

Klaus Ehrlenspiel
Harald Meerkamm

Integrierte Produktentwicklung

Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit



6., vollständig überarbeitete
und erweiterte Auflage

HANSER

Klaus Ehrlenspiel/Harald Meerkamm

Integrierte Produktentwicklung



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

WWW.HANSER-FACHBUCH.DE/NEWSLETTER

Klaus Ehrlenspiel
Harald Meerkamm

Integrierte Produktentwicklung

Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit

6., überarbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Die Autoren

Prof. Dr.-Ing. Klaus Ehrlenspiel
emeritiert, Lehrstuhl für Produktentwicklung, TU München
E-Mail: ehrlenspiel@mytum.de

Prof. Dr.-Ing. Harald Meerkamm
emeritiert, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
E-Mail: meerkamm@mfk.fau.de



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Print-ISBN 978-3-446-44089-0
E-Book-ISBN 978-3-446-44908-4

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen.

Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2017 Carl Hanser Verlag München Wien
www.hanser.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, Rebranding, München, Germany

Coverillustration: Frank Wohlgemuth, Hamburg, nach Vorgaben des Lehrstuhls für

Konstruktionstechnik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Herstellung und Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Druck und Bindung: Hubert & Co GmbH & Co KG BuchPartner, Göttingen

Printed in Germany

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. Kleedörfer (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*

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 Fischentgrätungsmaschine	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 Nebenumsätzen	936
A2	Verfügbare Konstruktionskataloge	936
A3	Strukturierte Methodensammlung (Methodenbaukasten)	938
A4	Anhang im Internet (Inhaltsangabe) (Adresse im Vorwort)	938
	Literatur	941
	Stichwortverzeichnis	979

1

Einleitung

■ 1.1 Zielsetzung und möglicher Leserkreis

Wovon handelt dieses Buch?

Dies Buch handelt von der Entwicklung und Konstruktion als Kern der **Produkt-erstellung**. Was ist darunter zu verstehen? Produkterstellung ist der gesamte Prozess, der abläuft, bis ein Produkt genutzt wird: Von der Produktplanung und dann der Ideensuche, bei der das Produkt erst definiert wird, bzw. bei der Einzelfertigung: vom Auftrag bis zur Auslieferung des Produkts an den Nutzer. Innerhalb dieses Prozesses ist die Entwicklung und Konstruktion zusammen mit der vorangehenden Produktplanung bzw. der Projektierung die „Definitionsphase“ des Produkts. Insofern ist die Phase der Entwicklung und Konstruktion, in der alle produktbeeinflussenden Stellen zusammenwirken sollen, (z.B. Kunde, Vertrieb, Produktion, Materialwirtschaft, Controlling, Zulieferer), der Kern einer Produkterstellung. (Statt des Begriffs „Produkterstellung“ wird in der Literatur auch der weniger aktive Begriff „Produktentstehung“ verwendet.)