsmethode 433
 Organisationsstruktur 58
 orientierender Versuch 630, 736, 739, 751
 Outsourcing 266, 522, 822

P

Paarweiser Vergleich 645
 Paradigma 240
 Parallelisierung 259, 388
 Parallelschaltung 583, 610, 690, 922
 Parallelverschlüsselung 900
 Patent 380
 – und Lizenzanalyse 455
 Patentliteratur 522
 personenspezifischer Unterschied 152
 Pflegeaufwand für CAD 862
 Pflichtenheft 321, 494

- physikalischer Effekt 539, 551, 692, 757, 762
 - Eigenschaften 545
 - PKW-Karosserie 60
 - Plagiatschutz 665
 - Planetengetriebe 218, 584, 613, 712
 - Planetengetriebe (Unterschiedliche Arten der Modellierung) 34
 - Planung 65
 - Planungsausschuss 472
 - Planungsgruppe 474
 - Planungsmodell 861
 - Planzeitwert 389 f.
 - Plattform 873
 - Plattformbauweise 891
 - Plattformeinsatz 891
 - PLM Produkt-Life-Cycle-Management 385, 418, 799
 - Polaritätsprofil 488
 - Portfolio-Diagramm 455
 - Praktiker 145
 - Preisziel 818
 - prinzipielle Lösung 13, 17, 322
 - Problem 68
 - -bereichswechsel 119
 - -einteilung 681
 - lösen 67
 - -lösungszyklus 106 f., 716
 - Schwierigkeit 69, 73, 703
 - Product Lifecycle Management 385
 - Produkt
 - Art 457, 462
 - -definition 199
 - -dokumentation 326
 - Eigenschaften 198
 - -erfolg 311, 375, 379, 444
 - Produktalter 446
 - Produktarchitektur 502, 511, 600, 872, 891, 901
 - Produktentstehung 1
 - Produkterstellung 1, 198, 200, 226
 - Erstellungsmodell 620
 - Geschichte der 226
 - integrierte 233
 - konventionelle 198
 - Produktidee 457, 461
 - auswählen 467
 - Produktindividualisierung 880
 - Produktion 372, 379, 388, 411
 - Produktionspotenzial 472
 - Produktkomplexität 351
 - Gesamtkosten 798, 819
 - Kostenplanung 843
 - Lebenslauf 245
 - Modell 308, 372, 374, 379, 856 ff., 861 f.
 - Normung 822
 - Planung 443, 696
 - Potenzial 454, 457, 461, 472
 - Vielfalt 864 f.
 - Vorgehen 445
 - Produktlogik 51
 - Produktmanagement 253, 478
 - Produktpiraterie 665
 - Produktplanung 65
 - Produktprogramm 871
 - Produktstruktur 871
 - Produktvielfalt 867
 - Profit Center 252 f.
 - Projektkalkulation 270
 - Projektleiter 363
 - Projektmanagement 249, 252, 267, 354, 765
 - Projektplan 212, 270
 - Prototyp 619, 693, 783
 - Prozess 517
 - -kostenrechnung 800, 870
 - -modell 861
 - -oberfläche 517
 - -schnittstelle 517
 - -zustand 927
 - Prozessentwicklung 109
 - Punktbewertung
 - einfache 646
 - gewichtete 646
- ## Q
- QFD 292, 769
 - Qualität 287, 311
 - Qualitätsanspruch 156
 - Qualitätsmanagement 250, 287
- ## R
- Rapid Prototyping 386
 - Rationalisierung 375 ff.
 - Raumanschauung 140
 - Raum-Zeit-Relationen 80

Rechner 19
 Rechneinsatz 74, 854
 rechnergestütztes Konstruieren 435
 rechnerische Analysemethoden 628
 Rechnersimulation 619, 735
 Recycling 62
 Reduktion der Teilezahl 603
 Redundanz 598
 Regelkreis 256, 271
 – Denken 271
 – langer 244
 – Regelkreispyramide 255
 – Regelung 271
 Reihenfolgeregel 921
 Reihenschaltung 583, 689f., 922
 Rekursion 113
 Relation 31, 515, 921
 – Arten 921
 – ungerichtete 921
 Relativkosten 821, 823
 – -Katalog 821, 823
 Repräsentationsart 664
 Restriktion 431
 Return on Investment 379
 rule of ten 168, 170, 809

S

sachgebundene Methode 433
 Sachsystem 33
 SADT 30
 Schadensanalyse 127, 624
 Schadensmerkmal 626
 Schadensursache 627
 Schaltungsart 936
 Scheibenbremse 611, 630
 Schema 322
 – eindimensionales 531, 536
 – morphologisches 531, 533
 – zweidimensionales 531, 536
 Schnittstelle 206, 517, 655, 661
 Schnittstellendefinition 30
 schriftliches Nachdenken 101, 716
 Schwachstelle 336, 497, 636, 734
 Schwachstellenanalyse 621
 Schwerpunktbildung 144, 816, 819, 839,
 843
 SCRUM 525
 Segmentierung 867
 Selbstähnlichkeit 123, 212
 Selbsthilfe 613
 Selbstkosten 340, 799
 selbstverstärkende Lösungen 616
 semantisches Netz 80
 Sensor 517
 sequenzielle Arbeitsweise 96, 204, 814
 Service 178, 197, 199, 216, 238ff., 279,
 299, 362, 385f., 430, 454f., 496, 666
 SE-Team 246, 276, 430, 854
 Sicherheitsmanagement 286
 Sicherheitstechnik 381
 Sichten 34
 Signalfluss
 – Struktur 512
 Signalumsatz 925, 931
 Simulationstechnik 386
 Simultaneous Engineering 58, 246, 249,
 252, 275, 280, 284, 375, 397, 414, 427,
 765
 – Team 497
 Situation
 – kritische 153, 406, 440
 Situationsanalyse 406, 434, 496
 Skibindung 531
 Skizze 100, 140, 322, 529, 536, 553,
 557
 Skizzieren 140
 Softwarewerkzeuge 766
 soziotechnisches System 27
 Spartenorganisation 252f.
 Spezialisierung 4
 Spielen 668
 Standardisierung 479, 807, 862, 866,
 877
 Stärke
 – Diagramm 647, 649
 statistisch ermittelte Kostenfunktionen
 826, 829
 Steuerung 517
 Stoff
 – Umsatz 925, 931
 Stofffluss
 – Struktur 510
 Stoff (Materie) 40
 Stoffschluss 568
 Störfunktion 513
 Störgröße 546
 Straßenbahn 763

Strategie 123, 173, 205, 400
– vom Groben zum Feinen 99, 101
– zeitsparend 146
Struktur 30
Strukturartenregel 922
Strukturierungsregel 924
Stückliste 326
Stückzahl 800, 806, 808, 810, 812, 822,
827, 857, 863, 881 ff., 892, 895
Stufensprung 828, 885 ff., 889
– Optimierung 884
Subsidiaritätsprinzip 255
Suchbegriff 140, 547
Suchfeld 459
Suchfeldhierarchie 460
Suchkalkulation 826
Symboldarstellung 100
Synektik 529
Syntheseproblem 77
System 25, 35
– Leit- 218
– soziotechnisches 37
– technisches 35
Systemarten 32
Systematik 19, 530
Systemgrenze 30
Systemgrenzenerweiterung 492
Systemgrenzenveränderung 489
Systemumgebung 31
Szenariotechnik 464

T

Target Costing 249 f., 803, 818, 841, 843,
845 f., 848, 850, 852, 973
Tätigkeit 312, 367
Tätigkeitsprofil 367
Taylorismus 227, 240
Team 240, 247, 262, 276, 427, 519
– interdisziplinäres 486
Teamarbeit 153, 265, 829, 842, 852
– ressortübergreifende 839
technical factors 5
technische Funktion 514
technisch-wirtschaftliche Bewertung 647
Teilefamilie 812, 822, 877 f.
– fertigungstechnische 878
– konstruktive 878
Teilesuchsystem 821 f., 877

Teilevielfalt 781, 855, 862, 864 ff., 869 ff.,
874, 876 f.
– Verringerung 862, 876 f.
Teilfunktion 426, 508, 522, 697, 757
Teil-Ganzes-Relation 80
Teilobjekt 412 f.
Teilproblem 98
Teilprozess 412
Termin- und Kapazitätsplanung 388 f., 393
TOTE-Schema 103 f., 106, 138, 353, 400
Toyota-Produktionssystem 298
Trainiereffekt 881
Trend 462
trial and error 52
tribologische Einteilung 620
TRIZ 466, 549, 777
Turbinengetriebe 53, 127
Turbinschaufel 616

U

Üben 20
Überschlagsrechnung 739
UMEA 623
Umkehrung 587
Umsatzprodukt 489, 509
Umsatztypregel 925
Umwelt-FMEA 285, 418, 622
Umweltkosten 798
Umwelt-QFD 296, 418
Unbestimmtheit 171
unbewusst 15, 19, 72 f., 83, 656
Unbewusstes 6
Unbewusstheit 174
unique selling points 480
Unklarheit 71
Unsicherheit 637
Unternehmensbereich 409
Unternehmenspotenzial 451 f., 454, 457,
472
Unternehmensziel 454, 473
unterscheidendes Merkmal 532 f., 535,
538
Upgrading-gerecht 431
Ursachenanalyse 727
Ursache-Wirkungs-Kette 626 f.

V

- Value Management 841
- Varianten
 - -baumstruktur 875
 - -konstruktion 331, 423f.
 - -management 796, 806, 863f.
 - -stückliste 900
 - überflüssige 876
- Variantenmanagement 863, 865
- Variante(n)vielfalt 855, 862f., 865, 869, 875, 877
 - Kosten der 869
- Variation 562ff., 566f., 571f., 574f., 578, 587f., 592, 594
 - Berührungs- und Kontaktart 569
 - Bestimmtheitsgrad 581
 - Bewegungen 575
 - Bewegungsarten 576
 - Bezugssystem 576
 - direkte 559
 - elast. Glieder 580
 - Fertigung; Montageverfahren 574
 - Flächen und Körper 564
 - Flächen- und Körperbeziehungen 567
 - Form 565
 - Freiheitsgrad 578
 - Gestalt-Indirekt 573
 - Getriebeart 585
 - indirekte 559
 - Kompaktheit Bauweise 572
 - Koppelungsart 569
 - Kraftübertragung 578
 - Kupplungen 595
 - Lage 565
 - Lagerstellen 579
 - Reihenfolge 571
 - Schaltungart 583
 - Verbindungsart 567
 - Verbindungsstruktur 571
 - Werkstoff 573
 - Zahl 566
 - zeitlicher Verlauf 577
- Variation der Gestalt 703
- Variationsmerkmale 562, 936
- VDI 2223 416
- VDI-Richtlinie 2206 126, 324
- VDI-Richtlinie 2220 445
- VDI-Richtlinie 2221 14, 18, 317, 402
- VDI-Richtlinie 2222 317, 402
- VDI-Richtlinie 2223 324, 560
- VDI-Richtlinie 2225 647
- Verantwortungsdelegation 255
- Verbesserungsvorschlag 298
- Verfahren 35, 443, 447, 459, 462, 515, 528, 541, 549
 - deterministische 627
 - halbdeterministische 627
 - probabilistische 628
- Verhalten
 - soziales 149
 - zwischenmenschliches 20
- Verifikationsmodell 620
- Verknüpfungsregel 926
- Vernetztheit 45, 71, 499
- Verschachtelung 333
- Verschleißkosten 843, 853
- Versuch 723
 - orientierender 693, 727, 750
- Versuchsmethoden 619, 622, 629, 632
 - -modell 736
- Versuchsplanung 632
 - tätigkeit 360
- Vertriebspotenzial 472
- Verwaltungskosten 870
- Vielfalt von Kunden, Lieferanten, Aufträgen 870
- Virtual Reality 382, 386
- Visualisierung 497
- VMEA 874
- Vollständigkeitsregel 922
- Vorauswahl 641
- Vorbild 149
- Vorentwurf 324f.
- Vorgehen 146, 405
 - generelles 318
 - generierendes 5, 126, 142f., 337ff., 561, 730, 739
 - korrigierendes 20, 125, 142f., 153, 338f., 561, 730f., 739
 - operatives 405
 - phasenorientiertes 144
 - strategisches 405
 - teilproblemorientiertes 144, 146, 153
- Vorgehensplan 124, 139, 211, 332, 354, 400, 411, 414, 421ff., 683, 712
 - in der Praxis 427
- Vorgehensstrukturierung 496

Vorgehensweise 146
- generierende 146
- integrierende 274
- korrigierende 146
Vorgehenszyklus 5, 11, 35, 106, 110, 123,
138f., 169, 353f., 400, 433, 435, 497f.,
500, 526, 536, 563, 682f., 703, 711, 716,
723, 725, 763
- für die Systemanalyse 114
Vorläuferprodukt 335
Vorrichtungs konstrukteur 364
Vorteil-/Nachteil-Vergleich 643

W

Weiterentwicklung 335
Wellenkupplung 592
Weltbild, wissenschaftliches 240
Werkstoffwahl 722
Werkzeuge 173
Wertanalyse 252, 380, 816, 820, 838 ff.
Werteskala 647
Wertfunktion 647
Wertigkeit
- technische 648
- wirtschaftliche 648f.
Wertverbesserung 838
Widerspruchsorientierte Entwicklungs-
strategie (WOIS) 466
Wiederholteil 822
Wiederholteilsuchsystem 879
Wiederhol- und Ähnlichteilssuche 855 ff., 862
Wirkbewegung 426
- -geometrievariation 757, 762
- Prinzip 426
Wirkfläche 426, 558f., 565
Wirkflächenpaare 567
Wirkgeometrie 426, 558
Wirkgestalt 558
Wirkstruktur 426, 872
Wissen 656
- Fakten- 72
- Halbwertszeit 179

- Methoden- 73
- Sach- 152
Wissensexplosion 26, 179
Wissensmanagement 181
WOIS 519
Wunsch 481

X

X-gerechte 420, 431

Z

Zeichnungsänderung 248, 870
Zeichnungserstellung 364, 378
Zeit 14
Zeitaufwand 380
Zeitdruck 17, 230
Zeitmanagement 389
Ziel 111, 475
- Katalog 845
- Konflikt 482
- Kosten 846
- -kostenspaltung 795, 819, 842, 846,
848
- -problem 696
Ziele
- herstellerspezifische 311
- marktspezifische 311
- persönliche 311
Zielproblem 724
Zulieferkomponente 522
Zusammenarbeit 275, 368
- mangelhafte 172
Zustand 509
Zustandsänderung 489, 513
Zustandsmerkmal 39
Zustandsvereinigung 922 ff.
Zweckfunktion 513
Zweistufen-Vorgehen 20, 83, 92, 108,
162f., 190, 400, 403, 406
Zwischenzielbildung 96
Zwischenzustand 926