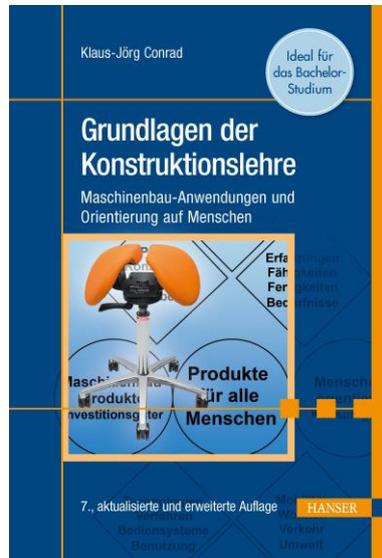


HANSER



Leseprobe

zu

„Grundlagen der Konstruktionslehre“

von Klaus-Jörg Conrad

ISBN (Buch): 978-3-446-45321-0

ISBN (E-Book): 978-3-446-45322-7

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/9783446453210>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Die siebte Auflage wurde überarbeitet, aktualisiert und mit neuen Beiträgen ergänzt, um einige neue Anforderungen an den Bereich Konstruktion und Entwicklung darzustellen. Die Orientierung auf Menschen wurde erweitert und in einem neuen Kapitel mit aktuellen Themen vorgestellt, wie z. B. Kompetenz, Ethik, Ingenieurpsychologie, frugale Produkte, Obsoleszenz, Reparatureignung und agile Produktentwicklung. Das Literaturverzeichnis wurde anwendergerecht geordnet und enthält nicht nur die Quellen, sondern auch weiterführende Literatur.

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

Heute zählen immer noch die Erfahrungen, die bei der Benutzung im Lehrbetrieb mit Studierenden gesammelt wurden. So wird insbesondere darauf geachtet, dass die Themen so erklärt werden, dass die Vorkenntnisse von interessierten Studierenden immer ausreichen, um alle Inhalte sofort zu verstehen. Auch die vielen guten Hinweise und Anregungen der Fachkollegen, die eine Stellungnahme zu diesem Buch abgegeben haben, konnten fast alle berücksichtigt werden. Für diese Unterstützung möchte ich mich besonders bedanken.

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

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

Die Übungsaufgaben mit den Lösungen im Kapitel 10 wurden umgestellt, sodass jetzt die Kapitelnummern für Lösungshinweise angegeben sind. Für die Themen in den Kapiteln 1 bis 9 sind Beispiele und Übungen vorhanden. Die Kenntnisfragen wurden entsprechend angepasst und erweitert, sodass für das Nacharbeiten des Stoffs alles vorhanden ist. Die bewährte Gliederung wurde beibehalten, aber an einigen Stellen so angepasst, dass die Themen der Abschnitte im Inhaltsverzeichnis besser zu finden sind. Außerdem haben alle umfangreichen Kapitel eine Zusammenfassung. Das Durcharbeiten kann damit unterschiedlich erfolgen. Leser mit Vorkenntnissen sind nach dem Nachschlagen und Lesen der Zusammenfassung soweit informiert, dass sie nur die Kapitel durcharbeiten, die von Interesse sind. Andere Leser schauen sich nur die vier Konstruktionsphasen an und lösen die Übungsaufgaben.

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

Das wesentliche Ziel dieses Buches ist die Vermittlung einer systematischen und methodischen Arbeitsweise in einem Umfang, die es jedem Konstrukteur ermöglicht, seinen persönlichen Arbeitsstil zu entwickeln oder zu verbessern. Damit ist es sowohl für Studierende in der Ingenieurausbildung an Fachhochschulen, Hochschulen und Universitäten, als auch für Konstrukteure in der Wirtschaft sinnvoll nutzbar.

Das Lehrbuch wurde selbstverständlich für Konstrukteurinnen und für Konstrukteure geschrieben. Wegen der Übersichtlichkeit wurde auf Doppelangaben im Text verzichtet.

Mein Dank gilt den Verfassern der Fachliteratur zu diesem Thema, von denen ich viele bewährte Anregungen übernehmen konnte. Insbesondere möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. *Ehrlenspiel* bedanken, von dem ich an der Universität Hannover die Bedeutung des Methodischen Konstruierens gelernt habe. Herrn Dr. Lutz vom VDMA danke ich für die zur Verfügung gestellten aktuellen VDMA Kennzahlen. Herrn *Erik Liebermann* danke ich für seine auflockernden Darstellungen der Teamarbeit und der Kommunikation. Besonderer Dank für die sehr gute Zusammenarbeit gilt der Lektorin Frau *Ute Eckardt* und Frau *Katrin Wulst* vom Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. Für Verständnis, Geduld und Zeit, die eine neue Auflage erfordert bedanke ich mich sehr bei meiner Frau Marlies und meiner Tochter Cathrin.

Burgdorf, im September 2018

Klaus-Jörg Conrad

Inhalt

■	Vorwort	5
1	Konstruktionslehre und Konstruktion	15
1.1	Einführung und Erfahrungen	19
1.2	Konstruktion im Betrieb	24
1.3	Konstruktionsmethodik	29
1.4	Konstruktionsarten	31
1.5	Konstruktionsmethodik – Erwartungen	36
1.6	Zusammenfassung	39
2	Grundlagen des systematischen Konstruierens	41
2.1	Technische Systeme	42
2.1.1	Grundlagen und Begriffe	42
2.1.2	Energie-, Stoff- und Informationsumsatz	45
2.1.3	Black-Box-Methode	49
2.1.4	Funktionsbeschreibung	50
2.1.5	Wirkprinzipien für Teilfunktionen	54
2.1.6	Entwicklungsschritte technischer Systeme	55
2.2	Grundlegende Arbeitsmethoden	58
2.3	Informationsverarbeitung in der Konstruktion	63
2.4	Zusammenfassung	68
3	Integrierte Produktentwicklung	70
3.1	Der Entwicklungsprozess	71
3.2	Der Lösungsprozess	74
3.3	Bearbeiten von Ingenieuraufgaben	77
3.4	Ablauf bei der Lösungssuche	78
3.5	Ablauf des Konstruktionsprozesses	81
3.6	Interdisziplinäre Zusammenarbeit	87
3.7	Grundlagen der Kommunikation	90
3.8	Grundlagen der Teamarbeit	99
3.9	Ablauf des Designprozesses	103

3.10	Ablauf von Ergonomieprozessen	107
3.11	Useware – Entwicklungsprozess	111
3.12	Kennzahlen Entwicklung und Konstruktion	114
3.12.1	Aufgaben und Tätigkeiten	114
3.12.2	Konstruktionsarten	115
3.12.3	Durchlaufzeiten	116
3.12.4	Produktprogramm und zugekaufte Leistungen	119
3.12.5	Aufgaben und organisatorische Regelungen	121
3.13	Zusammenfassung	122
4	Konstruktionsphase Planen	124
4.1	Planen der Produkte	125
4.2	Klären der Aufgabenstellung	127
4.3	Anforderungslisten	130
4.3.1	Anforderungsarten	131
4.3.2	Anforderungskataloge	132
4.3.3	Formblatt für Anforderungslisten	138
4.3.4	Aufstellen der Anforderungsliste	139
4.3.5	Ergonomische Anforderungen	144
4.3.6	Designanforderungen	147
4.4	Qualitätssicherung beim Planen	149
4.5	Quality Function Deployment (QFD)	150
4.6	Zusammenfassung	158
5	Konstruktionsphase Konzipieren	159
5.1	Abstrahieren und Problem formulieren	160
5.2	Funktionsstruktur und Funktionsanalyse	161
5.3	Lösungen finden mit merkmalsorientierten Methoden	165
5.3.1	Lösungen finden durch Analogien	166
5.3.2	Lösungen finden durch Variation	167
5.3.3	Lösungen finden durch Kombination	167
5.4	Lösungsprinzipien suchen	168
5.4.1	Analyse von Veröffentlichungen	169
5.4.2	Analyse bekannter technischer Systeme	169
5.4.3	Anregungen durch Analogien	170
5.4.4	Erkenntnisse aus Versuchen	170
5.4.5	Kreativität und Intuition	170
5.4.6	Brainstorming	173
5.4.7	Brainwriting	174
5.4.8	Methode 635	175
5.4.9	Mapping Techniken	177
5.4.10	Methode Morphologischer Kasten	185
5.4.11	Methode der Ordnenen Gesichtspunkte	190
5.4.12	Methode Konstruktionskatalog-Einsatz	194
5.4.13	Methode Problemlösungsbaum	199

5.5	Konstruieren mit Zulieferkomponenten	200
5.5.1	Zulieferkomponenten und Eigenentwicklungen im Vergleich	201
5.5.2	Produktentwicklung mit Zulieferkomponenten	203
5.5.3	Zulieferorientiertes Konstruieren	205
5.6	Lösungen entwickeln mit Bionik	207
5.6.1	Technische Biologie und Bionik	208
5.6.2	Bionischer Denk- und Handlungsprozess	210
5.6.3	Ausblick und Hinweise	211
5.7	Lösungen entwickeln mit Mechatronik	213
5.7.1	Übersicht und Einführung	214
5.7.2	Grundlagen mechatronischer Systeme	215
5.7.3	Aktoren	216
5.7.4	Sensoren	217
5.7.5	Ausblick und Hinweise	217
5.8	Bewerten von Lösungsvarianten	218
5.8.1	Grundlagen der Bewertung	219
5.8.2	Vorteil-Nachteil-Vergleich	219
5.8.3	Dominanzmatrix	220
5.8.4	Paarweiser Vergleich	220
5.8.5	Erkennen von Bewertungskriterien	221
5.8.6	Bewertung mit Punkten	222
5.8.7	Bewertungspraxis in der Konzeptphase	224
5.9	Qualitätssicherung beim Konzipieren	228
5.10	Konzept und Konzeption	229
5.11	Zusammenfassung	230
6	Konstruktionsphase Entwerfen	233
6.1	Allgemeine Forderungen an technische Produkte	233
6.2	Arbeitsschritte beim Entwerfen	234
6.3	Anwendung der Arbeitsschritte beim Entwerfen	236
6.3.1	Gelenkige Aufhängung entwerfen und gestalten	236
6.3.2	Entwerfen mit 3D-CAD/CAM-Systemen	244
6.4	Grundsätze für das Entwerfen	245
6.5	Gestaltungsgrundregeln	247
6.5.1	Grundregel „Eindeutig“	248
6.5.2	Grundregel „Einfach“	249
6.5.3	Grundregel „Sicher“	250
6.6	Gestaltungsprinzipien	253
6.6.1	Prinzipien der Kraftleitung	256
6.6.2	Regeln zur kraftflussgerechten Gestaltung	258
6.7	Gestaltungsrichtlinien	260
6.7.1	Fertigungsgerechte Gestaltung	263
6.7.2	Montagegerechte Gestaltung	274
6.7.3	Lärmarm konstruieren	282
6.7.4	Recyclinggerechte Gestaltung	287
6.7.5	Konstruktionsablauf mit Recyclingorientierung	297
6.7.6	Entsorgungsgerechte Gestaltung	312

6.8	Bewerten von Entwürfen	316
6.9	Qualitätssicherung beim Entwerfen	321
6.10	Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA)	322
6.11	Zusammenfassung	328

7 Konstruktionsphase Ausarbeiten 331

7.1	Erzeugnisgliederung	333
7.2	Zeichnungen	337
7.3	Stücklisten	340
7.3.1	Stücklistenaufbau	342
7.3.2	Stücklistenarten	345
7.3.3	Gliederung der Stücklistenarten	351
7.3.4	Verwendung von Stücklisten	352
7.4	Nummernsysteme	354
7.4.1	Nummerungstechnik - Grundlagen	354
7.4.2	Arten und Eigenschaften von Nummern	355
7.4.3	Ziele der Nummerung	356
7.4.4	Identnummern	357
7.4.5	Klassifizierungsnummern	357
7.4.6	Nummernsysteme	360
7.4.7	Sachnummern	363
7.4.8	Sachnummernsystem	363
7.5	Sachmerkmale	366
7.5.1	Sachmerkmalleisten	368
7.5.2	Anzahl und Wertigkeit der Sachmerkmale	370
7.5.3	Sachnummernsystem durch Klassifizierung über Sachmerkmale	371
7.5.4	Methode zum Erarbeiten von Sachmerkmalen	378
7.6	Qualitätssicherung beim Ausarbeiten	381
7.7	Qualitätsdenken	382
7.8	Zusammenfassung	383

8 Konstruktion und Kosten 385

8.1	Kostenbegriffe	386
8.2	Kosteneigenschaften	388
8.3	Einflussgrößen auf die Herstellkosten	389
8.3.1	Anforderungen	390
8.3.2	Lösungsprinzip	390
8.3.3	Baugröße	392
8.3.4	Stückzahl	392
8.4	Kostengünstig Konstruieren	392
8.5	Kostenermittlungsverfahren	395
8.6	Relativkosten	396
8.6.1	Vorteile und Nachteile	396
8.6.2	Erarbeiten und Aktualisieren	397
8.6.3	Darstellung und Beispiel	398

8.6.4	Gültigkeit der Relativkosten	399
8.6.5	Einsatz der Methode	400
8.7	ABC-Analyse	403
8.8	Wertanalyse	408
8.8.1	Entwicklung der Wertanalyse	410
8.8.2	Grundbegriffe der Wertanalyse	411
8.8.3	Auswahlkriterien für Wertanalyseprojekte	415
8.8.4	System Wertanalyse	416
8.9	Methode zur Kostenanalyse	418
8.10	Herstellkostenermittlung durch Kalkulation	420
8.11	Zusammenfassung	426
9	Rechnerunterstütztes Konstruieren	427
9.1	CAD/CAM - Begriffe und Systeme	427
9.1.1	CAD - Computer Aided Design	428
9.1.2	CAP - Computer Aided Planning	429
9.1.3	CAM - Computer Aided Manufacturing	429
9.1.4	CAQ - Computer Aided Quality Assurance	430
9.1.5	PPS - Produktionsplanung und -steuerung	430
9.1.6	CAD/CAM	430
9.1.7	CAID - Computer Aided Industrial Design	431
9.2	Konstruieren mit 3D-CAD/CAM-Systemen	432
9.3	Informationstechnik und Konstruktionsprozess	440
9.4	Zusammenfassung	445
10	Übungsaufgaben	446
10.1	Aufgabenstellungen	446
10.1.1	Aufgabenstellungen zu Kapitel 1	446
10.1.2	Aufgabenstellungen zu Kapitel 2	447
10.1.3	Aufgabenstellungen zu Kapitel 3	450
10.1.4	Aufgabenstellungen zu Kapitel 4	451
10.1.5	Aufgabenstellungen zu Kapitel 5	454
10.1.6	Aufgabenstellungen zu Kapitel 6	462
10.1.7	Aufgabenstellungen zu Kapitel 7	464
10.1.8	Aufgabenstellungen zu Kapitel 8	470
10.1.9	Aufgabenstellungen zu Kapitel 9	473
10.2	Lösungen	474
10.2.1	Lösungen zu Kapitel 1	474
10.2.2	Lösungen zu Kapitel 2	475
10.2.3	Lösungen zu Kapitel 3	480
10.2.4	Lösungen zu Kapitel 4	483
10.2.5	Lösungen zu Kapitel 5	492
10.2.6	Lösungen zu Kapitel 6	508
10.2.7	Lösungen zu Kapitel 7	513
10.2.8	Lösungen zu Kapitel 8	519
10.2.9	Lösungen zu Kapitel 9	521

11	Menschenorientierte Konstruktion	522
11.1	Menschenorientierung	522
11.1.1	Konstruktionsorientierung auf Menschen	524
11.1.2	Kompetenz der Konstrukteure	524
11.1.3	Ethik - Grundlagen und Begriffe	526
11.1.4	Technikbewertung und Ethik	528
11.1.5	Die Ethische Maschine	529
11.1.6	Ingenieurpsychologie	531
11.2	Konstruktionsstrategie für Gerontik-Produkte	535
11.2.1	Begriff Gerontik®	535
11.2.2	Zukunft-Technologien	536
11.2.3	Erfahrung und Alter	537
11.2.4	Demografischer Wandel	539
11.2.5	Bedürfnisse der Menschen	539
11.2.6	Bedeutung der Gerontik®	541
11.2.7	Fachgebiete mit dem Wortbildungselement Geronto	544
11.2.8	Anforderungen an Produkte der Gerontik®	549
11.2.9	Lösungen entwickeln mit Gerontik®	552
11.2.10	Nutzung von Prinzipien	552
11.2.11	Anzahl der Prinzipien	554
11.2.12	Sieben Prinzipien der Gerontik®	555
11.2.13	Grundbegriffe des Design	558
11.2.14	Prinzipien des Universal Design	560
11.2.15	Grundbegriffe der Ergonomie	562
11.2.16	Entwicklung eines Sattelstuhls	564
11.2.17	Strategie für Gerontikprodukte	566
11.2.18	Zusammenfassung	567
11.3	Strategie für frugale Produkte	567
11.3.1	Frugale Produkte	568
11.3.2	Frugale Innovation	569
11.3.3	Geplantes Vorgehen	570
11.4	Strategien gegen Obsoleszenz	571
11.4.1	Geplante Obsoleszenz	571
11.4.2	Optimale Lebens- oder Nutzungsdauer von Produkten	572
11.4.3	Kernempfehlungen und Handlungsempfehlungen	573
11.5	Reparatureignung von Produkten	574
11.5.1	Instandhaltung	574
11.5.2	Instandsetzungsgerechtes Konstruieren	576
11.5.3	Reparatur-Nutzen und Aufwand	577
11.6	Agile Produktenwicklung	580
11.6.1	Agil - Begriffsklärung	581
11.6.2	Agile Managementmethoden	581
11.6.3	Scrum - Methode	583
11.6.4	User Story Mapping	589
11.6.5	Zusammenfassung	590

12	Maschinenelemente	592
12.1	Systematik und Einteilung	592
12.2	Informationsblätter Maschinenelemente	593
13	Literaturverzeichnis	611
Quellen und weiterführende Literatur	611	
Konstruktionslehre und Konstruktionsmethodik	611	
Integrierte Produktentwicklung	612	
Interdisziplinäre Zusammenarbeit	612	
Kommunikation	612	
Grundlagen der Teamarbeit	612	
Ablauf Designprozesse	613	
Ablauf Ergonomieprozesse	613	
Ueware-Entwicklungsprozess	613	
Kennzahlen	613	
Konstruktionsphase Planen	614	
Qualität in der Konstruktion	614	
Konstruktionsphase Konzipieren	615	
Ideenfindung	615	
Mapping Techniken	615	
Konstruktionskataloge	616	
Bionik	617	
Mechatronik	618	
Konstruktionsphase Entwerfen	618	
Sicherheit	619	
Fertigung und Montage	619	
Lärmarm konstruieren	620	
Recycling und Entsorgung	620	
Konstruktionphase Ausarbeiten	621	
Technisches Zeichnen	621	
Stücklisten	622	
Nummernsysteme	622	
Konstruktion und Kosten	622	
Rechnerunterstütztes Konstruieren	623	
Menschenorientierte Konstruktion	624	
Menschenorientierung	624	
Ethik	624	
Ingenieurpsychologie	625	
Konstruktionsstrategie für Gerontik-Produkte	625	
Gerontik® - Einordnung und Begriff	625	
Anforderungen an Produkte der Gerontik®	626	
Prinzipien der Gerontik®	627	
Grundlagen Design	627	
Design und Ergonomie	628	
Grundlagen Ergonomie	628	

Arbeitsgestaltung 629
Strategie für frugale Produkte 630
Frugale Produkte 630
Frugale Innovation 630
Strategien gegen Obsoleszenz 630
Reparatureignung von Produkten 631
Agile Produktentwicklung 631
Maschinenelemente 632

■ **Sachwortverzeichnis 633**

4. Change Management: Change Management bezeichnet die Lenkung und Steuerung von tiefgreifenden Veränderungsprozessen im Unternehmen. Für den Prozess der Einführung in den Markt ist eine Roadmap zu entwickeln, die auch Akzeptanz, Risikomanagement und Flexibilität berücksichtigt. Eine **Roadmap** zu entwickeln bedeutet nach *Mortensen/Harlou* den Lebenszyklus eines Objekts, z. B. eines Produkts zu beschreiben. Wesentliche darzustellende Zeitaspekte sind der Entwicklungsbeginn, der Produktionsbeginn, die Einführung in den Markt, das Ende der Vermarktungsperiode, die Wartungsperiode sowie Design-Updates.

■ 11.4 Strategien gegen Obsoleszenz

Die **Obsoleszenz** (lat. *obsolescere*) bezeichnet das Veralten, sich abnutzen, an Wert verlieren oder unbrauchbar werden. Eine Bedeutung nach Duden beschreibt Obsoleszenz als eine in seiner Herstellungsweise, seinen Materialien oder Ähnlichem angelegte Alterung eines Produkts, das dadurch veraltet oder unbrauchbar wird. Nach *VDI 2882 E* **Obsoleszenzmanagement** bedeutet Obsoleszenz, dass eine Komponente, eine komplette Baugruppe oder ganze Systeme während ihrer Nutzungsdauer nicht mehr beschaffbar sind. Das gilt z. B. für Materialien, Software, Ersatzteile Produktionseinrichtungen, Unterlagen usw.. Obsoleszenzmanagement nach *VDI 2882 E* zur Sicherstellung einer langfristigen Verfügbarkeit hat keinen Bezug zu dem Thema **geplante Obsoleszenz**, die auch allgemein als **geplanter Verschleiß** bezeichnet wird. Kurzlebige Produkte, die die Anforderungen an Ressourceneffizienz nicht erfüllen, werden einer geplanten Obsoleszenz zugeordnet, die nach *Schridde* ein Fehler ist.

Die genannten Begriffe sind nur eine erste Übersicht, von denen einige in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden. Eine Vertiefung mit der weiterführenden Literatur ist erforderlich.

11.4.1 Geplante Obsoleszenz

Geplante Obsoleszenz wird die ökonomisch gewollte Kurzlebigkeit von Fachleuten genannt. Konsumgüter werden nach *Schridde* oft nur für eine Dauer von zwei Jahren (z. B. Smartphones, Haushaltskleingeräte, Schuhe, Mode) bis fünf Jahren (z. B. TV-Geräte, Laptops) ausgelegt. Langlebigkeit ist für viele Hersteller schon mit sieben Jahren erreicht (Kraftfahrzeuge, Haushaltsgroßgeräte).

Typische Beispiele sind nach *Schridde*:

- Zähler in Laser-Tonerkartuschen, deren Zähler zahnradgetrieben nach einer vom Hersteller festgelegten Anzahl von gedruckten Seiten den Leerstand der Kartusche anzeigen, obwohl der Drucker ohne Nachfüllen nur durch Rückstellen auf null weiterdruckt.
- Zahnräder im Handmixer aus Kunststoff sind aus einfachem Material und als Verschleißteil nicht austauschbar, obwohl ein metallisches Schneckengetriebe die Kunststoffräder nach kurzer Zeit zerstören könnte.

- Kabelbruch bei Tischnetzteilen, Kopfhörern oder Ladekabeln können sich ergeben durch Übergänge von harten Kunststoffteilen und weichen Kabeln an den Gehäusen.
- Akkus in Mobiltelefonen, die Kunden nicht selbst ausbauen und ersetzen können. Ein neuer Akku kann nur vom Hersteller eingebaut werden, mit entsprechenden Kosten.
- Reparaturen werden aufwendig wegen nicht mehr lieferbarer Ersatzteile.
- Ablehnung einer Reparatur von älteren Geräten, weil angeblich die Kosten höher sind, sodass vom Händler empfohlen wird ein neues Gerät zu kaufen.

Die Fehler dieser Beispiele sind sehr häufig mit geringen Kosten und wenig Aufwand zu beseitigen, wenn die Überzeugung vorhanden ist, Produkte anzubieten, die die Nutzer erwarten und die die Umwelt und die Ressourcen schonen.

Die von Menschen verursachte Obsoleszenz verursacht erhebliche Schäden für die Gesellschaft und die Umwelt. Geplante Obsoleszenz umfasst nach *Schridde* Strategien und Methoden von Herstellern, Einzelhandel und Dienstleistern, die eine ökonomisch begründete Obsoleszenz von Ressourcen, Produktsystemen und Dienstleistungen anstreben. Auf europäischer Ebene ist das Problem der Ressourcenverschwendung bekannt und es bestehen Forderungen endlich zu handeln.

Die vorgestellten Hinweise und Beispiele sollten das Interesse wecken, sich intensiver mit diesem Thema zu beschäftigen. Dafür gibt es inzwischen zur Vertiefung die im Literaturverzeichnis angegebenen Veröffentlichungen.

11.4.2 Optimale Lebens- oder Nutzungsdauer von Produkten

Das Umweltbundesamt hat im Jahr 2016 eine Studie herausgegeben, die Strategien gegen Obsoleszenz untersucht hat, und diese mit Handlungsempfehlungen beschrieben. Erläutert werden auch die Sicherung einer Produktmindestlebensdauer sowie die Verbesserung der Produktnutzungsdauer und der Verbraucherinformation. In Anlehnung an diese Studie von *Oehme, Jacob u. a.* werden hier nur die Zusammenfassung und die Kernempfehlungen übernommen, da die vollständige Studie vom Umweltbundesamt veröffentlicht ist.

Der Begriff Obsoleszenz wird seit einigen Jahren für Produkte verwendet, die vor dem Erreichen einer optimalen Lebens- oder Nutzungsdauer ersetzt werden. Sie haben einen höheren Bedarf an Ressourcen und es entsteht mehr Abfall. Es gibt verschiedenen Gründe, warum ein Produkt nach *Oehme, Jacob u. a.* nicht mehr genutzt wird:

- Werkstoffliche Obsoleszenz: Defekte aufgrund mangelnder Leistungsfähigkeit von Materialien oder Komponenten.
- Funktionale Obsoleszenz: Mangelnde Interoperabilität von Software und Hardware.
- Psychologische Obsoleszenz: Der Wunsch nach einem neuen Gerät, obwohl das alte noch funktioniert.
- Ökonomische Obsoleszenz: Unterlassen einer Reparatur aus Kostengründen, wenn der Abstand der Reparaturkosten zu den Kosten für Neuprodukte zu gering ist.

Die Nutzungsdauer vieler Elektro- und Elektronikgeräte werden immer kürzer. Der Neukauf erfolgt aus verschiedenen Gründen und ist oft der Wunsch nach einem neuen Gerät. Umweltfreundlicher und ressourcenschonender sind Produkte mit langer Nutzungsdauer, weil der zusätzliche Aufwand für die Herstellung vermieden wird.

Strategien gegen Obsoleszenz ergeben sich nach *Oehme, Jacob u. a.* durch gleichzeitige Aktivitäten in zwei Bereichen. Strategien um eine gesicherte Mindestlebensdauer und eine Verlängerung der Produktlebensdauer zu erreichen und Strategien um die Produktnutzungsdauer durch die Verbraucher zu verlängern. Dafür hat das Umweltbundesamt Handlungsempfehlungen erarbeitet, deren Grundlagen aus zwei weiteren Studien vorhanden sind.

11.4.3 Kernempfehlungen und Handlungsempfehlungen

Die **Kernempfehlungen** sollen hier nur in Bild 11.21 als Übersicht aufgelistet werden, ohne weitere Erläuterungen, da diese in der Studie stehen und dort nachzulesen sind, was sehr empfohlen wird. Sie enthalten Hinweise u. a. auf die Ökodesign-Richtlinie (RL 2009/125/EG) sowie auf die Ankündigung der EU-Kommission im Aktionsplan Kreislaufwirtschaft die Anforderung zu prüfen.

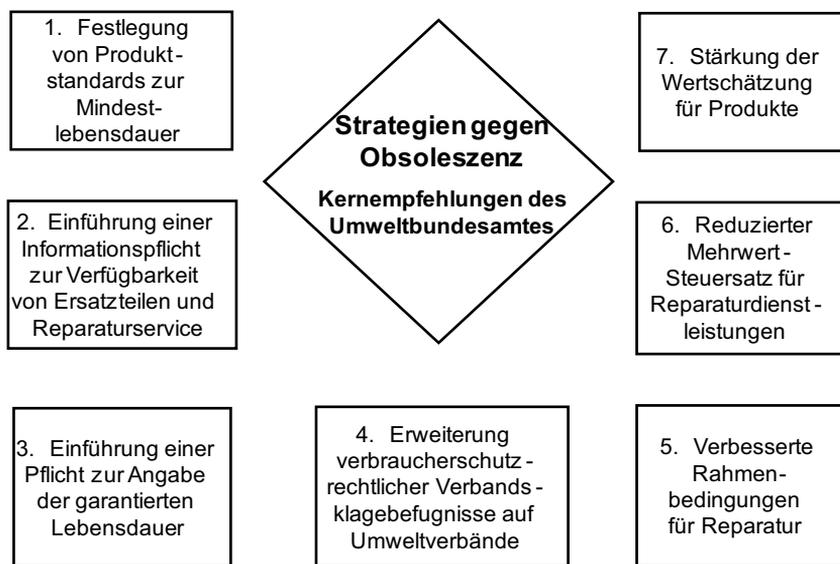


Bild 11.21 Kernempfehlungen des Umweltbundesamtes

Die **Handlungsempfehlungen** des Umweltbundesamtes sind in der Studie als Zusammenfassung in einer Tabelle und mit Erläuterungen übersichtlich enthalten, sowie mit den besonders erfolversprechenden Maßnahmen der Kernempfehlungen des Umweltbundesamtes versehen.

■ 11.5 Reparaturreignung von Produkten

Reparaturreignung bedeutet zu prüfen, welche Maßnahmen sinnvoll sind, um während des Produktgebrauchs mit vertretbarem Aufwand Reparaturen durchzuführen. Die Reparaturreignung von Produkten sollte bereits im Konstruktionsbereich überlegt und geplant werden, um nachträgliche Anpassungen zu vermeiden. Um die Bedeutung zu erkennen sind Kenntnisse der Grundlagen und die Begriffe der Instandhaltung für Konstrukteure erforderlich. Damit ist die Entwicklung von qualitätsgerechten Produkten mit langer Lebensdauer wirtschaftlich möglich.

Konstrukteure sollten über Kenntnisse und Erfahrungen verfügen, um zu erkennen und umzusetzen wie der Ablauf von Reparaturen erfolgen kann. Dazu gehört auch das Nachdenken über die Fähigkeiten für das Reparieren. Bewährt hat sich nach den Aktivitäten im Konstruktionsbereich die Montage von neuen Produkten im Werkstattbereich zu betreuen. Der Informationsaustausch mit dem Service und die Erfahrungen der Monteure bei den Kunden sind außerdem sehr nützlich. Das Reparieren ist ein Bereich der Instandhaltung, deren Grundlagen auch bei der Konstruktion zu berücksichtigen sind.

11.5.1 Instandhaltung

Um die Lebensdauer von Produkten, Maschinen und Anlagen sinnvoll zu verlängern, sowie die Ausfallzeiten und Kosten zu minimieren, ist Instandhaltung erforderlich.

Instandhaltung ist nach DIN 31051 definiert:

Instandhaltung ist die Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Feststellung und Beurteilung des Istzustands sowie zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, sodass sie die geforderte Funktion erfüllen kann.

Kurz gesagt nach *Breck-Prüfplaketten News* dient die Instandhaltung zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustands sowie der Wahrung bzw. Wiederherstellung des Sollzustands einer Anlage.

Zur Instandhaltung gehören Inspektion, Wartung und Instandsetzung.

Inspektion bedeutet das Überprüfen, um den Ist-Zustand eines Produktes festzustellen und zu dokumentieren.

Wartung erfolgt durch Arbeiten an Maschinen und Anlagen, um den Sollzustand wiederherzustellen.

Instandsetzung umfasst Maßnahmen, die erforderlich sind, um ein einwandfreies, funktionsfähiges Betriebsverhalten wieder zu schaffen.

Es ist üblich Instandsetzung auch als Reparatur zu bezeichnen. Reparatur ist die Arbeit zur Beseitigung eines Mangels oder Schadens. Die Reparaturreignung ist bereits während der Konstruktion von Produkten zu planen.

In Anlehnung an *van der Mooren* werden einige Grundlagen und Begriffe genannt. Die Konstruktion von Produkten erfolgt für Aufgaben, um Funktionen zu erfüllen. Dafür haben sie eine materielle Gestalt, die in der Konstruktion zu entwickeln ist. Ein Produkt wird

nur die Anforderungen erfüllen, wenn es funktionsfähig ist. Werden Produkte im Einsatz belastet, dann kann sich die materielle Gestalt seiner Bauteile durch Abnutzung ändern. **Beschädigung** nennt man die unerwünschte, bleibende Gestaltänderung, die den guten Zustand eines Produkts negativ beeinflusst.

Der Zustand von Produkten wird nach den geforderten Funktionen beurteilt. Ein Produkt ist defekt, also funktionsunfähig, wenn die Anforderungen nicht mehr erfüllt werden. Der Übergang des Produktes vom funktionsfähigen in den defekten Zustand nennt man **Ausfall** und die Beschädigung, die dazu führt, ist der **Schaden**.

Die **Instandhaltungsgerechte Konstruktion** hat das Ziel die Nutzungsphase von Produkten zu verlängern und die erforderlichen Reparaturen zu erleichtern. Dafür haben sich nach *Eversheim/Krause* folgende Maßnahmen bewährt:

- Trennung von Funktions- und Verschleißteilen. Der Verschleiß ist auf wenige Teile zu beschränken.
- Modulare Bauweise mit Standard-Schnittstellen zum einfachen Ersatz von defekten oder verschlissenen Komponenten
- Möglichkeiten vorsehen, um schnell defekte Komponenten bei dem Ausfall von Funktionen bestimmen zu können

Demontagegerechte Konstruktionen unterstützen den Ersatz defekter Komponenten durch zerstörungsfreie Trennverfahren. Funktionsstörungen können durch Angaben in einem Anzeigenfeld durch den Nutzer abgestellt werden. Schnittstellen für Kontroll- und Diagnosemöglichkeiten sind vorzusehen. Die Funktionserhaltung kann durch konstruktive Maßnahmen unterstützt werden, wie z.B. Kontrolllampen oder Sichtfenster. Eine Produktdokumentation für Kunden oder den Service ist für die Beseitigung von Funktionsstörungen erforderlich.

Instandhaltungsgerechtes Konstruieren ist beim Entwerfen durch Empfehlungen zu unterstützen, die überlegt anzuwenden sind. Die Empfehlungen sind als Regeln für zwei Bereiche im Bild 11.22 nach *van der Mooren* enthalten. Für die Gestalt eines Produktes sind die Regeln 1 bis 5 und für das Verhalten des Produktes die Regeln 6 bis 10 anzuwenden. Beispiele für alle Regeln enthält die angegebene Literatur.

Das instandhaltungsgerechte Konstruieren ist in allen 4 Phasen des Konstruierens zu beachten. Das Planen mit dem Ergebnis der Anforderungsliste sollte je nach Produkt die Instandhaltung fordern oder wünschen. Das Konzipieren, das Entwerfen und das Ausarbeiten liefern das Konzept, den Entwurf und die Unterlagen für die Komponenten des Produkts. Beispiele für konstruktive Empfehlungen der Instandhaltung sind einfache Funktionen, modularer Aufbau und gut erreichbare Bauteile.

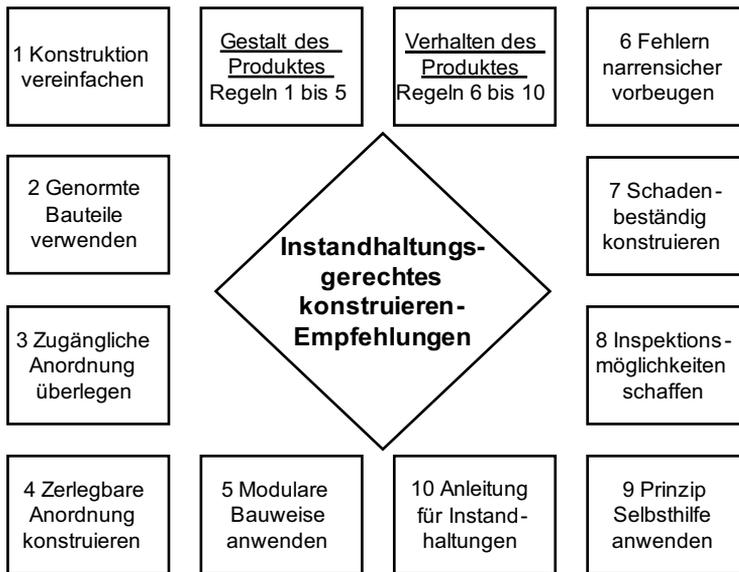


Bild 11.22 Instandhaltungsgerechtes Konstruieren-Empfehlungen

11.5.2 Instandsetzungsgerechtes Konstruieren

Instandsetzung umfasst alle Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustands eines Arbeitssystems. Dazu gehört insbesondere das Austauschen bzw. Reparieren von Produkten oder Bauteilen. Rechtzeitiges Reparieren beschädigter Bauteile senkt die Wartungskosten.

Bei der Instandsetzung ist es sinnvoll nach *van der Mooren* zu unterscheiden, ob präventive oder korrektive Maßnahmen auszuführen sind.

Präventive Instandsetzung erfolgt durch Tätigkeiten, die eine Beschädigung ausbessern oder verhindern, bevor das Produkt ausfällt.

Korrektive Instandsetzung erfolgt durch Tätigkeiten nach der Beschädigung und dem Ausfall des Produktes, also um einen Schaden zu beseitigen. Diesen Vorgang nennt man auch **Reparieren**.

Produkte oder Maschinen können auch bei bestimmungsgemäßem Einsatz durch Schäden ausfallen. Nach der Untersuchung der Schadensursache sollten die defekten Teile repariert oder ausgetauscht werden. Danach ist zu prüfen, ob der Einsatz mit allen Funktionen wieder möglich ist. Schäden an Bauteilen können nach *Breck-Prüfplaketten News* unterschiedliche Ursachen haben: Abnutzung, Verschleiß, Reibung, Korrosion, Ermüdung, Alterung, mangelhafte Wartung, fehlerhafte Nutzung oder Einwirkung von Gewalt.

Die Reparatur wird auch als ausfallbedingte Instandsetzung bezeichnet, z. B. wenn ein Zahnrad in einen Werkzeugmaschinengetriebe ausfällt. Für die Reparatur ist dann ein neues Zahnrad erforderlich, wenn keine weiteren Folgeschäden gefunden werden. Zahn-

räder als Ersatzteile sind in der Regel nur vom Hersteller der Produkte zu erhalten, also vom Hersteller der Werkzeugmaschine in der Qualität des Originalteils. Ersatzteile sind nicht nur eine Unterstützung der Kunden, um deren Ausfallzeiten zu reduzieren. Oft sind sie auch eine zusätzliche Einnahmequelle der Unternehmen, da diese die Kosten und Liefermöglichkeiten zu ihrem Vorteil auslegen können.

11.5.3 Reparatur-Nutzen und Aufwand

Die **Reparatur ist ein Konzept der Natur**. Diese Aussage von *Heckl* wird in Anlehnung an sein Buch „Die Kultur der Reparatur“ mit einem sehr kurzen Einblick beschrieben. Die Reparatur ist ein natürlicher Ausweg aus der Wegwerfgesellschaft. Das Prinzip ist keine Erfindung der Menschen, sondern ein uraltes, das die Natur schon immer eingesetzt hat. Reparaturprozesse gibt es in der unbelebten Natur und insbesondere in lebenden Systemen. Ohne die Selbstorganisation und Selbstheilungskräfte hätte Leben weder entstehen noch überhaupt aufrecht erhalten werden können.

Die Reparatur als Konzept der Natur kann nicht einfach auf die Gegenstände übertragen werden, sondern erst nach entsprechenden Analysen und Entwicklungen, wie z. B. auch in ähnlicher Form in der Bionik. Die Natur repariert, um zu verbessern, aber nicht, weil ein System perfekt werden soll, sondern um eine Weiterentwicklung zu ermöglichen.

Einige Unternehmen stellen Produkte her, die vom Materialeinsatz, der Lebensdauer und dem Preis optimal sind. Diese Produkte halten nicht so lange wie technisch möglich und zu erwarten ist. Wenn sich z. B. ein Akku in Geräten nicht austauschen lässt, weil seine Lebensdauer zu Ende ist, kann der Kunde nicht reparieren lassen, sondern muss ein neues Gerät kaufen. Dieses Verhalten kann geplante Obsoleszenz genannt werden. Funktionelle Obsoleszenz tritt dann auf, wenn neue bessere Funktionen für ein schon am Markt vorhandenes Gerät entwickelt wurden, mit denen die Kunden für einen Kauf überredet werden sollen.

So sind z. B. einige Unternehmen, die Elektronikprodukte herstellen, bekannt dafür, dass sie wichtige Komponenten nicht austauschbar vorsehen. Diese Unternehmen wollen lieber neue Produkte verkaufen, als durch Ersatzteillieferungen Reparaturen mit geringen Kosten zu ermöglichen, die die Lebensdauer erheblich verlängern würden. Auch wenn neue Produkte weiterentwickelt wurden, sollte der zusätzliche Verbrauch von Rohstoffen, Produktionsmitteln und den Kapazitäten von Personen im Produktionsprozess beachtet werden. Die wirtschaftlichen Vorteile für die Unternehmen sind dann wichtiger als der Nutzen für die Kunden.

Die **Kultur der Reparatur** erfordert nach *Heckl* Kenntnisse, Können, analytisches Denken sowie Lebensklugheit, Wertschätzung und vor allem Achtsamkeit. Das Verhalten der Menschen gegenüber materiellen Dingen ihrer Umgebung sagt etwas über die Menschen aus.

Reparaturen sind erforderlich, wenn Fehler Störungen oder den Ausfall von Produkten bewirken. Ein **Fehler** ist eine unerwünschte Auswirkung nach DIN EN ISO 9000:2015. Fehler erkennen erfordert Fachkenntnisse. Fehler analysieren, um die Ursache zu finden, ist durch Anwenden des Kausalprinzips möglich. Fehlerauswirkungen können mit Hilfe von Dokumentation erkannt und abgestellt werden. Menschen können zum Erfassen von Fehlern die Sinnesorgane Sehen, Hören, Fühlen, Riechen, Tasten oder Schmecken nutzen.

Einige Fähigkeiten und Kenntnisse für das Reparieren sind als Übersicht im Bild 11.23 genannt. Weitere Erläuterungen können in der weiterführenden Literatur von *Schweitzer* nachgelesen werden.

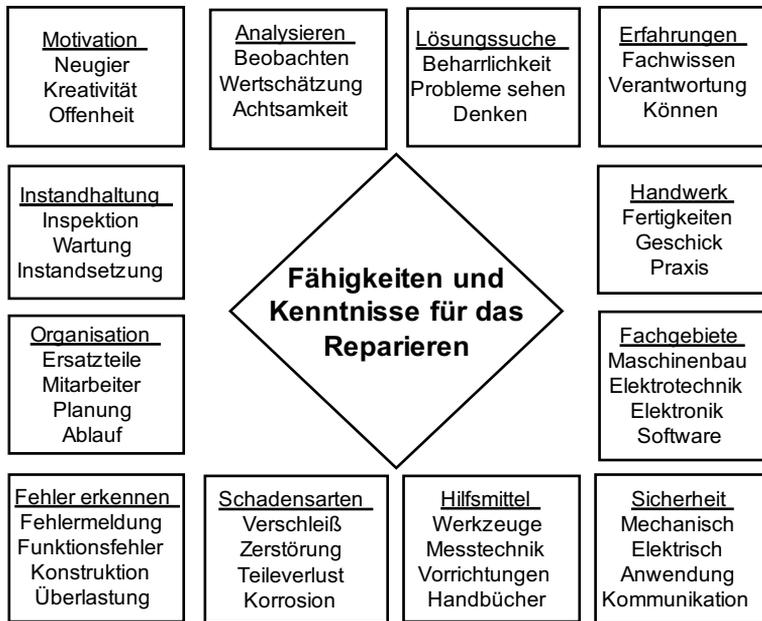


Bild 11.23 Fähigkeiten und Kenntnisse für das Reparieren

Um Fehler durch Reparieren zu beseitigen ist Kompetenz erforderlich. Die *DIN EN ISO 9000:2015* definiert **Kompetenz** als „Fähigkeit, Wissen und Fertigkeiten anzuwenden, um beabsichtigte Ergebnisse zu erzielen“. Für Reparaturen an Maschinen und Anlagen in Betrieben sind geschulte Facharbeiter oder speziell ausgebildeten Mitarbeiter einzusetzen. Reparaturen an Konsumgütern werden oft durch das Handwerk durchgeführt. **Handwerk** nennt man den in einer traditionell geprägten Ausbildung zu erlernenden Beruf, der in einer manuellen und mit einfachen Werkzeugen auszuführenden Arbeit besteht. Handwerkzeug ist das Werkzeug, das zur Ausübung eines bestimmten Handwerks oder einer handwerklichen Tätigkeit benötigt wird. Auch in diesem Bereich sind oft spezielle Schulungen notwendig.

Die Kultur der Reparatur wird inzwischen in vielen Orten durch Reparatereinrichtungen vorangetrieben, die dort als Team von Menschen mit handwerklichem Geschick, Handwerkern und Laien aktiv zusammenarbeiten. In dieser Reparaturpraxis werden auch Ersatzteile aus gebrauchten Produkten weiterverwendet. Die dort reparierten Produkte haben eine längere Lebensdauer, reduzieren das Wegwerfen von Produkten mit einfachen Fehlern und motivieren die Menschen für den Umweltschutz. Umfangreiche Informationen und Fallbeispiele sind in dem Buch von *Heckl* enthalten.

Im Bereich Entwicklung und Konstruktion sind besondere Überlegungen erforderlich, um Maßnahmen umzusetzen, die Fehler vermeiden und Reparaturen unterstützen. Dieser

Aufwand erfordert bei Produkten mit geringer Stückzahl viel Erfahrung und Können, ist aber bei Serienprodukten notwendig. Grundlegende Hinweise für die reparaturgerechte Gestaltung von Produkten sind als Übersicht in Bild 11.24 enthalten. Weitere Erläuterungen der Konstruktionsregeln sind im Abschnitt 6.7.5 unter Recycling während des Produktgebrauchs beschrieben.

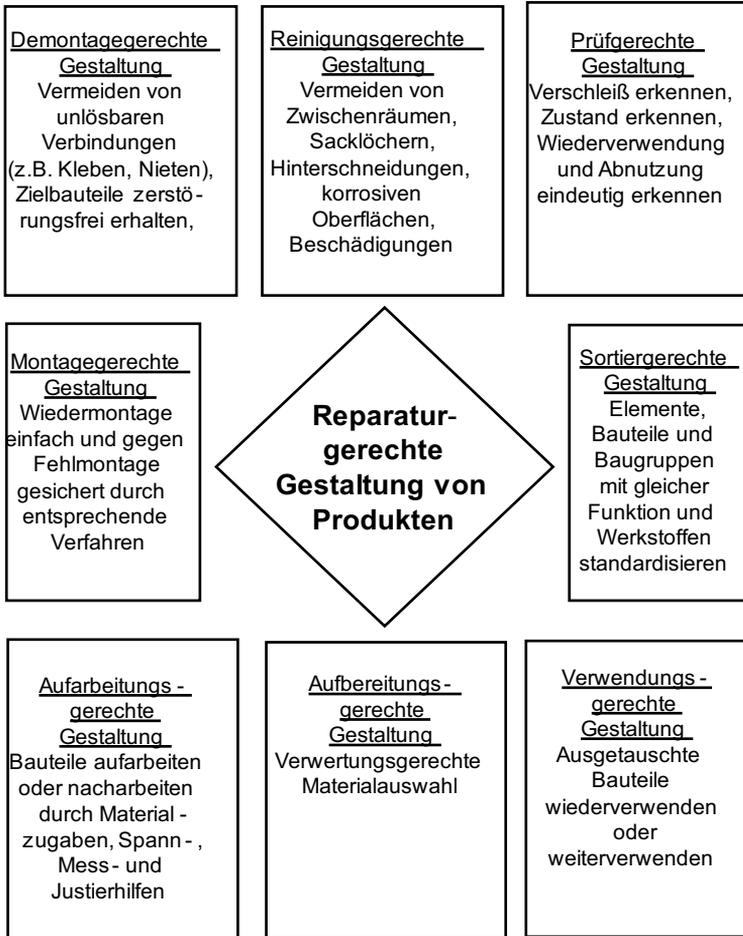


Bild 11.24 Reparaturgerechte Gestaltung von Produkten

Eine Übersicht der Tätigkeiten und den **Ablauf von Reparaturen** kann den zwölf Hinweisen mit kurzen Erläuterungen in Bild 11.25 entnommen werden. Diese Informationen sind geeignet als Grundlagen für Konstrukteure, Handwerker und für interessierte Menschen, die motiviert sind den Umweltschutz zu unterstützen.

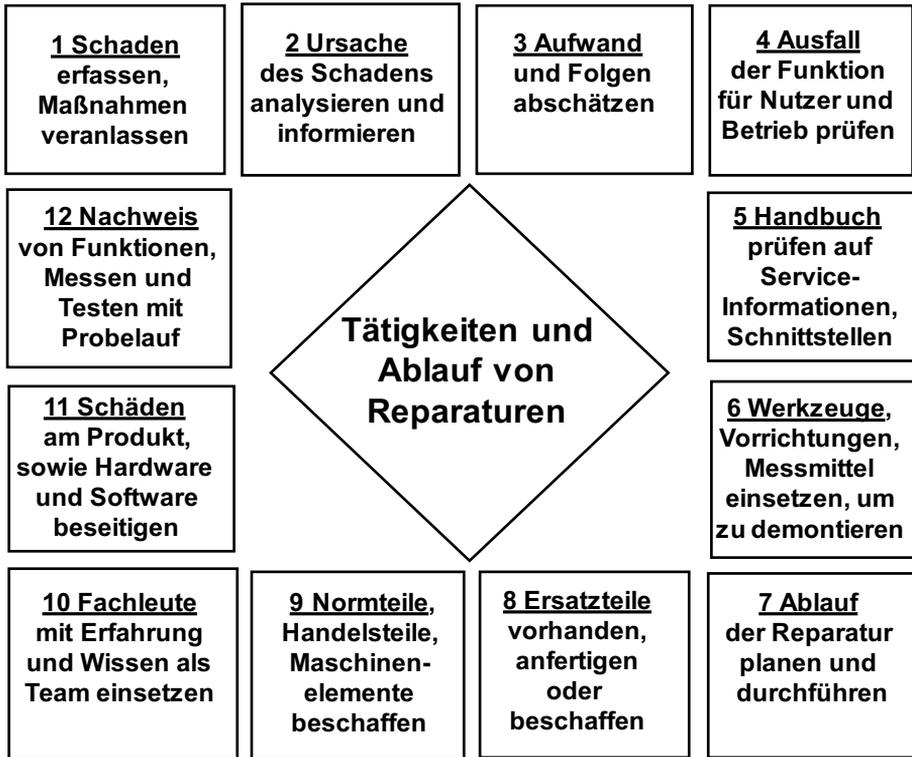


Bild 11.25 Tätigkeiten und Ablauf von Reparaturen

Nutzen und Aufwand für Reparatur bzw. Instandsetzung wurden beschrieben, um Anregungen und allgemeine Kenntnisse für Konstrukteure im Studium zu vermitteln. Obwohl es bereits sehr viele Fachgebiete gibt, die Konstrukteure kennen und anwenden sollten, ergibt sich hierfür die Notwendigkeit durch die beschriebenen Entwicklungsmethoden einiger Firmen. Umweltschutz, Verschwendung, Energieeinsatz, Rohstoffverbrauch usw. sind in der Zukunft besonders zu beachten.

■ 11.6 Agile Produktentwicklung

Die Entwicklung von Produkten in den Betrieben und Unternehmen erfolgte bisher in der Regel durch Projektmanagement, das den Anforderungen der Märkte und dem Einsatz von aktuell verfügbarer Technik oft nicht mehr erfüllen konnte. Deshalb wurde untersucht, ob die in der Softentwicklung eingesetzten agilen Methoden auch für die Produktentwicklung geeignet sind. Die Nachteile der Planungen durch Projektmanagement, wie z. B. langsam, starr und bürokratisch sollten durch agile Arbeitsweisen die folgenden Vorteile liefern, wie z. B. schneller und flexibler sowie bessere Ergebnisse.

11.6.1 Agil - Begriffsklärung

Agil ist ein aus dem Wort agieren abgeleiteter Begriff, der Eigenschaften von tätigen Menschen beschreibt. **Agieren** bedeutet handeln, tätig sein, eine Rolle spielen und ist entlehnt aus gleichbedeutend lat. agere mit der Grundbedeutung „treiben, in Bewegung setzen“. Das lateinische Verb ist Ausgangspunkt zahlreicher Ableitungen wie z. B. agil, aktiv, aktuell, reagieren. **Agil** bedeutet von großer Beweglichkeit zeugend; regsam und wendig (nach Pfeifer).

Agilität steht für temperamentbedingte Beweglichkeit, Lebendigkeit, Regsamkeit im Verhalten des Menschen zur Umwelt.

Agilität steht für die Fähigkeit, auf Veränderungen in einer turbulenten Umwelt, in der sich Unternehmen befinden, zu reagieren. Ein agiles Projekt ist ein Vorhaben, das durch seine Agilität den Anforderungen gerecht wird, die nach agilen Prozessen bzw. Vorgehensweisen ablaufen. Agile Prozesse beruhen auf Erfahrungen, die nicht einfach zu verstehen sind, sowie Kontrolle und Einmischung erfordern (nach Brandstätter). **Agile Arbeitsweisen** ergeben sich durch Anwenden der beschriebenen Eigenschaften in agilen Methoden.

Die zunehmende Komplexität und Dynamik im Zeitalter der Digitalisierung bedeutet für die Produktentwicklung in den Unternehmen auch neue Arbeitsweisen und Methoden einzusetzen. Die Unternehmensführung muss nach Müller die bewährten Ansätze prüfen und neue Methoden im Management einführen. Neben der Planung als Strategie, um die Komplexität der Produktentwicklung zu bewältigen, sind agile Managementmethoden einzusetzen. Die Dynamik der Märkte ist eine zusätzliche Herausforderung für die Unternehmen, die zu beachten ist. Agilität und Planung sind nach den Anforderungen in den Unternehmen abzustimmen.

11.6.2 Agile Managementmethoden

Agile Managementmethoden wurden nach Müller schrittweise entwickelt und sind dadurch ein wesentlicher Ansatz für ein Management unter Ungewissheit. **Ungewissheit** ist ein Bezug auf etwas, was kommen wird und dadurch noch unbestimmt bzw. unsicher ist. Führungsentscheidungen mit Ungewissheit über zukünftige Entwicklungen und gute Informationen sind in Unternehmen oft die Grundlage für den Erfolg.

Folgende agile Managementmethoden sind bekannt (Auszug nach Müller):

Effectuation bedeutet auf der Grundlage der eigenen Mittel zu handeln, das Risiko gering zu halten, Umstände und Zufälle geschickt auszunutzen und auf Allianzen und Partnerschaften zu setzen. Fixe Ziele werden nicht gebraucht. Effectuation will die Zukunft steuernd beeinflussen, ohne sie vorhersagen zu müssen.

Lean Startup entwickeln Ideen und Produkte als Experimente, um zu lernen, wie man damit ein Geschäftsmodell aufbaut, als Ergebnis der Experimente. Ein Startup handelt unter extremer Unsicherheit. Lean Startup arbeiten nicht mit der klassischen Planung, sondern im direkten Kontakt mit interessierten Kunden.

Design Thinking wendet Methoden von Produkt-Designern oder Architekten im Zusammenhang mit Wirtschaft und Gesellschaft an. Design wurde früher oft erst nach der Entwicklung zur äußeren Verschönerung von Produkten eingesetzt. Heute ist Design Thinking ein strategisches Konzept, um die Ideen der Zukunft mit Designern zu entwickeln.

Scrum ist eine Methode, die von Softwareentwicklern geschaffen wurde, um durch neue Werte und Prinzipien Software zu programmieren, die die Anforderungen der Kunden vollständig erfüllt. In einem Maifest wurden 2001 folgende vier Werte und Prinzipien formuliert: Menschen vor Prozessen und Werkzeugen beachten, auf Wandel antworten und nicht nur einem Plan zu folgen, funktionierende Prototypen sind wichtiger als genaue Dokumentation und mit Kunden zusammen zu arbeiten, statt sich an strenge Verträge zu halten (nach Müller).

Agile Managementmethoden werden inzwischen auch für andere Bereiche eingesetzt, wie z.B. Produktentwicklung, Marketing und strategische Planungen, weil sie bei Ungewissheit besser geeignet sind. Aber es ist wichtig die Funktionen, Branchen und Unternehmensentwicklungen zu kennen, in denen agile Managementmethoden nicht geeignet einsetzbar sind. Die richtigen **Bedingungen für agile Managementmethoden** sind als Übersicht in Bild 11.26 enthalten.

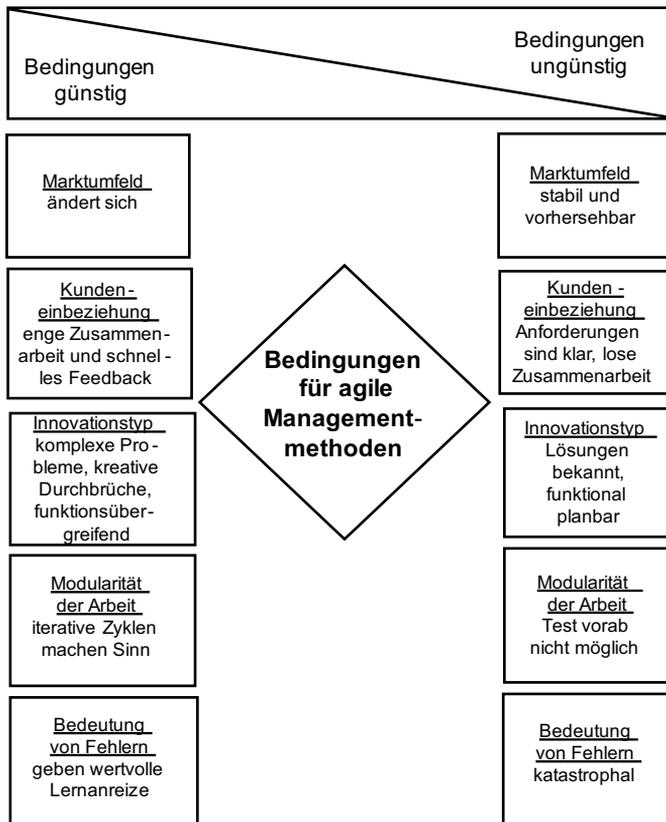


Bild 11.26 Bedingungen für agile Managementmethoden (nach Müller)

Die beiden Methoden der agilen Arbeitsweise und der gründlichen Planung sind im Unternehmen so einzusetzen, dass sie sich gegenseitig ergänzen und unterstützen, aber nicht rechthaberisch gegeneinander arbeiten.

Diese kurzen Erläuterungen in Anlehnung an *Müller* sollen anregen sich einen ersten Überblick zu verschaffen. Umfangreiche und weiterführende Überlegungen sind in der angegebenen Quelle enthalten.

11.6.3 Scrum - Methode

Für die agile Produktentwicklung soll von den kurz beschriebenen agilen Methoden die **Scrum-Methode** erläutert werden, scrum engl. für „geordnetes Gedränge“. Beim Rugby-Sport ist es das Gedränge der Spieler zweier Mannschaften in der kreisförmigen Aufstellung beim Einwurf eines Balles, um vor jedem Angriff die Köpfe zusammen zustecken. Übertragen auf Projekte ist dies ein Hinweis auf den Zusammenhalt, den ein Scrum-Team entwickeln kann, und darauf, dass schlagkräftige Teams sehr konzentriert auf das Ziel eines Projekts hinarbeiten. Für Projekte ist Scrum der agile Prozess mit der weitesten Verbreitung.

Dieser Ansatz wurde als Idee für eine neue Vorgehensweise bei der Produktentwicklung schon 1986 veröffentlicht und später von Ken Schwaber und Jeff Sutherland aus der Softwareentwicklerszene der USA nach folgender Idee weiterentwickelt: Kundenwünsche und Nutzerbedürfnisse werden möglichst exakt beschrieben und in Teilaufgaben zerlegt für ein Team, das sich laufend abstimmt sowie Teilziele erarbeitet und präsentiert. Das Team arbeitet flexibel, selbst organisiert und eigenverantwortlich. Da die Entwicklung in den USA erfolgte, werden fast alle Begriffe der agilen Produktentwicklung in englischer Sprache verwendet.

Das **Agile Manifest** aus dem Jahr 2001 ist die Grundlage für die Softwareentwickler geworden mit den darauf aufbauenden zwölf Prinzipien. Die Übersetzung von *Gloger* soll hier als Zitat angegeben werden:

Manifest für Agile Softwareentwicklung - Agile Manifesto

Wir zeigen bessere Wege auf, um Software zu entwickeln, indem wir genau das tun und anderen dabei helfen, es auch zu tun. Durch unsere Arbeit haben wir folgende Werte für uns entdeckt:

- *Individuen und Interaktionen stehen über Prozessen und Werkzeugen.*
- *Funktionierende Software steht über umfangreicher Dokumentation.*
- *Die Zusammenarbeit mit dem Kunden steht über der Verhandlung von Verträgen.*
- *Das Reagieren auf Veränderungen steht über dem Befolgen eines Plans.*

Das bedeutet: Obwohl die Dinge auf der rechten Seite ihren Wert haben, messen wir den Dingen auf der linken Seite größeren Wert bei.

Danach ist es üblich die Bezeichnung „agile Methoden“ zu verwenden.

Die Bedeutung von Scrum wird durch die Erfahrungen von *Gloger* sehr kompetent und ausführlich erklärt. Hier kann nur eine kurze Einführung gegeben werden. Scrum ist eine Antwort auf die Anforderungen der Globalisierung und der Beschleunigung in den Betrie-

ben und Unternehmen sowie für die Führungskräfte. Scrum ist ein Management-Ansatz, der einen Weg für den Wechsel des Managements von Organisationen, Abteilungen und Teams sein kann. Unternehmen, Abteilungen und Projekte können durch die Regeln und Elemente von Scrum erfolgreicher sein. Scrum ist eine Einstellung zum Umgang mit Menschen und Mitarbeitern, Kunden und Managern. Scrum ist eine innere Haltung, die sich durch Disziplin und Verantwortungsbewusstsein auszeichnet (*Gloger*).

Eine **agile Produktentwicklung** erfolgt durch wenige Regeln, die in einem **Scrum-Prozessmodell** dargestellt werden können. Bild 11.27 enthält die Rollen, die Meetings und die Artefakte mit den Unterlagen für die Aktivitäten sowie Prinzipien und Werte als Übersicht mit Erklärungen (nach Gloger, Brandstätter und Kullmann, Longmuß, Bullinger, Spanner-Ulmer). Ausführliche Hinweise sind in der weiterführenden Fachliteratur erläutert und sollten unbedingt erfasst werden.

Die Organisation des Scrum-Teams besteht aus drei verschiedenen Rollen, dem Product Owner, dem Entwicklungsteam und dem Scrum Master. Bei den Meetings gibt es vier Arten. Gestartet wird mit dem Planning Meeting, dann folgen Daily Scrum Meetings und anschließend das Review Meeting und das Retrospektive Meeting. Im Ablauf von Scrum entstehen die drei Dokumente User Story, Product Backlog und Sprint Backlog.

Die **Scrum-Prinzipien** stehen für die drei Säulen einer empirischen Prozesssteuerung: Sichtbarkeit, Inspektion und Anpassung, die im Bild 11.27 angegeben sind. Die Scrum-Werte sind die Grundlage für das praktische Arbeiten im Scrum-Team.

Die **Sichtbarkeit** eines Prozesses als Säule 1 erfolgt durch Überwachung und Überprüfbarkeit der Arbeit, der Scrum-Artefakte. Ein **Artefakt** ist allgemein ein Produkt menschlicher Fertigkeit und Erfindungsgabe und beschreibt fast alle gestalteten Dinge. Ergebnisse des Scrum-Prozesses werden als Artefakte bezeichnet.

Die Säule 2 soll durch **Inspektion** die Abweichungen im Prozess erkennen durch tägliche Prüfung während der Daily Scrum Meetings. Fortschritt und Ergebnisse sollen den Anforderungen entsprechen.

Die Säule 3 sorgt für die **Anpassung** der Entwicklung, wenn Grenzen überschritten werden, die nicht mehr zu akzeptieren sind.

Scrum-Werte sind mentale Werte aus den Scrum-Praktiken, die Projektbeteiligte beachten sollten (Bild 11.27). Die Verpflichtung sollte erfolgen, um das Ziel durch Selbstorganisation zu erreichen, und die vom Team angenommene Aufgabe zu erledigen. Im Fokus der Projektbeteiligten sind die Mühen und Fähigkeiten so einzusetzen, dass die Arbeiten effektiv gelöst werden können. Die Offenheit fordert alles offenzulegen, was zum Projekt gehört. Dies kann im Daily Scrum Meeting erfolgen, da dort der Fortschritt der Entwicklung diskutiert wird. Die Individualität der Personen ist durch Respekt anzuerkennen, indem Stärken und Schwächen akzeptiert werden. Fehlende Fähigkeiten werden vom Team ausgeglichen. Für wichtige Aufgaben sind geeignete Maßnahmen zu entwickeln. Mut ist ein Anspruch, den Scrum erhebt, um bei Zustimmungen offen zu sein und Respekt zu erwarten. Alle Scrum-Werte zu unterstützen erfordert ebenso Mut, wie das Anerkennen der Meinungen und deren Bedeutung von anderen Personen.

Sachwortverzeichnis

A

Abbruch einer Entwicklung 86
ABC-Analyse 403
Ablaufplan 85
Ablauf von Designprozessen 103
Ablauf von Reparaturen 579
Abstimmungsgespräche 272, 321
Abstrahieren 60, 160, 211
agile Managementmethoden 581
agile Manifest 583
agile Produktentwicklung 584
Agilität 581
Aktoren 216
– elektrische 216
– hydraulische 217
– pneumatische 217
Akzeptanz oder Zufriedenheit 534
Alter
– Begriff 537
– eines Menschen 538
Altern 538
Analogien 170
Analogisieren 166
Analyse 60, 112
Anforderungen 355, 549
Anforderungsarten 132
Anforderungskataloge 132, 134
Anforderungsliste 128, 130, 133
– aufstellen 139
– Formblatt 138
angewandte Ethik 527
Anpassungskonstruktion 32, 163
Anzahl der Prinzipien 554
Appell 94
Arbeitsmethoden der Informationsverarbeitung
65

Arbeitsplan der Wertanalyse 417
Aufarbeitung
– industrielle 299
Aufbauschema 195
Aufgabenanalyse 532
Aufgabenschwerpunkte 114
Aufgabenstellung 127
– Klärung 128
Auftragsdurchlaufzeit 118
Ausarbeiten 33, 83, 331
– Arbeitsschritte 331
Ausfalleffektanalyse 322
Auslegung 235
Austauscherzeugnis-Fertigung 301

B

barrierefreie Produkte 563
Baugruppen 56
Baukasten 349
Baukastenstückliste 348
Baureihe 349
Bauteileigenschaften
– Vorhersage 394
Bediensystemgestaltung 112
Bedingungen für agile Managementmethoden
582
Bedürfnisse 539
– elementare 540
– erlernte 540
Begabung 171
Beiträge
– aktive menschliche 145
benennungsorientierte Suche 206
benutzungsgerechte Konstruktion 144
Beratungsgespräche 235, 393

Bereich Konstruktion 18
Beschaffungsmerkmale 366
Beschaffungskosten 204
Betroffenheit des Menschen
– passive 145
Bewerten 219
Bewerten durch eine Gruppe 222
Bewertungskatalog 224, 316
Bewertungskriterien 219, 221, 224
Bewertungsliste 224
Bewertungsmethoden 219
Bewertungsverfahren 218, 228, 317
Beziehung 94
Beziehungsebene 92
Bildleiste 369
Bioinspiration 208
biologische Systeme 211
Biomimetik 208
Bionik 207
Black-Box-Methode 49
Brainstorming 173
Briefing 103
Businessplan 73

C

CAD 428
CAD/CAM 430
CAD/CAM-Systeme 3D 430
CAD-Normteiledatei 370
CAID 431
CAM 429
CAP 429
CAQ 430
CA-Techniken 427
Computer-Aided-Industrial-Design
431
Concept Maps 183
Concurrent Engineering 444

D

dekadische Gliederung 358
Demografie 107
demografischer Wandel 539
Denkweise 30
Design 103, 558
Designanforderungen 148
Designbriefing 103

Designer 431
– Dienstleistungen 432
Designprozesse 103
Designstudien 432
deterministische Gefahren 251
dezimale Gliederung 357
Dienstleistungen 541
Differentialbauweise 266
Digital Mock-Up 444
diskursives Denken 60
Dominanzmatrix 220
Drehmaschine 46
– Systemdarstellung 48
Durchlaufzeit 116

E

Effekte der Physik 193
Effektivität 534
Effizienz 534
Eigenfertigung 265
Eigenfertigungsteile 265
Eigenteil 341
Einflussfaktoren 27
Einzelfertigung 114
Einzelkosten 387
Einzelprodukt 26
Einzelteilzeichnungen 337f.
Eisberg-Modell 92
elektronische Zulieferkataloge 207
Entscheidungsprozess 75
Entscheidungsschritt 86
Entsorgung 287, 312
entsorgungsgerechte Gestaltung
– Grundregeln 312
Entwerfen 33, 83, 245
– Arbeitsschritte 234
Entwerfen und Verwerfen 78, 235
Entwicklungsprozess 72
Entwurf 233
Entwurfszeichnung 235, 331
Erfahrung 537
Erfahrungswissen 523
Ergonomie 562
– Definitionen 107
Ergonomieprozesse
– Ablauf 107
Ergonomische Anforderungen 144
ERP 430

Erzeugnisgliederung 334
 – fertigungs- u. montageorientiert 264
 – funktionsorientiert 335
 Erzeugnisse 333
 Erzeugnisstruktur 334
 Ethik 526
 ethische Grundsätze 528
 ethische Maschine 529
 Evaluation 112

F

Fähigkeiten 557
 Fehler 322, 577
 Fehlerbaumanalyse 322
 Fehler- Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA) 323
 Feingestalten 236
 Fertigteil 272
 Fertigungsart 26
 fertigungsgerechtes Gestalten 267
 Fertigungskosten 422
 FMEA 121, 229, 322
 Forderungen 132
 Fortschrittsgespräche 235
 Fremdfertigung 265
 Fremdteil 341
 frugale Dienstleistungen 570
 frugale Innovation 569
 frugale Produkte 568
 Fügen 275
 Funktion 51, 412
 Funktionsanalyse 163
 Funktionsbegriff 51
 Funktionsbeschreibung 52
 funktionsorientierte Arbeitsweise 25
 funktionsorientierte Recherche 206
 Funktionsstruktur 162
 Funktionsteil 272
 Funktionszuordnung 428, 430

G

Gebilde, technische 42
 Gebinde 375
 Gebrauchsfunktion 412
 Gebrauchsgüter 541
 Gebrauchstauglichkeit/Usability 534, 550
 Gedankenlandkarte 178

Gefahren
 – deterministische 251
 – stochastische 250
 Geltungsfunktion 412
 Gemeinkosten 387
 Gemischtfertigung 114
 generierendes Vorgehen 79
 geplante Obsoleszenz 571
 Gerontik© 536, 545
 – Sieben Prinzipien 554
 Gerontiker 555
 Gerontikprodukte 542, 557
 Geronto 535
 Gerontologie 544
 Gerontoökologie 544f.
 Gerontopsychiatrie 545
 Gerontopsychologie 545
 Gerontosozio­logie 545
 Gerontotechnik® 544f.
 Gerontotechnologie 546
 Gerontotechnologien 544f.
 Gesamtfunktion 162
 Gesamtkosten 387
 Gesamtstücklisten 337
 Gesichtspunkte
 – ordnende 190
 Gestalten 245
 Gestaltung 235, 245
 Gestaltungsbewertung 245, 316
 Gestaltungsprinzipien 245, 253
 Gestaltungsregeln 245
 Gestaltungsrichtlinien 245, 260
 – grundsätzliche 262
 Gewichtungsfaktoren 219, 223
 Grunddaten 352
 Grundregel 247
 – eindeutig 248
 – einfach 249
 – sicher 250
 Grundstruktur mechatronischer Systeme 216
 Gruppenzeichnungen 337f.
 Gussteile 274
 Güter 540

H

Handhaben 275
 Handlungsempfehlungen 573
 Handwerk 578

Hauptfunktionen 430
Hauptklassen 365, 371
Hauptumsatz 46
Herstellkosten 204, 387, 420, 422
– Einflussgrößen 389
Hilfsmittel 24
House of Quality 151

I

Ideenfindung
– Methoden 178
Identifizieren 355
Identifizierungsnummer 355
Identnummern 357
Industrial Design 558
Informationsbeschaffung 65
Informationsnummern 356
Informationsquellen 66
Informationssystem für Relativkosten 400
Informationstechnik 440
Informationsverarbeitung 63
Informationswesen 63
Ingenieuraufgaben 77
Ingenieure 122
Ingenieurpsychologie 531
Inhaltsebene 92
Innovation 569
innovative Analogien 570
Inspektion 574
Instandhaltung 296, 574
instandhaltungsgerechte Konstruktion 575
Instandsetzung 574, 576
Integralbauweise 266
integrierte Produktentwicklung 70
interdisziplinäre Zusammenarbeit 87, 104, 123, 532
Intuition 172
Intuitives Denken 59
Investitionsgüter 541
iterativ und inkrementell Vorgehen 590

K

Kataloge 66, 194
Kausalitätsprinzip 553
Kennzahlen 114
Keramikteile 274
Kernempfehlungen 573

Killerphrasen 173
Klassifizieren 355
Klassifizierung 359
Klassifizierungsnummern 355
Klassifizierungssystem 364
Klassifizierung über Sachmerkmale 373
Kleinserienfertigung 114
Kleinserienprodukt 26
Kombinieren 167
Kommunikation 90
Kompetenz 524, 578
Kompetenzatlas 524
Können 87
Konstruieren 17
– gießgerechtes 274
– kostengünstiges 394
– lärmarm 282
– montagegerechtes 277
– rechnerunterstützt 440
– rechnerunterstütztes 427
Konstrukteur 17
– Arbeitsweise 86
– Denkweise 30
Konstruktion 16, 19, 24
– Bedeutung 68
– Kostenerkennung 393
Konstruktionsalltag
– organisierte Maßnahmen 86
Konstruktionsarten 31, 115
Konstruktionsausbildung 18
Konstruktionsbereiche 36
Konstruktionsgrundsätze 245
Konstruktionskataloge 54, 194, 198
Konstruktionslehre 15, 18, 23
– Aufgaben 24
Konstruktionsmethodik 30, 440
– Anwendung 24
– Erwartungen 36
– Nutzung 38
– Ziele 38
Konstruktionsorientierung 524
Konstruktionsphasen 33, 83
– Zeitanteile 34
Konstruktionsprozess 16, 74, 81, 440
Konstruktionsregeln 300
– Aufarbeitung 300
Konstruktionsrichtlinien 66
Konstruktionstechnik 16
Konstruktionstermine 68

Konstruktionswissenschaft 16
 Konsumgüter 540
 Konzept 183, 229
 Konzeptlandkarten 183
 Konzipieren 33, 83, 159, 229
 korrigierendes Vorgehen 79
 Kosten 387
 – Änderungskosten 390
 – -beeinflussung 386, 390
 – -beurteilung 390
 – -eigenschaften 388
 – -entstehung 385
 – -erkennung 393
 – -ermittlungsverfahren 395
 – -festlegung 385
 – fixe 387
 – -früherkennung 387
 – -informationssysteme 394
 – senken 418
 – variable 387
 – -wissen 385
 – -ziele 385
 Kostenanalyse 393
 – Methode 418
 Kostenarten 387
 Kostenstellen 387
 Kostenträger 387
 Kraftfluss 256
 – Grundsätze 257
 – Regeln zur Gestaltung 258
 Kreativität 171
 Kreislaufwirtschaft 289
 Kultur der Reparatur 577
 Kurzkalkulation 394

L

Lastenheft 131
 Leistung
 – zugekaufte 120
 Literaturrecherchen 169
 Lösung
 – prinzipielle 168
 Lösungselemente 186
 Lösungskataloge 193, 199
 Lösungskonzept 31
 Lösungsprinzip
 – Arbeitsschritte 159
 Lösungsprozess 74

M

Map 589
 Mapping-Techniken 177
 Maschinenelemente 18, 592
 – Einteilung 593
 Maschinenrichtlinie 252, 283
 Maschinenstundensatzrechnung 424
 Materialkosten 421 f.
 Material-Recycling 308
 Mechatronik 213
 mechatronische Systeme 215
 Mengenübersichtsstückliste 346
 Mensch 557, 587
 Menschenorientierung 522
 menschliche Zuverlässigkeit 534
 Mensch-Maschine-Interaktion 524
 Merkmal 366
 – Definition 134
 – stoffliche und geometrische 55
 Merkmalausprägung 367
 Methode 24
 – allgemeine 61
 Methode 635 175 f.
 Methodenwissen 31
 Methodik 416
 Methodik beim Konstruieren 81
 methodische Produktplanung 125
 methodisches Vorgehen 58
 Mind Map 178
 Modellierung 432
 Modul 547
 Montage 275, 277
 montagegerechte Baugruppen 278
 montagegerechte Einzelteile 278
 montagegerechte Gestaltung 275, 278
 Montageoperationen 276
 Montageprozess 275
 Montieren 275
 Moral 526
 Morphologie 185
 morphologischer Kasten 185

N

Nebenumsatz 46
 Neukonstruktion 31, 163
 Normen 66
 Normteil 341

Nummer 354, 357f.
– auftragsabhängig 363
– auftragsunabhängig 363
Nummernsystem 355, 360
– Anforderungen 354
– Aufbau 373
– teilsprechendes 364
– vollsprechendes 364
Nutzerbefragungen 550
Nutzerbeteiligung 550
Nutzungskontext 550

O

Objektkataloge 199
Obsoleszenz 571
Obsoleszenzmanagement 571
Ökobilanz 291
Operationskataloge 199
Ordrende Gesichtspunkte 190, 193
Ordnungsschema 191
Orientierung auf Menschen 522

P

Parallelnummernsystem 361, 365
Parsimonieprinzip 552
Pflichtenheft 131
Phasen des Lebenszyklus 288
Philosophie 526
physikalische Effekte 55, 192
Planen 83
Planung neuer Produkte 125
Plätzen, Nummernschlüssel 357
Platzkostenrechnung 423
PPS 365, 430
praktische Philosophie 526
Prinzip 552
Prinzip der Aufgabenteilung 254
Prinzip der Selbsthilfe 254
Prinzip der Zerlegung 554
Prinzipien des Universal Design 560
Prinzipien der Kraftleitung 253
Prinziplösung 54
Prioritätenfolge Abfall 290
Problemanalyse 61
Problemlösungsbaum 199
Problemschwerpunkte 27
Produktalter 119

Produktarten 26
Produkte
– recyclinggerecht gestaltete 311
Produkte der Gerontik 88
Produkte für Alle 28, 535
Produkteigenschaften 261
Produktentstehungsprozess 74
Produktentwicklung 27, 441
Produktergonomie 562
Produktionsergonomie 562
Produktionsprozess 277
– Probleme 72
Produktionsrückläufe 289
Produktkonzeption 230
Produktkreislauf 297
Produktlebensphasen 288
Produktplanung 125
– Impulse 127
Produktprogramm 119
Produktverantwortung 287
Programmerweiterung 432
Prozess 44
Prozess der Produktentwicklung 73
Prozessmodell 109
prozessorientierte Arbeitsweise 25
Prozesswissen 587
Prüfen 275
Psychografie 107
Punktbewertung 222

Q

QFD 121, 150f., 322
Qualität 132, 149
Qualitätsdenken 382
Qualitätsplanung 150, 382
Qualitätssicherung 149, 228, 321, 381
Qualitätssicherungsmethoden 121, 322
Quality Function Deployment 151

R

Rapid Prototyping-Anlagen 443
Realisierung 112
Recycling 289
– Begriffe 292
– Kreislaufarten 293
Recyclingbehandlungsprozesse 296
Recyclingformen 294

recyclinggerechte Gestaltung 287
 Recyclingorientierte Produktentwicklung 311
 Regeln
 – allgemeine 306
 Regelungen
 – organisatorische 121
 Relation 183
 Relationsmerkmal 367
 Relativkosten 396
 Relativkostenblätter 398
 Relativkostenkatalog 397, 400f.
 Relativkostenobjekte
 – Auswahlkriterien 397
 Relativkostenzahlen 398
 Reparaturreignung 574
 Reparieren 576
 Roadmap 571

S

Sachebene 92
 Sachinhalt 94
 Sachmerkmal 366
 Sachmerkmale für Teilearten 378
 Sachmerkmalleiste 368f.
 Sachmerkmalverzeichnis 369
 Sachnummer 363
 Sachnummernsystem 363, 371
 Sattelstuhl 564
 Schlüsselwort 179
 Schmiedeteile 274
 Schriftfeld 342
 schrittweise Abstraktion 160
 Schwachstellenanalyse 61
 Scrum 582
 Scrum-Methode 583
 Scrum-Prozess 585
 Scrum-Prozessmodell 584
 Selbstkosten 387
 Selbstoffenbarung 94
 selbstschützende Lösungen 255
 selbstverstärkende Lösungen 254
 Sender-Empfänger-Modell 91
 Sensoren 217
 Serienfertigung 114
 Serienprodukt 26
 Sicherheit 250
 Sieben Prinzipien der Gerontik© 557
 Simulation 443

Simultaneous Engineering 444
 Skelettmodell 244
 Solo-Brainstorming 175
 stochastische Gefahren 250
 Strategie der Lösungssuche 79
 Strategie für frugale Produkte 570
 Strategien gegen Obsoleszenz 573
 Strukturanalyse 61
 Strukturgestaltung 112
 Strukturstückliste 347
 Strukturstufen 334
 Stücklisten 340, 353
 – Arten 345, 351
 – Aufbau 342
 – Formulare 342
 – Informationen aus 353
 – Sinn und Zweck 353
 – Textbausteine 353
 Stücklistenaufbau
 – fertigungs- und montageorientiert 353
 Stücklistenfeld 342
 Stücklistensatz 333, 335
 Summenkurve 406
 Synthese 61
 System 43
 – mechatronisches 215
 systematische Methoden 185
 Systemuntersuchungen 46
 System Wertanalyse 416

T

Task Board 587, 589
 Team 102
 – Eigenschaften 102
 Teamarbeit 99f.
 Teamorganisation 100, 102
 Teamorientierung im Unternehmen 101
 Technik 535
 Technische Biologie 208
 Technische Freihandzeichnungen 433
 Technische Gebilde 18, 42
 Technische Produkte 44
 Technische Systeme 44, 46, 58
 technische Wertigkeit Wt 223
 Teil 341
 Teilearten 341
 Teilestammdaten 353

Teileverwendungsnachweis 352
Teilfunktionen 162, 186
Testmethoden 73

U

Umweltproblematik 289
umweltverträglich 288
umweltverträgliche Produkte 287
Umweltverträglichkeit 315
Ungewissheit 581
Universal Design 560
unterscheidende Merkmale 190
Usability 534, 550f.
User Experience 534
User Story Mapping 589
Useware 111
Useware-Engineering 112
Useware-Entwicklungsprozess 111

V

Value Management 415
Variantenkonstruktion 31
Variantenstücklisten 350
Variantenübersichten 351
Variationsmerkmale 167
Variieren 167
Verbraucherbefragungen 550
Verbrauchsgüter 540
Verbundnummernsystem 362, 364
Verhaltensweisen 417
Verständlichkeit 96
Versuche 170
Verwendbarkeitsmerkmale 366
Verwendung 294
Verwertung 294
Vier-Ebenen-Modell 94
Virtualisierung 443
virtuelle Produktentwicklung 440
virtuelles Produkt 442
Vision 87
Vorkalkulation 394, 422
Vormontage 277

W

WA-Aufgaben
– Auswahlkriterien 415
WA-Projekte
– Grundregeln 416
Wartung 574
Weiterverwendung 295
Weiterverwertung 295
Werknormen 66, 265
Werkstückgestaltung
– fertigungsgerechte 267
Wert 413
Wertanalyse 121, 403, 408, 410 ff.
– Objekt 412
– Zweck 411
Wertgestaltung 411
Wertskala
– nach VDI 2225, Nutzwertanalyse 222
Wertverbesserung 411
Wiederholteil 341
Wiederverwendung 295
Wiederverwertung 295
Wirkprinzip 56
wirtschaftliche Wertigkeit Ww 223
Wirtschaftlichkeit 385
– funktionsmäßige 385
– herstellungsmäßige 385
Wissensbasis 16
Wünsche 132
W-Wörter
– Fragenreihe 175

Z

Zehnerregel 382
Zeichnungen 337
Zeichnungsinhalt 337
Zeichnungsatz 333, 335
Zeichnungsstücklisten 342
Zukunftstechnologien 100, 536
Zulieferkomponenten 201
zulieferorientiertes Konstruieren 205
Zulieferteile 128
Zulieferungen 201
Zusammenbauzeichnungen 337f.
Zuschlagskalkulation 420
zweigeteilter Sattelstuhl 565