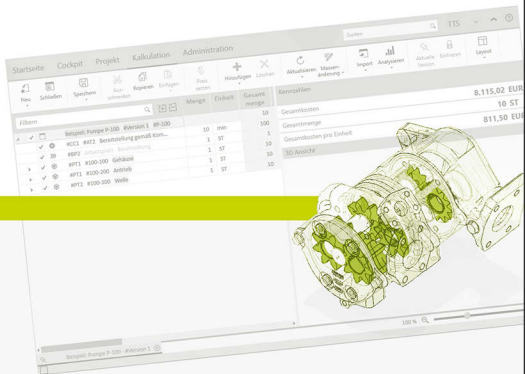


EUGEN BENDEICH (HRSG.)

# Kostenmanagement in Entwicklung und Konstruktion



Ein Fachbuch von

**konstruktions  
praxis**

Eugen Bendeich (Hrsg.)

Kostenmanagement in Entwicklung und Konstruktion

Dr.-Ing. Eugen Bendeich (Hrsg.)

# **Kostenmanagement in Entwicklung und Konstruktion**

**Produktwert und Kosten gemeinsam optimieren**



## **Herausgeber:**

**Dr. EUGEN BENDEICH**

Umfangreiche Inhalte dieses Buches und zugrunde liegender Seminare basieren auf dem Standardwerk für kosteneffiziente Entwicklung und Konstruktion (Quellen [1.1.4]) und Inhalten aus [1.1.7] sowie Vorträgen mehrerer Autoren in Seminaren des Herausgebers, u.a. TAE, TAW, VDI. Das Fachbuch wurde erst durch Beiträge vieler Beteiligten möglich. Verwendet wurden direkt und indirekt zahlreiche Quellen ohne aus Platzgründen alle einzeln zitierten zu können.

Zitate bzw. Begriffe in englischer Sprache werden überwiegend im Original wiedergegeben, um Übersetzungsungenauigkeiten zu vermeiden. Dabei wird die vom jeweiligen Autor benutzte britische oder US-amerikanische Form der Rechtschreibung übernommen. Wo solche Zitate oder einzelne Begriffe auch in deutscher Übersetzung verwendet werden, stammen diese Übersetzungen von den Autoren dieser Arbeit, die für eine ggf. ungenaue Übersetzung allein verantwortlich sind.

Anregungen und Fragen an den Herausgeber bitte per Mail: Bendeich@ingenieur.io).

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der männlichen und weiblichen Sprachform (z.B. «Ingenieurinnen und Ingenieure») verzichtet und – wo möglich – eine geschlechtsneutrale («Konstruierende») oder die männliche Sprachform verwendet, es sei denn, dieses wäre sinnentstellend. Die Verwendung männlicher Sprachformen schließt weibliche Angehörige der angesprochenen Gruppe in gleichem Maß ein.

## **Weitere Informationen:**

**[www.vogel-fachbuch.de](http://www.vogel-fachbuch.de)**

 <http://twitter.com/vogelfachbuch>

 [www.facebook.com/vogel-fachbuch](http://www.facebook.com/vogel-fachbuch)

 [www.vogel-fachbuch.de/rss/buch.rss\\_](http://www.vogel-fachbuch.de/rss/buch.rss_)

ISBN 978-3-8343-3407-7

1. Auflage. 2019

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Copyright 2019 by Vogel Communications Group GmbH & Co. KG, Würzburg

Titelmotiv: SAP, Walldorf

## Vorwort

Die Produktionswelt ändert sich schnell, Lebensphasen der Produkte werden kürzer, die verfügbare Zeit für Produktentwicklungen nimmt ab, der Druck, Kosten zu senken und Gewinne zu steigern, nimmt zu. Dieser Sturm trifft besonders E&K, da Produkte hoher Qualität zu niedrigen Kosten und in kürzerer Zeit zu entwickeln sind. Frühzeitige Kostenüberlegungen kommen häufig zu kurz, man verschwendet Zeit mit Kostensenkungen zu Lasten der Zeit für Innovationen. Verbesserungsaktivitäten kommen zu spät in den Produktentwicklungszyklus.

Dabei wird vergessen, dass E&K selbst das Kostencontrolling durchführt. Spätere Aktivitäten haben erheblich geringere Wirkungen. Design-for-X-Methoden (z.B. DfMA) können kostensenkende Aktivitäten in früher Phase leiten.

Das Buch entstand aus zahlreichen Seminaren in Unternehmen verschiedener Branchen und bei Veranstaltern wie Technische Akademien und VDI zu Themen wie Kostenermittlung, Kurz- und Schnellkalkulation und konstruktionsbegleitende Kalkulation. Ziele sind behandelte Inhalte umfassender aufzubereiten und einem breiteren Publikum zugänglich zu machen. Referenten und weitere Experten wurden eingeladen, Kapitel beizusteuern.

Kostenmanagement in Entwicklung und Konstruktion hat große Bedeutung für den Produkterfolg. Produktentscheidungen in der Konzeptentwicklung haben den größten Einfluss gegenüber späteren Produktionsentscheidungen auf Produkterfolg und Kosten. Die Kostenoptimierung am Anfang des Produktentwicklungsprozesses ist vorteilhafter als Kostensenkungen in späteren Phasen («Cost Cutting») und verursacht geringere Kosten. Zu Kostenmanagement liegen vergleichsweise wenige Publikationen vor. Der Verlag nahm diese Idee eines Fachbuches mit Beiträgen aus den unterschiedlichen Sichten und Autoren der einzelnen Fachgebiete gerne auf.

Teilnehmern und Mitwirkenden von offenen und In-house-Seminaren danken wir für direkte oder indirekte Informationen, deren Quellen aus unterschiedlichen Gründen nicht alle genannt werden können.

Den Autorinnen und Autoren sei für ihr Engagement und die Offenheit für Anregungen gedankt. Herrn Bernau und der Lektorin Frau Berninger von der Vogel Communications Group und Herrn Kühner von PROCAD danken wir für die weit über das übliche Maß hinausgehende Unterstützung.

Den Lesern wünschen wir hohen Nutzen und Erfolg bei der Umsetzung in den für den Unternehmenserfolg besonders wichtigen Unternehmensbereichen.

Stuttgart  
im November 2018

Eugen Bendeich



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Grundlagen, Begriffe und Methoden</b> .....	13
1.1 Einführung in das Thema .....	13
(Dr.-Ing. EUGEN BENDEICH)	
1.1.1 Erfolgsfaktoren bei neuen Produkten .....	14
1.1.2 Wichtigkeit von Kosten für Entwickler und Konstrukteure .....	20
1.1.3 Kostenmanagement .....	21
1.1.4 Integration Konstruktion, Produktion und weitere Fachbereiche .....	26
1.1.5 Engineering und wirtschaftliche Sichten zusammenführen .....	28
1.2 Struktur und Inhalt der Einzelbeiträge .....	28
(Dr.-Ing. EUGEN BENDEICH)	
1.3 Grundlagen und Methoden für das Kostenmanagement .....	38
(Dr.-Ing. EUGEN BENDEICH)	
1.3.1 Begriff und Typen von Kundenanforderungen .....	39
1.3.2 Ziele der Produktentwicklung .....	41
1.3.3 Notwendigkeit von Kosteninformationen in frühen Designphasen .....	41
1.3.4 Gegenüberstellung Kostenrechnung und Kostenmanagement .....	42
1.3.5 Von der Arbeitsteilung zur Aufgabenintegration .....	44
1.3.6 Kostenmanagement in der Produktentwicklung .....	45
1.3.7 Kostenvermeidung statt spätere Kostenverringerung .....	46
1.3.8 Kosten von zugekauften Leistungen, Materialien und Teilen .....	47
1.4 Methoden im Produktentwicklungsprozess (PEP) .....	49
(Dr.-Ing. EUGEN BENDEICH)	
1.4.1 Erfolgsfaktoren in der Produktentwicklung .....	50
1.4.2 Einteilung und Anwendungsbereiche der Konzepte .....	51
1.4.3 Auswahl geeigneter Methoden .....	53
1.4.4 Rahmen für Design- und Engineering-Prozesse .....	54
1.4.5 Konstruktionsregeln – Richtlinien für produktionsgerechte Konstruktion .....	54
1.4.6 Konzepte und Methoden für frühe Phasen .....	58
1.4.7 Integrierte Produktentwicklung (IPE) – Integrated Product Development (IPD) .....	60
1.4.8 Concurrent Engineering (CE) – Simultaneous Engineering (SE) – Integrierte Produkt- und Prozessplanung .....	60
1.4.9 Beeinflussung von Produkten mit Design-for-X-Methoden (DFX) .....	65
1.4.10 Bewertung und Auswahl geeigneter Ansätze .....	75
1.4.11 Veränderungen beim Produktentwicklungsprozess führen zu veränderten Anforderungen an das Kostenmanagement .....	76
1.5 Verfügbare Methoden zur Kostenermittlung und deren Anwendung .....	76
(Dr.-Ing. EUGEN BENDEICH)	
1.5.1 Bedeutung frühzeitig verfügbarer Kostendaten .....	78
1.5.2 Anforderungen an eine Herstellkostenermittlung .....	79
1.5.3 Notwendigkeit von Kostenschätzungen .....	80
1.5.4 Einführung in Kostenermittlung .....	81

1.5.5	Gegenüberstellung entwicklungsbegleitende Kalkulation (EBK) und Kostenkalkulation .....	82
1.5.6	Klassen von Analysemethoden .....	83
1.5.7	Anforderungen an Schätzmethoden .....	84
1.5.8	Häufigkeit der Ansätze in publizierten Beiträgen .....	86
1.5.9	Hauptgruppen von Kostenschätzmodellen und -methoden .....	87
1.5.10	Für Entwicklung und Konstruktion geeignete Kostenschätzmethoden ....	89
1.5.11	Anwendungsbereiche und Produkterstellungsphasen der Kostenschätzmethoden .....	95
1.5.12	Kostenmanagement bei Einzelfertigung .....	99
1.5.13	Beschreibung von ausgewählten Kostenschätzmethoden .....	100
1.6	Strategisches Produktwert-Management – Nutzen, Kundenwert und Kosten optimieren .....	120
	(Dr.-Ing. EUGEN BENDEICH)	
1.6.1	Kundennutzen erhöhen .....	121
1.6.2	Auswirkungen und Effekte bei starkem Wettbewerb .....	121
1.6.3	Verstehen der Kundenwünsche und Zahlungsbereitschaft .....	122
1.6.4	Produktmanagement – Engineer to Value – Von Kosten zum Kundenwert .....	122
1.6.5	Aspekte zur Bewertung von Lösungen .....	123
1.6.6	Frugale Innovationen – Mehr erreichen mit geringeren Ressourcen .....	125
1.7	Das Kosten-Nutzen-Verhältnis als Grundlage für die Konstruktion .....	125
	(ROBERT M. MÜNCH)	
1.7.1	Einleitung .....	125
1.7.2	Wie kann Nutzen bewertet werden? .....	126
1.7.3	Nutzen mit Hilfe von Performance Pricing verstehen und optimieren ....	130
1.7.4	Integration in den Entwicklungs- und Life-Cycle-Prozess .....	135
1.8	Daten sind das neue Erdöl .....	137
	(Dipl.-Masch.-Ing. HANS-PETER GYSEL)	
1.8.1	Grundvoraussetzungen für erfolgreiches Kostenmanagement .....	138
1.8.2	Der Weg des geringsten Widerstandes .....	138
1.8.3	Unternehmensdaten sind Gold wert .....	139
1.8.4	Data-Mining – Aus Daten wird Wissen .....	140
1.8.5	Machine Learning im Kostenmanagement .....	141
1.8.6	Ein Bewusstsein für die Relevanz der Unternehmensdaten schaffen .....	143
1.8.7	Den Savings auf der Spur .....	144
1.8.8	Das große Ganze .....	144
1.9	Kostenmanagement in Produktentwicklung und Konstruktion .....	145
	(STEFAN KÜHNER)	
1.9.1	Systematisches Datenmanagement im Produktentwicklungsprozess .....	145
1.9.2	Suchen, Finden, Wiederverwenden .....	147
1.9.3	Teilewiederverwendung und Teilereduzierung .....	152
1.9.4	Steuerung und Dokumentation von PLM-Prozessen .....	156
1.9.5	Dokumentenlenkung .....	159
1.10	Digitalisierung der F&E – Stoßrichtungen, Erfolgsfaktoren und Lösungsansätze	162
	(Dr. TIM STURM)	
1.10.1	Ausgangssituation: Digitalisierung der Forschung & Entwicklung (F&E) .....	162
1.10.2	Erwarteter Nutzen und Stoßrichtungen für die Digitalisierung von F&E ....	167



1.10.3 Grundsätzliche Vorgehensweise und notwendige Entscheidungen bei der Digitalisierung der F&E .....	176
1.10.4 Unternehmensarchetypen im Bezug zur Digitalisierung der F&E .....	180
1.10.5 Ausblick .....	181
1.11 Darstellung der Produktkostenreduzierung im CAD/CAM-Bereich durch Echtzeitdaten aus der Fertigung .....	182
(Dr.-Ing. THOMAS MÜCKE)	
1.11.1 Ganzheitliche Optimierungsansätze zur Produkt- und Herstellkostenreduzierung .....	182
1.11.2 Notwendigkeit der Bauteiloptimierung in der Konstruktion .....	183
1.11.3 Notwendigkeit der automatisierten Erstellung von NC-Programmen .....	186
1.11.4 Notwendigkeit der optimierten Planungsprozesse aufgrund Datenrückführung aus der Produktion .....	187
1.11.5 Notwendigkeit zur sinnvollen Datenoptimierung aus dem Fertigungsprozess .....	188
1.11.6 Ausblick für neue Geschäftsmodelle auf Grundlage der Datenanalyse ..	190
1.11.7 Zusammenfassung der Möglichkeiten durch Vernetzung .....	193
<b>2 Entwicklungsprojekte und Organisationsformen .....</b>	<b>195</b>
2.1 Die Innovationsmaschine oder wie F&E-Vorhaben plan- und steuerbar werden .....	195
(Dr. BEAT BIRKENMEIER / Dr.-Ing. ANDREAS SUTER)	
2.1.1 Steuerbarer Innovationsbereich .....	195
2.1.2 Weniger Kreativität – Mehr Systematik .....	196
2.1.3 Fluss von inkrementellen Innovationen .....	197
2.1.4 Mehr Risiko- statt Kostenkontrolle .....	197
2.1.5 Kompression der Innovationszeit .....	198
2.1.6 Abwicklung in einem definierten Innovationsprozess .....	201
2.1.7 Abwicklung von klar definierten Innovationsaufträgen .....	203
2.1.8 Plan- und Steuerbarkeit durch Verlagerung von Unschärfe in die Frühphase .....	205
2.1.9 Kreativität am richtigen Ort zur richtigen Zeit .....	206
2.1.10 Modellierung der Innovationsmaschine .....	207
2.2 Steigerung der Entwicklungsqualität durch einen vernetzten Produktentwicklungsprozess .....	209
(Dr. THORSTEN LASCH)	
2.2.1 Ausgangslage .....	209
2.2.2 Notwendigkeit zur Weiterentwicklung des Produktentwicklungsprozesses (PEP) .....	212
2.2.3 Was wird verändert? .....	213
2.2.4 Consistent R&D – Die Konsequenz .....	216
2.2.5 Projektorganisation / Projektmanagement .....	220
2.3 Verbesserungen: Mit Schwerpunkt in der Konstruktion? Mit Fokus auf Kosten? .....	222
(Dr. RICHARD GLAHN)	
2.3.1 Ist das Verbessern eines einzelnen Unternehmensbereichs sinnvoll? .....	223
2.3.2 Ist es sinnvoll, Verbesserungen auf Kosteneinsparungen auszurichten? ..	224
2.3.3 Der Zwei-Ebenen-Ansatz zur Entwicklung des Unternehmens .....	228

2.4	Tempo und Qualität in der konstruktiven Angebots- und Auftragsbearbeitung durch Teambildung im Auftragszentrum .....	231
	(KLAUS RODEHÜSER)	
2.4.1	Kundenanforderungen an Angebote und Produkte .....	231
2.4.2	Probleme bei einer abteilungsbezogenen Auftragsbearbeitung .....	232
2.4.3	Definitionen und Standards für die Auftragsbearbeitung .....	233
2.4.4	Prozessanalyse und Ablaufgestaltung des Auftragsdurchlaufs .....	235
2.4.5	Bildung von abteilungsübergreifenden Teams im Auftragszentrum .....	237
2.4.6	Steuerungselemente und Arbeitsmittel zur Auftragsdurchführung .....	240
2.4.7	Erfolgspotenziale durch Bildung eines Auftragszentrums .....	241
2.5	Produktkostenmanagement als cross-funktionale Unternehmensaufgabe .....	242
	(Dipl.-Ing. GUNTER FISCHER / Dipl.-Kfm. THOMAS MUSKALLA)	
2.5.1	Einleitung .....	242
2.5.2	Aufgaben der Produktkostenkalkulation und Einbindung in die Systemlandschaft .....	244
2.5.3	Einsatzgebiete des Produktkostenmanagements .....	246
<b>3</b>	<b>Materialien – Kostenfaktor und Bedeutung für das Kostenmanagement</b> .....	<b>255</b>
3.1	Werkstoffe aus Stahl für Stanz- und Feinschneidteile .....	255
	(Dr. ANDREAS TOMITZ / MAXIMILIAN NAGEL / GERHARD GEVELMANN / LIESA DÖPPER)	
3.1.1	Einleitung .....	255
3.1.2	Stahl in der Wertschöpfungskette .....	256
3.1.3	Kostenreduzierung in der Fertigung .....	259
3.2	Composites: Ein teurer Werkstoff mit viel Potenzial .....	266
	(CHRISTIAN HUEBER / KONSTANTIN HOREJSI / RALF SCHLEDJEWSKI)	
3.2.1	Einleitung .....	266
3.2.2	Mechanische Eigenschaften .....	267
3.2.3	Composite-Branchenüberblick .....	268
3.2.4	Herstellungsmethoden .....	269
3.2.5	Darstellung der Kostenschätzungsmethoden .....	270
3.2.6	Vergleich der Composite-Kostenschätzungsmethoden .....	273
3.2.7	Beispiel aus der Luftfahrtindustrie .....	276
<b>4</b>	<b>Methoden zur Kostenoptimierung in Entwicklung und Konstruktion</b> .....	<b>281</b>
4.1	Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch die Entwicklung variantenoptimierter Produkte – Wichtigste Einflussgrößen und Stellhebel zur Optimierung .....	281
	(Dipl.-Ing. UWE METZGER)	
4.1.1	Auswirkungen von Produktvarianten .....	281
4.1.2	Kalkulation von Variantenaufwendungen .....	281
4.1.3	Gefahr von strategischen Fehlentscheidungen .....	282
4.1.4	Modulare Produktkonzepte entwickeln .....	285
4.1.5	Der Weg zum modularen Produktkonzept .....	286
4.2	Automatische Vorkalkulation und Arbeitsplangenerierung für eigenkonstruierte Bauteile .....	292
	(Dr.-Ing. JÖRG WEIBKOPF)	
4.2.1	Ausgangslage .....	292

4.2.2	Ideale Abläufe zwischen Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Produktion .....	294
4.2.3	Der Berechnungsprozess im Softwaretool classmate PLAN .....	294
4.2.4	Anwendungsbeispiel .....	302
4.3	Numerische Simulation als Hebel für kosteneffiziente Produktentwicklung .....	303
	(Dipl.-Ing. CHRISTOF GEBHARDT)	
4.3.1	Ausgangssituation .....	304
4.3.2	Einsatzszenarien .....	304
4.3.3	Umsetzung .....	311
<b>5</b>	<b>Verfahren zur frühzeitigen Kostenschätzung .....</b>	<b>313</b>
5.1	SAP Product Lifecycle Costing – Angebots- und Entwicklungsbegleitende Kalkulation mit SAP HANA .....	313
	(MARION HEIDENREICH / PETRA KÖPFER-BEHNCKE / ULF PETZEL)	
5.1.1	Kosten frühzeitig im Produktlebenszyklus ermitteln und evaluieren .....	313
5.1.2	Ein Produkt für drei Szenarien .....	313
5.1.3	Kommunikation verbessern – Abteilungsgrenzen überwinden .....	317
5.1.4	Kosten mit SAP Product Lifecycle Costing managen .....	318
5.1.5	Erweiterungsoptionen in SAP Product Lifecycle Costing – einfach anwendbar .....	324
5.1.6	Von korrekten Kostenkalkulationen profitieren – Vorteile und Nutzen ..	326
5.2	Mit Enterprise Product Costing (EPC) frühzeitig Kosten kennen und beeinflussen ..	328
	(IRIS WEDEPOHL)	
5.2.1	Einleitung .....	328
5.2.2	Grundlagen des EPC – Ganzheitlich kalkulieren in einem interdisziplinären Team .....	328
5.2.3	Produktkosten ab der ersten Produktidee kontrollieren .....	331
5.2.4	IT-Systeme für das EPC .....	334
5.2.5	Praxisbeispiel – Enterprise Product Costing bei der Roto Frank AG .....	335
5.3	Nur wer die Zeiten kennt, beherrscht die Kosten – Mit einer fertigen Technologiebasis schnell zu belastbaren Zeiten .....	337
	(ANDREAS HEB)	
5.3.1	Effektive Kostenoptimierung setzt eine ganzheitliche Betrachtung der Prozesskette voraus .....	338
5.3.2	Stellenwert des Faktors Zeit .....	338
5.3.3	Wie gelangt man zu exakten Sollzeiten? .....	338
5.3.4	Anforderungen an ein effizientes Kalkulationssystem .....	339
5.3.5	Adaptive Technologiebasis .....	341
5.3.6	Schnelligkeit versus Genauigkeit .....	341
5.3.7	Dynamik der Fertigungstechnologie berücksichtigen .....	342
5.3.8	Durchgängig von Kalkulation bis zum Arbeitsplan .....	342
5.3.9	Realistische Termine und reduzierte Durchlaufzeit .....	344
5.3.10	Kostenoptimierung durch Varianten- und Standortvergleiche .....	344
5.3.11	Entscheidungshilfen bei der Lieferantenauswahl .....	345
5.3.12	Zeitersparnis durch Verwendung von CAD-Daten .....	345
5.3.13	Amortisation eines IT-gestützten Kalkulationssystems .....	346

5.4	Product Costing im Produktentstehungsprozess (PEP) .....	348
	(Dipl.-Ing. STEFAN GREGORZIK)	
5.4.1	Product Costing – Worauf kommt es an? .....	348
5.4.2	Wo laufen sie denn? Kalkulation sucht Realität .....	349
5.4.3	Gerüste mit Wiedererkennungswert .....	350
5.4.4	Leitfäden mit Wiederholpotenzial .....	350
5.4.5	Wirtschaftlich standardisierte Verfahren .....	351
5.4.6	Vorlagen mit eingebauter Erfahrung .....	352
5.4.7	Kosten im PEP-Kontext analysieren .....	354
5.4.8	Product Costing in einer PLM-Systemwelt .....	356
5.4.9	Potenziale und Fazit .....	357
5.5	Kosten einfach steuern – Erfahrungsbericht aus der Entwicklung und Konstruktion eines Turboladers .....	357
	(Dipl.-Ing. STEFFEN GOEBEL / MARIUS WALZ / Dipl.-Ing. FRANK WEINERT)	
5.5.1	Ziele im Kostenmanagement bei IHI Charging Systems International GmbH (ICSI) .....	357
5.5.2	Methoden im Kostenmanagement bei ICSI .....	359
5.5.3	Anwendungsbeispiel Pareto + Parkinson + Zuschlagskalkulation .....	361
5.5.4	Ergänzende Analysen .....	362
<b>6</b>	<b>Kosten von Fertigungshilfsmitteln und Werkzeugen</b> .....	<b>365</b>
6.1	Einbindung der Kostenanalyse (Investitionskosten) in den gesamten Entwicklungsprozess vermeidet Kostenschwankungen bei der Realisierung .....	365
	(MICHAEL WILMSEN)	
6.1.1	Definition der Investitionskosten von Fertigungshilfsmitteln .....	365
6.1.2	Verschiedene Phasen der Verwendung von Kostenanalysen .....	366
6.1.3	Vorgehensweise bei der Kalkulation eines Folgeverbundwerkzeugs .....	373
6.2	Effiziente Produktentstehung am Beispiel der Elektrokonstruktion .....	377
	(THOMAS MICHELS)	
6.2.1	Standardisierung als Schlüssel .....	377
6.2.2	Der effizienzoptimierte standardisierte Prozess .....	381
6.2.3	Vom Engineering in die Fertigung .....	381
	<b>Die Autoren</b> .....	<b>385</b>
	<b>Abkürzungen</b> .....	<b>391</b>
	<b>Glossar</b> .....	<b>395</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>397</b>
	<b>Quellenverzeichnis</b> .....	<b>399</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>405</b>

# 1 Grundlagen, Begriffe und Methoden

## 1.1 Einführung in das Thema

Ein Produktionssystem fertigt Produkte mit den Zielen: Wertschöpfung durch Gewinne, Ansehen und Marktanteil. Voraussetzungen sind kurze Time-to-Market für höhere Margen, kurze Lieferzeiten, kundenspezifische Varianten und marktgerechte Preise. Das geschäftliche Umfeld ist gekennzeichnet durch intensiven Wettbewerb, neue Technologien, Automatisierung, Anwendung von Informationstechnologien, verändertes Kundenverhalten, kurze Produktlebenszyklen, hohe Qualitätsanforderungen, innovative und kundenspezifische Produkte.

Heutige Anforderungen sind u.a. kurze Innovationszyklen, sich ständig verändernde Kundenwünsche, kleine Auftragsmengen bzw. Lose, hohe Komplexität, extremer Zeit- und Kostendruck. Steigende Kundenerwartungen führen weg von Mainstream-Produkten zu Produktindividualisierungen. Für die Entwicklung und Konstruktion kommen neben technischen, wirtschaftlichen und finanziellen Aspekten verstärkt Umweltforderungen hinzu. Sich schnell entwickelnde Technologien, individuelle Kundenwünsche und komplexe Produkte mit kürzeren Produktlebenszeiten führen zu Varianten bei Produkten und Prozessen. Ausgangspunkt ist u.a. aus Risikogründen meist ein bestehendes Produktprogramm. Aufwand und Zeitbedarf für die Produktentwicklungen nehmen zu durch komplexere Produkte und größere kundenindividuelle Produktanteile (siehe Abschnitt 5.5).

Auftragsmengen, Losgrößen, Umsätze gehen zurück – die Kosten bleiben konstant. Erträge stehen unter Druck. Die Engineeringkosten sind relativ hoch im Vergleich zu den Produktionskosten. Um profitabel zu bleiben, ist die Kosteneffizienz der Produktvarianten eine Herausforderung. Das Dilemma zwischen Angebotsbreite durch kundenspezifische Produkte (*economies of scope*) und Mengeneffekten (*economies of scale*) verlangt eine günstige Produktarchitektur.

Endnutzer von Produkten müssen in Marktgruppen segmentiert werden. Ansätze sind Auftragsfertigung (**Engineering to Order**, ETO), Mass Customization (MC), Produktstrukturierung, Modularisierung, und Produktkonfiguration. Höhere Qualitäten, kürzere Zeiten und günstige Kosten werden verlangt. Kundenspezifische Produkte mit zunehmenden kundenindividuellen Anteilen, Kundennutzen, Digitalisierung bei Produkten und Prozessen (siehe Abschnitt 1.10) sowie das Internet der Dinge prägen den Produktentwicklungsprozess.

Der Konstrukteur muss die Anforderungen in allen Phasen des Produktentwicklungszyklus kennen – also auch bereits in der Frühphase –, um gleich im ersten Ansatz eine effiziente Konstruktion zu erreichen. Eine Methode zur Hinführung von Anforderungen direkt zur günstigsten Lösung fehlt, somit müssen Alternativen verfolgt und bewertet werden.

Das beste Kostenmanagement setzt an, bevor Produkte in den Markt gehen, und erfolgt über Entwicklung, Konstruktion, Beschaffung und Produktion. Ohne langfristiges (strategisches) und kurzfristiges (taktisches) Kostenmanagement bestehen Risiken, zu teure Produkte zu konstruieren, und ausbleibende Erfolge am Markt.

Da die Stellschrauben für den Produkterfolg weitgehend in der Entwicklung liegen, muss deren Hebelwirkung zur Optimierung der Wertschöpfungskette genutzt werden. Der Erfolg hängt u.a. ab von Kapazitäten zur Entwicklung, Produktion und Vermarktung wirklich innovativer, qualitativer, marktgerechter Produkte. Dies erbringt den Unterschied bei Produkten, deren Kosten und ebnet den Weg für schnelle Änderungen trotz kürzerer Lebenszyklen der Produkte und Prozesse.

### Abgrenzung von Entwicklung und Konstruktion

Die Begriffe «Entwicklung», «Entwickler», «Konstruktion» und «Konstrukteure» werden in Publikationen – teilweise abhängig von der Branche oder Sprache – vielfach synonym, oft uneinheitlich verwendet. Eine genaue Unterscheidung oder die Bevorzugung eines dieser Begriffe ist nicht möglich. Man könnte Entwicklung eher als Aufgabe in früherer Phase im Produktentwicklungsprozess sehen, die Ideen generiert und einen höheren Innovationsgrad und evtl. Risiken birgt. Frühe Phasen sind durch große Unsicherheiten geprägt aufgrund unvollständiger Produktinformationen, begrenztes Verstehen der benötigten Funktionen und fehlendes technisches und Produktwissen. Innovationsgrad hundert Prozent (Wissensverfügbarkeit null Prozent) bedeutet, dass das Produkt völlig neu ist. Der Entwickler verfügt über keinerlei ähnliche Erfahrungen hinsichtlich der Produktmerkmale und der Merkmale vom Herstellungsprozess. Innovationsgrad null Prozent (hundert Prozent Wissensverfügbarkeit): Das neue Produkt ist aus früheren Projekten bekannt und liegt vor – einschließlich Methoden zur Lösung der anliegenden Probleme. Entwicklungen durchlaufen zur Verringerung der Unsicherheiten und Wissenserhöhung mehrere Wiederholungen / Bewertungen mit Koordination und Kommunikation mehrerer Wissensgebiete und folgen keinem exakt vorhersehbaren oder linearen Verlauf.

Unter Konstruktion könnte man eher bereits weitgehend abgeklärte Aufgaben zur Herstellung neuer Produkte verstehen. Obige Unterscheidungen könnten hinsichtlich der anwendbaren Kostenermittlungsmethoden unterstützen.

#### 1.1.1 Erfolgsfaktoren bei neuen Produkten

Das Anforderungsmanagement (engl.: *requirements management*) ist Teil des Produktentwicklungsprozesses und befasst sich mit Ermittlung, Dokumentation, Prüfung und Verwalten von Anforderungen. Anforderungen definieren sowohl Wünsche und Ziele von Benutzern als auch Bedingungen und Eigenschaften des zu entwickelnden Systems oder der Systemkomponenten.

Das Anforderungsmanagement hat entscheidenden Einfluss auf den Projekterfolg einer Entwicklung. **Requirements Engineering (RE)** als gute Definition und Durchsetzung der Anforderungen ist Schlüssel für Erfolg oder Fehlschlag für Produkte, Service oder Projekte, Voraussetzung für qualitative Lösungen und verringert Änderungskosten bei Produktentwicklung, Prototypen, Fertigungshilfsmitteln sowie Gewährleistungen. Entwicklungsergebnisse müssen den Anforderungen entsprechen.

RE umfasst Ermittlung, Änderungen und ist Grundlage der Planung des Entwicklungsprozesses, muss *den Entwicklungsprozess überspannend* verfolgen, um Änderungen auch noch zu erfassen.

Der Einfluss und Hebel von Entscheidungen in Entwicklung und Konstruktion ist viel größer als der von Fertigung und allen anderen betrieblichen Funktionen zusammen.

Mit Beginn der Serienfertigung gibt es nur noch geringe Möglichkeiten, die Herstellkosten zu beeinflussen. Sollte sich bei Fertigungsbeginn herausstellen, dass die Herstellkosten zu hoch sind, können diese nur noch mit einem aufwendigen Produkt-Re-Design beeinflusst werden. Das kostet Zeit und Geld und führt in der Regel zu einer neuen Version oder Produktvariante. Außerdem bindet ein nachträgliches ungeplantes Re-Design «nur zur Kostensenkung» wertvolle Entwicklungsressourcen. Diese fehlen dann für andere Aufgaben, z.B. die Entwicklung anderer Produkte.

## GRUNDSATZ

E&K müssen im Auge behalten:

- Funktionalität, Leistungen, Zusatzeigenschaften, Unterscheidungsmerkmale gegenüber Wettbewerbern (Produkt muss die Aufgaben erfüllen, evtl. Mehrwert, Nutzen),
- Produzierbarkeit mit den verfügbaren Ressourcen, gewählte Technologien, Fertigungsgerechtigkeit (Produkt mit günstigen Produktionskosten herstellen können),
- Zuverlässigkeit, Betriebssicherheit, Qualität (Qualitätsstandard im weiteren Sinne),
- Kosten, Marktdurchdringung (Produktanforderungen bei wettbewerbsgerechten Preisen erfüllen),
- marktgerechte, regionale, kundengerechte Produkte (neue Produkte, neue Kundengruppen, Zweimarkenstrategie (Spitzenprodukte, mittlere Preisebene).

Gründe für Misserfolge bei Produktentwicklungen sind:

- Produkte mit technisch guten Lösungen werden entwickelt, die dann nicht in ausreichender Menge gekauft werden, z.B. kleiner Bedarf, geringe Marktgröße, zu teuer.
- Das Unternehmen verdient an den verkauften Produkten nichts oder macht Verluste.

Ein wettbewerbsfähiges Produkt muss die Erfolgsfaktoren Kosten, Leistungen, Ästhetik, Time to Market, Termintreue, Qualität, Kundenbedarf und wichtige Kundenerwartungen erfüllen.

Entscheidungskriterien und relevante Kaufgründe sind:

- Leistungsmerkmale: Kann es meine Zwecke erfüllen? Leichte Verwendbarkeit: Bedienbarkeit Einfachheit
- Kosten: Kann ich, will ich es mir leisten? Kosten als Wettbewerbsfaktor
- Lebenszykluskosten: Verfügbarkeit, Wartung, Reparaturkosten, Energieverbrauch, laufende Betriebskosten
- Verfügbarkeit: Kann ich es finden / bekommen? Verfügbarkeit / Lieferzeit als Kaufkriterium
- Lebensdauer: Dauerhaftigkeit, Verwendungsdauer
- Sozialer Standard: Attraktivität, Einschätzung durch Dritte
- Gebräuchlichkeit, Bekanntheit, Standard, Gewohnheit
- Optik: Aussehen, Design

Wettbewerbsvorteile sind überlegene Leistungen, die folgende Kriterien erfüllen:

- Sie müssen ein für den Kunden wichtiges Leistungsmerkmal betreffen.
- Der Vorteil muss vom Kunden tatsächlich wahrgenommen werden.
- Der Vorteil sollte von der Konkurrenz nicht schnell einholbar sein und eine gewisse Beständigkeit aufweisen.

**Quality-Function-Deployment (QFD)** [1.1.1; 1.1.2] bzw. Qualitätsfunktionendarstellung ist eine Methode für die Konzeption, die Erstellung und den Verkauf von Produkten und Dienstleistungen, die der Kunde wirklich wünscht. QFD unterstützt die Sicht auf die Kundenanforderungen, die Profile der Wettbewerber und bezieht dabei alle Unternehmensfunktionen ein. Die Bedeutung der einzelnen Faktoren ist abhängig vom Produkt und Markt.



Der Unternehmenserfolg hängt beinahe immer von Kosten und deren Management ab. Es scheint offensichtlich: Wirtschaftliche Konstruktionen verbessern Projektwirtschaftlichkeit und Nutzen für Endnutzer. Ökonomisches Denken und Kosten sind in die Entwicklung zu integrieren. Konstrukteure tragen große Verantwortung für die Wirtschaftlichkeit der konstruierten Objekte. Bei Beginn kann aus zahlreichen Alternativen gewählt werden, die mit dem Arbeitsfortschritt abnehmen. Bereits mit der Materialentscheidung nehmen die Konstruktionsparameter und anwendbaren Fertigungsprozesse schnell ab. Zur Auswahl von Materialien und Fertigungsprozessen siehe Abschnitt 1.4 und [1.4.14].

Um signifikante Verbesserungen zu erreichen, werden Kostenkenntnisse vor konstruktiven Entscheidungen benötigt, um Konstruktionen zu optimieren und Kosten zu minimieren. Die Fähigkeit der Konstrukteure, kostengünstige Lösungen zu erarbeiten, muss gestärkt werden durch Kenntnisse der Kostentreiber und Kostenanalysen. Überlegungen und -informationen sind umzusetzen, solange das Produkt noch nicht sehr weit definiert ist. Je früher man möglichst viele Ziele mit einbezieht, umso besser werden die Produkte und geringer die Kosten. In frühen Phasen sind die Möglichkeiten der Kostenbeurteilung noch gering; je mehr Produktanteile feststehen, umso eher gelingt eine Kostenermittlung. Mehrere Konstruktionsalternativen sind zu verschiedenen Zeiten und in diversen Komponenten zu bearbeiten.



### GRUNDSATZ

Konstrukteure sind mit einem «design paradox» konfrontiert. Die Machbarkeit muss möglichst früh bejaht oder verneint werden, während andererseits Entscheidungen auf Grundlage umfangreicher Informationen somit so spät wie möglich getroffen werden sollen.

Ironischerweise nehmen mit zunehmend gewonnenem Wissen die Freiheitsgrade, diese Erkenntnisse anzuwenden, ab (Paradoxon der Produktentwicklung). Mit jeder Produktfestlegung nehmen Änderungsmöglichkeiten ab und deren Kosten zu, sobald weitere Abteilungen und Mitarbeiter involviert sind.

### Wege und Reihenfolge in der Leistungserstellung

Die Grundlagen für eine Produktion sind die drei Hauptaktivitäten Entwicklung / Konstruktion, Make und Verkaufe. Deren Reihenfolge, Beziehungen und Zusammenspiel sind erfolgsentscheidend und wirken sich auf das Kostenmanagement aus.

- Bei handwerklicher Fertigung / Einzelfertigung / Einmalfertigung: Verkaufe → Konstruiere → Make (Herstellung)
- Bei Massenfertigung: Konstruiere → Make (Herstellung) → Verkaufe
- Bei personalisierter Produktion / Mass Customization / Produktkonfiguration: Konstruiere (Voraus-push) → Verkaufe → Make (Herstellung) (pull bei der Variantenauswahl) [1.1.3] und
- Auftragsfertigung als Hybrid kombiniert und verwendet unterschiedliche Anteile der drei Paradigmen

Die Anforderungen waren (Anbietermarkt): fertige Produkte, Standardprodukte, langer Produktlebenszyklus, seltene Produktänderungen bei gleichbleibender Nachfrage. Heutige Anforderungen sind (Nachfragermarkt): diskontinuierliche Nachfrage / Bedarf, individualisierte Produkte, Leistungsbündel und permanente Produktverbesserungen. Die gestiegenen und kundenspezifischen Anforderungen führten zu neuen Produktentwicklungsparadigmen. Die Logik der



industriellen Massenproduktion (Ziel Kostenführerschaft) wandelte sich über Mass Customization und individualisierter Produktion zu «moderner Produktion» (Ziel: Nutzenführerschaft). Handlungsfelder sind eine veränderungsfähige, offene Wertschöpfung, aktive Einbindung externer Personen in die Produktentwicklung, Vernetzung Zulieferer und Kunden und höhere Flexibilität.

### Auswahl von Alternativen

Zur Bewertung von Alternativen fehlen Kenntnisse über zukünftige Erträge, aber später sind kaum noch Verbesserungen realisierbar.

Bei reifen Produkten kommt ein konservativer Konstruktionsablauf hinzu, der meist von Vorgängerprodukten ausgeht aufgrund Gewohnheiten der Konstrukteure und um Risiken zu vermeiden. Dieser konventionelle Konstruktionsprozess unterliegt Merkmalen, die verbesserte Lösungen erschweren. Die übliche Zerlegung in Teilsysteme und deren Optimierung führt nicht zu besten Lösungen. Im Extremfall kann an anderer Stelle ein Problem entstehen.

Wirkliche Verbesserungen können nur mit Integration und Optimierung auf höherer Ebene erreicht werden. Für Kunden ergeben sich dadurch entweder ein höherer Produktwert, Nutzensteigerungen bei gleichzeitiger Kostenverringering und / oder niedrigere Preise – am besten beides.

### *Auswirkungen von Kostenmanagement*

Erfolgreiche Anstrengungen führen zu einzigartiger Wertschöpfung. Gewinnsteigerungen aufgrund von Kostensenkungen haben viel größere positive Einflüsse auf den Firmenwert als die gleiche Gewinnerhöhung durch Preiserhöhungen. Hinzu kommen verringerte Geschäftsrisiken, geringere Stückkosten, bessere Produktqualität, unsymmetrische Auswirkungen auf die Wertschöpfung, geringere Einflüsse von Veränderungen der Kapazitätsauslastung, Verbesserungen bei Eigenkapital bzw. Finanzierungssituation und allgemeinen Grundlagen für das Geschäftsmodell sowie steuerliche Vorteile.

Erfolgreiches Kostenmanagement hat u.a. folgende Ansatzpunkte:

- Kostenverringering und Begrenzung zukünftiger variabler und fixer Kosten,
- Kosteneliminierung durch unnötige Aktivitäten (Kosten-Nutzen-Betrachtung) und
- Kostenreduzierung bei variablen und Fixkosten derzeitiger wesentlicher Aktivitäten.

### TIPP

Bereits am Anfang der Produktentwicklung sollten aus vielen Gründen Kostenüberlegungen angestellt werden, Hauptgrund ist die große zeitliche Verzögerung zwischen Kostenfestlegung und dem viel späteren Kostenanfall.



Entwicklung und Konstruktion haben bezüglich Dauer und direkten Kosten in den meisten Fällen geringe Bedeutung, denn es fällt nur ein geringer Kostenanteil (meist unter 10% bis 15%) an. Bereits bei der Konzepterstellung werden bedeutende Entscheidungen über Fertigung und Supply Chain getroffen und 70% bis 80% der Lebenszykluskosten und der Produktqualität festgelegt [1.1.4; 1.1.5]. Produktentwicklung und Konstruktion «werfen den längsten Schatten» und haben die größten Auswirkungen auf Folgeaktivitäten [1.1.6]. Der Anteil festgelegter Kosten steigt zum

Ende der Konstruktion und Prozessplanung weiter an. Spätere Aktivitäten können ohne konstruktive oder Verfahrensänderungen nur die restlichen Kostenanteile verringern. Der Großteil heutiger Aktivitäten und Konzepte (z.B. Lean) betrifft die Produktion. Dem Produkt kommt geringere Aufmerksamkeit zu, obwohl die Produktgestaltung weit größere Auswirkungen hat, dort ansetzende Maßnahmen effizienter wären und Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung von Lean-Konzepten ist. Das Produktkostenmanagement muss bereits bei Produktkonzept und Produktarchitektur ansetzen.

Grundlegende Entscheidungen in frühen Phasen zu treffen ist wünschenswert, da diese weniger Kosten verursachen als später. Vorbeugung und pro-aktive Analysen sind besser als Beseitigung eingetretener Probleme. Um dies erfolgreich tun zu können, sind genauere Produktkenntnisse notwendig.

Bereits in den frühen Phasen müssen die Fertigungsverfahren mit betrachtet werden, um fertigungsgerechte Produkte zu entwickeln. Dies umfasst technische und wirtschaftliche Fragestellungen bezüglich fixen (Investitionen) und variablen / wiederkehrenden Kosten. Herstellbarkeit, Fertigungsgerechtigkeit und Qualität müssen möglichst früh einbezogen werden, da Beeinflussungsmöglichkeiten und damit die Kostenreduzierungen mit jeder Merkmalfestlegung geringer werden. Maßnahmen sollten verstärkt bereits in der Konzept- und Designphase beginnen. Verfügbare Leitlinien wie Konstruktionsregeln, Gut-Schlecht-Beispiele und Concurrent Engineering sollten frühzeitig angewendet werden (siehe Abschnitt 1.4).

Die nachfolgenden betrieblichen Funktionen haben nur noch vergleichsweise geringe Möglichkeiten, Produktkosten zu verringern, obwohl hohe Kostenanteile erst dort anfallen. Z.B. legt die Konstruktion bereits in frühen Phasen die Materialart und -kosten fest – oft der größte oder gar dominierende Kostenanteil. Viele Entscheidungen sind zu treffen, deren Wirkung meist nur abgeschätzt werden kann. Der Konstrukteur braucht Methoden, die ihn bei den Entscheidungen unterstützen. Die Alternativen für Produktveränderungen nehmen schnell ab, verfügbare Informationen zur Beurteilung konstruktiver Fragestellungen nehmen dagegen nur langsam zu. Fehlentscheidungen führen – falls überhaupt noch korrigierbar – zu hohen Änderungskosten oder gar zu einem schlechteren Produkt.

Erhöhte Aufwendungen für Produktoptimierung und Kostenmanagement benötigen zusätzliche Ressourcen in frühen Phasen, aber zahlen sich schnell aus, da Entwicklungs- und Konstruktionskosten verringert werden, höhere Qualität, planbare Abläufe und leichter herstellbare Produkte entstehen.

Frühe Entscheidungen, wenn die Beeinflussbarkeit noch hoch ist, bieten vordergründig Vorteile und wirken sich positiv auf den Projektverlauf aus.

Andererseits steigen die Kosten für spätere Änderungen. Diesem Konstruktionsparadox entgegenzuwirken, zwingt dazu, dem Konstrukteur das notwendige Wissen *vor der Tätigkeit bereitzustellen* (*front loading*, *feedforward*, *shift left*). Konstrukteure können nicht Experten auf allen in der Produktentwicklung anstehenden Problemfeldern sein. DFX-Leitlinien geben Einblicke in fremde technische Bereiche und beziehen sich auf spezifische Stufen im Konstruktionsprozess, sollten aber besser als ganzheitlicher Ansatz den gesamten Entwicklungsprozess einbeziehen. DFX hilft widersprüchliche Anforderungen gleichzeitig zu berücksichtigen und die bestmöglichen Kompromisse bezüglich Produkten, Prozessen, Wertschöpfungsketten und Fertigungsanlagen / Fabriken zu finden.

Die Auswirkungen jeder das Produkt beeinflussenden Entscheidung sind abzuschätzen und umgekehrt die zum Erreichen bestimmter Eigenschaften notwendigen Maßnahmen zu identifizieren.

Ziele und die diversen Gerechtheiten sollten als Leitlinien z.B. Design for X unterstützen. Design for X ist Ausdruck für eine Vielzahl von Betrachtungen, die im Entwicklungsprozess

gemacht werden müssen – ein Werkzeug, in dem Beziehungen zwischen Produktmerkmalen formuliert sind. Jede DFX-Methode hat ein spezielles Ziel und folgt einem ähnlichen Vorgehen, um einen Aspekt wie Kosten oder Umwelteinflüsse des zu konstruierenden Produktes durch möglichst frühe Betrachtung zu verbessern. Die ursprünglichen «Design for»-Ansätze wurden entwickelt, um die Produktionsaspekte der Produktherstellung effizienter zu machen und Zeiten, Kosten und Fehler zu verringern. Mit diesen Methoden sollten Produktionsprobleme proaktiv angegangen werden, um potenzielle Probleme vorzusehen und durch verbesserte Gestaltung eliminieren zu können. DFX-Methoden dehnten sich über die Produktion in die Supply Chain aus.

Werden kostenmäßig ungünstige Entscheidungen erst in der Kalkulationsphase erkannt, führt dies zu Zeitverlusten durch Änderungsschleifen in Konstruktion und/oder nachgelagerten Abteilungen. Je später in der Produktentwicklungsphase, umso schwieriger sind Kosten zu steuern und zu beeinflussen.

Konstrukteure sollten befähigt werden, Lösungen anforderungsgerecht zu konzipieren und Alternativen frühzeitig zu bewerten, solange die Kosten noch gering sind [1.1.7].

Parametrische Modelle mit Flexibilität und geringen Änderungskosten sind leider oft nicht umsetzbar, da Änderungen von außen kommen. Eigentlich böte es sich an, konstruktive Entscheidungen früher zu treffen, der Aufwand für evtl. spätere Änderungen würde dadurch aber noch schneller ansteigen, je mehr Produktmerkmale festgelegt sind. Die Änderungszyklen würden die Markteinführung noch stärker verzögern. Dies spricht dafür, *endgültige Festlegungen möglichst spät zu treffen*. Set-based-Konzepte vermeiden diese Konsequenz einer frühen Auswahl (siehe Abschnitt 1.4).

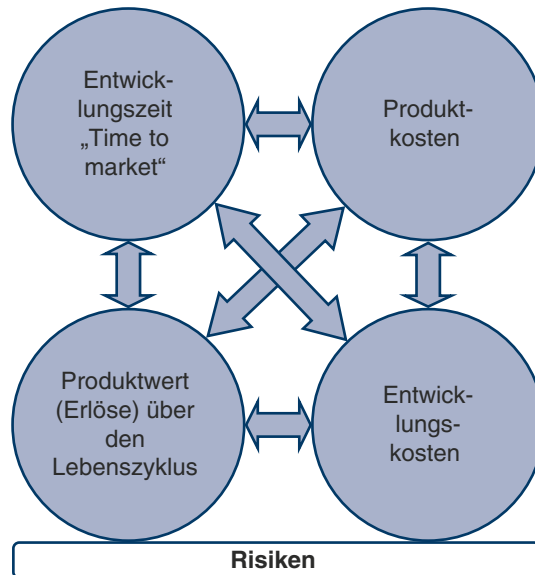
Entwicklung und Konstruktion entwickeln Neuprodukte und Innovationen, die Umsätze erbringen und/oder Gesamtkosten verringern. Gewinne werden maximiert, solange der Aufwand geringer ist als der Grenzertrag – ein einfaches Konzept, aber während der Entwicklung und Konstruktion schwer zu beurteilen, da die Aufwendungen und späteren Ergebnisse noch nicht bekannt sind. Man konzentriert sich u.a. deshalb mitunter auf erfolversprechende Projekte mit geringerem Potenzial und meidet solche mit großen Chancen, aber höheren Risiken.

Innovationen und Produktpflege werden benötigt, da jedes Produkt einen Lebenszyklus durchläuft und der Gewinn erodiert. Man benötigt ein ausgeglichenes Verhältnis von Produkten in den verschiedenen Lebenszyklusphasen.

Der Innovationsprozess muss auf den Kundennutzen ausgerichtet sein. Zu unterscheiden sind:

- Herstellerinnovationen und
- Kunden- und Nutzerinnovationen.

Die Ziele der Produktentwicklung und die Einflüsse zeigt Bild 1.1.



**Bild 1.1** Produktentwicklung: Schlüsselparameter, Ziele und Risiken [Quelle: SMITH REINERTSEN]

## 1.1.2 Wichtigkeit von Kosten für Entwickler und Konstrukteure



### GRUNDSATZ

Technik ist Sache der Ingenieure – Kosten sind Sache der Kaufleute!

Kostenüberlegungen bei Neukonstruktionen waren für Ingenieure in der Vergangenheit gegenüber technischen Fragen eher zweitrangig. Heutzutage wird erwartet, dass bereits bei der Entwicklung wirtschaftliche Auswirkungen in Entscheidungen einbezogen werden. Ein großer Teil der Komponenten wird zugekauft, Fertigungswissen und Kosteninformationen fehlen. Organisatorische und örtliche Gründe behindern deren Berücksichtigung. Dazu würden Methoden, Werkzeuge, Hilfsmittel, Daten und Ausbildung benötigt, die seit jeher oft nicht vorliegen. Im Laufe der Produktlebenszeit erwarten Kunden und Nutzer geringere Kosten bei höheren Leistungen. Begrenzte Finanzen bringen die Erschwinglichkeit für Kundengruppen hinzu. Kosten werden bei höherer Produktreife und zunehmendem Wettbewerb zum bedeutendsten Wettbewerbsfaktor.

Jede konstruktive Entscheidung hat eine technische Seite und eine Kostenseite. Jede technische Entscheidung ist auch eine Kostenfestlegung!

**Engineering-Sicht:** Wie kann ich Kunden von meinem Produkt überzeugen? Dazu sollte kommen: eine Sensibilisierung von F&E, Konstruktion, Arbeitsvorbereitung für ihren Kosteneinfluss und damit auch für Kostenverantwortlichkeit.

**Wirtschaftliche Sicht:** Aufzeigen von Kosteneinsparpotenzialen. Wo kann ich bei Kosten ansetzen und Kundennutzen gleichzeitig verbessern und optimieren, zumindest aber nicht verschlechtern?

Die Kostentreiber sind konstruktive Merkmale, die Material- und Herstellkosten beeinflussen, und müssen bei der Produktgestaltung beachtet werden. Entwicklung und Konstruktion sind

die wichtigsten Aktivitäten und primären Treiber von Funktion, Qualität, Zeit, Kosten und für den Produkterfolg unmittelbar verantwortlich. Diese legen die wichtigsten Produkteigenschaften überwiegend oder gar allein fest und bestimmen spätere Produkt- und Produktionskosten.

Oft fehlt es an einer intensiven Zusammenarbeit mit den anderen Betriebsbereichen und Lieferanten. Die Produktgestaltung muss Fertigungswissen in die Arbeit einbeziehen. Systeme, die Produktionswissen speichern und zur Produktentwicklung nutzen, helfen Produktkosten zu verringern. Ziele sind möglichst schnell zunehmender Informationszuwachs und zunehmende Datengenauigkeit im Laufe des Produktentstehungsprozesses. Anfangs unbekannte Größen nehmen während der Konstruktion Gestalt an. Aktivitäten müssen in diesen Produktentwicklungsphasen ansetzen, um späteren unnötigen Aufwand zu vermeiden und effizient am Markt zu sein.

### 1.1.3 Kostenmanagement

#### DEFINITION

Kostenmanagement ist die gezielte und systematische Steuerung der Kosten. Ziel ist es, durch konkrete Maßnahmen die Kosten von Produkten, Prozessen und Ressourcen so zu beeinflussen, dass ein angemessener Unternehmenserfolg erzielt und die Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig verbessert wird. [1.1.4; 1.1.5].



Kostenmanagement hat somit die Ziele:

- Herstellkosten des gesamten Produkterstellungsprozesses einschließlich der ganzen Supply Chain und
- Kosten der Nutzung, also die Lebenszykluskosten, zu verringern.

Die Prognose zukünftig zu erwartender Herstellkosten ist ein Schlüsselfaktor, um den Produktentwicklungsprozess frühzeitig zu beeinflussen und zu beurteilen. Man unterscheidet:

- Kostenmanagement zukünftiger Produkte = «Verringerung» der Kosten vor und nach Produktionsstart. Durch Management der Upstream-Kosten und der Downstream-Kosten zukünftiger Produkte = «Kostenverringern» bei Produktentwicklung  
Das Potenzial als Differenz zwischen Nutzen und Einfluss nimmt mit zunehmender Produktdefinition ab und wird, wenn bereits Ressourcen betroffen sind, negativ. Der Konstruktionsaufwand wird wegen zusätzlichen Maßnahmen höher, hat aber einen größeren Hebel als alle späteren Investitionen.
- Kostenmanagement existierender Produkte = «Controlling»/Wartung der Herstell- und Nutzungskosten.

#### Ansatzpunkte für ein umfassendes Kostenmanagement

Bedeutende Notwendigkeit und zunehmende Herausforderung sind Leistungen, Kosten und Produktionsprobleme vom Konstruktionsstart an gleichzeitig zu betrachten. Es mangelt an geeigneten, effizienten umfassenden Kosten- und Leistungsmodellen, die in den Konstruktionsablauf integrierbar sind und Fertigungs-, Material-, Lieferungs- und Logistikfragen einbeziehen. Grobe Abschätzungen, z.B. über Parametrik, sind dafür nur bedingt geeignet; meist benötigt man Detailanalysen.

Kostenmanagement muss u.a. nachfolgende Kosten einbeziehen:

- Produktkosten mit Komplexität der Produkte, Teilevielfalt, Variantenvielfalt, Produktqualität und Produktänderungen,
- Prozesskosten mit Wertschöpfungs-/Leistungstiefe (Fertigungstiefe / Anteil der Eigenfertigung), Ablauforganisation, Fertigungsstruktur, Materialfluss, Layout und Arbeitsorganisation,
- Ressourcen mit Faktormengen, Faktorpreisen, Faktorqualitäten, Kapazitätsauslastung, Betriebsgröße.

Das Produktkostenmanagement hat die Ansatzpunkte

- Produkte:
  - Komplexität der Produkte,
  - Teilevielfalt,
  - Variantenvielfalt,
  - Produktqualität,
  - Produktänderungen;
- Prozesse:
  - Leistungstiefe, Outsourcing, Make or buy,
  - Ablauforganisation,
  - Fertigungsstruktur,
  - Materialfluss,
  - Arbeitsorganisation und
- Ressourcen:
  - Faktormengen,
  - Faktorpreise,
  - Faktorqualitäten,
  - Kapazitätsauslastung,
  - Betriebsgröße.

Generell können alle Instrumente dem Kostenmanagement zugerechnet werden, die Kostensituationen analysieren, Kosteneinflussgrößen identifizieren, das Entscheidungsverhalten beeinflussen oder die Planung von Maßnahmen zur Kostengestaltung unterstützen. Hilfsmittel für das Kostenmanagement können nach Anwendungsphasen im PEP geordnet werden

- während der Entwicklung:
  - Konzepte, Organisationsformen,
  - Regeln, Faustformeln, Richtlinien – Gut-Schlecht-Beispiele (siehe DFX-Methoden), Relativkosten, absolute Kosten;
- während der Konstruktion:
  - Näherungsverfahren – Beziehungen, Verhältniszahlen, Parametrische Methoden, Bemessungsgleichungen,
  - Analogien, Fallbasiertes Schließen, Ähnlichkeiten, Baureihen;
- Detailmethoden, Ingenieurverfahren:
  - Geometrien, Abmessungen, Gewichte,
  - Produktionsdaten, Fertigungskennzahlen.

## Bedeutung Produktkostenmanagement

Zahlreiche aktuelle Studien und Publikationen sind ein Zeichen für die Aktualität des Themas. Neben einer Analyse konzeptioneller Ansätze des Kostenmanagements wird das Kostenmanagement aus der Perspektive verschiedener Teildisziplinen (betriebswirtschaftliche Kostenlehre, Controlling, Strategielehre usw.) betrachtet. Die verschiedenen Beiträge konzentrieren sich sehr stark auf spezifische Teilaspekte. Beiträge aus dem Controlling beschreiben Methoden, die das Kostenmanagement unterstützen (z.B. Kostenrechnung, Budgetierung), Artikel aus dem ingenieurwissenschaftlichen Bereich, primär Fragen zum produkt- und/oder prozessorientierten Kostenmanagement.

Hier relevante Gestaltungsaspekte nicht zu berücksichtigen wäre schädlich; alle Fachbereiche sind einzubeziehen. Die Konzeptphase ist sehr kurz, verglichen mit dem enormen Einfluss jeder Entscheidung auf Leistung und Kosten. In Projekten sind danach mindestens 70% der Lebenszykluskosten festgelegt, aber nur 1% der Gesamtkosten eingetreten.

Das in der Konzeptphase erstellte Grundkonzept basiert auf der Erfahrung des Konstrukteurs und stark vereinfachten analytischen Modellen. Dieses wird später meistens durch Fachdisziplinen verbessert, wobei oft gegenläufige Vorschläge gemacht und deren gegenseitige Auswirkungen nur teilweise analysiert werden.

## Konzeptphase in Engineering und Design

Die Konzeptphase ist eine der frühen Phasen im Engineering, wo eine oder viele Designkonzepte hinsichtlich der Eingangsanforderungen analysiert, ausgewählt und optimiert werden. Bewertungen der Produzierbarkeit sind frühzeitig vorzunehmen, da Freiheitsgrade für Änderungen schnell abnehmen. Aktivitäten sollten in frühere Phasen des Produktentstehungszyklus vorgezogen werden. Dazu werden Richtlinien und Methoden benötigt.

Entscheidungen der Konzepterstellung haben bedeutenden Einfluss auf Faktoren wie Leistung, Kosten, Zuverlässigkeit und Umweltauswirkungen. Die Kenntnisse der Anforderungen und Zwänge sind zu diesem Zeitpunkt oft noch unbekannt, lückenhaft, unvollständig und meist ungenau. Konstrukteure müssen sich wegen der Komplexität auf Teilbereiche beschränken, der Fortschritt ist lückenhaft und sporadisch. Entscheidungen erfolgen auf Grundlage fehlender, lückenhafter, zumindest aber unvollständiger Informationen.

Die Produkteigenschaften sind Erfolgsvoraussetzung und Schlüsselfaktor. Eine optimale Fertigung kann diesbezügliche Mängel nicht beheben. Voraussetzungen für erfolgreiche Produkte sind:

- Produkte müssen zum Markt passen,
- Produkte müssen zum richtigen Zeitpunkt verfügbar sein,
- das richtige Produkt ist mit den richtigen Fertigungsverfahren herzustellen.

## Wettbewerbsfähigkeit und Kostenmanagement

Nicht marktgerechte Kosten sind häufig ein Misserfolgswort von Innovationen. Erfolgsfaktor ist ein überlegenes Verhältnis Leistung zu Kosten. Produktkostenmanagement muss Wertschöpfung und Kundenzufriedenheit untergeordnet sein. Oft wird Kostenmanagement mit Kostensenkung verwechselt. Kurzfristaktionen dienen oft einseitiger Kostensenkung. Häufigere derartige Aktionen verursachen eine negative Besetzung des Begriffs Kostenverringerung, der aber als notwendiger Teil von Kostenmanagement gesehen werden sollte.

Wettbewerbsfähige Industrien sind gekennzeichnet durch zunehmende Leistungen bei relativ stabilen oder abnehmenden Preisen (Preiserosion). Kosteninformationen sind bedeutend für Entscheidungen. Langfristige Profitabilität in wettbewerbsintensiven Märkten erfordert ein Ver-

ständnis der Zusammenhänge zwischen Treibern der Kosten und der Kundenzufriedenheit. Komplexe Produkte benötigen Wissen über Kundenbedürfnisse, Materialeigenschaften, Merkmale von Technologien und Fähigkeiten von Fertigungsverfahren. Dies alles ist auch noch für unterschiedliche Standorte zu vergleichen.

### **Kostenvermeidung anstatt spätere Kostenverringerung**

Kosten verringern

#### **Kosten vermeiden?**

Was tut Ihr Unternehmen?

Was tun Sie?

#### **Was sollte Ihr Unternehmen tun?**

#### **Was sollten Sie tun?**

Die Fokussierung weg von Kostensenkung auf Kostenmanagement verringert Kosten und sichert den wirtschaftlichen Erfolg. Schnell mit der Fertigung zu starten und Kosten danach zu senken verursacht höhere Herstellkosten, erhöhte Entwicklungskosten bei immer kürzeren Produktlebensdauern und eine geringere Profitabilität. Bei einer reinen Kostensenkungsstrategie unternehmen die Beteiligten zu geringe Anstrengungen, die Kosten von Anfang an niedrig zu halten. Oft werden alternative Lösungen erarbeitet und später nicht weiterverfolgt sowie Varianten konstruiert und später eliminiert. Beides verursacht unnötige Kosten durch Entwicklung, Konstruktion, Qualitätstests, Marketing usw. Man bezeichnet diese Eigenschaft als Kostenremanenz, da es nur teilweise gelingt, diese Kosten zu eliminieren. Aufwendungen für später verworfene Lösungen sind unnötige Ausgaben (*sunk costs*). Produktkostensenkungen kommen als Maßnahmen meist zu spät. Viele Unternehmen verwenden die meisten Ressourcen für Kostenverringerungen nach Start der Produktion (reine Kostensenkungsmaßnahmen).

Kunden wünschen neue Produkte mit besseren Funktionen und höherer Qualität ohne höhere Preise.

Erfolgreiche Firmen planen die Umsatz-, Gewinnbeiträge wie auch die Kosten der einzelnen Produkte bei der Entwicklung gleichermaßen ein. Man legt den Fokus auf den jeweiligen Wertbeitrag oder Margenbeitrag des Produktes bzw. des einzelnen Produktbestandteils («Design to Value», siehe Abschnitt 1.6). Der Zeitpunkt, an dem sich Aufwendungen amortisieren, ist mit zu bewerten. Tolle Produkte spät oder zu teuer – das liegt außerhalb der Geschäftsstrategie.

Damit wird klar, dass der «Kostenmanager», als «Kosten-Berater» für die Produktentwickler von den ersten Konzeptstudien für das neue Produkt, voll in den Produktentwicklungsprozess integriert sein muss, um alle Kostensenkungspotenziale auszuschöpfen.

### **Kostenvermeidung durch «von Anfang an richtige Lösungen»**

Kostenvermeidung ist entgegengesetzt und konzentriert die Maßnahmen auf frühe Phasen der Vorentwicklung, Produkt- und Konzeptentwicklung, um Produktkosten von Beginn an zu minimieren. Dies ist ohne Alternative, da mit zunehmendem Wissen über das Produkt die Freiheitsgrade für Änderungen schnell abnehmen und Änderungskosten anfallen. Änderungskosten und zeitliche Verzögerungen sind umso höher, je mehr bereits festgelegt wurde, umso mehr Mitarbeiter und Funktionen betroffen sind. Produktkostenziele (*Target Costing*) von Anfang an zu definieren und einzuhalten vermeidet Änderungen, die den Entwicklungsprozess verzögern, und späteres Herauskonstruieren mit mehrfach hohen Kosten.

Die genannten negativen Einflüsse werden vermieden bei Kostenanalysen über Grundeigenschaften, die durch konstruktive Entscheidungen veränderbar sind. Diese sind Produktstruktur (Elemente, Relationen) und für jedes Element Form, Werkstoff, Abmessung, Oberfläche, ...



Direkte Vorteile wären u.a. geringer Zeitbedarf, keine Verzögerungen durch Warten auf Informationen anderer Betriebsbereiche, Genauigkeit der meist nur als Relativwerte benötigten Kosten und geringerer Ermittlungsaufwand.

Man vermeidet unnötigen Zeitaufwand für nicht weiterverfolgte Lösungen, kommt direkt zu optimalen Konstruktionen hinsichtlich Funktionen und Kosten. Änderungen und das Herauskonstruieren zu hoher Kosten, das nach der Konzeptphase nicht ohne verbleibende Mehrkosten möglich ist, werden eingespart. Durch eine von Anfang an direkte Ermittlung und Verwendung «verschwendungsfreier» Abläufe und optimaler Verfahren gelingen bessere konstruktive Lösungen.

Eine frühzeitige Kostenvermeidung, ergänzt um spätere Maßnahmen zur Kostensenkung, erfordert einen Kulturwandel und eine Verschiebung der Aktionsschwerpunkte in frühere Phasen, da – wie mehrfach erwähnt – dort die Produktkosten bereits weitgehend festgelegt werden. Unnötig frühe endgültige Festlegungen mit Kostenauswirkungen sollten vermieden werden, um Aufwand und Auswirkungen von evtl. Änderungen zu begrenzen. Produktbezogene Entscheidungen haben den größten Kosteneinfluss, erst danach folgen Fertigungs-/Prozessplanung, Produktion, ... Die Verwendung der meisten Ressourcen für Vermeidungsmaßnahmen in den frühen Produktentwicklungsphasen hat den größten Wirkungshebel. Bei existierenden Produkten müssen Kosten weiter verringert werden.

Die nachfrageabhängige Sicht der Technologieentwicklung liefert eine Erklärung für dieses Phänomen: Wenn die Geschwindigkeit der technologischen Veränderung die Nachfrage nach derartigen Verbesserungen übertrifft, hängen Preisveränderungen und Entwicklungsentscheidungen vom Kundennutzen durch Leistungssteigerung ab. Zu Beginn einer Technologieentwicklung sind von Marktanforderungen getriebene Innovationen zu erfüllen. In der Phase gesättigter Nachfrage kommt der Druck von Wettbewerbern und gesättigten Kunden; die Produktentwicklung hat dann eher das Ziel, Preise zu halten als Kundenanforderungen zu erfüllen.

Besonders bei kurzen Produktlebenszyklen, kleinen Stückzahlen oder Einzelfertigung, Leistungssteigerungen und Preiserosion muss Profitabilität in das Produkt hinein konstruiert werden – für Versuche bleibt keine Zeit. Unumstritten ist die weitgehende Kostenfestlegung bereits mit dem Produktkonzept; viele Entscheidungen könnten revidiert werden, aber Produktänderungen wären riskant und teuer. Um regelmäßig neue Produkte liefern zu können, basieren Produkte auf Plattformen / Modularisierung, deren Gestaltung das Kostenniveau längerfristig festlegen; eine Lebenszyklusbetrachtung ist deshalb notwendig. Hauptaussage und Hauptforderung sind:

- Das Produktkostenmanagement muss vor der strukturierten Produktentwicklung beginnen, um Kostenwirkungen einbeziehen zu können, d.h. Mindestkosten einer Fertigungstechnologie, und
- die Fähigkeit einer Organisation, realistische, richtig vorgegebene Kostenziele während des ganzen Lebenszyklus einzuhalten.

Dafür notwendige Informationen (Produktwissen) entstehen erst mit zeitlicher Verzögerung. Die Lücke zwischen Kostenfestlegung und Produktwissen lässt Optimierungspotenzial ungenutzt. Ansätze zur Überwindung sind z.B.: funktionsübergreifende Befragungen bei erreichten Entwicklungsstufen, frühe Zusammenarbeit mit Lieferanten, ...

Traditionell wurden Kostenschätzungen nach der Konstruktion fertiggestellt. Kostenschätzer sind bei Innovationen mit zahlreichen Dilemmas konfrontiert. In frühen Prozessphasen liegen nur geringe Informationen vor, trotzdem sollte man spätere Kosten verschiedener Alternativen kennen. Mit Fortschritten im Projekt werden Leistungswerte bekannt und festgelegt, bevor Technologien und Fertigungsverfahren vorliegen, die Voraussetzung für Kostenermittlungen sind. Somit entstehen Daten für Kostenanalysen erst stückweise nach getroffenen Entscheidungen –

Kostenermittlungen werden zur Formalität anstatt Teil des Konstruktionsprozesses. Kosten (und deren Überschreitung) werden zum Ergebnis anstatt Input für Entwicklung und Konstruktion.

Zu diesem Zeitpunkt sind Entscheidungen kaum oder gar nicht umkehrbar. Die Schätzung von Produktkosten ist dadurch eine zentrale, nicht triviale Aktivität für Konstrukteure während des Produktentwicklungsprozesses:

- Kostenfaktoren sind frühzeitig so genau wie nötig und möglich zu identifizieren.
- Kosten sind ein bedeutender Faktor bei der Konzeptwahl, diese bestimmen den wirtschaftlichen Erfolg.
- Verlässliche und schnelle Kostenermittlungsmethoden / Systeme werden viel früher im Entwicklungsprozess benötigt, um frühzeitig gute, fehlerfreie Entscheidungen hinsichtlich konstruktiver Alternativen zu treffen.
- Es ist nicht immer leicht, Kosten für Produktfunktionen und -komponenten abzuschätzen.

Vor endgültiger Festlegung der Kostenbestimmungsfaktoren und -treiber muss eine gute Abschätzung der Wirkungen konstruktiver und fertigungstechnischer Entscheidungen auf die vollständigen Lebenszykluskosten einer Produktart und -einheit erfolgen. Die Zusammenhänge zwischen den Kostentreibern, die Zusammensetzung und Struktur der Gesamtkosten sind zu analysieren. Die zeitliche Vorverlagerung ist entscheidend, um Kosten aktiv und vorausschauend beeinflussen zu können.

Ein frühzeitiges Kostenmanagement muss der Abschätzung, Analyse und Beeinflussung von längerfristigen Kostenauswirkungen dienen. Eine verfrühte Festlegung von Kostenstrukturen ohne ausreichende Analyse der kostenseitigen Konsequenzen von Entscheidungen ist zu vermeiden. Mehraufwendungen in frühen Phasen haben eine große Wirkung (Hebel), lassen sich rechtfertigen und zahlen sich aus.

Typischerweise sind die Kosten je produzierter Einheit die Summe aus verschiedenen Ressourcen – Rohmaterial, Komponenten, Maschinen, Betriebe und Energie usw. Die Quantifizierung ist wegen der geringen Produktfestlegung in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses schwierig. Andererseits werden die folgenden Schritte durch frühe Entscheidungen festgelegt. Bei jungen und neuen Technologien besteht zusätzlich Mangel an Erfahrungswerten; die Schätzobjekte sind dazu oft komplex und risikobehaftet; somit können Kosten nicht auf Basis von Objektbereichen (wie z.B. Materialkosten bei Einfachprodukten) ermittelt werden. Dies verschärft die Problematik.

Bei Einzelfertigung bestehen während der Angebotsphase ähnliche Probleme. Die Verknüpfung zahlreicher technischer und wirtschaftlicher Faktoren ist hier herausfordernd, da zunächst nur wenig mehr als die gewünschte Funktionalität bekannt ist. Die meisten Kostenschätzmethoden erfordern mehr Detailwissen, als in dieser Frühphase verfügbar ist. Nur wenige Methoden eignen sich überhaupt.

### 1.1.4 Integration Konstruktion, Produktion und weitere Fachbereiche

Traditionell wurden Konstruktions-, Fertigungsplanungs- und Produktionsaktivitäten eher sequenziell als zeitlich überlappt durchgeführt, ineffiziente und zeitaufwendige Iterationen waren die Folge. Den Konstrukteuren fehlt es mitunter an Fertigungsdetailwissen und -regeln, so dass Konstruktionen nicht ohne Probleme bzw. nur mit unnötigen Kosten, im Extremfall gar nicht herstellbar wären.

Konstruktion, Fertigung bzw. Produktion unterscheiden sich besonders hinsichtlich:

- Zeitpunkt der Durchführung im Produktentstehungsprozess und Häufigkeit der Abfolge,
- Beitrag zur Kostenfestlegung und Anteil an der Kostenverursachung.

Die Zusammenführung beider Aktivitäten, deren Problemen und deren Wissen ist nicht trivial. Unter den Oberbegriff «bridging» (von Konstruktions- und Fertigungsproblemen) fallen u.a. die Konzepte **I**ntegrierte **P**roduktentwicklung (IPE), Concurrent Engineering bzw. Simultaneous Engineering, Concurrent Design, Design for X (z.B. DFA, DFM) und weitere Methoden ähnlicher oder identischer Zielsetzung (siehe Abschnitt 1.4). Produktentwicklung ist produktorientiert; Produkte werden ausgehend von Kundenanforderungen und den Zielen der Hersteller entwickelt. Das Produktionssystem muss entsprechend gestaltet werden; somit ist eine Koordination von Produkt- und Prozessentwicklung mit Fertigungsprozessen und -problemen unverzichtbar.

IPE z.B. versucht Erwartungen an den Wert zu erfüllen und produktionsgerechte Produkte zu konstruieren – entwickelt, um alle beteiligten Funktionen und Bereiche über geeignete Maßnahmen in die Produktentwicklung zu integrieren, arbeitsteilige Organisationsformen zu überwinden und den Blick über die Lösung technischer Probleme hinaus auch auf die dazugehörigen Abläufe zu richten. Ziele sind:

- Verkürzung der Zeit von der Erfassung der Bedürfnisse bis zum Produktionsstart,
- bestmögliche Erfüllung der Anforderungen und Erwartungen,
- Verringerung der Entwicklungskosten sowie
- Verbesserung von Produkt- und Prozessqualität.

Informationsflüsse («Frontloading») der integrierten Produktentwicklung fließen über Konstruktionsrichtlinien, Simulationen und Predictive Engineering in den Konstruktionsprozess ein. Vorabinformationen, Reverse Engineering und Rückkopplungen bringen Fertigungsinformationen.

Die Unternehmen hatten eine hohe eigene Wertschöpfung und fertigten die meisten Teile selbst. Der Anteil von zugekauften Leistungen durch Fokussierung auf Kernkompetenzen und Outsourcing nimmt weiter zu und erschwert mehrere Ziele einzubeziehen. Erwartungen sind bessere Produkte, höhere Leistungen, Qualität, Flexibilität, Produktivität, Effizienz, geringerer Zeitbedarf und niedrigere Kosten. CE brachte große Fortschritte im Zusammenwirken von Konstruktion und anderen Funktionsbereichen. Zusätzlich wurden DFX-Methoden entwickelt (DFA, DFM, ... (siehe Abschnitt 1.4); diese unterstützen CE, ohne die Abhängigkeiten zwischen den Einzelmethode mit aufzuzeigen. Was noch fehlt sind aktuelle / genaue Kosteninformationen aus Sicht und für Konstrukteure. **D**esign **f**or **C**ost (DFC) eignet sich für die zeitlich parallele Anwendung mit DFX-Methoden. Lebenszykluskosten müssen noch dazu kommen (DLC). Gründe sind:

- Konstruktion hat keinen Zugriff auf Kostendaten vom Finanzwesen,
- fehlendes Feedback über Kosten von Neuteilen,
- Unfähigkeit und Aufwand, verstreute Daten zusammenzuführen.

Die Informationsgewinnung ist eine Kernfrage und wird zum Unterscheidungsmerkmal im Wettbewerb für Kostenermittlung als auch Produktentwicklung in Anbetracht von zunehmenden Datenmengen.

### 1.1.5 Engineering und wirtschaftliche Sichten zusammenführen

Kostenschätzungen und Herstellungsbetrachtungen sollten parallel bearbeitet werden, um die Produktentwicklung zu beschleunigen und Kostentreiber zu analysieren. Informationen über Teile und Montagen wie Stückzahlen, Materialien, Standortkosten führen zu Informationen möglicher Fertigungsverfahren, von Fertigungsabläufen, Fertigungszeiten und Materialnutzung sowie Teilkosten. Vergleiche von Alternativen sind möglich. Zwischen dem Bedarf der Konstrukteure nach Kosteninformationen und den Möglichkeiten der traditionellen Kostenrechnung klafft eine Lücke, die durch Methoden zur frühzeitigen Kostenschätzung («konstruktionsbegleitende Kalkulation») und zur Unterstützung des kostengünstigen Konstruierens geschlossen werden muss (siehe Abschnitt 1.5).

Größtes Potenzial bieten folgende Maßnahmen:

- aus zeitlichen und praktischen Gründen Kosten direkt in konstruktive Entscheidungen einbeziehen, unnötige Alternativen vermeiden,
- Einsparungen bei Zukaufteilen und Fremdfertigung, Zusammenfassung von Lieferungen,
- Ersparnisse durch weniger Konstruktionsänderungen (Produktarchitektur, Teilezahl),
- Teilefamilienbildung durch Standardisierung und Vereinheitlichung ähnlicher Teile,
- Verbesserung der Engineering-Produktivität bei Konstruktionen.

#### In Kürze

Das Kostenmanagement muss Unsicherheiten bezüglich Kosten verringern, durch Frühwarnfunktionen rechtzeitige Maßnahmen ermöglichen und Abweichungen vom geplanten Produktionsvollzug aufzeigen. Bei Produktionsbeginn sind nicht sämtliche kalkulationsrelevanten Sachverhalte bekannt. Ziel sollte ein methodischer Brückenschlag zwischen entwicklungs- und konstruktionsbegleitender Kostenermittlung und fertigungsbegleitender Kalkulation sein. Für einzelne Komponenten liegen meist konkrete Fertigungsunterlagen und damit auch abgeschlossene Kalkulationen vor. Für andere werden Instrumente der entwicklungs- und konstruktionsbegleitenden Kalkulation benötigt.

Die Beiträge des Buches bieten hierfür Hilfen und Beispiele.

## 1.2 Struktur und Inhalt der Einzelbeiträge

Ziele des Kapitels 1 sind eine Einführung in Grundlagen, Inhalte und Struktur des Fachbuches.

**Abschnitt 1.2** beschreibt die Inhalte der Hauptkapitel und der einzelnen Kapitel. Inhalte werden genannt und es wird auf wichtige Bezüge zu anderen Artikeln hingewiesen. Die Reihenfolge der Beiträge orientiert sich an deren größtem Bezug zu den Anwendungsphasen im Produktentstehungsprozess. Folgende Hauptkapitel werden unterschieden und diesen die Autorenbeiträge zugeordnet:

1. Grundlagen, Begriffe und Methoden
2. Entwicklungsprojekte und Organisationsformen

3. Materialien – Kostenfaktor und Bedeutung für das Kostenmanagement
4. Methoden zur Optimierung in Entwicklung und Konstruktion
5. Verfahren zur Kostenschätzung und Kostenermittlung
6. Kosten von Fertigungshilfsmitteln und Werkzeugen

### **Kapitel 1: Grundlagen, Begriffe und Methoden**

Die Beiträge des Herausgebers im Hauptkapitel 1 umfassen: eine Einleitung in das Thema, Beschreibungen wichtiger Methoden und deren Einsatzphasen. Vertieft beschrieben werden die verfügbaren Methoden für Entwicklung und Konstruktion. Die zentrale Bedeutung frühzeitiger Kosteninformationen wird im einführenden **Abschnitt 1.1** behandelt. Kostenüberlegungen beginnen bei den Materialien und dem Fertigungsaufwand. Die verfügbaren Methoden für Entwicklung und Konstruktion werden in einem eigenen Kapitel ausführlich vorgestellt. Weitere Kapitel befassen sich mit Anwendungsfragen im Kostenmanagement.

**Abschnitt 1.7** widmet sich dem weitgehend nur statisch betrachteten Thema «Kosten & Nutzen (Leistung)». Die Marktgegebenheiten haben sich stark verändert; diese Punkte sind auch im Kostenmanagement abzubilden. Kunden fragen: «Welchen Nutzen liefert das Produkt?». Bisher war es nicht so einfach, den Nutzen zu quantifizieren und Preisen gegenüberzustellen. Durch die Menge an verfügbaren Daten und einer vorgestellten Analyseverfahren können das Preis-Leistungs-Verhältnis ausgewertet und Nutzen monetär bewertet werden.

**Abschnitt 1.8** beschäftigt sich mit den Grundvoraussetzungen für ein erfolgreiches Kostenmanagement, Anwendungsfragen und die Bedeutung von Daten. «Daten sind der Treibstoff, Algorithmen sind der Motor. Treibstoff ist nutzlos ohne Motor. Ein Motor ist ohne Treibstoff nutzlos.»

**Abschnitt 1.9** zeigt der Investitionsgüterindustrie, Kosten der Produkte vom Anfang der Entwicklung an im Griff zu haben, gleichzeitig die Qualität und die Effizienz technischer Produkte. IT-Systeme können einen Beitrag leisten, die beiden Aspekte Qualität und wettbewerbsfähige Preise zu vereinbaren und nachfolgende Prozesse durch die Bereitstellung von Informationen, Daten und Dokumenten, die aus der Produktentwicklung stammen, effizienter zu machen.

**Abschnitt 1.10** bringt Ergebnisse einer Studie über «Profitable Innovation» als «mit den notwendigen Fähigkeiten und Methoden die richtigen Dinge richtig tun». Hauptforderungen sind Innovationskompetenz, Effizienz und Effektivität. Marktorientierung und Kostenbewusstsein sind entscheidend. Der Beitrag behandelt die Erwartungen an die Digitalisierung in Entwicklung und Konstruktion. Digitale Technologien beeinflussen schon heute die Gestaltung unserer Arbeitssysteme, da u.a. deren Leistungsfähigkeit immer stärker von der Gestaltung der Informationsflüsse abhängt. Die Arbeitsteilung, Wertschöpfungsketten, fortschreitende Kundenintegration und eine anhaltende Reduzierung der gewünschten Lieferzeiten sind Ursachen. Digitale Arbeitsmittel haben längst Einzug in unseren Arbeitsalltag gehalten und sind Vorboten einer durchgehenden Digitalisierung und beeinflussen die Arbeitswelt durch die Veränderungen von Arbeitsorganisation, Führung und notwendigen Kompetenzen. Digitale Modelle existieren im CAD-System (**C**omputer **A**ided **D**esign), in der Prozesskette vom PLM-System (**P**roduct **L**ifecycle **M**anagement) über das MES (**M**anufacturing **E**xecution **S**ystem) bis zum ERP-System (**E**nterprise **R**esource **P**lanning). Ziel ist, die Realität genau und umfassend digital abzubilden – immer aktuell, weil das Modell über den gesamten Lebenszyklus mit Informationen angereichert wird. PLM bezeichnet die Gesamtheit von Entwicklung / Konstruktion bis zum Service.

Zu PLM-Systemen gehört die Digitalisierung von Unternehmenswissen und dessen Nutzung entlang der Wertschöpfungskette. Der Begriff «Digitalisierung» umfasst im Wesentlichen fünf Felder, in die sich viele der einzelnen Begriffe, Definitionen und Interpretationen einordnen lassen:

- digitalisierte Prozesse und Abläufe,
- Datenerfassung und -verarbeitung,
- neue digitalisierte Geschäftsmodelle,
- Vernetzung und **Internet of Things (IoT)**,
- digitalisierte Produkte.

Der durch den deutschsprachigen Raum geprägte Begriff «Industrie 4.0» wird dabei häufig als Synonym für die Begriffe »Vernetzung und IoT« verwendet, jedoch auch nicht durchgängig. Insgesamt kann von einem sehr inhomogenen Verständnis gesprochen werden.

Das Produktdaten-Management wird zum Kern aller Digitalisierungsaktivitäten und gemeinsamen physischen und digitalen Lebenszyklen. Digitalisierung und Automatisierung ermöglichen Produktivitätssteigerungen durch eine Substitution von Arbeitstätigkeiten und Erhöhung der Produktivität der Beschäftigten. Die Reduzierung von Liefer- bzw. Durchlaufzeiten bleibt ein wichtiges Ziel, hinzu kommen Innovationen, kundenindividuelle Produkte herzustellen, Kostenführerschaft und Innovationshöhe bei hoher Produktqualität.

Unternehmen müssen Produkte schneller an den Markt bringen, Modellzyklen werden kürzer. Verlangt werden höhere Flexibilität, kleine Stückzahlen bis herunter zu Losgröße 1 bei hoher Qualität und hoher Effizienz. Studien z.B. vom VDI / Fraunhofer sehen positive Auswirkungen auf die Rückverlagerung von Produktionskapazitäten nach Deutschland. In der Digitalisierung «fortgeschrittene» Betriebe weisen eine höhere Arbeitsproduktivität auf und holen häufiger Teile der Produktion zurück.

**Abschnitt 1.11** beschreibt die Zielsetzungen eines durchgängigen Engineerings und dessen wichtige Rolle bei Industrie 4.0. Die intelligente Rückführung der Daten führt zu technischen und wirtschaftlichen Vorteilen. Durch die horizontale und vertikale Integration der Bereiche erzielt man neue Effekte bei einer ganzheitlichen Optimierung. Heutige Vernetzungstechniken erlauben bereits im CAD-System Zugriff auf Ressourcen – Informationen aus der Fertigung, die eine neue Art der Kostenreduzierung möglich machen. Durch eine fertigungsgerechte Konstruktion ist ein optimierter Prozess möglich, ebenfalls können bereits der Arbeitsplan und die Kalkulation aus dem 3D-Bauteilmodell im CAD abgeleitet werden (siehe Abschnitt 4.2). Über Geometrieerkennungen (*Automatic Feature Recognition*) können automatisiert NC-Programme für Alternativmaschinen erstellt werden. Dadurch erhält man in der Produktion die Flexibilität, um Durchlaufzeiten zu reduzieren. Informationen können in übergeordnete Systeme zurückfließen, mittels Daten aus der Maschine einen Verbesserungsprozess in Produktionslogistik und im technischen Bereich für die Optimierung in Konstruktion und NC-Programmierung unterstützen. Eine vernetzte Lösung führt zu einer stetigen Produkt- und Herstellkostenreduzierung, um kleine Losgrößen kosteneffizient zu fertigen.

## Kapitel 2: Entwicklungsprojekte und Organisationsformen

Ziele von Hauptkapitel 2 und den dortigen Einzelbeiträgen sind organisatorische Themenstellungen in Entwicklung und Konstruktion mit den Zielen gute Ergebnisse, Vermeidung unnötigen Aufwands und kurze Bearbeitungszeiten.

**Abschnitt 2.1** zeigt, wie richtig strukturierte F&E-Vorhaben sich im Innovationsprozess zuverlässig planen und steuern lassen. Der Beitrag behandelt dabei eher die in der Praxis überwiegenden Fälle mit einem Fluss von kleineren (inkrementellen) Neuerungen als die selteneren radikalen Innovationen. Der Unterschied liegt im Neuheitsgrad der Technologie und damit der Innovation für den Markt sowie das Unternehmen. Mit zunehmendem Neuheitsgrad verändern sich die Anforderungen an das Unternehmen, da die Planbarkeit des Aufwands an Zeit und Kosten zunehmend schwieriger wird.