

Produktintegritätskonzept zum Einsatz in Concurrent Engineering

Vom Fachbereich Maschinenbau
der Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur
genehmigte
Dissertation

von
Dipl.-Ing. Wulf Wiendl
geboren am 05.11.1969 in Vechta

2000

1. Referent:
2. Referent:
Tag der Promotion:

Prof. Dr.-Ing. H.-H. Gatzen
Prof. Dr.-Ing. G. Redeker
24. November 2000

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Graduiertenkollegs „Vernetzte Entwicklung umweltgerechter Produkte und Prozesse“ am Institut für Mikrotechnologie der Universität Hannover.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. H.-H. Gatzen, dem Leiter des Instituts für Mikrotechnologie und Sprecher des DFG-Graduiertenkollegs „Vernetzte Entwicklung umweltgerechter Produkte und Prozesse“, für seine fachliche Unterstützung. Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Redeker, Leiter des Instituts für Qualitätssicherung der Universität Hannover, danke ich für die Übernahme des Korreferates. Ferner gilt mein Dank dem Vorsitzenden der Prüfungskommission, Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. H.-P. Wiendahl, Leiter des Instituts für Fabrikanlagen der Universität Hannover, für das der Arbeit entgegengebrachte Interesse.

Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Ehlers, Lehrbeauftragter am Institut für Regelungs- und Automatisierungstechnik der Technischen Universität Braunschweig, für die zahlreichen Anregungen und wertvollen Hinweise. Außerdem möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Y.-H. Kluge bedanken, der durch fachliche Unterstützung und zahlreiche Diskussionen wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

Besonderer Dank gilt meinen lieben Eltern, die meine technischen Fähigkeiten stets gefördert und mir eine entsprechende Ausbildung ermöglicht haben, die die Grundlage für diese Arbeit war.

Abschließend möchte ich meiner lieben Frau Sonja danken, die mich in unermüdlicher Weise in all den Jahren unterstützt hat und mir stets zur Seite stand.

Abstract

Produktintegritätskonzept zum Einsatz in Concurrent Engineering

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Produktintegritätskonzept zur Echtzeitqualifizierung innerhalb komplexer Entwicklungsumgebungen vorgestellt. Es stellt einen proaktiven Ansatz zur objektiven Bewertung des Entwicklungsfortschrittes in jeder Phase der Entwicklung dar. Für die Erstellung des Konzeptes ist neben den Ausführungen zum Entwicklungsinnovationsgrad die Definition des Begriffes Produktintegrität von zentraler Bedeutung. Die Produktintegrität umfasst dabei Maßnahmen zur Ausübung einer Gewissensfunktion während der Entwicklung, um alle denkbaren Produktanforderungen so früh wie möglich berücksichtigen und durch den Entwicklungsprozess entsprechend umsetzen zu können. Das Produktintegritätskonzept sieht ausgehend von den Anforderungen an das Produkt durch festgelegte Analyse- und Qualifizierungsphasen eine durchgängige Bewertung aller Aspekte bis zur Serienreife des Produktes in Echtzeit vor, wobei die umfassende Beurteilung der Entwicklungsergebnisse den Schwerpunkt darstellt.

Schlagworte: Concurrent Engineering, Produktintegrität, Echtzeitqualifizierung

Product Integrity Program for Concurrent Engineering

The Product Integrity Program is a new approach to Real Time Qualification within the integrated Concurrent Engineering development process. This concept is a proactive way to measure the development effort throughout the whole product development process objective right from the beginning. For this the Development Innovation Degree and the definition of Product Integrity are the key aspects of this concept. Product Integrity serves as the conscience of the development process to consider all elements of the product and their related processes as early as possible. Throughout the development process the Product Integrity Program evaluates almost in real time the transformation of stated and implied requirements into concrete functions and models of the product through defined analyses and qualification procedures until the start of production.

Keywords: Concurrent Engineering, Product Integrity, Real Time Qualification

1	Einleitung	1
2	Stand der Kenntnisse	3
2.1	Grundlagen der Produktentwicklung	3
2.1.1	Der Produktlebenszyklus	3
2.1.2	Bedeutung der Produktentwicklung	4
2.1.3	VDI-Richtlinie 2221	5
2.1.4	Produktdefinition	7
2.1.5	Komplexität und Innovation	9
2.1.6	Der klassische Entwicklungsprozess	10
2.2	Concurrent Engineering (CE)	12
2.2.1	Historischer Hintergrund	12
2.2.2	Definition von Concurrent Engineering	13
2.2.3	Simultaneous Engineering versus Concurrent Engineering	17
2.2.4	Der Concurrent Engineering-Entwicklungsprozess	18
2.3	Ganzheitliche Betrachtung der Qualität	19
2.3.1	Der Qualitätsbegriff	19
2.3.2	Total Quality Management (TQM)	21
2.3.3	Die Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff.	23
2.4	Methoden des Qualitätsmanagements	25
2.4.1	Quality Function Deployment (QFD)	27
2.4.2	Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluss-Analyse (FMEA)	30
2.4.3	Statistische Versuchsplanung (DoE)	33
2.4.4	Design Review (DR)	37
2.5	Produktintegrität (PI)	39
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung	43
4	Vorgehensweise	44
5	Erarbeitung des Produktintegritätskonzeptes	46
5.1	Rahmenbedingungen	46
5.1.1	Entwicklungsinnovationsgrad	46
a)	Stand der Technik	47
b)	Evolutionäre Entwicklung	48
c)	Revolutionäre Entwicklung	48
5.1.2	Der evolutionäre CE-Entwicklungsprozess	49
5.1.3	Definition von Produktintegrität	52
5.2	Systematik des Produktintegritätskonzeptes	56
5.3	Produktintegritätsgruppe (PI-Gruppe)	60
5.3.1	Integration in die Unternehmensorganisation	61
5.3.2	Integration in den Entwicklungsprozess	63
5.4	Produktintegritätsmaßnahmen	65

5.4.1	Produktintegritäts-Analyse	67
a)	Pflichtenheft-Analyse	68
b)	Verstehen der Entwicklungsansätze	77
5.4.2	Produktintegritäts-Qualifizierung	81
a)	Erstellung des Testplanes	83
b)	Testausführung	85
c)	Testdokumentation	89
5.5	Concurrent Qualification (CQ)	92
5.5.1	PI-Maßnahmen im CE-Entwicklungsprozess	93
5.5.2	Produktintegritäts-Regelkreis	93
6	Anwendung des Produktintegritätskonzeptes	96
6.1	Ausgangssituation	96
6.2	PI-Gruppe	98
6.3	Frühentwicklungsphase	99
6.3.1	Pflichtenheft-Analyse	100
6.3.2	Stromlaufplan- und Schaltungslayout-Analyse	101
6.3.3	Testplanerstellung	103
a)	Matrix-Testplan	104
b)	Standard-Qualifizierungsplan	105
6.3.4	Testübersichten	106
6.3.5	Testvorschriften	107
6.4	Kernentwicklungsphase	109
6.4.1	Testausführung	110
6.4.2	Testbericht	111
6.4.3	Statusbericht	112
6.4.4	Entwicklungsmuster- und Werkzeugmuster-Design Review	113
6.5	Schlussbetrachtung	115
7	Zusammenfassung	118
8	Literatur	120
9	Anhang	129

1 Einleitung

Steigender Wettbewerbsdruck hinsichtlich Zeit, Kosten und Qualität erfordert bei immer komplexer werdenden Produkten effektive und effiziente Entwicklungsprozesse, die durch Methoden der Konstruktion, der Organisation und des Qualitätsmanagements unterstützt werden. In der Produktentwicklung werden ca. 60 - 80% der Produktkosten, der Produktqualität und alle anderen Produkteigenschaften festgelegt [EHR95]. Fehler und Unzulänglichkeiten besonders in den frühen Phasen der Entwicklung und Konstruktion treten oft erst in den nachfolgenden Phasen der Produktentstehung auf. Dabei steigen die Kosten für die Beseitigung der Fehler und Schwachstellen von Phase zu Phase exponentiell an [REI96]. Wegen der wachsenden Bedeutung eines frühen Markteintrittes und immer kürzeren Entwicklungszeiten wird der Fehlervermeidung gerade in den frühen Phasen der Produktentwicklung eine besondere Bedeutung zugemessen.

Die Anwendung der Methoden des Concurrent Engineering bietet insbesondere im Bereich der Hochtechnologiebranche mit ihrem hohen Innovationsgrad großes Potential zur Reduzierung von Entwicklungszeiten und -kosten bei gleichzeitig gesteigerter Qualität der Produkte. Weitreichende wissenschaftliche Ansätze zur Verbesserung der Produktqualität, kombiniert mit dem Ziel, die Zeit bis zur Markteinführung des Produktes, die „Time to Market“, deutlich zu reduzieren, gibt es vor allem im Bereich des Qualitätsmanagements. Allerdings wird gerade der Bereich der Produkt- und Prozessentwicklung größtenteils hiervon ausgenommen. Es fehlt an Konzepten, die insbesondere eine Verbesserung und Bewertung der Umsetzung der Produkthanforderungen schon von Beginn der Entwicklung an vorsehen. In diesem Zusammenhang spielt die Qualifizierung des zu entwickelnden Produktes eine übergeordnete Rolle zur anforderungsgerechten und damit kundenorientierten Produktentwicklung. Es muss nach Maßnahmen gesucht werden, die möglichst praxisgerecht auf die Verbesserung der Qualifizierungsmaßnahmen im Entwicklungsbereich abzielen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll daher ein Beitrag zum weitreichenden Verständnis der Produktqualifizierung im Bereich der Entwicklung geleistet werden. Der Gesichtspunkt der Echtzeitqualifizierung ist diesbezüglich von herausragender Bedeutung. Darunter wird verstanden, dass im Sinne eines proaktiven Vorgehens die Voraussetzung geschaffen wird, jederzeit Aussagen zum Entwicklungsstand machen zu können. Dazu wird ein Produktintegritätskonzept als umfassendes Qualifizierungsprogramm zum Einsatz in Concurrent Engineering entwickelt, das alle Qualifizierungsmaßnahmen für die gesamte Produktentwicklungsphase beinhaltet. Der Begriff

Produktintegrität stellt die Grundlage für das Konzept dar. Darunter wird eine Gewissensfunktion für den Entwicklungsprozess verstanden, die es erlaubt, durch die objektive Ermittlung des Entwicklungsstandes jederzeit Aussagen zum jeweiligen Status zu machen. Diese Sichtweise entspricht der Anforderung an eine durchgängige und fortlaufende Produktqualifizierung.

Die Anwendung des Produktintegritätskonzeptes im Rahmen von Concurrent Engineering erlaubt die umfassende Berücksichtigung aller erforderlichen Aspekte eines Produktes bereits in den frühen Entwicklungsphasen. Durch die objektive, zeitnahe Ermittlung des Entwicklungsfortschrittes kombiniert mit einem verbesserten Kommunikations- und Abstimmungsprozess zwischen den beteiligten Unternehmensbereichen wird eine effektive Vorgehensweise bei der Produktentwicklung ermöglicht, um zu einem schneller entwickelten und gleichzeitig besseren Produkt zu gelangen, das alle Kundenerwartungen trifft.

2 Stand der Kenntnisse

2.1 Grundlagen der Produktentwicklung

2.1.1 Der Produktlebenszyklus

Zum Produktentwicklungsprozess werden alle Tätigkeiten gerechnet, die erforderlich sind, um von der Produktidee zum einem serienreifen Produkt zu gelangen [KNI97]. Er gliedert sich in die beiden Hauptphasen Entwicklung des Produktes (Entwicklung und Konstruktion) und Entwicklung der Fertigungsprozesse (Fertigungsplanung und -vorbereitung). In diesen beiden Phasen werden die wesentlichen Merkmale des Produktes für seinen weiteren Lebenslauf festgelegt. Bild 2.1 verdeutlicht diesen entscheidenden Stellenwert innerhalb des Produktlebenszyklus und die für die Produkt- und Fertigungsprozessentwicklung wichtigen Informationsflüsse.

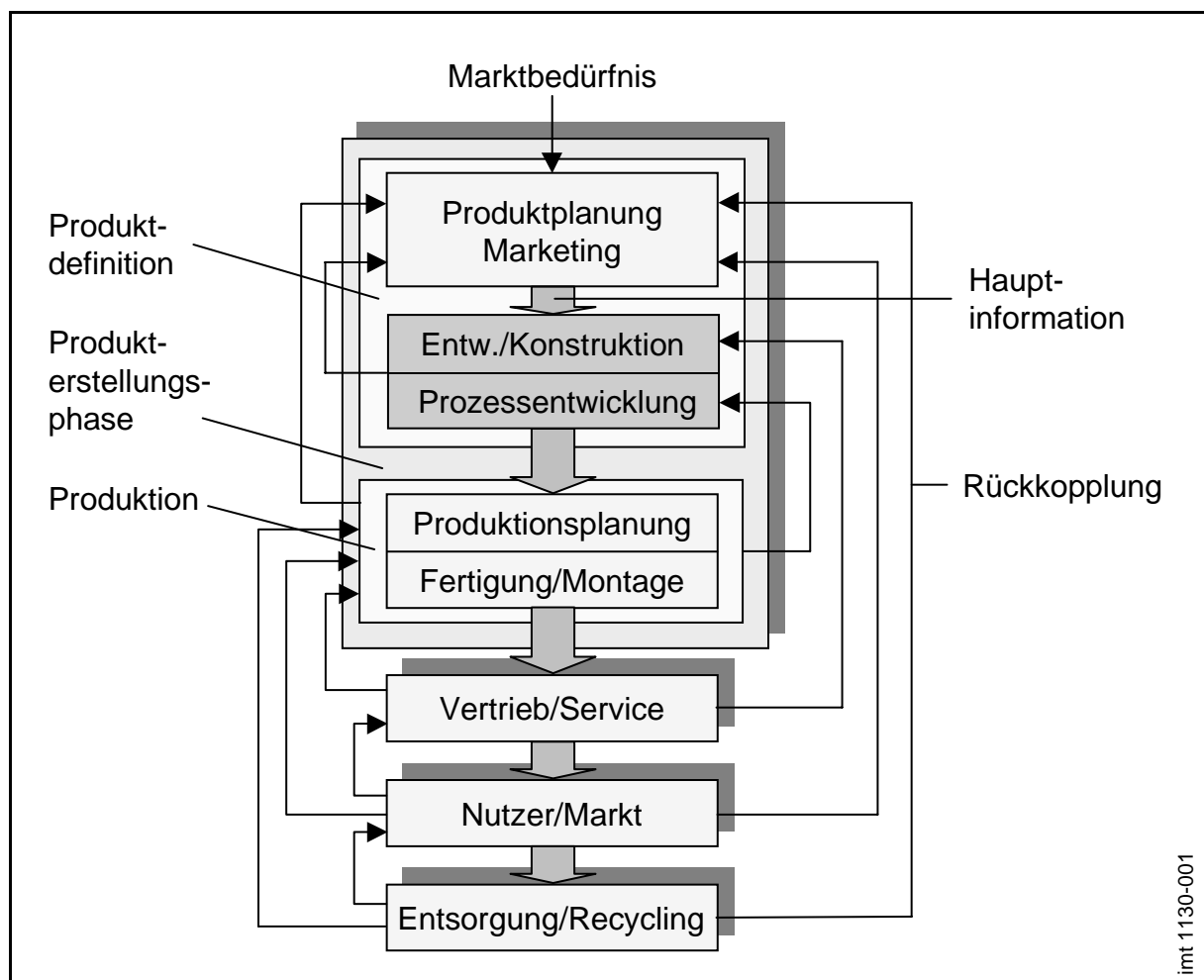


Bild 2.1: Informationsfluss im Produktlebenszyklus [nach RE196]

Die zentrale Bedeutung von Entwicklungs- und Konstruktionsprozess und Fertigungsprozessentwicklung für den gesamten Produktentstehungs-, Produktnutzungs- und Produktrecyclingprozess wird deutlich. Denn gerade in diesem Bereich werden die Ergebnisse und Erfahrungen der vor- und nachgeschalteten Phasen für die Produktentwicklung umgesetzt, das heißt eine erfolgreiche Produktentwicklung hängt stark von den Informationsflüssen zum und vom Umfeld ab [REI96]. Am Anfang des Produktlebenszyklus stehen die Marktbedürfnisse, die analysiert und in technische Aussagen bzw. Daten übersetzt werden. Diese bilden in Verbindung mit der Unternehmensstrategie die Grundlage für die Produktentwicklung. Im Entwicklungs- und Konstruktionsbereich erfolgt anschließend eine Produktkonkretisierung bis hin zur Produktdokumentation, so dass in den nachfolgenden Schritten die Erstellung der Fertigungseinrichtungen und die Produktion erfolgen kann. Über den Vertrieb gelangt das Produkt zum Kunden. Erst während der Nutzungsphase beim Kunden stellt sich heraus, ob das Produkt den gewünschten Anforderungen entspricht und ob die in der Produktdefinitionsphase angenommenen Kundenforderungen in geeignete Leistungsmerkmale umgesetzt werden konnten. Die letzte Produktlebensphase, das Recycling und die Entsorgung, gewinnt infolge gesetzlicher Auflagen und gestiegenem Umweltbewußtsein des Kunden zunehmend an Bedeutung und muss daher schon in der Produktdefinitionsphase entsprechend berücksichtigt werden [VDI93b]. Gerade diese Rückkopplung der Informationen ist eine wesentliche Voraussetzung für kundengerechte Produkte, denn bei der Produktplanung müssen die zukünftigen Anforderungen an das Produkt abgeschätzt und definiert werden [VDI93a].

2.1.2 Bedeutung der Produktentwicklung

Die wettbewerbsfähige Herstellung von immer komplexeren Produkten wird entscheidend von der Leistungsfähigkeit des Entwicklungsprozesses beeinflusst. In der Produktentwicklung werden etwa 60 - 80 % der Produktkosten, der Produktqualität sowie alle anderen Produkteigenschaften festgelegt [WIL97]. Fehler entstehen größtenteils in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses, da hier das Wissen über das neue Produkt in der Regel noch sehr gering ist. Wird ein Fehler bereits während der frühen Entwicklungsphase erkannt, ist die Behebung relativ einfach und deshalb auch mit geringen Kosten verbunden [HIL97]. Gelangt ein Fehler jedoch unentdeckt bis zur Serienproduktion, sind äußerst aufwendige Nacharbeiten erforderlich, um das Ausmaß des Schadens zu verringern [KRO95]. Der Schwerpunkt der Fehlerbehebung und damit die Höhe des Änderungsaufwandes liegt in den späten Phasen des Produktentstehungsprozesses im Bereich von Fertigung und Montage [ZIN95]. Die Kosten zur Behebung von Fehlern steigen mit fortschreitender Entwicklungsdauer exponentiell

an. In der Praxis spricht man von der sog. Zehnerregel, die die Kosten zur Fehlerbehebung in Abhängigkeit der Phasen der Fehlerentdeckung beschreibt [VDI94]. In Bild 2.2 ist der Zusammenhang zwischen der Fehlerentstehung und der Fehlerbehebung in Bezug zu den Fehlerkosten dargestellt.

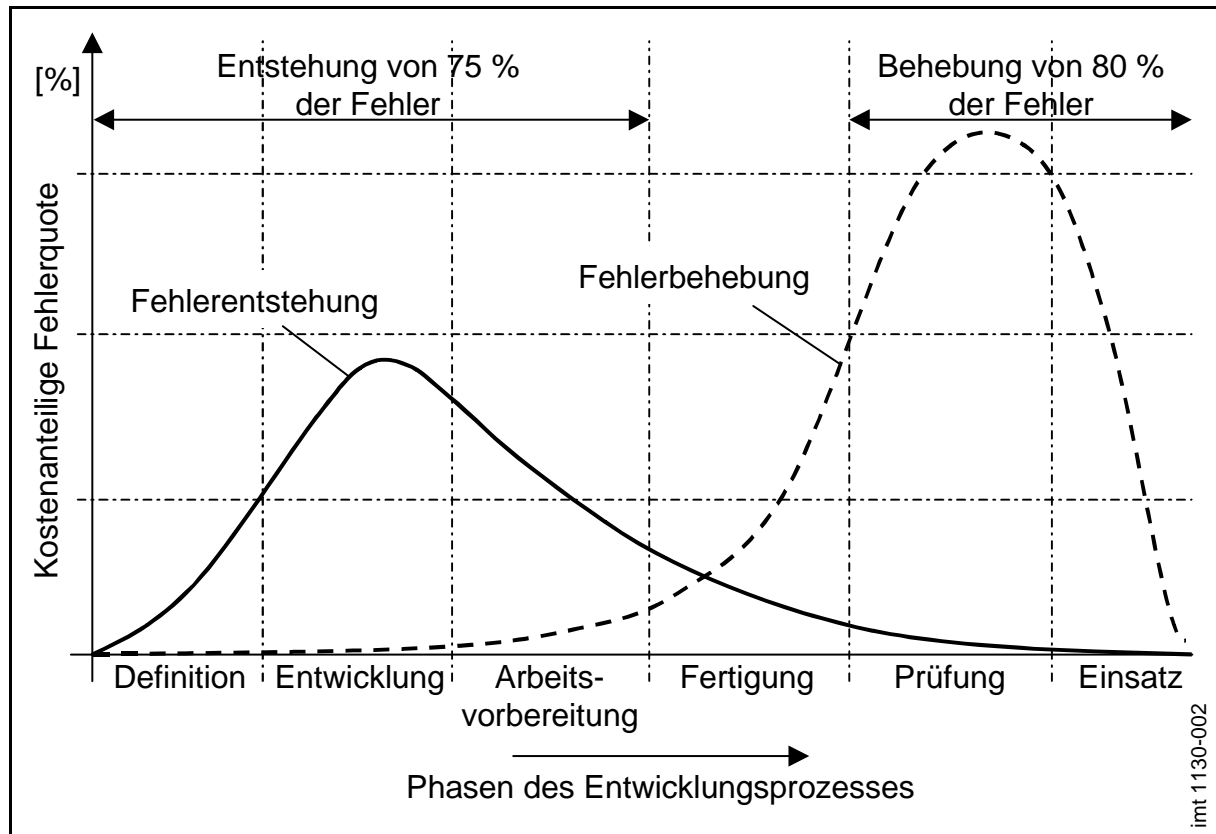


Bild 2.2: Fehlerentstehung, -behebung und -kosten [VDI94]

2.1.3 VDI-Richtlinie 2221

Der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl von zu lösenden Aufgaben, unternehmensspezifischer Randbedingungen sowie marktseitiger und arbeitstechnischer Entwicklungstendenzen. Eine Strukturierung der wesentlichen Zusammenhänge und daraus ableitbaren Arbeitsanweisungen kann mit Hilfe zahlreicher VDI-Richtlinien vorgenommen werden. Die VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ [VDI93a] behandelt allgemeingültige, branchenunabhängige Grundlagen des methodischen Entwickelns und Konstruierens und definiert Arbeitsabschnitte und Arbeitsergebnisse, die Leitlinien für ein Vorgehen in der Praxis sein können. Der ablauforientierte Vorgehensplan der VDI-Richtlinie 2221 ist in Bild 2.3 dargestellt.

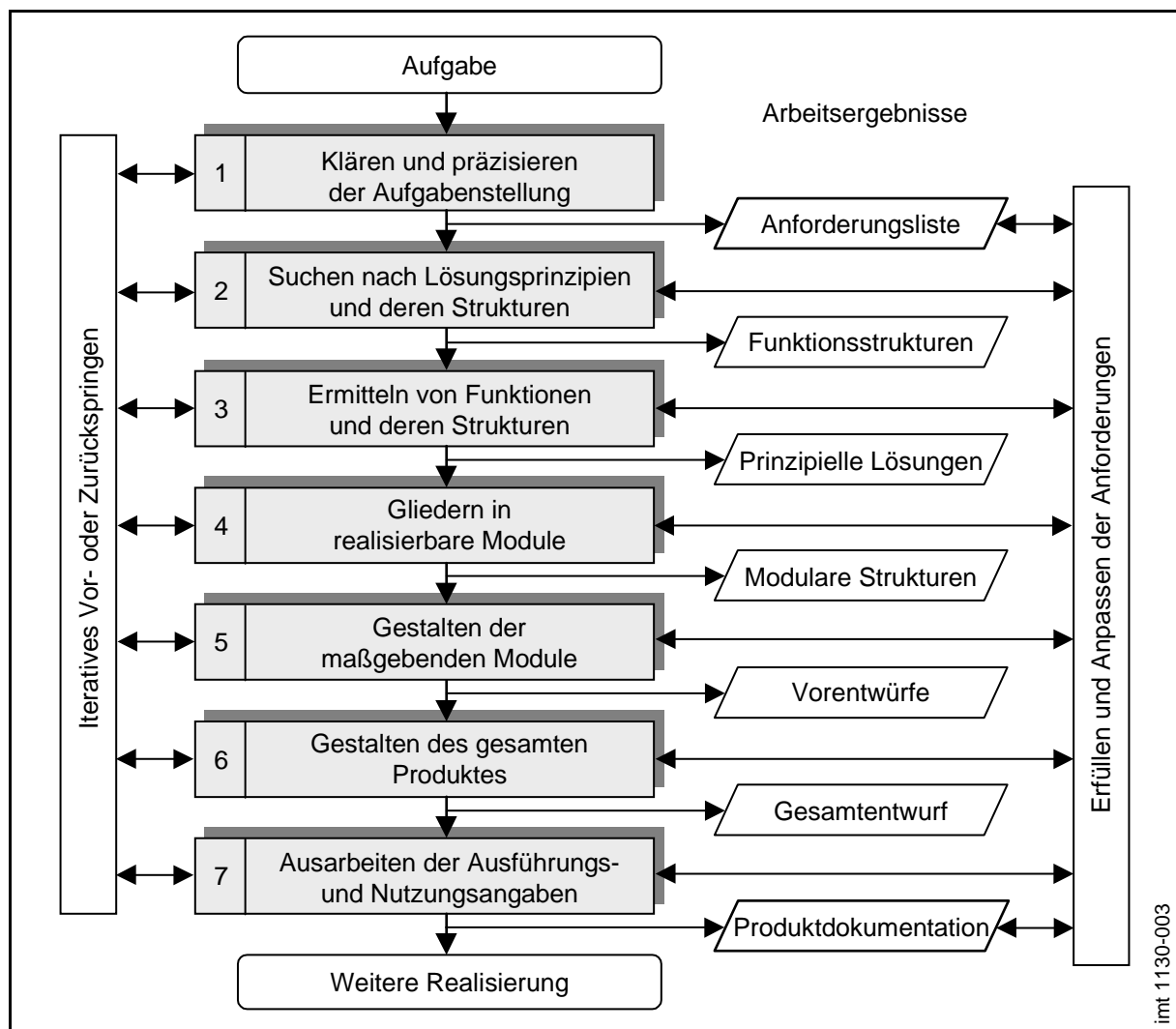


Bild 2.3: VDI-Richtlinie 2221 [VDI93a]

Der Vorgehensplan sieht im Zuge der Produktentwicklung sieben grundlegende aufeinanderfolgende Arbeitsabschnitte vor. Bei der praktischen Anwendung des Vorgehensplans muss dieser jedoch an die jeweiligen branchen-, unternehmens- und produktspezifischen Aufgaben angepasst werden [REI96]. Nach der VDI-Richtlinie 2221 werden die Ergebnisse (Dokumente) für jeden Arbeitsschritt definiert, wobei sich mehrere Arbeitsschritte auch zusammenfassen lassen [VDI93a].

Die beschriebenen Arbeitsschritte werden je nach Aufgabenstellung vollständig, nur teilweise oder mehrmals iterativ durchlaufen [REI96]. Das heißt der Ablauf der Arbeitsschritte ist nicht starr, sondern erfolgt in der Regel durch Überspringen einzelner Arbeitsschritte oder Zurückspringen zu vorhergehenden Schritten, um so schrittweise eine Optimierung zu erreichen [VDI93a]. Eine methodische Unterstützung der zeitlichen und inhaltlichen Koordination der parallelen und iterativen Prozesse bietet die

Richtlinie aber nicht. Da nur eine einstufige Gliederung vorgesehen ist, kann die Struktur komplexer Produktentwicklungsaufgaben nicht detailliert wiedergegeben werden [SCH94]. Die VDI-Richtlinie 2221 ist daher nur als Leitlinie für den Entwicklungs- und Konstruktionsprozess zu verstehen, zu der sich detaillierte Arbeitsabläufe zuordnen lassen [PAH93]. Die Vorgehensweise der VDI-Richtlinie ist bezüglich der Detaillierungsstufen des entwickelnden Produktes strikt festgelegt. Sie ist damit insofern ein wenig abstrakter Ablauf, denn sie gibt je nach Detaillierungsgrad und Phase des Entwicklungsprozesses vor, welche aufeinanderfolgenden Schritte beim Entwickeln und Konstruieren vorzunehmen sind. Die VDI-Richtlinie ist streng ablauforientiert und bietet bei ihrem Einsatz wenig flexible Vorgehensschritte. Es ist daher fraglich, ob diese Vorgehensweise bei einer komplexen Concurrent Engineering-Entwicklung ein geeignetes Werkzeug darstellt, um eine optimale Produktentwicklung zu unterstützen.

2.1.4 Produktdefinition

Eine detaillierte Definition des Produktes ist für eine erfolgreiche Produktentwicklung entscheidend, da eine ungenügend abgestimmte Festlegung der Anforderungen an das Produkt vor Entwicklungsstart zwangsläufig zu Änderungen der Aufgabenstellung während des Produktentwicklungsprozesses führt. Dies hat lange Entwicklungszeiten zur Folge, bei denen sich die Produkthanforderungen wiederholt ändern können. Bevor mit der Entwicklung eines Produktes begonnen werden kann, müssen die Anforderungen an das Produkt geklärt und verbindlich festgehalten werden. Ausgehend von einer Produktidee oder kundenseitiger Vorgaben beginnt der Prozess der Produktdefinition. Das Marketing beschreibt das zu planende Produkt aus der Sicht und in der „Sprache des Kunden“. Diese Kundenanforderungen sind im sog. Lastenheft dokumentiert. Nach DIN 69905 [DIN97] liefert das Lastenheft die gesammelten Kundenanforderungen an das zukünftige Produkt. Damit enthält das Lastenheft die Produkthanforderungen aus Anwendersicht einschließlich aller Randbedingungen. In der Konzept- oder Produktdefinitionsphase erfolgt die Übertragung der Kundenanforderungen in die Produkthanforderungen. Diese werden in einem Dokument festgehalten, das in der Regel Pflichtenheft genannt wird. Das Pflichtenheft ist nach DIN 69905 [DIN97] das erarbeitete Realisierungsvorhaben aufgrund der Umsetzung des Lastenheftes. Im Pflichtenheft werden die Kundenvorgaben detailliert und die Produkthanforderungen unter Berücksichtigung konkreter Lösungsansätze beschrieben.

In vielen Unternehmen wird bezüglich der Kundenanforderungen keine eindeutige Terminologie verwendet. Es werden entweder unterschiedliche Begriffe für Lasten- und Pflichtenheft benutzt, oder es gibt keine festgelegten Begriffe für die Dokumentation der Produkthanforderungen. Gemäß VDI-Richtlinie 2221 (s.a. Kapitel 2.1.3) ist statt

Pflichtenheft auch der Begriff Anforderungsliste gebräuchlich. Den Kernbereich eines Pflichtenheftes stellen die angestrebten technischen Daten des zu entwickelnden Produktes dar. In der Computertechnik wird aus diesem Grund nur von Spezifikation gesprochen. Diese bezieht sich ausschließlich auf die für die Entwicklung erforderlichen technischen Daten des Produktes. In der Automobilindustrie werden bei der Erstellung des Pflichtenheftes neben den technischen Daten auch Informationen, die das Produkt über seinen gesamten Produktlebenszyklus von der Entwicklung und Herstellung über den Gebrauch bis zur Rücknahme und Recycling kennzeichnen, mit in das Pflichtenheft aufgenommen [LIN95]. Auch aus diesem Grund ist es wichtig, dass alle vom Produktlebenszyklus betroffenen Bereiche an der Erstellung des Pflichtenheftes mitwirken. Dadurch lässt sich ein hoher Konsens der Anforderungsdefinition herstellen und der spätere Abstimmungsbedarf auf ein Minimum reduzieren. Während der Produktdefinitionsphase, und nur dann, können auch innovative Lösungen und Techniken festgelegt werden, die in das Projekt einfließen sollen [HER96b]. Diese müssen allerdings zuvor auf ihre Machbarkeit hin untersucht werden. Bereiche, die in einem umfassenden Pflichtenheft, neben den rein technischen Daten, als Kernbereich Berücksichtigung finden sollten, sind in Bild 2.4 dargestellt.

Alle Daten der endgültigen Produktdefinition sind Vorgaben und stellen verbindliche Verpflichtungen für den weiteren Produktentstehungsprozess dar. Sie sind damit die Basis für alle an der Entwicklung Beteiligten, an die sich jeder zu halten hat. Eine Änderung des Pflichtenheftes während der Projektablaufzeit bezeichnet Lincke [LIN95] dementsprechend als Managementfehler. Nach Eversheim [EVE95] besteht jedoch eine ständige Notwendigkeit eines Abgleiches der Produktmerkmale mit den Marktanforderungen, da diese sich vor allem bei langen Produktentstehungszeiten verändern können und deshalb als variabel zu betrachten sind. Basierend auf einem zu Beginn der Entwicklung erstellten Pflichtenheft, welches die Kernanforderungen des neuen Produktes enthält, erfolgt eine sukzessive Ergänzung und Vervollständigung der Spezifikationen, um den sich laufend ändernden Anforderungen des integrierten Produktentstehungsprozesses zu genügen [EHL00]. In diesem Zusammenhang wird von einem dynamischen Pflichtenheft gesprochen. Erst nach einem sog. „Freeze-Point“ wird das Pflichtenheft eingefroren. Häufig fällt dieser Zeitpunkt mit der Abnahme eines Prototypen zusammen.

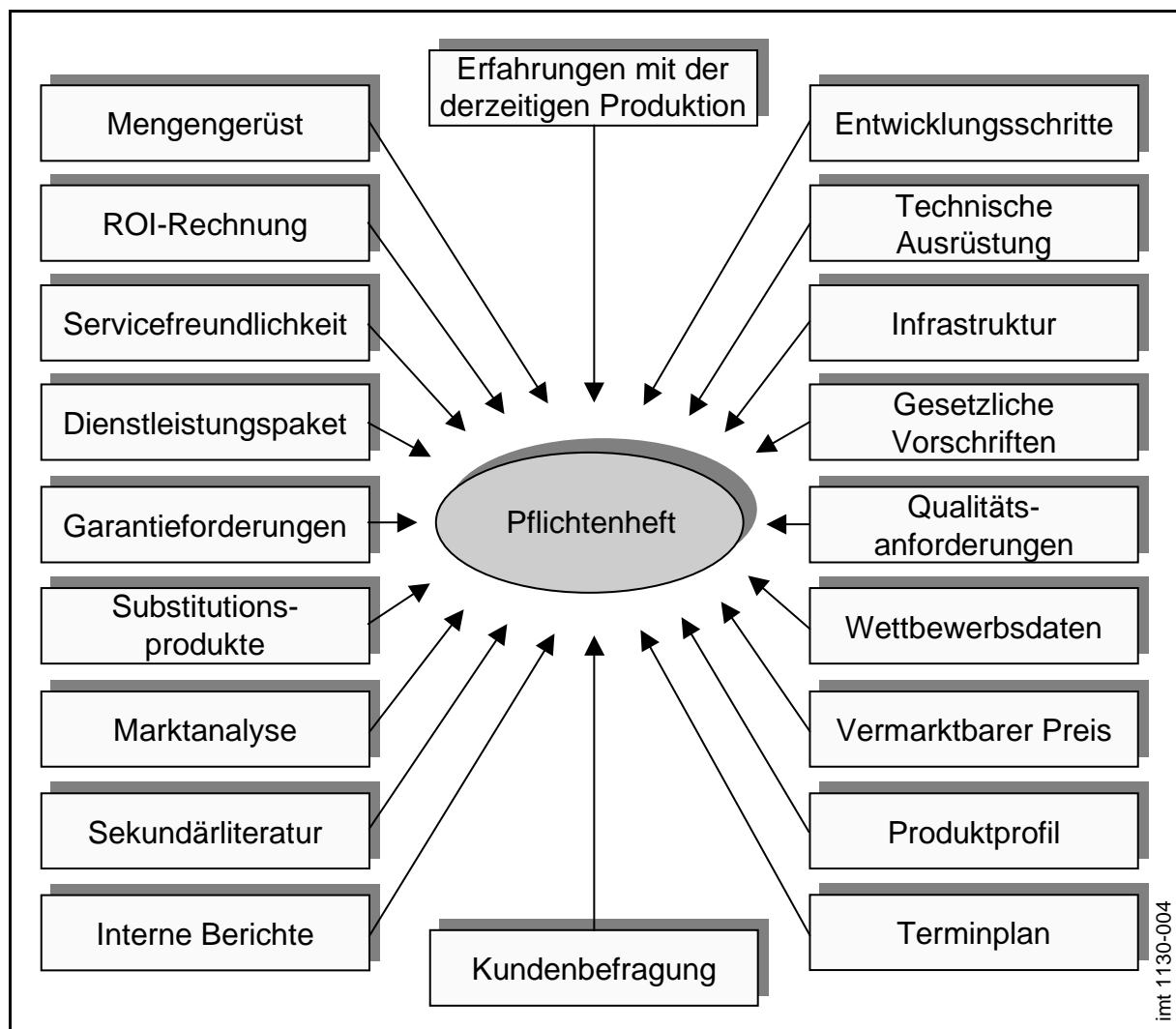


Bild 2.4: Bereiche eines Pflichtenheftes [HER96b]

2.1.5 Komplexität und Innovation

Der Begriff der Komplexität wird in der Literatur auf unterschiedliche Weise definiert. Unter Komplexität im Sinne der Systemtheorie wird die Anzahl der relevanten Elemente und Beziehungen eines Systems verstanden [HUM93]. Komplexe Systeme zeichnen sich durch die Vielzahl unterschiedlicher Relationen aus. Als Maß für die Komplexität wird die Anzahl und Art der Elemente sowie die Anzahl und Art der Verknüpfungen zwischen den Elementen verstanden. Ein wesentlicher Faktor für die Komplexität ist die Art und Anzahl der Rückkopplungen. Eine Rückkopplung liegt dann vor, wenn das Ergebnis eines Prozesses Einfluss auf seine Eingangsgröße hat. Bei großer Vielzahl und Vielfältigkeit der Rückkopplungen spricht man nicht mehr von einzelnen Rückkopplungen, sondern von komplexen Systemen [HEI95]. Die hiermit in Zusammenhang stehende Dynamik ist ein wesentlicher Bestandteil der Komplexitäts-

definition, wodurch der sich ständig ändernde Zustand beschrieben wird [GRÜ96]. Der Zustand komplexer Systeme, bei denen sich Anzahl und Eigenschaften der Elemente und Beziehungen mit der Zeit verändern, ist in der Regel nicht bzw. nur teilweise prognostizier-, berechnen- und reproduzierbar.

Die Komplexität bezüglich der Produktentwicklung lässt sich an verschiedenen Merkmalen verdeutlichen, die für sich oder in Kombination auf eine mehr oder weniger hohe Produktkomplexität hinweisen [OEH96, EHL99]:

- Anzahl der das Produkt bestimmenden Komponenten und Zusammenhänge.
- Anteil unterschiedlicher, die Redundanz innerhalb der Produktlösung verringern-der Komponenten.
- Anteil nicht trivialer Zusammenhänge zwischen Komponenten, etwa als rückgekoppelte, dynamische oder nicht lineare Abhängigkeiten.
- Anzahl der durch das Produkt zu erfüllenden unterschiedlichen Funktionen.
- Zahl der Abteilungen und Stellen, die sich an der Entwicklung beteiligen, um den Umfang und die Vielfalt der Aufgabenstellung zu beherrschen.
- Dauer der Produktentwicklung, sofern kein Forschungscharakter besteht.

Die Produktkomplexität führt ferner oftmals zu hoher Komplexität der Prozessentwicklung, ist aber nicht immer zwangsläufig damit in Verbindung zu bringen. Voraussetzung dafür ist die Erstmaligkeit des Produktes im Sinne einer neuen Lösung, charakterisiert durch den Begriff Neukonstruktion oder auch Prototyp. Anpassungs-, Baukasten- oder Variantenkonstruktionen beruhen dagegen auf der Wiederholung und Wiederverwendung bestehender (Teil-)Lösungen und erlauben damit eine Vereinfachung des Realisierungsprozesses unter Beibehaltung der Produktkomplexität.

Innovationsprozesse sind kreative Vorgänge, die in der Regel erstmalig und folglich nur beschränkt plan- und formalisierbar sind. Ein wesentliches Merkmal von Innovationsprozessen ist die Unsicherheit der benötigten Informationen. Je kleiner diese Unsicherheit ist, desto planbarer gestaltet sich auch der Innovationsprozess. Innovationsprozesse in Unternehmen sind häufig in hohem Maße durch großen Zeitdruck gekennzeichnet, weil sich die Steuerung von Innovationsprozessen häufig an geplanten Markteinführungszeiten orientiert. Damit herrscht generell ein Konflikt zwischen der technologischen Umsetzung und der geplanten Markteinführung (Time to Market).

2.1.6 Der klassische Entwicklungsprozess

Der klassische Entwicklungsprozess ist in Bild 2.5 dargestellt. In Anlehnung an Tagu-

chis Robust Design Prozess (vgl. Kapitel 2.4.3) werden die Phasen Produkt- und Prozessentwicklung zum besseren Verständnis für die notwendigen Qualifizierungsschritte während des Entwicklungsprozesses jeweils in Konzept- Parameter- und Toleranzentwurf eingeteilt.

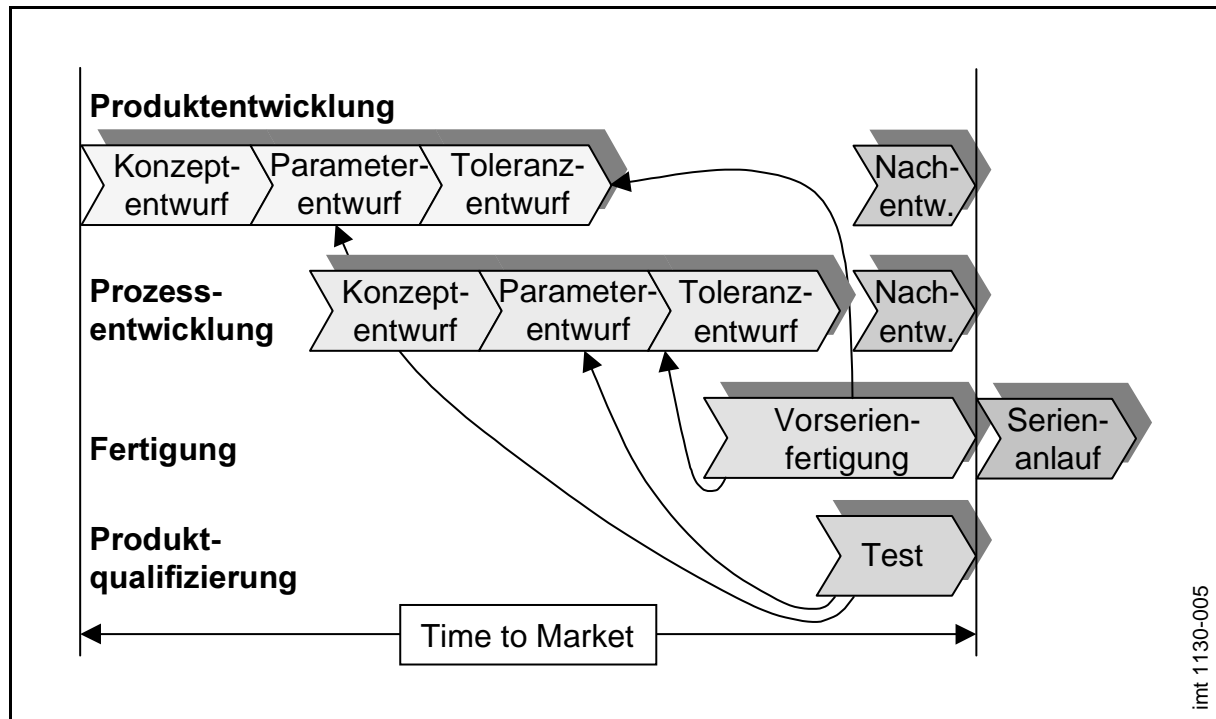


Bild 2.5: Klassischer Entwicklungsprozess [nach GAT98]

Die Phasen Produktentwicklung und Prozessentwicklung haben aufgrund der sequentiellen Abfolge ihrer Durchführung nur geringe Überlappung, so dass die fertigungsrelevanten Aspekte nicht schon in der Produktentwicklungsphase berücksichtigt werden können. Auffällig ist außerdem die sehr späte Einbindung der Produktqualifizierung. Nach Beendigung der Prozessentwicklung wird das Produkt erstmals in der Vorserienfertigungsphase so hergestellt und montiert, wie es später in Serie produziert werden soll. Durch die Vorserienfertigung wird damit der Toleranzentwurf verifiziert, und durch die anschließende Testdurchführung im Rahmen der Produktqualifizierung wird der Parameterentwurf überprüft. Hier zeigt sich, dass sowohl der erste Zusammenbau der Geräte als auch die Tests viel zu spät im Entwicklungsprozess angesiedelt sind. In der Regel führt dies zu einer zeitaufwendigen und kostenintensiven Nachbearbeitungsphase, der sich wiederum Montage und Test der überarbeiteten Geräte anschließen. Die Notwendigkeit einer späten Nachbearbeitungsphase ergibt sich damit zwangsläufig bei einem klassischen Entwicklungsablauf. Diese Iterationen enden erst mit der Freigabe der Serienfertigung.

2.2 Concurrent Engineering (CE)

2.2.1 Historischer Hintergrund

Die ersten Ansätze von Concurrent Engineering gehen bis in die Zeit vor den Zweiten Weltkrieg zurück. Die Ford Motor Company in den USA entwickelte bereits das Ford Model T, welches als zielgerichtetes Produkt für den Markt („A car for all the people“) konzipiert und mit neuen Fertigungsmethoden hergestellt wurde, in kleinen Teams, die sich nicht nur aus den Konstrukteuren, sondern auch aus erfahrenen Fertigungstechnikern zusammensetzten [DOO88]. Im Zweiten Weltkrieg ist die von Henry Ford etablierte Fertigungsphilosophie mit interdisziplinären Teams auf die Produktion von Rüstungsgütern übertragen worden [ZIE93]. Bei der kurzfristigen und flexiblen Entwicklung von Waffensystemen kamen diese Fertigungsansätze u.a. auch bei General Motors und Chrysler zum Einsatz [LAC86]. Der Begriff Concurrent oder Simultaneous Engineering wurde nicht gebraucht, da kleine, interdisziplinäre Entwicklungsteams in dieser Zeit keinesfalls die Ausnahme, sondern die Regel waren [PRA96].

In der Phase des prosperierenden Wirtschaftswachstums nach dem Krieg wurden die Entwicklungsmethoden von Ford in den USA schnell vergessen und an die Stelle der interdisziplinären Teams traten Abteilungen und Spezialisten, die isoliert arbeiteten und untereinander nur wenig kommunizierten [PRA96]. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden Strukturen eingeführt, die klare Aufgaben- und Kompetenztrennung zum Ziel hatten. Dazu wurde die Trennung der Organisation der immer komplexer werdenden Produktentwicklung in kleine, überschaubare Einheiten vollzogen, die nur noch sehr spezielle Teilbereiche des zu entwickelnden Produktes zu betrachten hatten. Die einzelnen Bereiche handelten völlig unabhängig und in Konkurrenz zueinander [ZIE93].

Nicht nur Ford, sondern die gesamte amerikanische Automobilindustrie befand sich in den späten 70er Jahren in einer schweren Krise, denn man erkannte, dass ihrer Produkte gegenüber ausländischen Importen nicht mehr wettbewerbsfähig waren. Die Wandlung zu einem gegenüber japanischen und europäischen Automobilherstellern konkurrenzfähigen Unternehmen vollzog sich bei Ford anhand der Entwicklung des Ford Taurus. Zielsetzung war die Entwicklung eines Kraftfahrzeuges, was bezügl. der Qualität mit den besten Importfahrzeugen bestehen konnte. Es wurde eine Abkehr von den bisher praktizierten Grundsätzen beschlossen, die die Verantwortlichen bei Ford erstmals als sequentiellen Prozess bezeichneten [DOO88]. Dazu führte Ford 1979 als erstes Unternehmen nach dem 2. Weltkrieg ein interdisziplinäres Entwicklungsteam, das sog. „Team Taurus“ ein. Durch die Bildung des „Team Taurus“ wich der sequenti-

elle Entwicklungsprozess einem simultanen Entwicklungsprozess. Es setzte sich aus Vertretern der vormals unabhängig voneinander agierenden Abteilungen Forschung und Entwicklung, Konstruktion, Fertigungsplanung, Logistik, Qualitätssicherung, Marketing, Einkauf, Finanzen und Service zusammen. Das „Team Taurus“ hatte dabei im wesentlichen vier Ziele (Bild 2.6).

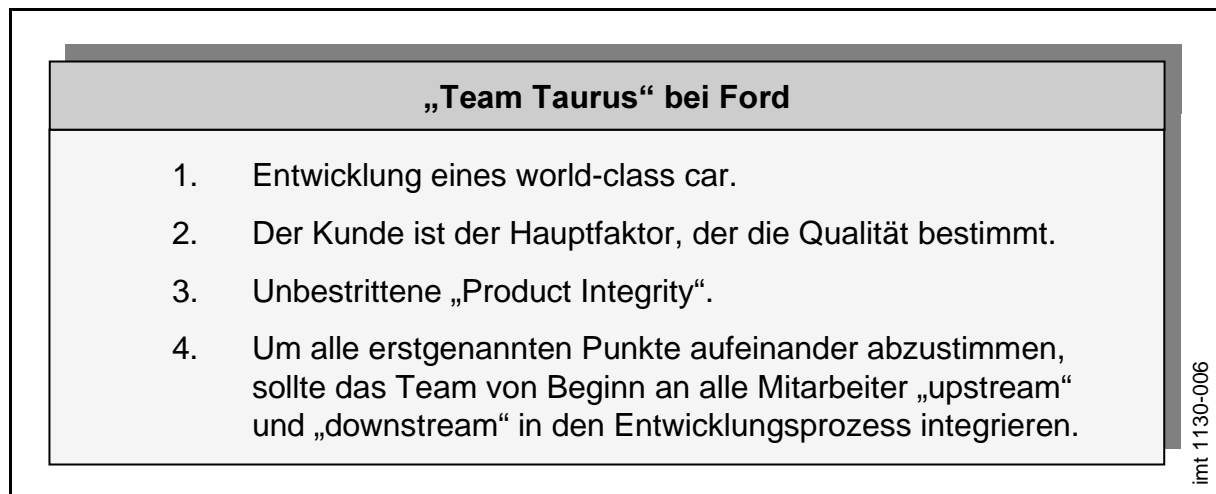


Bild 2.6: Ziele des „Team Taurus“

Durch die Aufhebung der Grenzen zwischen den Abteilungen und durch die gemeinsame Arbeit während der Produktentwicklung konnten alle Anforderungen an das Produkt und den Herstellungsprozess schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt in den Entwicklungsprozess eingebracht werden. Ford vollzog darüber hinaus eine weitere radikale Abkehr von der bisher üblichen Vorgehensweise in der Automobilindustrie: Kunde und Zulieferer wurden in die Planung involviert [VAS87]. Die Wiedereinführung der Fertigungsphilosophie der Teambildung, die bereits während des Zweiten Weltkriegs so erfolgreich in der Rüstungsindustrie angewandt wurde, hatte großen Erfolg [WHE92]. Der Ford Taurus war eines der besten Kraftfahrzeuge seiner Zeit [PAR93, GÖT95]. Nicht nur bei Ford reagierte man Anfang der 80er Jahre auf die Konkurrenz aus Japan. Auch Chrysler und General Motors haben auf ähnliche Weise abteilungsübergreifende Teams gebildet, um damit die Qualität ihrer Produkte zu erhöhen und um die gegenüber japanischen Automobilherstellern langen Produktentwicklungszeiten zu reduzieren [DOO88].

2.2.2 Definition von Concurrent Engineering

Ausgangspunkt für die Entstehung des Begriffes Concurrent Engineering (CE) in den USA war die wachsende Bedeutung der Konkurrenz aus Asien und die damit in

Zusammenhang stehenden kürzeren Entwicklungszeiten und schnellere Markteinführung von neuen Produkten. Man erkannte, dass die Time to Market der entscheidende Wettbewerbsfaktor ist, um gegen die internationale Konkurrenz bestehen zu können. Dabei resultieren Wettbewerbsvorteile nicht ausschließlich aus dem Einsatz neuester Technologien, denn für den Erfolg eines neuen Produktes ist diese zwar notwendig, aber nicht ausreichend. Eine erfolgreiche Produktentwicklung verlangt darüber hinaus Fähigkeiten, die weit über das technische Vermögen in den Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen hinausreichen. Wettbewerbsvorteile resultieren, wenn eine Firma Technologie mit einem Produkt auf den Markt bringt, das Kundenerwartungen zum richtigen Zeitpunkt erfüllt [CLA91].

Eine der ersten Definitionen von Concurrent Engineering stammt von Canty [CAN87] aus dem Jahr 1987:

„CE is both a philosophy and an environment. As a philosophy, CE is based on each individual's recognition of his/her own responsibility for quality of the product. As an environment it is based on the parallel design of the product and the processes that affect it throughout its life-cycle.“

Die meist zitierte Definition für Concurrent Engineering dagegen geht auf den IDA Report R-338 „The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition“ des Institute for Defense Analyses (IDA) aus dem Jahre 1988 zurück [WIN88]. Es wurde vom US-Verteidigungsministerium beauftragt, den Anspruch auf verbesserte Produktqualität bei geringeren Kosten und verkürzter Produktentwicklungszeit durch den Einsatz von Concurrent Engineering festzustellen und zu bewerten, um die amerikanische Verteidigungsindustrie sowie die zivile Industrie zu stärken. Dazu wurde auf die Ergebnisse des Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) Concurrent Engineering Workshop, 1987 zurückgegriffen. Insbesondere die Aktivitäten im Rahmen des daraufhin initiierten Programmes Defence Advanced Research Agency Initiative on Concurrent Engineering (DICE) führten zur verbreiteten internationalen Verwendung des Begriffes.

Die Definition von Concurrent Engineering gemäß dem IDA-Report von 1988 lautet [WIN88]:

„Concurrent Engineering is a systematic approach to the integrated, concurrent design of products and their related processes, including manufacture and support. This approach is intended to cause the developers, from the outset, to consider all elements of the product life cycle from conception through disposal, including quality, cost,

schedule, and user requirements.“

Die grundlegende Idee von CE ist die Bildung eines interdisziplinären Produktentwicklungsteams, in dem in kontinuierlichen Abstimmungsprozessen den zeit- und kostenintensiven Iterationszyklen der konventionellen, stark arbeitsteiligen, sequentiellen Vorgehensweise vorgebeugt werden soll [GÖT95]. Die zu späten Änderungen nach Serienfertigungsbeginn sollen dadurch vermieden werden, dass alle an der Produktentwicklung Beteiligten von Beginn an ihre spezifischen Anforderungen und Randbedingungen rechtzeitig einbringen. Durch die Anwendung von CE können verschiedene Zielsetzungen erreicht werden, wobei die drei wesentlichen aus Bild 2.7 hervorgehen.

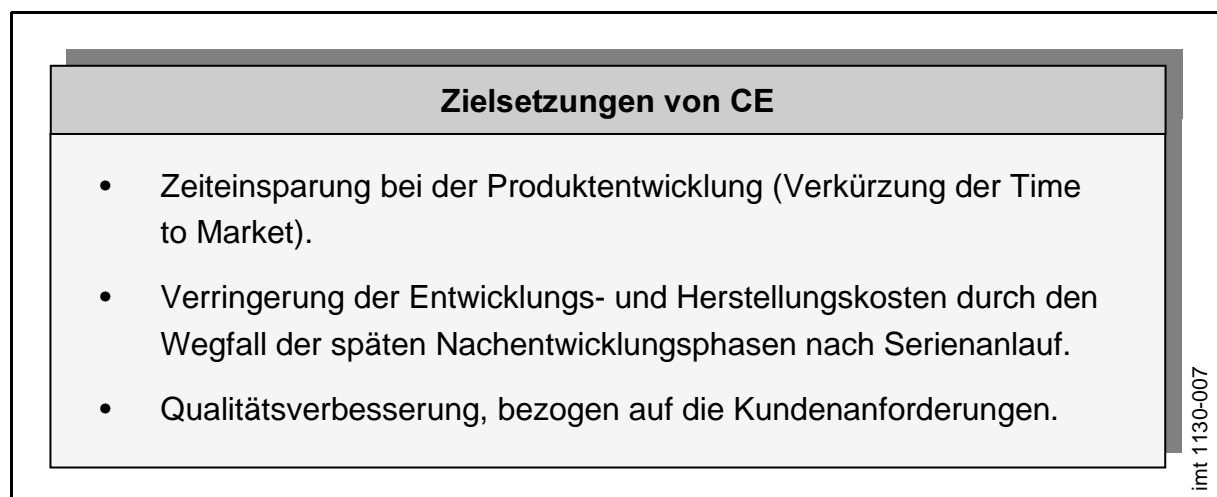


Bild 2.7: Zielsetzungen von CE

Concurrent Engineering ist ein Denkansatz, der eine neue Kultur und Arbeitseinstellung innerhalb eines Unternehmens darstellt. CE beinhaltet verschiedenste Methoden, Hilfsmittel und Vorgehensweisen, deren Umsetzung oder Implementation im Entwicklungsprozess daher auf sehr unterschiedliche Weise geschehen kann [EVE95]. Die zum Einsatz kommenden Elemente von CE können je nach Unternehmen verschieden sein. Man unterscheidet im wesentlichen die drei Grundelemente Zusammenarbeit, eingesetzte Werkzeuge, Methoden und Techniken sowie das organisatorische Umfeld, zu denen sich die einzelnen Elemente zuordnen lassen [SAL95]. Das Concurrent Engineering-Rad nach Jo [JO90] in Bild 2.8 verdeutlicht, dass neben einer frühzeitigen Produktmodellierung insbesondere alle im inneren Bereich des Rads aufgeführten, auf den gesamten Lebenszyklus des Produktes bezogenen Analysen und Methoden einzusetzen sind.

Das große Potential der Anwendung von Concurrent Engineering innerhalb eines Unternehmens wurde durch zahlreiche Studien in den USA belegt [MIL93]. So konnten in großen amerikanischen Unternehmen wie AT&T, McDonnell Douglas, John Deere oder Hewlett-Packard die Entwicklungszeiten um bis zu 70 % verkürzt, die Änderungen während der Entwicklungsprozesses um bis zu 90 % verringert, die Entwicklungszeit (Time to Market) um bis zu 90 % reduziert und die Qualität der entwickelten Produkte im Vergleich zu vorangegangenen Entwicklungen sogar um bis zu 600 % gesteigert werden [HUN91, MIL93].

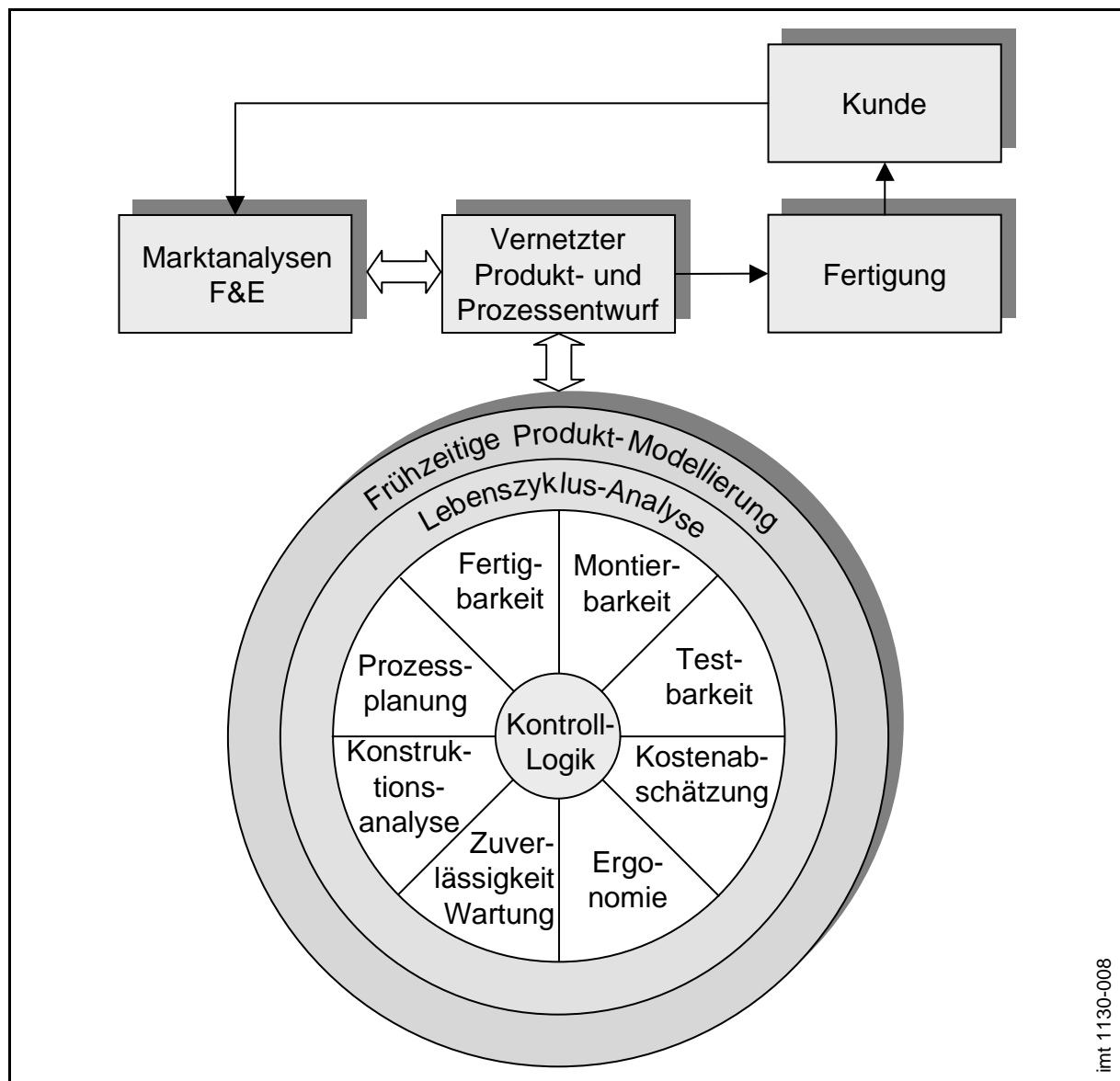


Bild 2.8: Concurrent Engineering-Rad nach Jo [JO90]

2.2.3 Simultaneous Engineering versus Concurrent Engineering

Die Philosophie von Concurrent Engineering ist nicht neu. Mit Begriffen wie Concurrent Design, Overlapping Engineering, Team Approach, System Design, Producibility Engineering, Design for Manufacturing und Simultaneous Engineering (SE) wurden bereits früher ähnliche Ansätze beschrieben [CLE92]. Der Unterschied zwischen SE und CE wird vor allem darin gesehen, dass SE bewusst auf die Parallelisierung von Produkt- und Prozessentwicklung abzielt, während beim CE die optimale Produkterstellung durch interdisziplinäre Zusammenarbeit im Team im Vordergrund steht. Lindberg [LIN93] stellt heraus, dass die Begriffe simultaneous und concurrent nahezu identische Bedeutung haben, nämlich Parallelität und Gleichzeitigkeit, concurrent dagegen zusätzlich die Bedeutung Zustimmung, Zusammenarbeit und Kooperation hat. Nach Sohlenius [SOH92] wird der Begriff CE vorwiegend im Bereich der Rüstungsindustrie verwendet, im zivilen Industriesektor dagegen nur SE. In Deutschland werden beide Begriffe meist unter SE zusammengefasst [EHR95]. Eversheim [EVE89] definierte den Begriff Simultaneous Engineering auf der ersten VDI-Fachtagung zum Thema Simultaneous Engineering im Jahr 1989 folgendermaßen:

„Simultaneous Engineering ist eine Organisationsstrategie, die eine vertrauensvolle Zusammenarbeit der Konstruktions- und Produktionsbereiche des Kunden und des Maschinenherstellers in der Phase der Produktplanung gestaltet. Durch die parallele und zeitgleiche Planung des Produktes und der Produktionsmittel, wird eine frühzeitige Festlegung der wesentlichen Produktionskomponenten ermöglicht. Hierbei wird die Zielsetzung verfolgt, die Qualität des Produktes und der Produktionseinrichtungen zu steigern und die Innovationszeiten und -kosten drastisch zu senken.“

Die meisten Veröffentlichungen konzentrieren sich weniger auf die zeitgleiche Entwicklung von Produkt, Produktionsmittel und Prozess als vielmehr auf der vollständigen Konstruktionsberatung. Methoden wie Design for Manufacturing (DFM), Design for Assembly (DFA), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) oder Design of Experiments (DoE) sind Ansätze, die oft zitiert werden, wenn der beratende Aspekt des Simultaneous Engineering betont wird [GÖT95]. Nach Bullinger [BUL96] sind die Unterschiede zwischen Simultaneous Engineering und Concurrent Engineering unbedeutend und aufgrund der Ähnlichkeiten beider Methoden wird der Begriff Concurrent Simultaneous Engineering (CSE) geprägt. Grabowski [GRA92] unterscheidet die Begriffe SE und CE dagegen dadurch, dass beim Concurrent Engineering eine Tätigkeit, die bisher von einem Ingenieur ausgeführt wurde, nun von mehreren Bearbeitern zusammen ausgeführt wird, beim Simultaneous Engineering dagegen Tätigkeiten, die bisher nacheinander ausgeführt wurden, parallel durchgeführt werden.

2.2.4 Der Concurrent Engineering-Entwicklungsprozess

Wie bereits bei in Kapitel 2.1.6 erläutert, erfolgt die Phaseneinteilung von Produkt- und Prozessentwicklung jeweils in Konzept-, Parameter- und Toleranzentwurf. Im Gegensatz zur klassischen Entwicklung kann eine CE-Entwicklung die späte Nachentwicklungsphase verhindern und damit die Zeit bis zur Markteinführung des Produktes, die Time to Market, erheblich reduzieren. Hierbei ist einerseits die zeitversetzte, parallele und vernetzte Durchführung von Produkt- und Fertigungsprozessentwicklung entscheidend, wodurch bereits von Beginn an alle notwendigen Fertigungsaspekte in den Produktentwurf einfließen können. Andererseits ist die frühzeitige Einbindung von umfassenden Qualifizierungsmaßnahmen der Schlüssel für die Vermeidung des großen Änderungsaufwandes nach Beendigung der Produkt- und Prozessentwicklung. Die starke Vernetzung und Parallelisierung der verschiedenen Prozesse geht aus Bild 2.9 hervor. Im Vergleich zur klassischen Entwicklung kann dadurch die gesamte Bearbeitungszeit drastisch reduziert werden. Allerdings ist anzumerken, dass die Zeitspanne für die Entwicklung des Produktes und der zugehörigen Fertigungsprozesse durch die größere Anzahl von frühzeitigen Iterationen insgesamt erheblich länger dauern kann. Außerdem besteht die Gefahr, dass durch die große Komplexität des Entwicklungsprozesses die Überschaubarkeit verloren geht, was im Extremfall sogar zu einem chaotischen Zustand führen kann [GAT96].

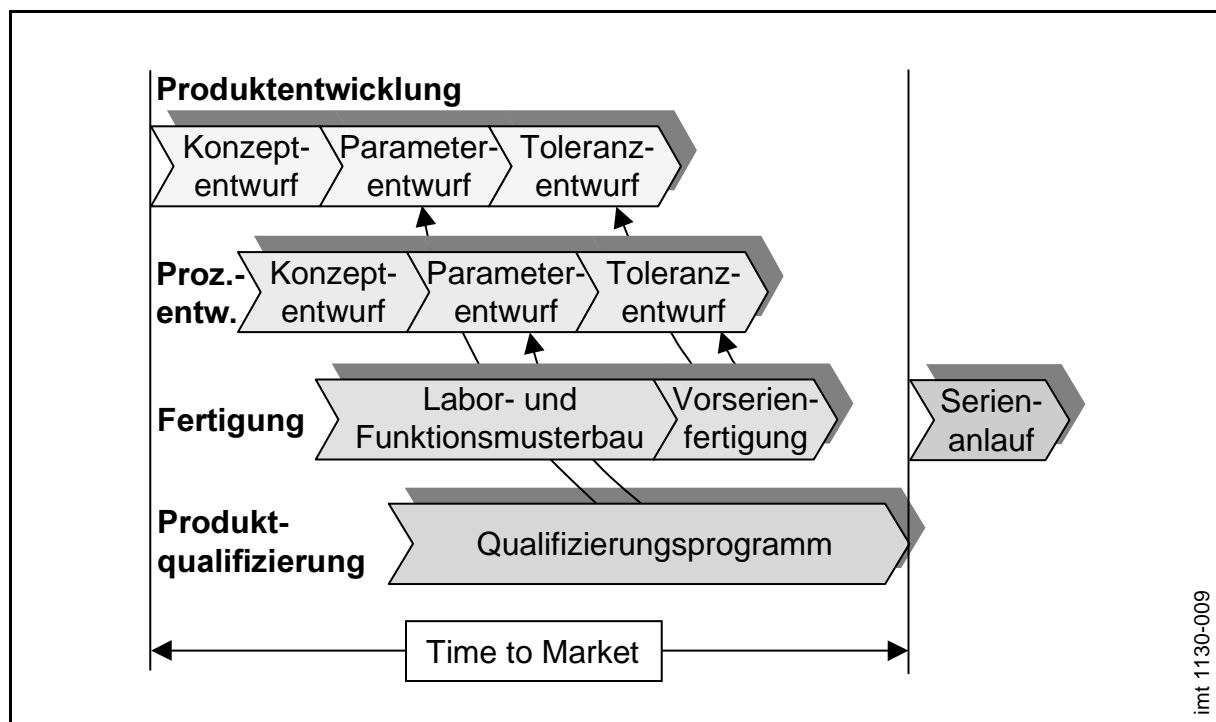


Bild 2.9: Concurrent Engineering-Entwicklungsprozess [nach GAT98]

2.3 Ganzheitliche Betrachtung der Qualität

2.3.1 Der Qualitätsbegriff

Qualität ist in der modernen Industriegesellschaft und in der Marktwirtschaft ein Schlagwort mit einer nicht klar umrissenen Definition. Es wird in den unterschiedlichsten Zusammenhängen verwendet, wobei die Bedeutung weit variiert. Qualität kommt vom lateinischen „qualitas“ und hat vielseitige Bedeutungen wie Beschaffenheit, Eigenart, Brauchbarkeit und Güte. Der Qualitätsbegriff nach DIN EN ISO 8402 [DIN95] lautet:

„Qualität ist die Gesamtheit von Merkmalen einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen.“

Unter den festgelegten und vorausgesetzten Erfordernissen wird die Gesamtheit der betrachteten Einzelforderungen an die Beschaffenheit einer Einheit verstanden. Merkmalsgruppen wie z.B. Sicherheit, Zuverlässigkeit oder Ressourcen- und Umweltschutz sind darin eingeschlossen. Der Originaltext der ISO 8402 [ISO94] im Englischen lautet:

„Quality is defined as the totality of characteristics of an entity that bear on its ability to satisfy stated and implied needs.“

Es kommt zum Ausdruck, dass die Definition des Begriffes Qualität nicht eindeutig fassbar und beschreibbar ist. Im Gegensatz zu der früheren, rein fertigungsbezogenen Sichtweise von Qualität, wo konkrete Messergebnisse im Promillebereich (ppm) zur Hilfe genommen wurden, geht bei der neuen, unternehmensweiten Sichtweise von Qualität die Eindeutigkeit und Fassbarkeit verloren. Dies drückt sich insbesondere in der Formulierung „stated and implied“ aus, die damit subjektiv ausleg- und anwendbar ist. Qualität wird heutzutage vorausgesetzt, was dazu führt, dass es den Begriff in seiner Bedeutung noch mehr verschwommen macht und ihn in weiten Bereichen wenig greifbar werden lässt.

Crosby [CRO86] definiert Qualität als die Erfüllung von Anforderungen, die eindeutig festgelegt werden müssen. Qualitätsprobleme entstehen demnach durch die Nichtübereinstimmung oder mangelnder Sollerfüllung, wodurch Qualität gleichzeitig messbar wird. Qualität ist aber nicht die bloße Konformität mit technischen Spezifikationen, sondern immer mehr die in der Anspruchshaltung viel weitergehende Erfüllung von Kunden- und Nutzeranforderungen [PFE96]. Voigt [VOI97] versteht unter Qualität die Beschaffenheit zur Zweckerfüllung, wobei hierzu die Qualitätsforderungen mit

Merkmale umfassend und eindeutig festzulegen sind. Aus der Vielzahl der unterschiedlichen Qualitätsdefinitionen in der Literatur lassen sich grundsätzlich zwei Sichtweisen für die Beurteilung der Qualität erkennen:

- Aus der Sicht des Unternehmens besteht ein *interner Qualitätsbegriff*, der sich auf den *Grad der Erreichung angestrebter Produkt- und Prozessmerkmale* bezieht.
- Aus der Perspektive des Kunden ist ein *externer Qualitätsbegriff* von Bedeutung, bei dem es um den *Grad der Erreichung von Kundenanforderungen* geht.

Der interne Qualitätsbegriff lässt sich demnach in eine produktorientierte und eine fertigungs- und prozessorientierte Qualitätsdefinition gliedern, der externe Qualitätsbegriff in eine kundenorientierte und eine wertorientierte Qualitätsdefinition [AHS97].

Die wichtigsten Ziele der Qualitätsphilosophie von Taguchi sind Qualitätsverbesserung und gleichzeitige Kostensenkung. Taguchi formuliert den Begriff Qualität in der Sprache des Managements, indem er den Bezug zu dem entstehenden Schaden für eine Volkswirtschaft herstellt [TOU97]. Der Mangel an Qualität ist demnach gleichbedeutend mit dem volkswirtschaftlichen Schaden der entsteht, weil ein ausgeliefertes Produkt seine Funktion nicht wie vom Kunden gewünscht erfüllt und bei der Nutzung schädliche Nebeneffekte auftreten. Dieser sogenannte Qualitätsverlust wird in der Qualitätsverlustfunktion (Quality Loss Function) beschrieben, die die Abweichung eines charakteristischen Qualitätsmerkmals von seinem Sollwert darstellt (Bild 2.10).

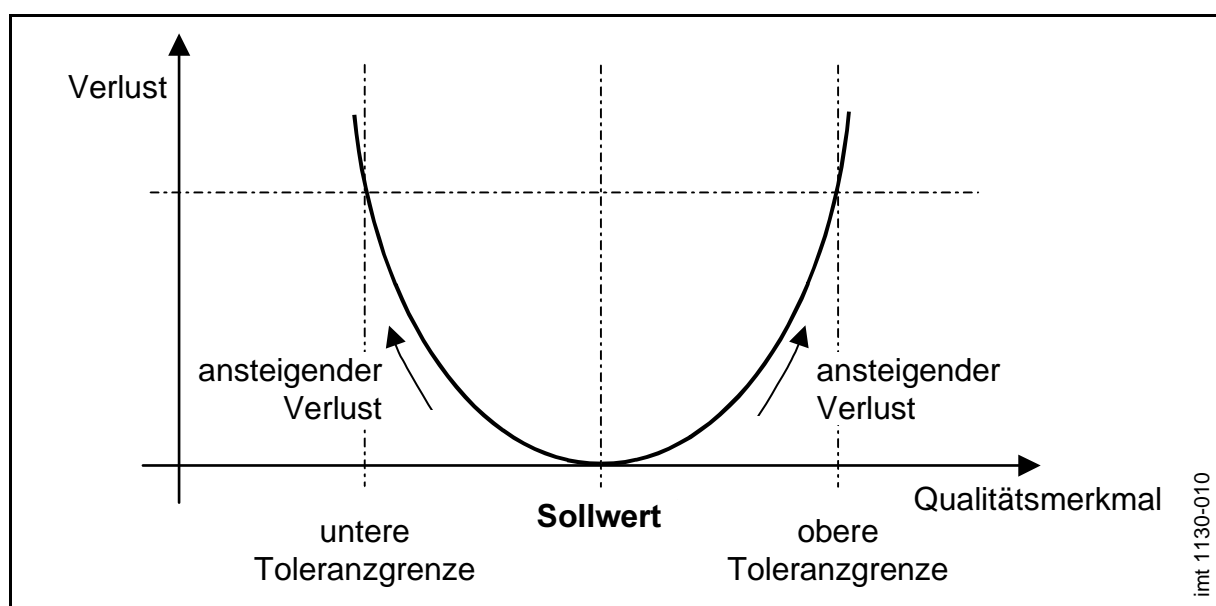


Bild 2.10: Qualitätsverlustfunktion nach Taguchi [ROS96]

Diese Abweichungen von einem Sollwert führen zu Problemen in der Fertigung, größerem Verschleiß, erhöhten Wartungskosten, zu unzufriedenen Kunden und bedeuten somit Verlust. Diese Betrachtungsweise stellt damit eine völlige Abkehr von dem traditionellen Verständnis dar, wonach alle Ergebnisse innerhalb einer gewissen Toleranz als gleichwertig angesehen werden. Die Konsequenz aus der Philosophie der Verluste ist die Entwicklung robuster Prozesse, die unempfindlich gegenüber äußeren Einflüssen sind und den Zielwert bei geringer Streuung gut erreichen.

2.3.2 Total Quality Management (TQM)

Das Total Quality Management (TQM) ist Anfang der siebziger Jahre als Weiterentwicklung der klassischen Qualitätssicherung entstanden, die sich auf die Produkte und die Produktion beschränkte. Die Ursache bzw. das Vorbild für die Entwicklung des Qualitätsmanagements waren Ideen und Konzepte aus Japan (u.a. Qualitätszirkel, Just-in-Time, Kaizen) [KAM95]. Der Wandel vollzog sich anhand eines sich geänderten Qualitätsbegriffes. Dem bisher vor allem fertigungsorientierten Qualitätsbegriff (Qualität wurde erprüft) wurde der kundenorientierte Qualitätsbegriff und damit die Erfüllung von Kundenanforderungen an die Seite gestellt [ZÖL92]. Beispiel dafür ist die Entwicklung des Quality Function Deployments (QFD). Die Grundsätze des japanischen Qualitätsmanagements gliedern sich im wesentlichen in vier Bereiche:

1. Bestreben nach kontinuierlicher Verbesserung.
2. Qualität wird primär aus der Perspektive des Kunden definiert.
3. Einbeziehung aller wichtigen betriebliche Funktionen sowie aller hierarchischer Ebenen.
4. Anspruch, dass sich jeder, der mit dem Unternehmen in Berührung kommt, wohlfühlen und vollkommen zufriedengestellt werden soll.

In Deutschland war das Qualitätsmanagement noch Ende der 80er Jahre auf Stichprobenprüfung und Statistische Prozessregelung beschränkt [ZÖL92]. Durch die Einführung der Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff. (s.a. Kapitel 2.3.3) wurde das unternehmensweite Qualitätsmanagement auch in Deutschland, insbesondere in der Automobil- und deren Zulieferindustrie weit verbreitet. Nach DIN EN ISO 8402 [DIN95] ist TQM (Umfassendes Qualitätsmanagement) wie folgt definiert:

„Auf der Mitwirkung aller ihrer Mitglieder basierende Führungsmethode einer Organisation, die Qualität in den Mittelpunkt stellt und durch Zufriedenstellung der Kunden auf langfristigen Geschäftserfolg sowie auf Nutzen für die Mitglieder der Organisation und für die Gesellschaft zielt.“

In der TQM-Strategie sind keine revolutionären oder bisher gänzlich unbekanntenen Elemente enthalten [RED97b]. Es handelt sich lediglich um eine systematische und konsequente Anwendung einiger Methoden innerhalb einer klar auf Qualität und Kundenzufriedenheit ausgerichteten Unternehmenskultur [FRE94]. Die Zielkriterien des TQM umfassen demnach die Zufriedenheit der Anspruchsgruppen Kunde, Mitarbeiter und Gesellschaft und die Aspekte Qualität, Zeit und Kosten. Damit kann Total Quality Management als die umfassendste (Qualitäts-)Strategie angesehen werden, die für ein Unternehmen denkbar ist [KAM95]. Vom Kunden über die eigenen Mitarbeiter bis hin zum Zulieferer werden alle Bereiche vollständig erfasst und integriert. Ziel aller Bemühungen ist der Kunde, denn er entscheidet, ob er die Produkte eines Unternehmens kauft. Das heißt alle Tätigkeiten innerhalb eines Unternehmens sind in die Ausrichtung auf die Erwartungen und Anforderungen der Kunden und auf die ständige Verbesserung der eigenen Arbeit einzubeziehen. Die drei wesentlichen Grundgedanken des TQM, Total, Quality und Management, sind in Bild 2.11 verdeutlicht.

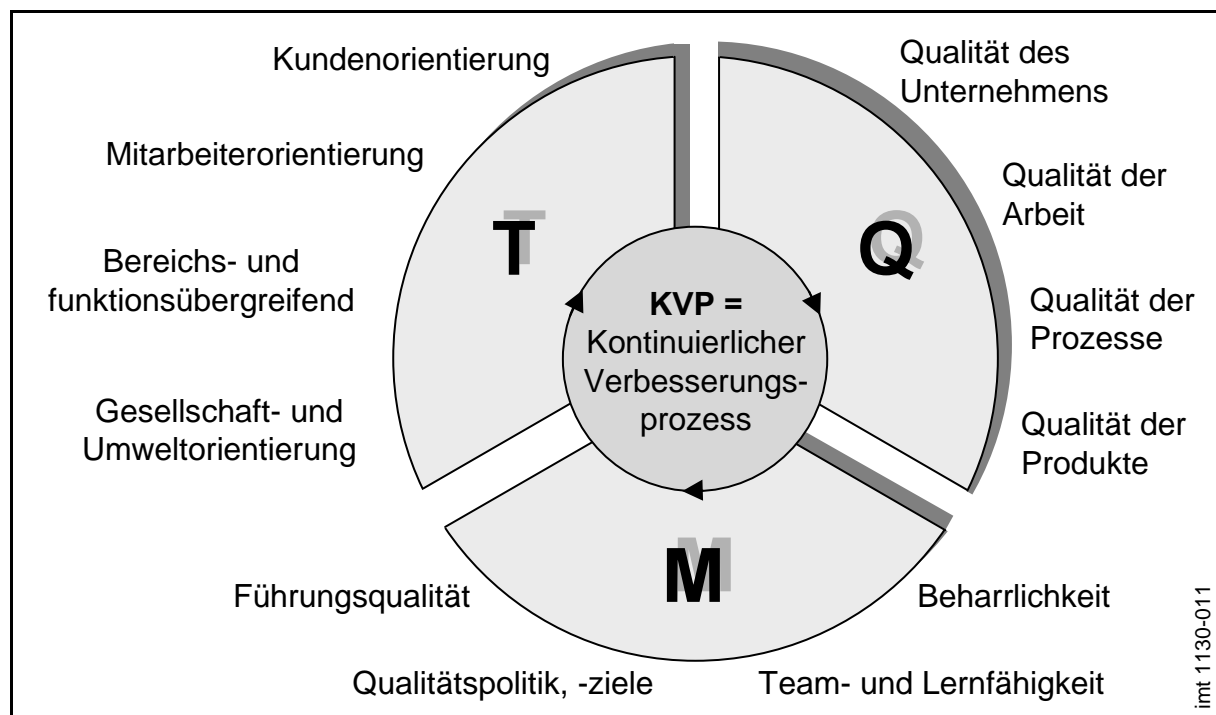


Bild 2.11: Grundgedanken des Total Quality Management [KAM95]

Einen besonderen Stellenwert bei der Umsetzung von TQM nimmt die Managementverpflichtung ein. Die Unternehmensleitung hat Vorbildfunktion und sollte den TQM-Prozess fördern und begleiten sowie die kontinuierliche Qualitätsverbesserung vorleben. Die Qualitätsarbeit hat sich durch die Einführung von TQM stark dezentralisiert und auf alle Fachbereiche eines Unternehmens ausgedehnt. Damit wurde die

Verantwortung der Qualität an den ausführenden Bereich, der die Qualität direkt beeinflusst, gegeben. Der Bereich des Qualitätswesens beschränkt sich auf die Grundaufgaben zur Sicherung der Qualität und koordiniert die Aktivitäten in den verschiedenen Fachbereichen. Diese übernehmen vielfach unterstützt durch Qualitätsbeauftragte die Qualitätssicherungsaufgaben in eigener Verantwortung. Mit TQM als roten Faden sichern sie die Produktqualität.

2.3.3 Die Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff.

Das Total Quality Management als unternehmensweite Führungsstrategie beinhaltet als ein wesentliches Element das Qualitätsmanagementsystem (s.a. Kapitel 2.3.2). Die Ablauf- und Aufbauorganisation eines Qualitätsmanagementsystems wird nach der Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff. beschrieben und festgelegt [DIN94a, DIN94b, DIN94c, DIN94d]. Sie stellt das Regelwerk für Unternehmen dar, um der Forderung nach immer höherer Qualität der Produkte nachzukommen. Um eine Zertifizierung nach dieser Normenreihe zu erreichen, müssen viele Unternehmen ihre Organisation teilweise grundlegend ändern, anpassen und umfassend dokumentieren, damit sie den Normenanforderungen genügen. Die Forderungen der Normenreihe sind branchen- und produktunabhängig und so global formuliert, dass für jedes Unternehmen, abhängig von Organisation, Produktspektrum und Seriengröße, Produktionsprozesse sowie angewandter und produzierter Technologie, ein großer Realisierungsspielraum besteht [LÜB93]. Die Normenreihe wurde allerdings nur für diejenigen Prozesse entwickelt, die in ihrer Gesamtheit ein Qualitätsmanagementsystem darstellen. Eine Information über die Produktqualität kann sie dementsprechend nicht geben [BEN98]. Die Einführung eines Qualitätsmanagementsystems wird vielfach erst als Basis für die Implementation weiterführender Qualitätsmanagementmethoden wie das TQM angesehen [HER96b].

Der Nutzen bei Einführung eines Qualitätsmanagementsystems liegt in der transparenten Darstellung und Optimierung aller Abläufe und Prozesse, die mit Hilfe von Verfahrens- und Arbeitsanweisungen beschrieben werden. Dies geht einher mit einer sauberen Dokumentation der Arbeitsergebnisse, klaren Definition von Zuständigkeiten, Feststellen von Schwachstellen und Ermittlung von Fehlerursachen. In Bezug auf die Produktentwicklung mit ihren Kernphasen Entwicklung und Konstruktion und Fertigungsprozessentwicklung bedeutet dies, dass die Abläufe mit ihren Abhängigkeiten und zeitlichen Reihenfolgen detailliert festgeschrieben werden müssen. Die DIN EN ISO 9001 beschreibt 20 Elemente des Qualitätsmanagements, deren Zuordnung zum Lebenszykluskreis nach DIN EN ISO 9004-1 [DIN94d] in Bild 2.12 dargestellt ist, wobei die übergreifenden Normenkapitel nicht berücksichtigt wurden.

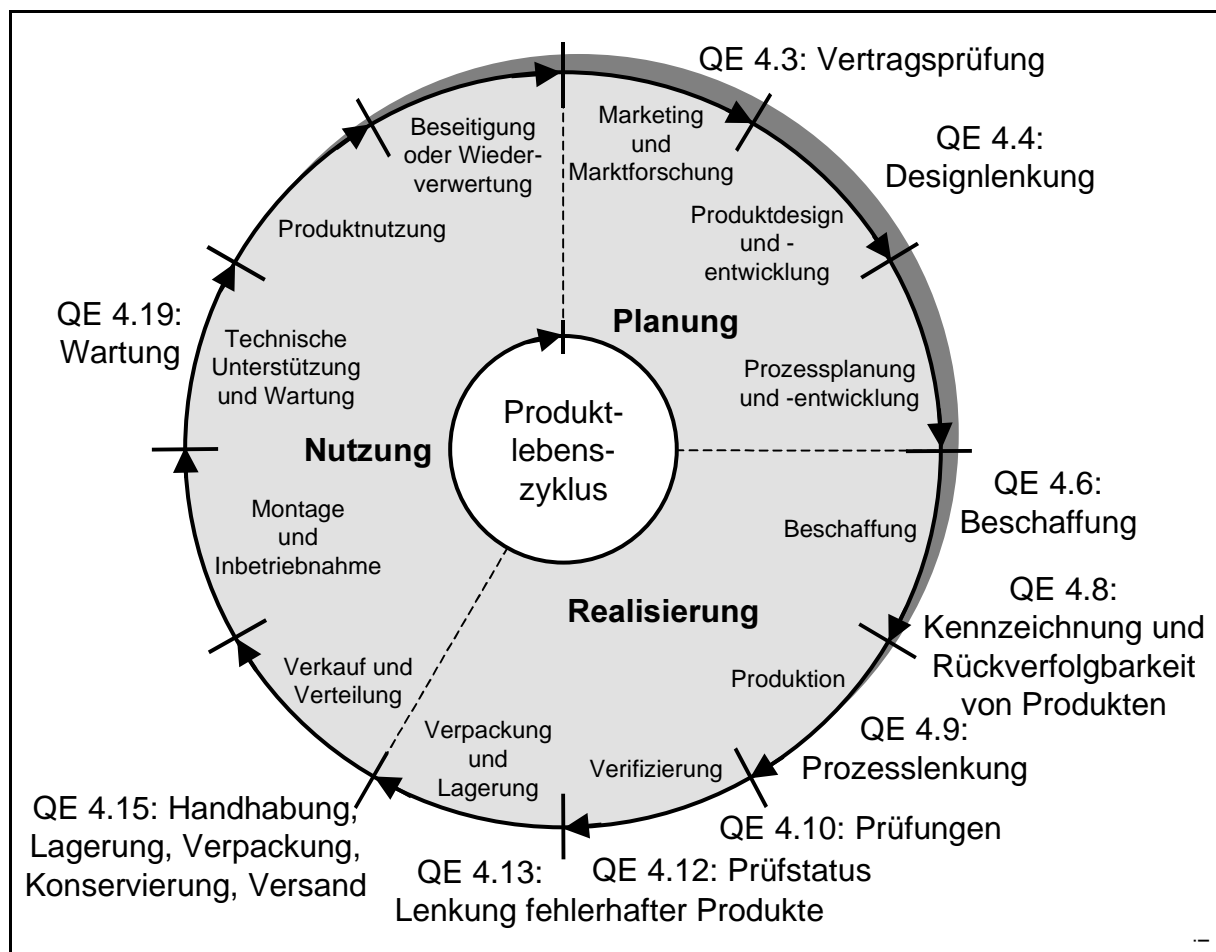


Bild 2.12: QM-Elemente im Qualitätskreis nach DIN EN ISO 9004-1 [DIN94d]

Es wird deutlich, dass der Fokus der Normenreihe in erster Linie auf die Produktion bzw. die Realisierung begrenzt ist. Der gesamte planende Bereich der Produkt- und Prozessentwicklung ist von der Normenreihe nur wenig berührt. Im Hinblick auf das entwickelte Produktintegritätskonzept ist gerade diese Planungsphase des Qualitätskreises von besonderem Interesse.

Dem gesamten Entwicklungs und Konstruktionsprozess wird einzig das QM-Element Designlenkung zugeordnet, mit dem konkrete Anforderungen und Maßnahmen zur Sicherstellung der Entwurfsqualität in technischer, terminlicher und wirtschaftlicher Hinsicht festgelegt werden. Zielsetzung ist die Beherrschung des Entwicklungsprozesses. Damit soll gewährleistet werden, dass nur Produkte entwickelt werden, die vom Markt gefordert und vom Kunden bezahlt werden [HER96b]. Unter dem Begriff Design sind dabei sowohl die organisatorischen Prozesse der Entwicklung und Konstruktion als auch deren Ergebnisse zu verstehen. Durch diesen weitgefassten Begriff ergeben sich Probleme bei der eindeutigen Festlegung des Zusammenspiels von Produktent-

wicklungstätigkeiten und Qualitätsmanagementmethoden [VDI94]. Die Norm fordert die Einführung, Dokumentation und Aufrechterhaltung eines Verfahrens zur Lenkung der Produktentwicklung sowie der Verifizierung und Validierung der Entwicklungsergebnisse [VDI94]. Mit Hilfe von Verfahrensanweisungen sollen sowohl die organisatorischen Abläufe als auch die technischen Randbedingungen beschrieben und festgelegt werden, die für die Produktentwicklung relevant sind (Bild 2.13).

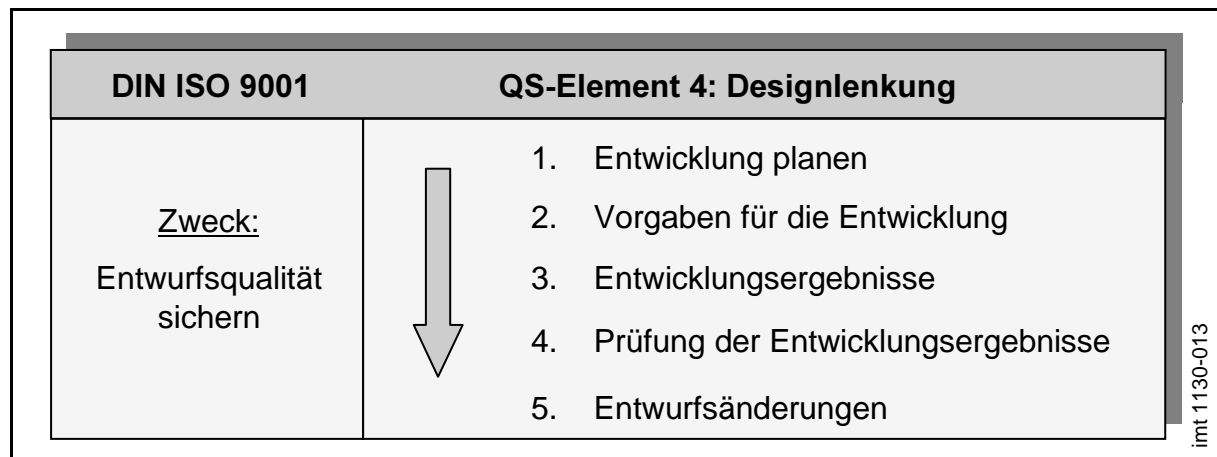


Bild 2.13: Forderungen der DIN EN ISO 9001 an die Designlenkung [VDI94]

2.4 Methoden des Qualitätsmanagements

Im Zuge der Einführung von Qualitätsmanagementsystemen in Unternehmen kommen verstärkt verschiedenen Methoden des präventiven Qualitätsmanagements in den einzelnen Phasen des Produktentstehungsprozesses zum Einsatz, um die Qualität der Produkte und Prozesse entsprechend den gestellten Anforderungen zu gewährleisten [HER96a]. Zielsetzung der Methoden und Werkzeuge ist es, die Produktqualität von Entwicklungsbeginn an zu berücksichtigen. Gemäß der VDI-Richtlinie 2247 [VDI94] zählen hierzu u.a. folgende Methoden:

- Quality Function Deployment (QFD, „House of Quality“).
- Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluss-Analyse (FMEA).
- Statistische Versuchsplanung (DoE).
- Statistische Prozessregelung (SPC).
- Fehlerbaumanalyse.
- Design Review (DR).
- Qualitätsbewertungen (QB).

Bild 2.14 stellt die Zuordnung dieser Qualitätsmanagementmethoden, die teils

unterschiedliche Zielsetzungen haben und damit nur bedingt vergleichbar sind, zu den einzelnen Phasen der Produktentwicklung dar.

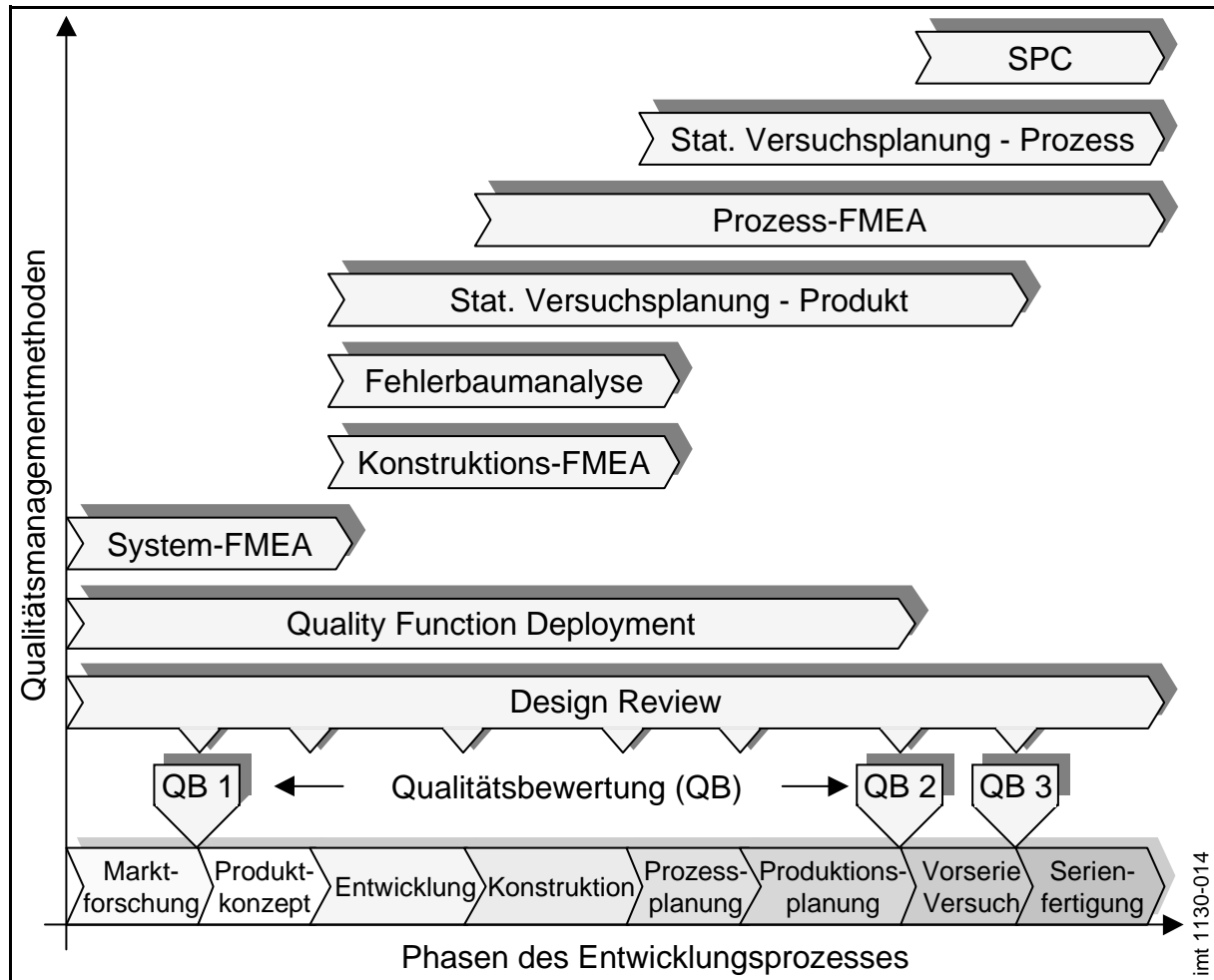


Bild 2.14: Präventive Qualitätsmanagementmethoden [nach VDI94]

Inzwischen ist eine gewisse Bereitschaft bei den Unternehmen zu erkennen, ihre Qualitätsstrategie auf die präventive Absicherung der Planungs- und Fertigungsprozesse auszurichten, doch die überwiegende Anzahl der Methoden hat noch nicht durchgängig Eingang in der industriellen Praxis gefunden [PFE96]. Ausnahme bildet nur die FMEA, die in vielen Branchen, wie der Automobilindustrie, zum Stand der Technik und damit zum integralen Bestandteil der Produktentwicklung zu zählen ist. Als Hemmnisse bei der Einführung der verschiedenen Methoden werden die recht hohe Komplexität und der erforderliche Schulungsaufwand des Personals genannt [KRO95]. Darüber hinaus finden viele Methoden nur in einem integrierten Gesamtsystem des Qualitätsmanagements optimale Anwendung [WIL96]. In den folgenden Kapiteln wird auf die Methoden des präventiven Qualitätsmanagements näher eingegangen, die im

Zusammenhang mit dem entwickelten Produktintegritätskonzept in dieser Arbeit zur Qualifizierung der Entwicklungstätigkeiten gesehen werden können. Hierzu zählen QFD, FMEA und die Statistische Versuchplanung als durchgängige Methoden und Design Review als punktuell zum Einsatz kommende Methode.

2.4.1 Quality Function Deployment (QFD)

Das nach der Idee von Yoji Akao gegen Ende der 60er Jahre entwickelte Quality Function Deployment (QFD) ist ein Instrument zur Planung und Entwicklung von Qualitätsfunktionen entsprechend den vom Kunden geforderten Qualitätseigenschaften. Der erste Durchbruch des QFD gelang 1972 auf den Schiffswerften der Mitsubishi Heavy Industries in Kobe, Japan, beim Bau von Kriegsschiffen [SAA97]. Im Jahre 1974 begann Toyota mit der Anwendung und erfolgreichen Weiterentwicklung des QFD im Automobilbau. Erst Mitte der 80er Jahre begannen in den USA Firmen wie Hewlett-Packard, Kodak und Digital Equipment mit der Anwendung der QFD-Methode in ihren Entwicklungsprozessen [HUN91]. In Deutschland wurde QFD etwa in der zweiten Hälfte der 80er Jahre bekannt.

Als teamorientierte Methode zur systematischen und ganzheitlichen Produkt- und Qualitätsplanung gewährleistet QFD in allen Phasen von der Entwicklung bis zur Fertigungsprozessplanung eine konsequente Orientierung an den Kundenwünschen [REI96]. Grundsatz der Methode ist, dass bei allen Planungsvorgängen die Kundenwünsche der Maßstab sind und nicht die Vorstellungen der Entwickler, mit der Tendenz alles technisch Machbare zu realisieren [HER93]. Kernelement der QFD-Methode ist das sog. House of Quality (HoQ). Das House of Quality (Bild 2.15) ist eine Matrix zur Verknüpfung von Zielen und deren Umsetzung auf der Grundlage von „WAS“-„WIE“-Fragestellungen, die allen Entwicklungs- und Umsetzungsprozessen zugrunde liegt [DAN96]. Es dient in erster Linie einer guten Dokumentation der Denk- und Planungsergebnisse der am QFD Beteiligten [SAA97]. QFD entspricht der Umsetzung der grundlegenden japanischen Unternehmenskultur, nach der alle Prozesse durch die „Stimme des Kunden“ motiviert und gesteuert werden [AKA92]. Die Zielsetzung des QFD ist die wirtschaftliche Entwicklung und Herstellung eines Produktes, das genau die Kundenwünsche und -anforderungen erfüllt und sich durch höchste Gebrauchstauglichkeit auszeichnet, das heißt die Entwicklung und Herstellung eines wettbewerbsfähigen Produktes [PFE96].

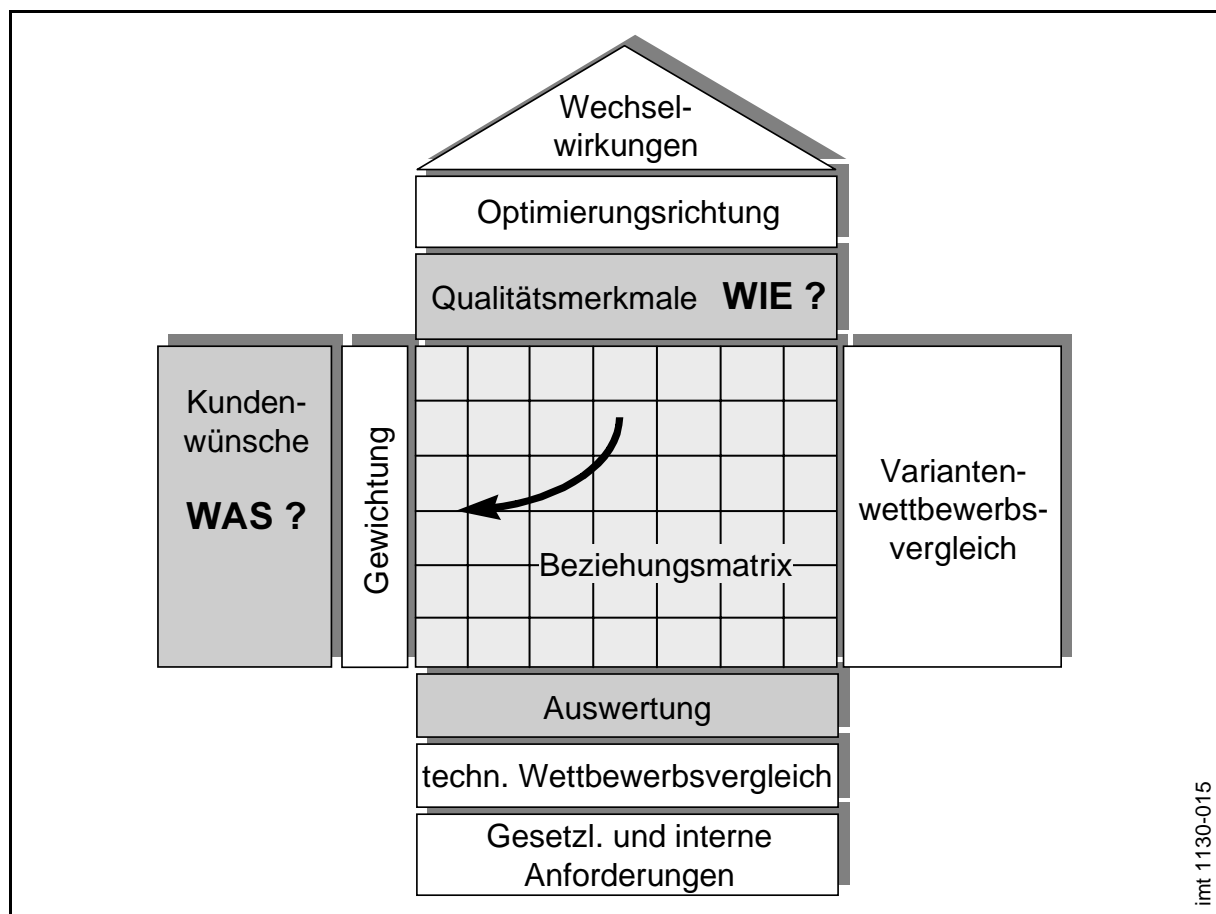


Bild 2.15: Vereinfachte Darstellung des House of Quality (HoQ) [SAA97]

Die zentrale Aufgabenstellung des QFD ist die genaue Analyse von Zielen (z.B. Kundenwünschen), des „WAS will der Kunde/wird verlangt?“ und deren gewissenhafte Übersetzung (z.B. Produktmerkmale) in das „WIE erfüllen wir die Forderungen/ist es lösbar?“. Die Zusammenhänge und Erfüllungsgrade zwischen dem „WAS“ und dem „WIE“ werden in einer Matrix dargestellt. Durch ergänzende Zusatzfragen, deren Ergebnisse in weiteren Tabellen und Matrizen dokumentiert und angefügt werden, ergibt sich dann das House of Quality. Tabellen und Matrizen, die zur Konkretisierung und Analyse der Forderungen und Wünsche dienen, werden auf der horizontalen Achse angeordnet, die der Konkretisierung und Analyse der Umsetzung dienenden Tabellen und Matrizen auf der vertikalen Achse. Der Aufbau des House of Quality ist nicht fest vorgeschrieben, denn der Anwender kann durch Zusatzfragen das HoQ entsprechend seinen Bedürfnissen anpassen.

Im Laufe der Zeit bildeten sich zwei grundlegende Modelle von QFD heraus, die weltweit Beachtung gefunden haben. Der „amerikanische“ 4-Phasen-Ansatz nach Makabe (American Supplier Institute - ASI) und der ganzheitliche „japanische“ QFD-An-

satz nach Akao, auch Mehrbereichsansatz genannt. Das prinzipielle Vorgehen ist allerdings beiden QFD-Ansätzen gemeinsam. Sie gehen vom gleichen Grundgedanken aus und verwenden die gleichen Methoden und Hilfsmittel. In beiden Ansätzen wird die Notwendigkeit der Anpassung durch den Anwender betont [ZIM95]. Im folgenden soll der am weitesten verbreitete Ansatz in 4-Phasen dargestellt werden. Erläuterungen zum Mehrbereichsansatz finden sich bei King [KIN89] und Akao [AKA92].

Der 4-Phasen-Ansatz folgt im wesentlichen einer am Prozess der Produktentwicklung orientierten Vorgehensweise. Das entscheidende Merkmal dieses Modells ist die Orientierung an den verschiedenen Schritten des Produktentwicklungsprozesses und die durchgängige Informationsverknüpfung zwischen den Matrizen [NEU96]. Die durchgängige Vermittlung der Kundenanforderungen im Unternehmen erfolgt über die vier Stufen Produktplanung, Komponentenplanung, Prozessplanung und Produktionsplanung. Für jede Stufe wird ein eigenes House of Quality erstellt. In jeder Phase wird ausgehend von den Forderungen („WAS“) ermittelt, welche Eigenschaften zur Erfüllung der Forderungen notwendig sind („WAS“) und welche Ausprägungen diese Eigenschaften haben sollen („WIEVIEL“). Die Eigenschaften und Forderungen, die am Ende einer Phase erreicht sind, bilden zugleich die Forderungen der nächsten Phase. Um einen zielgerichteten Einsatz des QFD zu ermöglichen, werden nur besonders beachtenswerte Merkmale weitergegeben, die z.B. mit hohem Risiko verbunden sind, mit vielen Kundenanforderungen korrelieren, voraussichtlich schwierig zu realisieren sind oder deren Lösung besondere Marktchancen eröffnen [KNI97, ZIM95]. In Bild 2.16 ist diese Kaskade von Qualitätshäusern dargestellt.

Der Nutzen und Erfolg in der Anwendung der QFD-Methode hängt ganz wesentlich vom Grundverständnis des QFD-Gedankens ab. Wenn die Methode durchgängig angewandt wird, ist nach den Erfahrungen japanischer und amerikanischer Anwender eine Reduzierung der Entwicklungszeiten und -kosten in der Größenordnung von 30-50 % erreichbar [BEU92]. Allerdings muss das Verständnis für die Methodik weit über die allzuoft vorherrschende Meinung als das bloße Ausfüllen einer Matrix hinausgehen, denn der eigentliche Erfolgsfaktor des QFD ist die auf die Erfüllung der Kundenwünsche gerichtete Kommunikation und Konsensbildung der an der Produktentwicklung beteiligten Bereiche innerhalb des Unternehmens und damit die positive Beeinflussung der Unternehmenskultur und den Abbau von Abteilungsgrenzen [ZIM95]. In der industriellen Anwendung hat sich gezeigt, dass die Durchführung des QFD mit sehr viel Aufwand verbunden ist. Deshalb bleibt die Anwendung meist auf die Erstellung des „ersten Hauses“ beschränkt [EVE95].

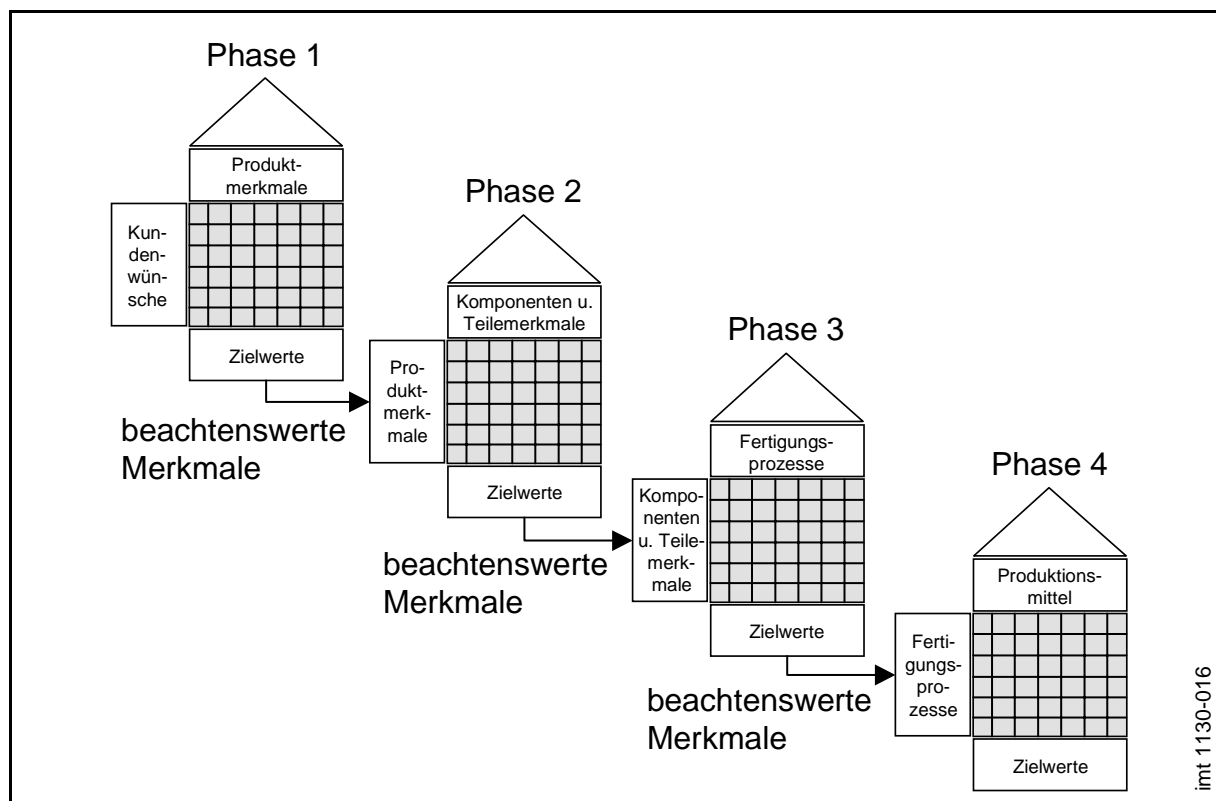


Bild 2.16: 4-Phasen-Ansatz des QFD (nach ASI) [HOF97]

2.4.2 Fehler-Möglichkeits- und -Einfluss-Analyse (FMEA)

Die Fehler-Möglichkeits- und -Einfluss-Analyse (FMEA), im Englischen Failure Mode and Effect Analysis genannt, ist eine Methode, die Mitte der 60er Jahre in den USA für die Anwendung im Bereich der Raumfahrt im Rahmen des Apollo-Programms entwickelt wurde. In Deutschland wurde die FMEA im Jahr 1980 unter der Bezeichnung Ausfalleffektanalyse genormt [DIN90]. Einsatzgebiet war primär die Kerntechnik. Der Einsatz der FMEA im Bereich der Automobilindustrie erfolgte in der zweiten Hälfte der 80er Jahre. Die Automobilindustrie in Deutschland hat die Anwendung der FMEA heute weitgehend standardisiert [PFE96]. Sie ist fester Bestandteil bei Herstellern und Zulieferern und wird zunehmend gefordert [PFE93].

Die FMEA ist eine formalisierte, analytische Methode zur systematischen Erfassung und Vermeidung potentieller Fehler bei der Entwicklung neuer Produkte sowie der Planung von Montage- und Herstellprozessen [MAS94]. Als Präventivmaßnahme setzt sie daher am wirkungsvollsten in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses an, also innerhalb von Entwicklung, Konstruktion und Fertigungsplanung. Die FMEA soll die einzelnen Phasen des Produkterstellungsprozesses begleiten und ein geringes Fehler- und Risikopotential vor Beginn der nächsten Phase sicherstellen. Sie

ist damit keine punktuelle Überprüfung wie das Design Review, sondern wirkt direkt qualitätsverbessernd auf den Entwicklungsprozess [REI96]. Die Zielsetzung der FMEA ist die frühzeitige Fehlererkennung, die Analyse und Bewertung von Risiken der gefundenen Fehler und das Einleiten von Abhilfemaßnahmen. Sie stellt damit ein Hilfsmittel zur Erkennung potentieller Gefahren und deren Folgen für den Kunden dar. Die Durchführung der FMEA erfolgt durch interdisziplinäre Teams, wodurch die Einbindung aller an der Produktentstehung beteiligten und verantwortlichen Funktionsbereiche gewährleistet wird.

Je nach Schwerpunkt und Zielrichtung des Einsatzes werden verschiedene Arten von FMEAs verwendet. Dabei unterscheidet man nach dem Zeitpunkt der Anwendung und dem Objekt der Untersuchung zwischen Konstruktions-FMEA für ein Produkt, Prozess-FMEA für einen bestimmten Fertigungs-, Montage- oder Prüfprozess oder System-FMEA für die Betrachtung übergeordneter Gesamtsysteme mit ihren Wechselwirkungen zwischen den Einzelsystemen [KAM95, PFE96]. Das Zusammenspiel der einzelnen FMEA-Arten ist in Bild 2.17 dargestellt. Eine weitere Form der FMEA ist die Änderungs-FMEA, die eingesetzt wird, um mögliche Fehler und Folgeerscheinungen, die durch umfassende Änderungen des untersuchten Objektes entstehen, zu erkennen und zu vermeiden [REI96].

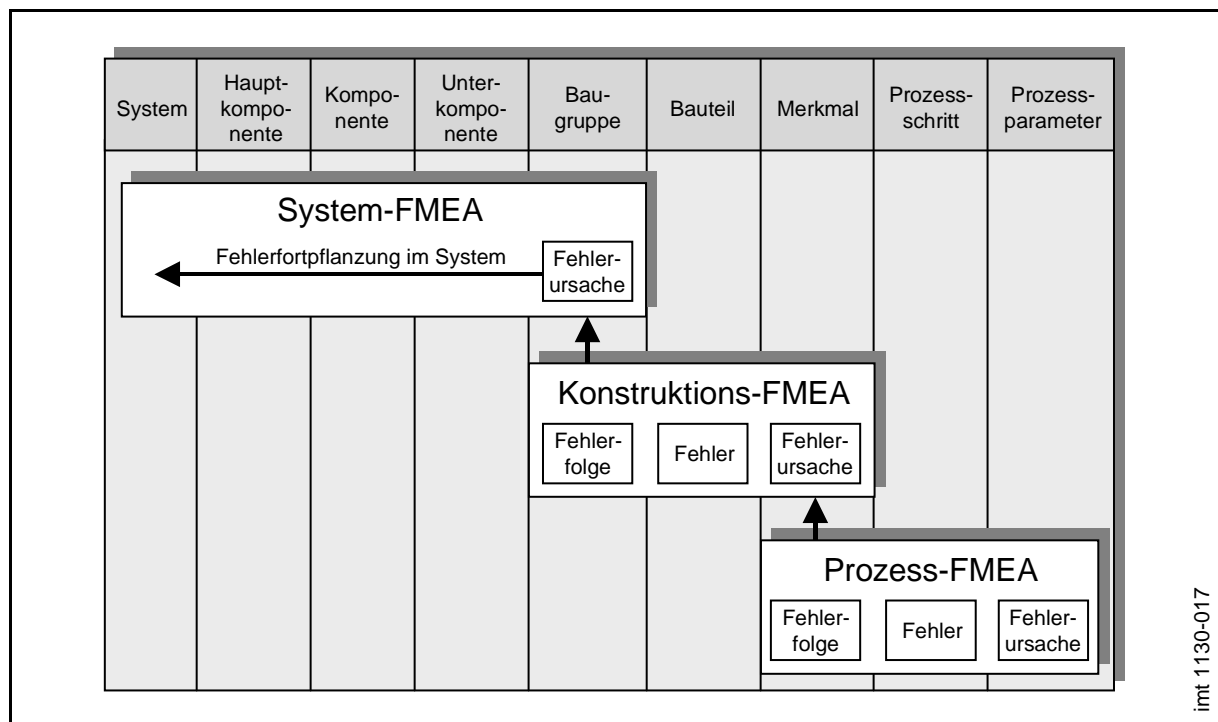


Bild 2.17: Zusammenspiel der FMEA-Arten [PFE96]

Die Vorgehensweise bei allen FMEA-Arten ist gleich. Im ersten Schritt wird eine Risikoanalyse durchgeführt. Zunächst werden die potentiellen Fehler ermittelt. Hierbei sollen nicht nur bekannte Fehler aufgelistet werden, sondern für den Erfolg einer FMEA ist vielmehr ein analytisches Vorgehen wichtig, bei dem alle nur denkbaren Fehler aufgefunden werden [HOF97]. Anschließend erfolgt die Untersuchung von potentiellen Folgen der Fehler (Fehlerfortpflanzung) und die Feststellung der potentiellen Fehlerursachen. Im zweiten Schritt, der Risikobeurteilung, werden alle potentiellen Fehler entsprechend ihren Ursachen und Folgen nach der Wahrscheinlichkeit des Auftretens, der Bedeutung des Fehlers für den Kunden und der Wahrscheinlichkeit der Entdeckung vor Auslieferung an den Kunden bewertet.

Die Quantifizierung jeden Fehlers erfolgt mit Hilfe der Risikoprioritätszahl (RPZ). Sie setzt sich multiplikativ aus den drei Einzelbewertungen zusammen. Die RPZ ist ein Maß für das Gesamtrisiko jeder einzelnen Ursache. Jeder dieser Teilbewertungen kann zwischen 1 (bedeutungslos) und 10 (katastrophal) festgelegt werden, wobei diese Bewertung immer die subjektive, fachlich fundierte Meinung der FMEA-Teilnehmer wiedergibt [FRH94]. Je größer die RPZ ist, desto dringlicher sind qualitätssichernde Maßnahmen, um das entsprechende Risiko zu senken. In der Praxis wird ein Fehler mit $RPZ > 125$ als kritisch betrachtet und weiter behandelt. Ebenso sind Fehler mit einer Einzelbewertung > 8 weiterzuverfolgen. Für besonders risikobehaftete Bauteile oder Prozesse wird eine Risikominimierung durchgeführt. Es werden dann genauere Abstellmaßnahmen untersucht, die die Wahrscheinlichkeit des Auftretens durch Konstruktions- und/oder Prozessänderungen beeinflussen, die Bedeutung des Fehlers durch Konstruktionsänderungen reduzieren oder die Wahrscheinlichkeit der Entdeckung durch verbesserte Prüfmaßnahmen erhöhen [HOF97, RED97a].

Für die Durchführung einer FMEA existieren Formblätter, die das systematische Vorgehen strukturieren und dokumentieren. In Bild 2.18 ist das vom Verband der Deutschen Automobilindustrie e.V. (VDA) empfohlene Formblatt mit Kennzeichnung der einzelnen Ablaufschritte dargestellt.

Die FMEA ist ein äußerst wirksames Verfahren, um Fehlerquellen schon im Ansatz und in der Planungsphase zu erkennen, Maßnahmen zu deren Beseitigung einzuleiten und ihre Wirksamkeit abzuschätzen. Für komplexe Produkte und Prozesse erfordert die FMEA allerdings einen erheblichen Zeitaufwand, der sich durch den Einsatz der EDV und anfängliche Beschränkungen auf kritische Teile stark reduzieren lässt. Die FMEA ist heute aus der Produkt- und Prozessentwicklung in einigen Bereichen (Automobil, Elektronik) nicht mehr wegzudenken [FRE94].

Firma (Stempel, Warenzeichen)		Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluss-Analyse						Teil-Bezeichnung		Teil-Nummer	
		Konstruktions-FMEA <input type="checkbox"/>		Prozess-FMEA <input type="checkbox"/>		System-FMEA <input type="checkbox"/>		Modell/System/Fertigung		Techn. Änderungsstand	
Bestätigung durch betroffene Abteilung und/oder Lieferant		Name/Abteilung/Lieferant			Name/Abteilung/Lieferant			bestellt durch (Name/Abteilung)		Datum	Überarb. Datum
Systeme/Merkmale		Potent. Fehler	Potentielle Folgen des Fehlers	D	Potentielle Fehlerursachen	Derzeitiger Zustand		Empfohlene Abstellmaßnahmen	Verantwortlichkeit	Verbesserter Zustand	
						Vorgesehene Prüfmaßnahmen	Aufw. (A)			Bearb. (B)	Entsch. (E)
		Fehleranalyse			Risiko- beurteilung		Lösungen / Maßnahmen		Ergebnis- beurteilung		

imt 1130-018

Bild 2.18: FMEA-Formblatt nach VDA [FRA89]

2.4.3 Statistische Versuchsplanung (DoE)

Die Statistische Versuchsplanung (Design of Experiments - DoE) ist eine Methode, um im Bereich der Forschung, der Produktentwicklung, der Auslegung von Fertigungsprozessen und der gezielten Behebung von Produktionsproblemen wichtige und unwichtige Einflussfaktoren zu unterscheiden. Die Statistische Versuchsplanung wird im Gegensatz zur On-Line Quality Control (Statistische Prozessregelung) auch als Off-Line Quality Control bezeichnet. Da moderne Produkte immer komplexer aufgebaut sind, spielt eine systematische Produkt- und Prozessentwicklung eine immer größere Rolle, um alle produkt- und prozessbestimmenden Parameter zu erfassen und Änderungen in späteren Stadien vermeiden zu können [KRO91]. Experimentelle Untersuchungen sind in vielen Fällen mit einem extrem hohen Versuchsaufwand und hohen Kosten verbunden. Mit Hilfe der Versuchsmethodik können durch systematische Veränderungen mehrerer - gleichzeitig wirkender und veränderbarer - Faktoren in einer Versuchsreihe und Anwendung von statistischen Analysen Produkte und Prozesse effizient untersucht werden.

Methoden der Versuchsplanung wurden zuerst in den 30er Jahren von dem Engländer R. A. Fisher entwickelt [FIS51]. Erste Anwendungen erfuh die Versuchspla-

nung im Bereich der Landwirtschaft, wo sich experimentelle Untersuchungen über mehrere Jahre hinziehen. Schwerpunkt dieser klassischen Versuchsplanung ist die korrekte mathematische Bestimmung der Abhängigkeit zwischen Produkt- oder Prozessmerkmal und bedeutenden Einflussfaktoren. Die moderne Versuchsplanung nach Taguchi wurde in den 50er Jahren vom Japaner Genichi Taguchi entwickelt. Die Verbreitung erfolgte zunächst nur in Japan. In den 80er Jahren wurde sie in den USA bekannt und wird seit einigen Jahren auch in Europa erfolgreich eingesetzt. Der Anwendungsschwerpunkt liegt in der Festlegung und Optimierung von produkt- bzw. prozessspezifischen Qualitätsmerkmalen in der Planungsphase von Produktkonstruktion und Fertigungsprozess.

Prinzipiell muss zwischen der von Taguchi propagierten Philosophie und seiner Versuchsplanung unterschieden werden. Taguchi definiert den Begriff Qualität als Abweichung von einem Zielwert, was zunächst paradox erscheinen mag. Der Mangel an Qualität eines Produktes wird als Schaden angesehen, den es für die Volkswirtschaft verursacht. Im Gegensatz zur traditionellen Denkweise sieht Taguchi gemäß der Qualitätsverlustfunktion jede Abweichung vom Bestwert bereits als Verlust an, selbst wenn diese Abweichung noch innerhalb der Toleranz liegt. Qualität entsteht demnach nicht durch Einhaltung von Toleranzen, sondern durch Übereinstimmung des Mittelwertes aller Werte eines qualitätsbestimmenden Merkmals mit dem Sollwert bei gleichzeitig minimaler Streuung (s.a. Kapitel 2.3.1).

Kernpunkt der Versuchsmethodik nach Taguchi ist die Robust-Design-Methode. Zur Erzielung höchster Qualität bzw. Minimierung des Qualitätsverlusts ist ein beherrschter und optimierter Produktionsprozess notwendig (Robust Design), der unempfindlich ist gegenüber qualitätsmindernden Störgrößen. Es gibt zwei Arten von Einflussfaktoren, die auf das Produkt wirken. Die einen sind äußere Faktoren, die nicht oder nur sehr aufwendig einstellbar sind. Das Produkt soll so gestaltet sein, dass diese Rauschfaktoren (noise factors) nur wenig Einfluss haben. Die Konzeptfaktoren (design factors), die einfach kontrolliert und eingestellt werden können, haben bewusst gewählte Parameter. Bei der Robust-Design-Methode werden die Einstellungen der Konzeptfaktoren gesucht, bei der die Sensibilität des Prozesses gegenüber den Rauschfaktoren verschwindend gering ist [REI96].

Die Optimierung einer Produkt- und Prozessentwicklung beinhaltet nach Taguchi die Bestimmung des optimalen Systemaufbaus, der optimalen Parameterwerte und der optimalen Toleranzgrenzen [TAG86, ROS96]. Ein robuster Prozess gemäß Bild 2.19 wird demnach durch folgende drei Schritte erreicht:

1. *System Design (concept design)*: Konzeptentwicklung und Technologieauswahl für die Gestaltung von Produkt und Prozess.
2. *Parameter Design (parameter design)*: Festlegung von Parameterwerten, um den Qualitätsverlust zu minimieren und ein Maximum an Robustheit zu erhalten.
3. *Toleranz Design (tolerance design)*: Festlegung der Toleranzgrenzen, um den abnehmenden Qualitätsverlust und die zunehmenden Herstellungskosten in ein kostengünstigeres Verhältnis zu bringen.

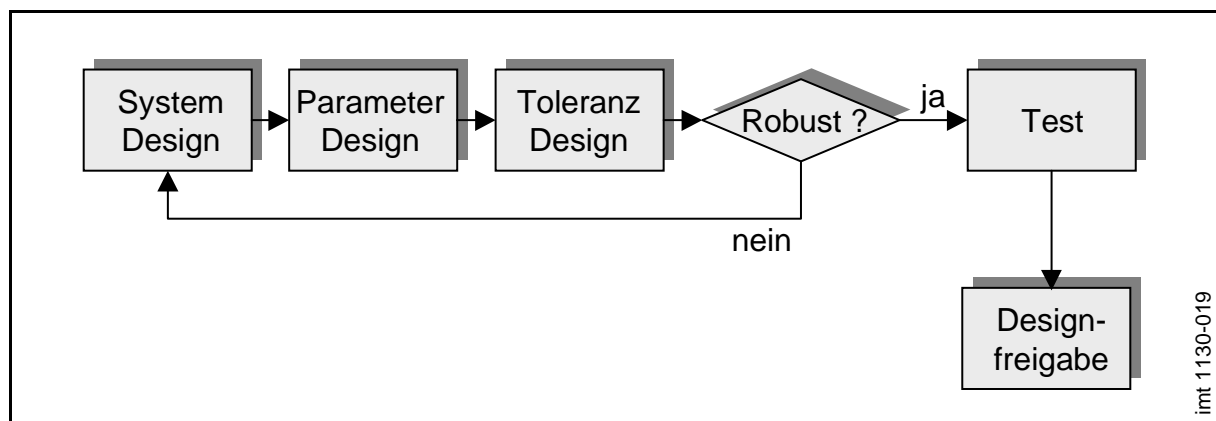


Bild 2.19: Robuster Entwicklungsprozess nach Taguchi [TIP92]

Beim System Design werden das Grundkonzept der Konstruktion und der erste Prototyp entwickelt. Hinsichtlich der Produkte wird dabei zunächst von kostengünstigeren Konstruktionen und Materialien ausgegangen, die dann später gegebenenfalls verändert werden können. Bezüglich der Prozesse werden z.B. Fertigungstechnik und Automatisierungsgrad geplant. Die entscheidende Phase ist das Parameter Design, im Rahmen dessen mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung die Robustheit der Produkte und Prozesse erhöht wird [AHS96]. Beim Parameter Design werden weite Toleranzgrenzen bezüglich der Störgrößen und die Verwendung von Komponenten und Materialien geringer Qualität vorausgesetzt, das heißt die Herstellungskosten werden auf niedrigem Niveau fixiert und die Empfindlichkeit gegenüber Störgrößen und damit der Qualitätsverlust werden minimiert [PHA89]. Materialien höherer Qualitätsstufen stellen Toleranzfaktoren dar. Die Festlegung der Toleranzen sollte daher erst nach der Minimierung der Störempfindlichkeit durch das Parameter Design erfolgen [LOG89]. Andernfalls müssten zum Erreichen eines niedrigen Qualitätsverlustes unnötigerweise Materialien und Komponenten höherer Qualität spezifiziert werden. In der abschließenden Phase des Toleranz Designs werden die Toleranzen von Produkt- und Prozessparametern reduziert, wo dies notwendig erscheint, da trotz der Optimierung im Parameter Design noch zu große Streuungen vorliegen. Möglichkeiten sind hier vor al-

lem die Investition in bessere Werkzeuge und Maschinen sowie andere Materialien und Rohstoffe.

Zur Entwicklung robuster Prozesse werden bestimmte Datenmatrizen, sog. orthogonale Versuchspläne verwendet. Taguchis Beitrag zur modernen Versuchplanung liegt im wesentlichen in der Schaffung des sog. outer arrays. Die Konzeptfaktoren werden bei der Versuchsplanerstellung im inneren Feld (inner array) und die Rauschfaktoren im äußeren Feld (outer array) eingetragen (Bild 2.20). Aus der Versuchsanalyse werden die optimalen Werte der Einflussfaktoren bestimmt.

								Outer Array							
								Noise Factors	1	2	3				
									Columns				1	2	3
								Control Factors				Results			
Experiment Column Number	Experiment Number	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4			
	1	1	1	1	1	1	1	1							
2	1	1	1	2	2	2	2								
3	1	2	2	1	1	2	2								
4	1	2	2	2	2	1	1								
5	2	1	2	1	2	1	2								
6	2	1	2	2	1	2	1								
7	2	2	1	1	2	2	1								
8	2	2	1	2	1	1	1								

imt 1130-020

Bild 2.20: Versuchsplan mit innerem und äußerem orthogonalem Feld [ROS96]

Taguchi sieht die Versuchsmethodik als integralen Bestandteil der Produktentwicklung [MAS94]. Mit Hilfe der Parameterplanung als wesentlichen Teil der Taguchi-Methode können z.B. die Test- und Erprobungsphase von Produktentwicklungen systematisiert werden. Darüber hinaus können die Qualitätsforderungen verbessert, die Durchlaufzeit für die Erreichung beschränkt und im Vergleich zu Trial-and-Error-Versuchen verkürzt sowie Kosten der Entwicklung und des Produktes reduziert werden [PES96]. Die Robust-Design-Methode konzentriert sich auf die Festlegung der Parameterwerte (parameter design). Viele Unternehmen verlassen sich bei der Qualitätsverbesserung stark auf die Festlegung von Toleranzgrenzen (tolerance design) und

auf die Konzeptentwicklung (concept design). Die Abhängigkeit von der Festlegung der Toleranzgrenzen verteuert die Produktherstellung, die Abhängigkeit von verbesserten Konzeptentwicklungen erfordert Innovationen, die nur sehr schwer zu planen sind und deshalb zu längeren Entwicklungszeiten führen [PHA89].

Angesichts des heute vorherrschenden Kosten- und Zeitdrucks bei Produktentwicklungen sowie gestiegener Kundenerwartungen an die Produktqualität ist der Einsatz der Versuchsplanung nach Taguchi in der Entwicklungsphase von Produkten und Prozessen ein geeignetes Hilfsmittel, um systematisch und kostensparend geforderte Qualitätsniveaus zu erreichen [FRE93]. Der Einsatz ist überall dort sinnvoll, wo man mit starken, unbekanntem Wechselwirkungen zwischen den Faktoren rechnen muss. Allerdings können nicht berücksichtigte Wechselwirkungen - wenn sie nicht vorher erkannt und als Konzeptfaktoren in den Versuchsplan mit aufgenommen wurden - zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen. Die Einführung der Rauschfaktoren stellt einen großen Fortschritt auf dem Weg zu zuverlässigen, weniger stör anfälligen Produkten dar. Hier liegt der besondere Wert des Verfahrens.

Problematisch an Taguchi's Versuchplanungsmethode sind die stark vermengten Versuchspläne, die statistisch nicht exakte Auswertung und das umstrittene Signal-Rauschverhältnis als Qualitätsmaßstab. Darüber hinaus liegt in der Erhöhung des Versuchsaufwands durch Berücksichtigung der Rauschfaktoren sowie in der Notwendigkeit eines Bestätigungsversuches ein Hemmnis für einen breiteren Einsatz der Methode [REI96].

2.4.4 Design Review (DR)

Design Review (DR) ist eine Methode zur Qualitätsprüfung des Entwurfs, die im Gegensatz zu den drei vorher aufgezeigten Methoden nur eine punktförmige Überprüfung der Qualitätserfüllung darstellt. Die Reviewtechnik entstand in den 60er Jahren im militärischen Bereich und in der Raumfahrt. Ziel der Reviewtechnik ist es, Unzulänglichkeiten oder Fehler frühzeitig aufzudecken und Lösungsmöglichkeiten zur Behebung bzw. Vermeidung zu entwickeln. Zu diesem Zweck werden an signifikanten Entwicklungsstufen (Meilensteine) die jeweils vorliegenden Entwicklungsergebnisse kritisch auf Einhaltung der gestellten Anforderungen hin überprüft. Die Methodik des Design Reviews ist damit ein Werkzeug der Produktsicherung, das im Rahmen der Fehlerverhütung vor Serienbeginn eingesetzt wird [PFE96].

Die Definition des Design Review lautet [DGQ93, DIN94d]:

„Design Review ist eine dokumentierte, umfassende und systematische Untersuchung eines Entwurfes, um dessen Eignung zu beurteilen, die Qualitätsforderungen zu erfüllen, um ggf. existierende Probleme zu identifizieren und dazu die Entwicklung von Problemlösungen vorzuschlagen. Ein Design Review kann in irgendeinem Stadium der Entwicklung, sollte aber stets nach Abschluss der Entwicklung durchgeführt werden. Design Reviews sollen Problembereiche und Unzulänglichkeiten identifizieren und vorhersehen sowie Korrekturmaßnahmen einleiten, um sicherzustellen, dass das endgültige Design und die zugehörigen Angaben die Kundenforderungen erfüllen.“

Design Reviews sollen in den einzelnen Stadien der Produktentstehung beurteilen, ob das in der Spezifikation vorgegebene Entwicklungsziel in allen Punkten erreicht wird. Sie sollen Abweichungen und Probleme im Vorfeld aufzeigen, um rechtzeitig Korrekturmaßnahmen einleiten zu können, um sicherzustellen, dass das Produkt mit möglichst wenig Fehlern und Risiken in die nächste Entwicklungsstufe eintritt [BIR91]. Die wesentlichen Stadien sind Verabschiedung der endgültigen Spezifikation, Abschluss der Vorentwicklung, Abschluss der Entwicklung und Konstruktion, Fertigstellung des Prototyps und Ende der Nullserie [FRE94].

Ein Design Review darf nicht von der für die Leistungserstellung verantwortlichen Stelle durchgeführt werden, sondern Design Reviews werden in Teams durchgeführt, die sich aus den Mitgliedern der einzelnen am Entwicklungsprozess beteiligten Abteilungen zusammensetzen [MAS94]. Damit werden die Erfahrungen aller Beteiligten genutzt und die Kommunikation über Bereichs- und Abteilungsschnittstellen hinweg verbessert. In jedem Stadium der Produktentstehung sollen die jeweils betroffenen Teammitglieder teilnehmen. Bei Design Reviews, in denen über die Fortführung bzw. den Abbruch eines Projektes entschieden wird, werden die Auftraggeber bzw. das Management mit einbezogen [REI96].

Die Design Reviews finden anhand der bisher erstellten Unterlagen und der erzielten (Test-)ergebnisse statt. Ausgehend vom Produktentstehungsablauf werden phasenbezogen verschiedene Design Reviews unterschieden (Tabelle 2.1). Beim Vorgehen wird die Produkthierarchie und der jeweilige Stand im Entwicklungsprozess berücksichtigt. Für die Beurteilung und Bewertung der Entwicklungsergebnisse der einzelnen Stadien der Produktentstehung können verschiedene Hilfsmittel zum Einsatz kommen. Dies können neben Checklisten und Bewertungslisten auch Qualitätstabellen (QFD), Risikoanalysen (Fehlerbaumanalyse, FMEA), Nutzwertanalysen und statistische Versuchsmethoden (DoE) sein. Das Ergebnis der Überprüfungen ist ein Bericht mit Vorschlägen für Korrekturen zur Gewährleistung der Zielerreichung. Dane-

ben sind stets auch die Anforderungen des Pflichtenheftes selbst zu diskutieren und ggf. zu präzisieren [MAS94].

Tabelle 2.1: Typen von Design Reviews [BEU93]

Bezeichnung	Phase	DR-Objekt
PDR (Preliminary DR)	Definition	Pflichtenheft
SDR (System DR)	Entwicklung	Baugruppen
CDR (Critical DR)	Qualifikation	Prototypen
MDR (Manufacturing DR)	Vorserie	Fertigungs- prozesse
FDR (Finalfactoring DR)	Ende Vorserie	Pilotlos

2.5 Produktintegrität (PI)

Der Begriff Produktintegrität leitet sich von dem lateinischen Begriff „integer“ (= vollständig, ganzheitlich, unverletzt, unversehrt, aufrichtig, ehrlich) ab. Die Verwendung dieses Begriffes ist äußerst selten, vereinzelt wird er im Bereich der Mess- und Analysetechnik von Konsumprodukten [PIC99, IDT99], der Rechtswissenschaften [HES99], der Medizintechnik [NMS99, WOL99], der Biotechnologie [GBF99a], der Übersetzungstechnik [WHT99] und in der Verlagsindustrie [INM99] gebraucht. Darüber hinaus gibt es auch im Bereich der Produktentwicklung einige Ansätze, in denen der Begriff verwendet wird. Die Bedeutung von Produktintegrität ist entsprechend der großen Verwendungsbreite verschieden. Grundsätzlich wird mit dem Begriff Produktintegrität ein Produkt charakterisiert, das kundengerecht, fehlerfrei und stabil ist und diesbezüglich getestet und überprüft worden ist. Im folgenden werden einige prägnante Sichtweisen und Definitionen aus den oben genannten Bereichen näher erläutert.

Carrubba [CAR75] hat den Begriff Produktintegrität bereits 1974 geprägt. Unter dem Begriff Produktintegrität wird die Güte eines Produktes verstanden, wobei die Sicherheit eines guten Produktes, die durch das Zusammenspiel verschiedener Ingenieurdisziplinen geschaffen wird, mit Produktintegrität gleichgesetzt wird. Die Produktintegrität besteht aus einem vorher festgelegten, optimalen Gleichgewicht von Aspekten, die sich unter den Schlagwörtern Funktions- und Leistungsfähigkeit, Ästhetik, Zuverlässigkeit, Leichtigkeit, Wirtschaftlichkeit und Sicherheit von Handhabung und Wartung sowie Reproduzierbarkeit zusammenfassen lassen.

Bei Ford wurde der Begriff Produktintegrität Ende der 70er Jahre bei der Entwicklung des Ford Taurus verwendet und ist als Erweiterung des Begriffes Qualität verstanden worden [DOO88]. Die Qualität, die bei der Simultaneous Engineering Entwicklung des Ford Taurus erste Priorität hatte, wurde nicht nur auf Produkte, Fertigung und Montage begrenzt, sondern wurde vielmehr auf alles bezogen, was mit der Entwicklung des Taurus direkt oder indirekt zu tun hatte. Doody [DOO88] spricht in diesem Zusammenhang von einer ethische Komponente der Qualität.

Bersoff [BER80] beschreibt Produktintegrität im Zusammenhang mit der Entwicklung von Software. Eine Produktentwicklung allein auf Grundlage der Umsetzung technischer Spezifikationen muss nicht zwangsläufig erfolgreich sein. Fallen beispielsweise die Entwicklungskosten signifikant höher aus, als ursprünglich geplant oder ist das Produkt für den Kunden schlecht handhabbar oder verschiebt sich der Vertriebsstart um Wochen und Monate, kann die Produktentwicklung oder auch das Produkt selbst als ungenügend, fehlerhaft oder gescheitert angesehen werden. Der Begriff Produktintegrität charakterisiert nach Bersoff [BER80] ein Produkt, das die geforderten, vorausgesetzten, geplanten oder vermuteten Kundenanforderungen in alle Phasen des Produktlebenszyklus erfüllt, das sich ausgehend von der Produktidee durch alle Phasen des Lebenszyklus zurückverfolgen lässt und das spezifizierte Leistungsmerkmale trifft. Entsprechend wird die Produktintegrität eines Produktes verfehlt, wenn beispielsweise Kostenrahmen und Auslieferungstermine überschritten werden. Die Produktintegrität umfasst demnach die Erfüllung der Kundenanforderungen unabhängig davon, ob sie zuvor festgelegt wurden oder nicht, und ist daher ein Maß für die Erfüllung der tatsächlichen Wünsche und realistischen Erwartungen des Kunden. Aus diesem Grund hat die Entwicklung die Verantwortung für die Gewährleistung der Produktintegrität eines Produktes und für die Umsetzung der Erwartungshaltung des Kunden, die sich in dem Sprichwort „the customer is always right“ ausdrückt [BER80]. Ein wesentlicher Aspekt zur Erreichung von Produktintegrität ist die Einsicht des Managements, dass nicht nur die ausführenden Disziplinen eines Unternehmens sondern auch die unterstützenden Disziplinen wie Konfigurations(Änderungs-)management, Qualitätssicherung, Verifikation und Validation sowie Test und Evaluation einzubeziehen sind. Gerade diese unterstützenden Disziplinen sind für das Management wichtig, um die gesamte Entwicklungsleistung prüfen und beurteilen zu können [BER80]. Darüber hinaus sind Projektorganisation und Projektmanagement entscheidende Faktoren für die erfolgreiche Entwicklung eines integren Produktes. Produktintegrität darf nicht erst in späten Phasen des Entwicklungsprozesse Beachtung finden, sondern muss bereits in den planenden Phasen zu Beginn eines Projektes als Ziel festgelegt werden.

Clark und Fujimoto [CLA92] verstehen unter Produktintegrität die Ausgewogenheit von Produkt- und Prozessrozesanforderungen. Ein wesentlicher Aspekt für eine effiziente Produktentwicklung ist die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen durch Erzielung von Produktintegrität. Neben der Automobilindustrie ist in vielen Branchen nicht mehr nur der Preis und die Leistung eines Produktes ausschlaggebend für seinen Markterfolg, sondern auch die Ausgewogenheit zwischen vielen verschiedenen Merkmalen, wie beispielsweise Ästhetik, Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit und verwendete Technik. Der Grad, in dem ein Produkt diese Ausgewogenheit erreicht, ist ein Maß für die Produktintegrität [CLA92].

Im Bereich der Rechtswissenschaften kommt der Begriff Produktintegrität ebenfalls zum Einsatz. In Abgrenzung zum Qualitätsbegriff umfasst die Produktintegrität nach Hess [HES99] neben dem Nutzungsinteresse auch das Gebrauchsinteresse, also den Grad der Fehlerlosigkeit eines Produktes im Hinblick auf den gewöhnlichen oder vertraglich vorausgesetzten Gebrauch und die zu erwartende Sicherheit. Der Begriff Produktintegrität besagt damit, dass sich ein Produkt in einem fehlerfreien Zustand befindet. Als Rechtsbegriff ist die Bezeichnung „Integritätsinteresse“ geläufig, der das Interesse eines Eigentümers an dem Erhalt seiner Sache definiert. Der Begriff „Äquivalenzinteresse“ dagegen umfasst die Erwartung, den Wert und die Nutzungsmöglichkeit einer mangelfreien Sache zu erhalten.

Die Biomedizintechnik verwendet den Begriff Produktintegrität im Zusammenhang mit dem Lagerverhalten von Stoffen [GBF99b]. Im Arzneimittelrecht und in der Pharmabetriebsverordnung wird das Lagerverhalten geregelt und mit Hilfe des Begriffes Produktintegrität beschrieben. Unter Produktintegrität wird demnach die Stabilität eines Stoffes oder Produktes unter Lagerbedingungen verstanden. Dazu wird die Messung der Aktivität bzw. Zersetzung eines Stoffes unter Lagerbedingungen durch analytische Verfahren durchgeführt und daraus die Produktintegrität bestimmt.

Die Ausführungen machen deutlich, dass bereits in den 70er und 80er Jahren der Begriff Produktintegrität im Bereich der Produktentwicklung vereinzelt Verwendung fand. Alle neueren Quellen gebrauchen Produktintegrität zum Teil in sehr unterschiedlicher Weise. Eine Übersicht über die unterschiedliche Verwendung des Begriffes Produktintegrität zeigt Bild 2.21.

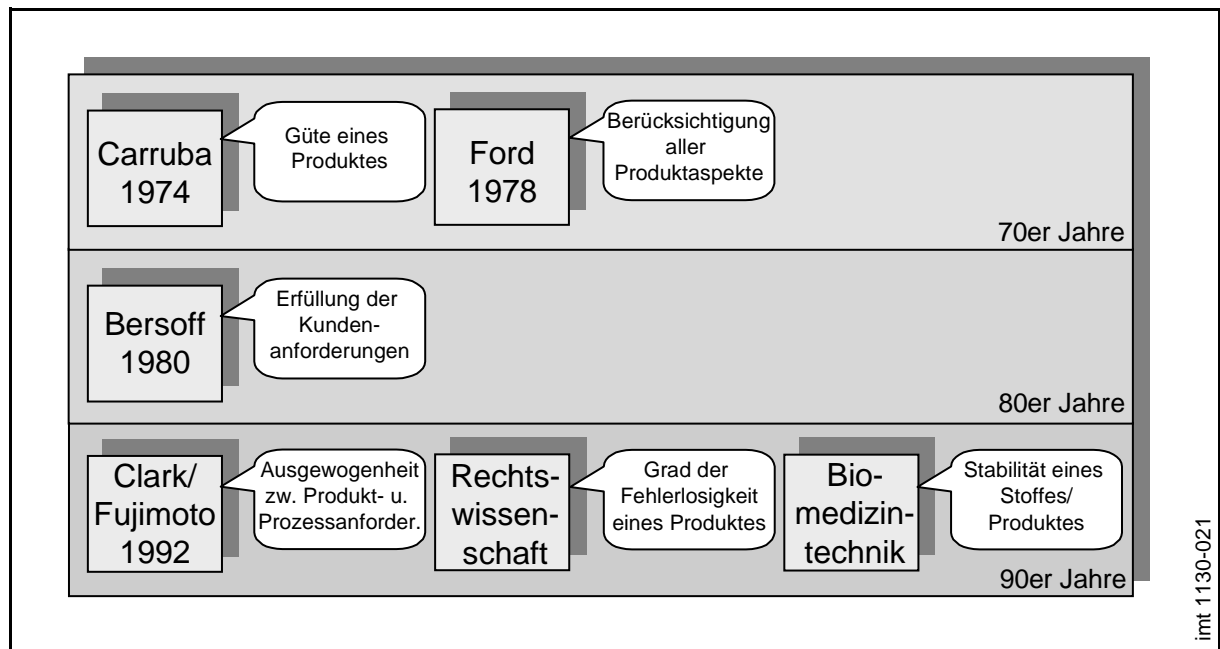


Bild 2.21: Unterschiedliche Verwendung des Begriffes Produktintegrität

3 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen hängt heute entscheidend davon ab, wie schnell neue, kunden- und marktorientierte Produkte entwickelt und auf den Markt gebracht werden können. Durch neue technische Innovationen nimmt die Komplexität von Produkten bei gleichzeitig sinkenden Produktlebenszyklen stetig zu. Die Folge ist, dass die Produktentwicklungszeiten, also die Zeitspanne bis zur Produkteinführung („Time to Market“), zwangsläufig immer kürzer werden müssen. Der Einsatz von Concurrent Engineering innerhalb der Produkt- und Fertigungsprozessentwicklung bietet hierbei entscheidende Vorteile, denn ein frühzeitiges Zusammenwirken aller an der Produktentstehung beteiligten Bereiche kann zu einer beschleunigten Markteinführung des Produktes führen. Der Einfluss einer umfassenden Produktqualifizierung von Entwicklungsbeginn an wird innerhalb von Concurrent Engineering-Entwicklungsumgebungen bisher kaum betrachtet. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollte daher ein Beitrag zur durchgängigen und zeitnahen Qualifizierung der Entwicklungstätigkeiten in allen Phasen des Entwicklungsprozesses geleistet werden.

Die Zielsetzung dieser Arbeit besteht in der Untersuchung der Entwicklungsprozesse bei der klassischen und bei der vernetzten Produktentwicklung im Hinblick auf eine Produktqualifizierung, die bereits in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses zum Einsatz kommt. Die Qualifizierung des Produktes wird als Potential für die Beschleunigung der Entwicklungsprozesse bei gleichzeitig erhöhter Produktqualität betrachtet, denn eine Durchführung in Echtzeit hat entscheidenden Einfluss auf die Verringerung von zeitaufwendigen Iterationen und Nachbesserungen. Von zentraler Bedeutung ist der Begriff Produktintegrität. Hieraus folgt das Produktintegritätskonzept als umfassendes Qualifizierungssystem für den Entwicklungsprozess. Kernansatz ist dabei die Gewissensfunktion, die eine objektive Beurteilung des jeweiligen Entwicklungsstandes in allen Entwicklungsphasen gewährleistet. Diese Gewissensfunktion wird durch eine Produktintegritätsgruppe ausgeführt, die alle Produkthanforderungen von der Festlegung bis zu deren Umsetzung im Produkt zu jeder Zeit und damit regelrecht in Echtzeit durch festgelegte Analyse- und Qualifizierungsmaßnahmen verfolgt. Damit kann zeitnah die Rückkopplung zur Entwicklungsabteilung erfolgen.

Im praktischen Teil der Arbeit erfolgt die Anwendung des erarbeiteten Produktintegritätskonzeptes innerhalb eines kleinen und mittelständischen Unternehmens (KMU), woraus die Zielerreichung des Konzeptes durch spezifische Anwendungsfälle hervorgeht. Aus den gewonnenen Erkenntnissen resultiert ein praxisnaher Beitrag zur Echtzeitqualifizierung zum Einsatz in Concurrent Engineering.

4 Vorgehensweise

Die aus der Aufgabenstellung und der Zielsetzung der Arbeit abgeleitete Vorgehensweise zur Entwicklung eines umfassenden Echtzeitqualifizierungsprogrammes im Rahmen von Concurrent Engineering ist in Bild 4.1 dargestellt.

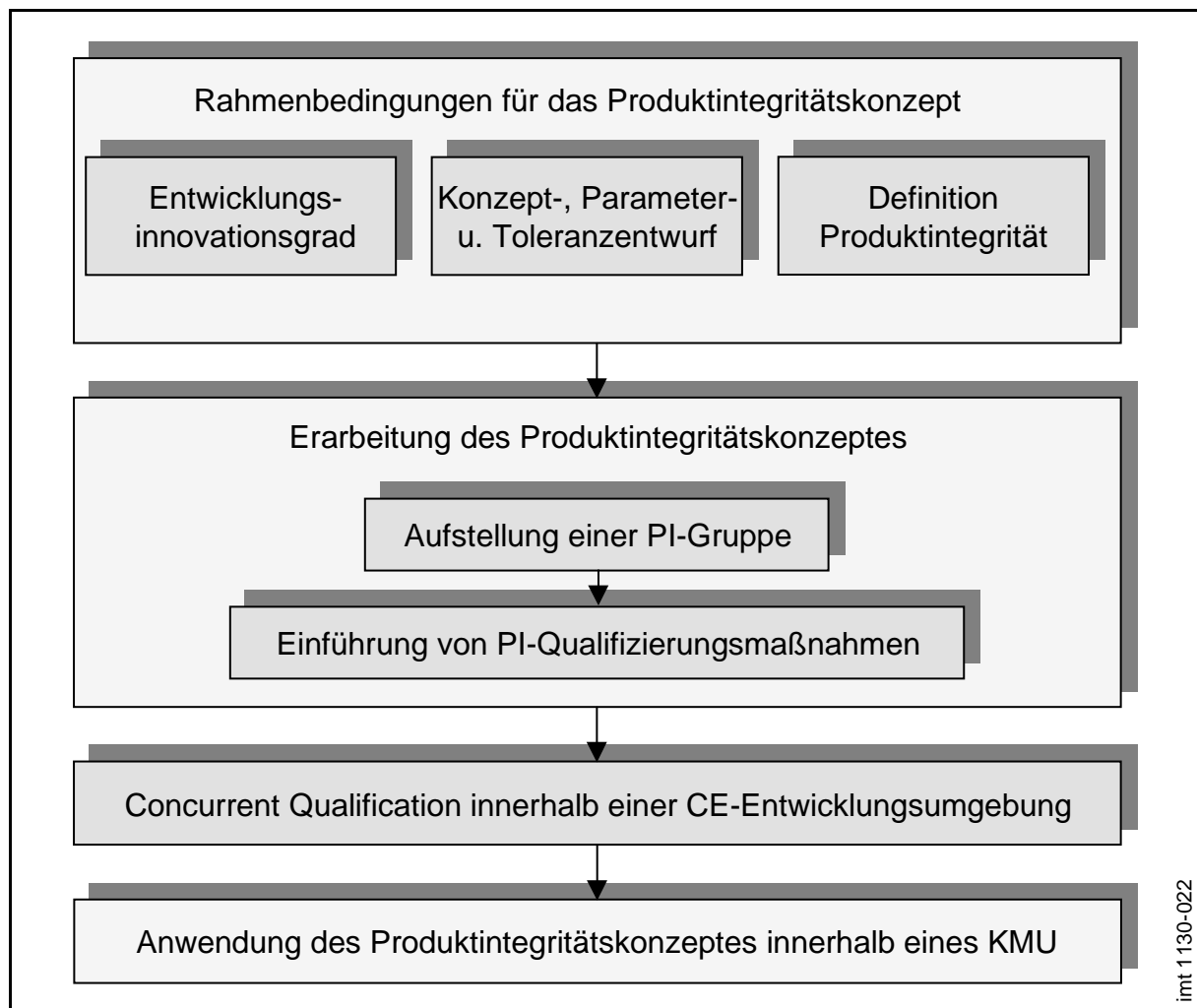


Bild 4.1: Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Die Arbeit lässt sich in das Themengebiet des Concurrent Engineering einordnen. Ein Concurrent Engineering-Programm ist gekennzeichnet durch eine parallele und vernetzte Durchführung komplexer Entwicklungsaufgaben bezogen auf die Produktentwicklung und die Entwicklung der benötigten Fertigungsprozesse. Das Umfeld für die Entwicklung dieses Echtzeitqualifizierungsprogrammes stellen der klassische, sequentielle Produktentwicklungsprozess, Ansätze und Methoden des Concurrent Engineering sowie Qualitätsmanagementmethoden dar. Die Arbeit stellt einen Ansatz vor, der einen Beitrag zur Qualifizierung der Entwicklungstätigkeiten in Echtzeit liefert, um

den heutigen Anforderungen an eine effiziente und anforderungsgerechte Produktentwicklung zu entsprechen.

Der Erarbeitung des Produktintegritätskonzeptes liegen unterschiedliche Rahmenbedingungen zugrunde, die bei der Entwicklung des Konzeptes zu berücksichtigen sind. Hierzu zählen neben der Sichtweise von Konzept-, Parameter- und Toleranzentwurf als Gliederung für jede Entwicklungsphase und den verschiedenen Stufen des Entwicklungsinnovationsgrades vor allem die Definition des Begriffes Produktintegrität. Sie stellt die wesentliche Basis für das Bewusstsein für eine Echtzeitqualifizierung im Rahmen von Concurrent Engineering dar.

Aufbauend auf den Rahmenbedingungen für das zu entwickelnde Qualifizierungskonzept wird zunächst der Fragestellung nach Integration des Konzeptes in den Entwicklungsprozess eines Unternehmens nachgegangen. Das Produktintegritätskonzept soll als proaktives Qualitätselement innerhalb einer unternehmensweiten Qualifizierungsumgebung eingebunden werden. Dabei wird die Aufstellung und Integration einer Produktintegritätsgruppe als Hilfsmittel für die gesamte Produktentwicklungsphase verfolgt, um einen anwendungsorientierten Einsatz des Konzeptes zu ermöglichen. Einen entscheidenden Schwerpunkt des Produktintegritätskonzeptes bilden die zeitnahen Qualifizierungsmaßnahmen, die eine umfassende Qualifizierung der Entwicklungstätigkeiten nahezu in Echtzeit vorsehen. Hierbei handelt es sich in erster Linie um die Durchführung von Produktintegritäts-Analysen, Produktintegritäts-Qualifizierungstests und Produktintegritäts-Fehleranalysen. Ferner kann die Produktintegritätsgruppe auch für die Kundenqualifizierung verantwortlich sein. Die Einbindung aller Qualifizierungsmaßnahmen in den Entwicklungsprozess eines Unternehmens stellt einen weiteren Gesichtspunkt des Produktintegritätskonzeptes dar. Dabei wird die zeitliche Einordnung aller Maßnahmen betrachtet und deren Bedeutung für eine Echtzeitqualifizierung herausgestellt. Ein Regelkreismodell veranschaulicht den Gesamtzusammenhang. Dadurch ergibt sich aus der Qualifizierungsfunktion innerhalb eines Concurrent Engineering-Prozesses die Concurrent Qualification (CQ).

Die theoretischen Ansätze zur Erstellung eines Echtzeitqualifizierungsprogrammes für die Produktentwicklung werden im letzten Abschnitt der Arbeit auf deren praxisgerechten Einsatz hin überprüft und validiert. Die Anwendung des Konzeptes erfolgt unter der Berücksichtigung unternehmensrelevanter Randbedingungen innerhalb eines kleinen und mittelständischen Unternehmens (KMU) der Elektronikbranche.

5 Erarbeitung des Produktintegritätskonzeptes

5.1 Rahmenbedingungen

Das Produktintegritätskonzept (PI-Konzept) stellt eine Methode für die Durchführung von Echtzeitqualifizierungsmaßnahmen während der Entwicklungsphase innerhalb komplexer Concurrent Engineering-Entwicklungen dar. Die hierbei vorherrschenden Rahmenbedingungen werden im folgenden betrachtet, um die Notwendigkeit für die Anwendung des Produktintegritätskonzeptes aufzuzeigen. Dazu zählen Aspekte, die für die Entwicklung und Durchführung des PI-Konzeptes bedeutenden Einfluss haben. Neben der Darstellung des Entwicklungsinnovationsgrades, der gerade für die Entwicklungsansätze entscheidend sein kann, und den Ausführungen über den detaillierten Ablauf einer evolutionären Concurrent Engineering-Entwicklung spielt die Definition des Begriffes Produktintegrität für das Produktintegritätskonzept eine übergeordnete Rolle.

5.1.1 Entwicklungsinnovationsgrad

Eine Produktentwicklung lässt sich in Abhängigkeit von dem Ausmaß, wie innovativ das entwickelte Produkt oder die Prozesse zur Herstellung des Produktes sind, unterscheiden. Die Entwicklung eines neuen Produktes wird entsprechend dem sog. Entwicklungsinnovationsgrad in eine Entwicklung nach dem Stand der Technik, in eine evolutionäre Entwicklung und in eine revolutionäre Entwicklung eingeteilt [GAT98]. Der Entwicklungsinnovationsgrad bezieht sich entweder nur auf das Produkt, nur auf den Prozess oder aber auf beides gleichzeitig. Das eine ist vom anderen in der Regel nicht zu trennen. Bei der Produktentwicklung und der Entwicklung der zugehörigen Fertigungsprozesse treten meist alle drei Arten von Entwicklungsinnovationsgraden auf. Ein Produkt oder ein Prozess wird entweder als ganzes oder als Teil oder in Teilkomponenten völlig neu entwickelt. In der Regel kann man auf bestehende Produkte des eigenen Unternehmens zurückgreifen, die bereits im Markt sind oder die sich in einem fortgeschritteneren Stadium des Entwicklungsprozesses befinden. Das gleiche gilt für die einzusetzenden Fertigungsprozesse, die entweder bereits erprobt und eingesetzt sind oder die für das Produkt neu entwickelt werden müssen. Eng mit dem Entwicklungsinnovationsgrad verknüpft sind Aspekte wie Komplexität, Planbarkeit und die sich daraus ergebenden Konsequenzen und Anforderungen für die Mitarbeiter. Eine entsprechende Gegenüberstellung liefert Bild 5.1. Durch die Einordnung einzelner Bereiche einer Produktentwicklung entsprechend der Entwicklungsinnovationsgrade wird eine Hilfestellung bezüglich der daraus resultierenden Anforderungen und Konsequenzen an den Entwicklungsprozess ermöglicht.

Entwicklungs- innovationsgrad	Komplexität	Planbarkeit	Anforderungen an Mitarbeiter
Stand der Technik	gering	gut	Disziplin / Detektivtalent
Evolutionäre Entwicklung	hoch	durchaus	Kreativität
Revolutionäre Entwicklung	extrem / zu erwarten: Chaos	nein	Ingenuität / Erfindergeist

int 1130-023

Bild 5.1: Entwicklungsinnovationsgrad [nach GAT98]

Im folgenden erfolgt eine genaue Beschreibung der drei verschiedenen Entwicklungsinnovationsgrade.

a) Stand der Technik

Eine Stand der Technik Entwicklung zeichnet sich dadurch aus, dass die Mehrzahl von Aspekten, die das Produkt oder den Prozess betreffen, keine Änderung erfahren, wenn sie nicht ausdrücklich erforderlich und notwendig sind. Das heißt, dass nur ein sehr geringer Anteil wirklich den Charakter einer Neuentwicklung hat. Mit einer Stand der Technik Entwicklung lassen sich Entwicklungszeiten stark verkürzen und ganz besonders das Risiko einer Neuentwicklung auf ein Mindestmaß reduzieren. Allerdings kann man mit einem derart entwickelten Produkt weder die Marktführerschaft innerhalb eines Bereiches erobern, noch entsprechend hohe Gewinne erzielen, denn hohe (Anfangs-)Verkaufspreise lassen sich nur mit innovativen Neuentwicklungen erzielen, die frühzeitig auf den Markt gebracht werden.

Eine Entwicklung nach dem Stand der Technik ist aufgrund fehlender innovativer und damit komplexer Sachverhalte gut planbar bezüglich des (Zeit-)Aufwandes und der entstehenden Kosten. Die Anforderungen an das Produkt und die Herstellungsverfahren sind allgemein bekannt und entsprechend einfach übertragbar. Von den Mitarbeitern im Entwicklungsbereich wird daher keine Kreativität („reinventing the wheel“), sondern insbesondere striktes Vorgehen und Disziplin bei der Umsetzung der Aufgabenstellung erwartet. Eine andere Bezeichnung für eine Entwicklung nach dem Stand

der Technik ist auch repetitionäre Entwicklung, wodurch die Wiederholung von Bekanntem und Erprobtem (Produkte und Verfahren) zum Ausdruck kommt.

b) Evolutionäre Entwicklung

Die evolutionäre Entwicklung stellt wohl die häufigste Art der Produkt- und Prozessentwicklung dar. Eine evolutionäre Produktentwicklung ist eine stetige, allmählich fortschreitende Weiterentwicklung, bei der neue Fertigungsverfahren und -prinzipien zum Einsatz kommen. Sie zeichnet sich durch einen gewissen Neuerungsgrad und damit verbundener Ungewissheit aus. Trotz hoher Komplexität bleibt der Entwicklungsprozess dennoch planbar. Eine evolutionäre Entwicklung hat zum Ziel, ein neues, innovatives Produkt auf den Markt zu bringen, das sich grundlegend von bestehenden Produkten unterscheidet. Für die Produktentwicklung bedeutet der evolutionäre Ansatz, dass anstelle einer vollständigen Vorausplanung ein schrittweiser, der Situation angepasster Entwicklungsablauf realisiert werden muss, in den alle Abteilungen frühzeitig eingebunden sind. Die an der Entwicklung beteiligten Mitarbeiter müssen dabei vor allem Kreativität zur Lösungsumsetzung einbringen. Ein evolutionärer Concurrent Engineering-Entwicklungsprozess ist damit durchaus planbar, solange er vorwiegend evolutionäre Elemente enthält. Hieraus ergibt sich die Hauptforderung bezüglich des entwickelten Produktintegritätskonzeptes, trotz weitgehender Planbarkeit des Entwicklungsprozesses eine Vorgehensweise zu beschreiben, mit deren Hilfe man das Risikopotential einschränken kann und gleichzeitig möglichst schnell zum Entwicklungsziel gelangt.

c) Revolutionäre Entwicklung

Eine revolutionäre Produktentwicklung beschreibt radikale und umwälzende Prozesse im Hinblick auf die Produktentstehung. Sie zeichnet sich durch extreme Komplexität aus und ist dementsprechend nicht mehr planbar. Durch diese Ungewissheit hinsichtlich der Realisierungsmöglichkeiten sowie Planungsunsicherheit bezüglich Ressourceneinsatz und Kostenvorhersage besteht auch die Gefahr, dass die Entwicklung häufig chaotische Züge annimmt. Die Abgrenzung zur Vorentwicklung und Forschungstätigkeiten ist bei revolutionären Entwicklungen nicht mehr groß. Revolutionäre Entwicklungen haben zum Ziel, in entscheidenden Bereichen des Produktes oder der Herstellungsverfahren völlig neue Ansätze zu beschreiben, für deren Umsetzung es bisher keine annähernde Vergleichsansätze oder -ergebnisse gibt. Damit kann eine revolutionäre Entwicklung teilweise Forschungscharakter haben, um durch neuen Technologieeinsatz bisher nicht gekannte Ergebnisse zu erzielen. Das damit verbundene hohe Risiko muss bei einer revolutionären Entwicklung mit bestimmten Sicherheits-

maßnahmen abgefangen werden. So ist in jedem Fall eine innovative Rückfalllösung anzustreben (häufig auch als „Backup-Lösung“ bezeichnet), auf die man bei Nichterreichen des Entwicklungszieles zurückgreifen kann. Nur so lässt sich das hohe Risiko, dass dadurch möglicherweise das gesamte Entwicklungsprojekt scheitert, einschränken. Von den Entwicklungsmitarbeiter wird Ingenuität und Erfindergeist verlangt. Aufgrund der starken Planungsunsicherheit ist eine Produktentwicklung, die überwiegend revolutionäre Entwicklungsanteile enthält, in jedem Fall zu vermeiden. Das vorgestellte Produktintegritätskonzept wird diesbezüglich keine detaillierte Vorgehensweise beschreiben, sondern nur bedingt auf mögliche revolutionäre Tendenzen und Aspekte hinweisen.

5.1.2 Der evolutionäre CE-Entwicklungsprozess

Der Concurrent Engineering-Entwicklungsprozess ist gekennzeichnet durch eine hohe Parallelität und Vernetzung dynamischer und komplexer Prozesse. Durch die Parallelität wird die bisher sequentiell abgelaufene Prozessbearbeitung („über die Mauer werfen“) vermieden. Die einzelnen Prozesse beginnen nicht erst nach Beendigung des vorangegangenen Prozesses, sondern sie laufen zeitversetzt und im Idealfall zeitgleich ab. Die Vernetzung bezieht sich auf die beteiligten Abteilungen und Bereiche eines Unternehmens, um so deren spezifischen Anforderungen und Sichtweisen in den Entwicklungsprozess einbringen zu können. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass alle produktspezifischen Aspekte, die das Produkt über seinen gesamten Lebenszyklus hinweg beeinflussen, so früh wie möglich berücksichtigt werden können. Beides führt zwangsläufig zu einer erhöhten Komplexität des Entwicklungsprozesses.

Wie bereits erläutert wurde, lässt sich ein Entwicklungsprozess grundsätzlich, unabhängig davon, ob er sequentiell oder parallel und vernetzt durchgeführt wird, in die beiden Hauptbereiche Produkt- und Prozessentwicklung einteilen. Zum besseren Verständnis für die erforderlichen Qualifizierungsschritte während des Entwicklungsablaufes werden in dieser Arbeit diese beiden Bereiche jeweils in die drei Phasen Konzeptentwurf, Parameterentwurf und Toleranzentwurf gegliedert. Diese Einteilung entspricht weitestgehend dem Ansatz von Taguchi, der als Voraussetzung für die Gewährleistung robuster Prozesse die Produkt- und Prozessentwicklung in System Design, Parameter Design und Toleranz Design vornimmt (s.a. Kapitel 2.4.3). Während der Phase des Konzeptentwurfes wird das Grundkonzept der Konstruktion erarbeitet und ein erstes Muster erzeugt. Die Phase des Parameterdesign legt im weiteren Verlauf der Entwicklung alle erforderlichen Parameterwerte zur funktionsgerechten Erfüllung der Produkthanforderungen fest. Im anschließenden Toleranzentwurf werden allen produkt- und prozessspezifischen Parameterwerten entsprechende Toleranzwerte zu-

geordnet, um die Voraussetzung für die Serienfertigung zu schaffen. Das Produkt wird anschließend in der Vorserienfertigung erstmals mit Serienwerkzeugen hergestellt und danach montiert. Diese Art der Einteilung der verschiedenen Phasen des Entwicklungsprozesses lässt erkennen, welche Qualifizierungsschritte an welcher Stelle des Prozesses erforderlich sind. Es wird weiterhin deutlich, welcher Teilbereich der Entwicklungstätigkeiten zu welchem Zeitpunkt verifiziert wird.

Die meisten Entwicklungsprozesse sind dadurch gekennzeichnet, dass sie in hohem Maße innovative Produkte und Fertigungsverfahren beinhalten. Wie in Kapitel 5.1.1 dargestellt, sind evolutionäre Entwicklungsprozesse in der Regel planbar. Die Verifizierung der jeweiligen Entwicklungsschritte und deren Ergebnisse ist für die qualitätsgerechte Entwicklungsarbeit Grundvoraussetzung. Die Notwendigkeit dieser Verifizierung und Qualifizierung von Beginn der Entwicklung an macht eine Gliederung des CE-Prozesses in geeignete Teilprozesse und -phasen erforderlich. Für die Betrachtung des Produktintegritätskonzeptes im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird daher der evolutionäre Concurrent Engineering-Entwicklungsprozess in einzelne Abschnitte unterteilt, innerhalb derer die jeweiligen Entwicklungs- und Qualifizierungstätigkeiten ablaufen (Bild 5.2). Dabei erfolgt die Einteilung nicht abteilungsbezogen, sondern ablauf- bzw. prozessorientiert. Hiermit wird eine Abkehr von der bisherigen zeitlichen Trennung von Produkt- und Prozessentwicklung vollzogen. Die Parallelen zur Einteilung, wie sie bereits Taguchi bei seiner Robust Design Methode vorgenommen hat, werden deutlich. Es wird vorausgesetzt, dass die Prozesse idealerweise zeitgleich ablaufen und daher eine Untergliederung in Anlehnung an die Konzept-, Parameter- und Toleranzphasen sinnvoll ist.

Ausgangspunkt für den Prozess sind die Anforderungen und Wünsche des Kunden an das neue Produkt. Die erste Phase des CE-Prozesses dient der Konzeptfindung. In dieser Konzeptphase werden durch Beteiligung aller Unternehmensbereiche aus den Kundenanforderungen die konkreten Entwicklungsvorgaben abgeleitet. Ergebnis der Konzeptphase ist das Pflichtenheft, das die Grundlage für den Entwicklungsbeginn und weiteren Entwicklungsverlauf darstellt. Der Konzeptphase schließt sich die Frühentwicklungsphase an, in der die Umsetzung der festgelegten Produktanforderungen erfolgt. Hier werden alle erforderlichen Entwicklungsmaßnahmen und Untersuchungen zur Umsetzung der geforderten Produktfunktionen bis hin zur detaillierten Ausarbeitung und Erstellung eines ersten Produktmusters durchgeführt. Alle fertigungsrelevanten Betrachtungen werden ebenfalls bereits von Beginn der Frühentwicklungsphase an vorgenommen, um in Abstimmung mit den Produktentwicklung einen möglichst parallelen Ablauf der Entwicklung zu gewährleisten. Der Frühent-

wicklungsphase schließt sich die Kernphase der Entwicklung an, in der die Konkretisierung des Produktes weiter fortschreitet. Diese Phase ist dadurch gekennzeichnet, dass in ihr noch entwickelt, bereits gefertigt und gleichzeitig intensiv getestet wird. Daher kommt der Kernentwicklungsphase eine besonders große Bedeutung zu. Denn gerade in dieser Phase besteht das größte Potential, das Produkt hinsichtlich aller relevanten Aspekte zu durchleuchten und Nachbesserungen durch Entwicklungsiterationen möglichst zeitnah einfließen zu lassen. Auch wenn Entwicklungsprojekte in den späten Phasen der Produktentwicklung generell zur Zeitknappheit neigen, sollte diese Phase so intensiv wie möglich zur Qualifizierung des Produktes genutzt werden, um späte Nachbesserungen nach erfolgtem Fertigungsstart zu verhindern. Diese Phase stellt hinsichtlich des entwickelten Produktintegritätskonzeptes den Kernbereich dar, innerhalb dessen das Konzept Anwendung findet. Als vierte und letzte Phase dieser Einteilung des CE-Prozesses folgt die Phase des Fertigungsanlaufes (Launch). In dieser letzten Phase wird das Produkt nach erfolgreich durchgeführter Vorserienprüfung über eine Nullserie zum Serienfertigungsstart geführt. Von hier an sollte die Verantwortung für das Produkt allein bei der Fertigung liegen und die Entwicklung vollständig von ihrer Entwicklungsaufgabe entbunden sein. Bezüglich des Fertigungsanlaufes kommen infolge der zunehmende Globalisierung auch Gesichtspunkte zum tragen, die sich aus der räumlichen und geographischen Trennung von Entwicklung und Fertigung ergeben können. Auf diese Aspekte wird in dieser Arbeit aber nicht weiter eingegangen.

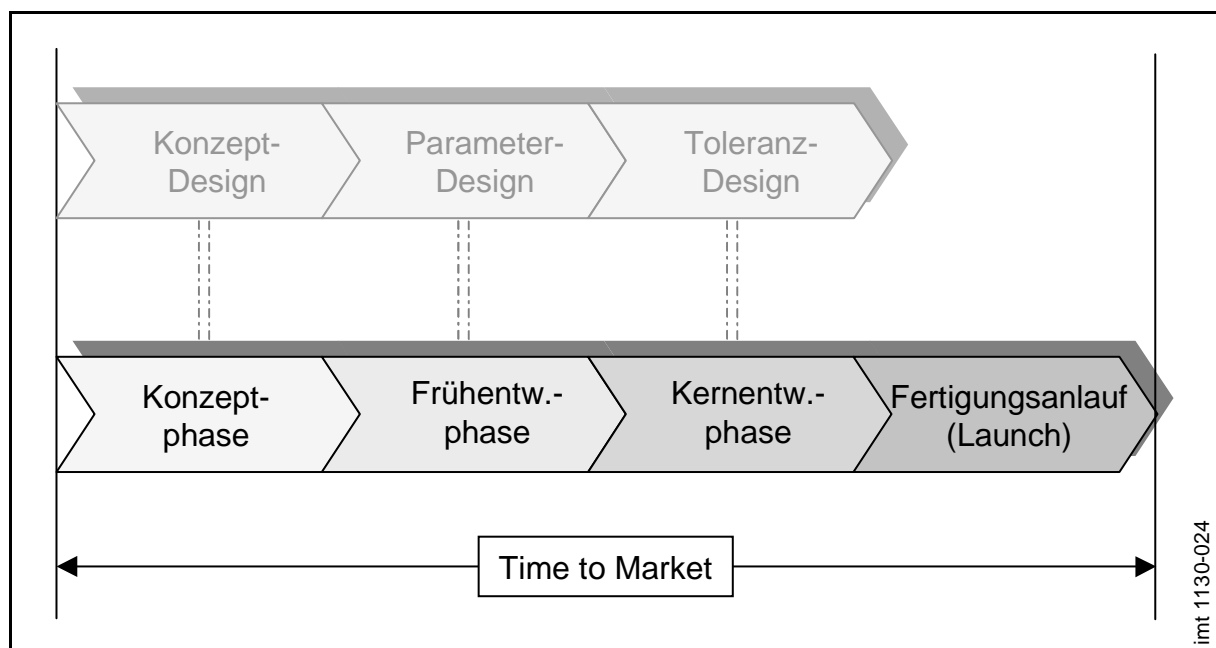


Bild 5.2: Entwicklungsphasen eines evolutionären CE-Prozesses

5.1.3 Definition von Produktintegrität

Die verschiedenen Verwendungen des Begriffes Produktintegrität in der Literatur sind in Kapitel 2.5 vorgestellt worden. Der Begriff Produktintegrität stellt den Kernansatz zur Qualifizierung der Produktentwicklungsergebnisse bei einer Concurrent Engineering-Entwicklung dar. Um den Begriff Produktintegrität im Zusammenhang mit dem entwickelten Produktintegritätskonzept verwenden zu können, erfolgt daher zunächst eine Definition für diese Arbeit. Vor dem Hintergrund der bestehenden Definitionen und der internationalen Qualitätsdefinition der Norm ISO 8402 [ISO94] (s.a. Kapitel 2.3.1) wird der Begriff Produktintegrität in dieser Arbeit eingeordnet (Bild 5.3).

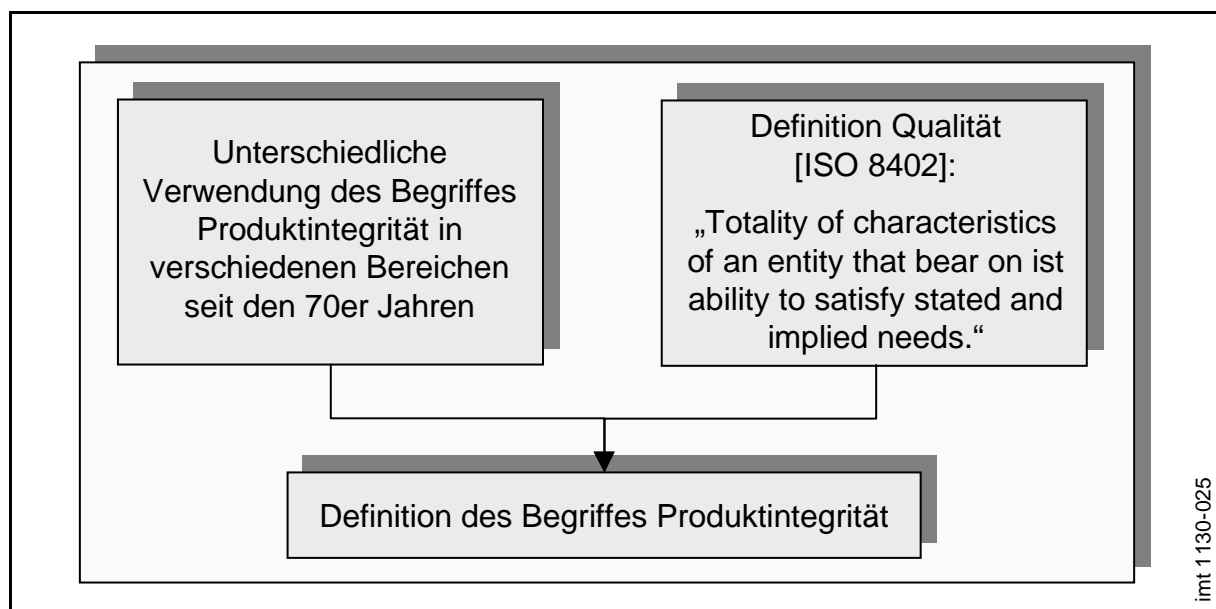


Bild 5.3: Einordnung des Begriffes Produktintegrität

Mit dem Begriff Produktintegrität wird in dieser Arbeit der Anspruch für die umfassende und frühzeitige Berücksichtigung und Umsetzung aller Produkthanforderungen im Rahmen der Entwicklungstätigkeiten formuliert. Die Produkthanforderungen ergeben sich aus der Umsetzung der festgelegten Kundenanforderungen, die in einem Lastenheft definiert worden sind. Darüber hinaus können die vom Kunden nicht geäußerten Anforderungen, die sog. unterstellten oder implizierten Anforderungen, für die Produktentwicklung und für das Produkt relevant sein. Die ISO 8402 spricht in diesem Zusammenhang von „stated and implied needs“, den festgelegten und implizierten Forderungen [ISO94]. Die Qualität eines Produktes wird demnach nur durch die Erfüllung aller verschiedenen Anforderungen erreicht. Für den Kunden steht außer Frage, dass seine Anforderungen umgesetzt werden und er ein qualitativ hochwertiges Produkt erhält. Er setzt die Qualität des Produktes voraus und erwartet sie, unabhängig

davon, was festgeschrieben worden ist oder nicht. Zudem sind schwer greifbare Aspekte eines Produktes, die sich nicht in eindeutig spezifizierbare Daten übertragen lassen, wie z.B. haptische Aspekte, für die Qualität eines Produktes entscheidend. Den Anspruch, den man damit insbesondere an eine evolutionäre Concurrent Engineering-Entwicklung stellt, nämlich ein komplexes und innovatives Produkt in kürzester Entwicklungszeit auf den Markt zu bringen, bei dem alle auf den Produktlebenszyklus bezogenen Aspekte Berücksichtigung finden, wird durch den Begriff Produktintegrität ausgedrückt.

Für die Erzielung der Integrität eines Produktes sind dementsprechend alle Aspekte, Parameter, Größen und Bedingungen, die das Produkt über den gesamten Lebenszyklus ausgehend von der Idee über die Nutzungsphase bis hin zur Entsorgung oder Recycling beeinflussen, bereits von der frühen Produktentwicklungsphase an von Bedeutung. Und neben den geäußerten Kundenerwartungen sind auch die nicht geäußerten Erwartungen zu berücksichtigen und umzusetzen. Produktintegrität steht in diesem Sinne für die Vollkommenheit bezüglich der Berücksichtigung von Produktanforderungen und für die Fehlerfreiheit eines Produktes bezüglich der Umsetzung der Anforderungen. Diese Betrachtung bezieht sich nicht nur auf den reinen Entwicklungsprozess und endet nach Auslieferung des Produktes an den Kunden, sondern schließt alle Aspekte bezüglich der Nutzungsphase des Produktes beim Kunden mit ein.

Die Integrität des gesamten Produktentwicklungsprozesses zur Umsetzung aller Produktanforderungen betrifft nicht nur die Entwicklung und Konstruktion, sondern auch die Entwicklung der erforderlichen Fertigungsprozesse. Die Fertigung muss die Robustheit der Prozesse und Verfahren gewährleisten, um Störgrößen im Fertigungsprozess zu reduzieren und damit die gefertigten Teile möglichst wenig variieren. Nur in Verbindung mit einem robusten Fertigungsprozess kann die Integrität des Produktes durch einen entsprechenden Entwicklungsprozess erreicht werden und zu einem Produkt hoher Qualität führen. Die Kombination von Produktintegrität als sog. Gewissensfunktion für den Entwicklungsprozess und Robustheit als Kriterium für den Fertigungsprozess sind gemeinsam die Garanten für ein Produkt hoher Qualität (Bild 5.4). Produktintegrität und Fertigungsrobustheit sind damit erst gemeinsam die Voraussetzungen für die Qualität eines Produktes.

Im Zuge verstärkter Kundenorientierung muss die Produktentwicklung mit den beiden Hauptphasen Produkt- und Fertigungsprozessentwicklung sicherstellen, dass alle Produktanforderungen erfüllt werden. Der Kunde hat Anspruch darauf, dass seine Anforderungen durch die optimale Auswahl von Lösungen realisiert werden und er ein

Produkt erhält, dass durch den Einsatz der bestmöglichen Entwicklungsleistung erstellt wird. Die Produktintegrität soll diesbezüglich eine Gewissensfunktion für die Produktentwicklung darstellen, aus der Hinweise für den Entwicklungsprozess abgeleitet werden können. Bild 5.5 erläutert diese Betrachtungsweise.

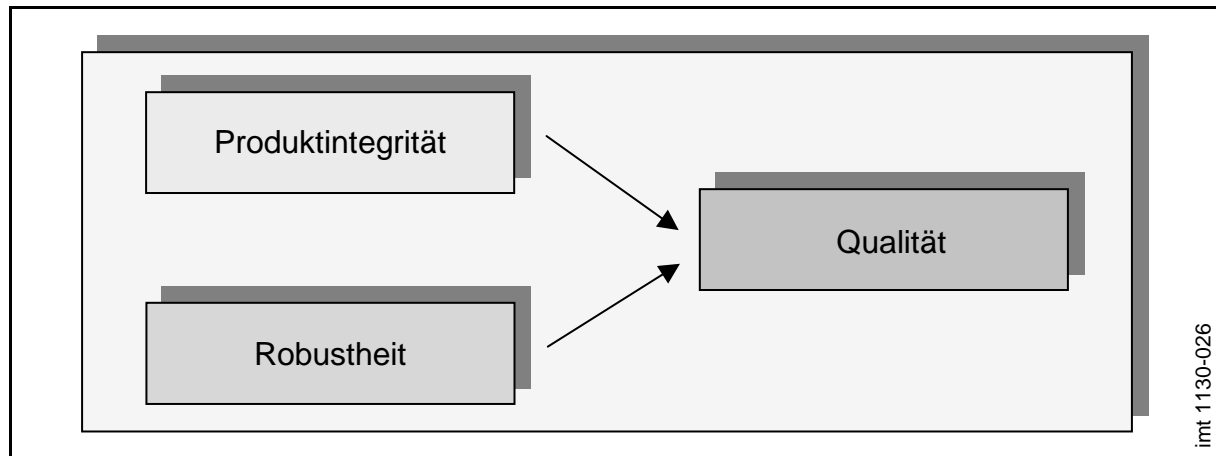


Bild 5.4: Produktintegrität, Robustheit und Qualität

Die Produkthanforderungen werden im Laufe der Entwicklungsphase umgesetzt, deren Überwachung durch eine umfassende Qualifizierung gewährleistet werden muss. Die Produktintegrität umfasst die Gesamtheit aller Maßnahmen, die dazu führen sollen, dass ein Produkt entwickelt wird, bei dem alle Produkthanforderungen von Beginn an berücksichtigt werden. Durch die Überwachung der Umsetzung der Produkthanforderungen kann jederzeit eine Aussage zum jeweiligen Entwicklungsstand gemacht werden. Diese Vorgehensweise ist die Grundvoraussetzung für die Möglichkeit, so zeitnah wie möglich und nicht erst nach Beendigung eines Entwicklungsschrittes oder einer Entwicklungsphase Einfluss auf den weiteren Entwicklungsverlauf nehmen zu können. Nur durch eine proaktive Methode, wie das im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte PI-Konzept, lassen sich im Hinblick auf die Qualität der Produkte und die daraus resultierende Kundenzufriedenheit gezielt und frühzeitig, und damit proaktiv, entwicklungsprozesssteuernde Maßnahmen einbringen und verfolgen. Insbesondere im Rahmen von evolutionären Entwicklungen ist eine solche proaktive Prozesssteuerung in Echtzeit zur Überwindung von Komplexität und Zeitnot unumgänglich. Die Produktintegrität als Gewissensfunktion liefert den „ungeschminkten“, objektiven Ist-Zustand der Produktentwicklung und führt daher neben der Beurteilung der Produkthanforderungen dazu, wie weit der Umsetzungsgrad dieser Produkthanforderungen vorangeschritten ist und wie weit dementsprechend der Entwicklungsfortschritt realisiert werden konnte. Ein Produkt kann nur dann eine hohe Produktintegrität erlan-

gen, wenn der Entwicklungsprozess sicherstellt, dass alle Anforderungen an das Produkt frühzeitig berücksichtigt und folglich umgesetzt werden.

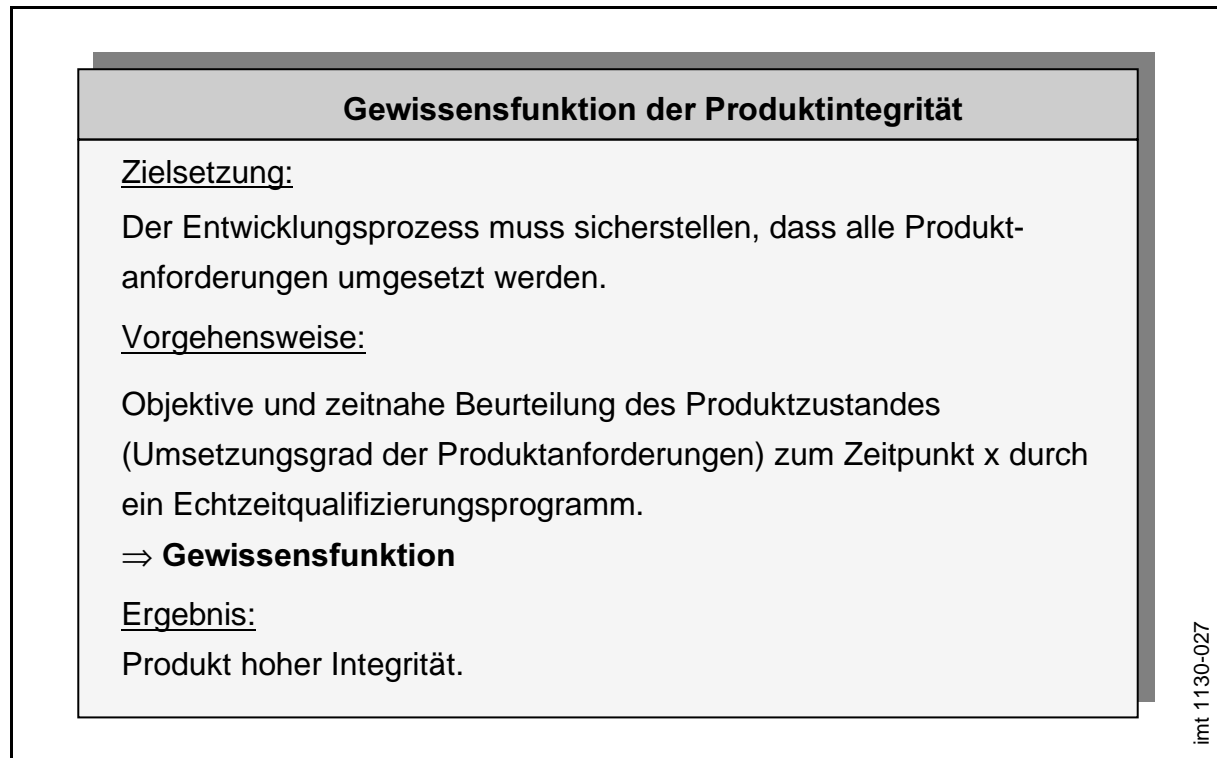


Bild 5.5: Gewissensfunktion der Produktintegrität

Aus der vorausgegangenen Betrachtung leitet sich die Definition des Begriffes Produktintegrität für das Verständnis in dieser Arbeit ab. Sie soll folgendermaßen definiert werden:

„Produktintegrität (PI) ist die Gesamtheit aller Maßnahmen zur Ausübung einer Gewissensfunktion für den Entwicklungsprozess, um die Berücksichtigung, Umsetzung und Erfüllung aller Anforderungen an das Produkt während der gesamten Produkt- und Fertigungsprozessentwicklung sicherzustellen.“

Unter Produktintegrität wird damit die weit über das allgemeingültige Verständnis von Qualität hinausgehende Forderung an ein neu zu entwickelndes Produkt verstanden, alle nur möglichen Produkthanforderungen so früh wie möglich zu berücksichtigen und durch einen entsprechenden Entwicklungsprozess umzusetzen. Dabei dient die Produktintegrität als Gewissensfunktion für den Entwicklungsprozess, wodurch eine Hinterfragung aller Anforderungen und Ansätze und die Verfolgung deren Umsetzung in jeder Phase des Entwicklungsverlaufes erfolgt. PI bildet das Grundverständnis für

ein Produkt, bei dem die vollkommene Berücksichtigung aller Aspekte von Beginn der Entwicklung an im Zentrum der Betrachtungen steht. Dem wenig fassbaren Begriff der Qualität steht damit eine konkrete Betrachtungsweise gegenüber, durch die zeitnahe und entsprechend proaktive Vorgehensweisen im Entwicklungsablauf beschrieben werden, um den Zielsetzungen einer evolutionären CE-Produktentwicklung gerecht zu werden. Im Vordergrund stehen hierbei neben der Untersuchung der Anforderungen deren Umsetzung in allen Entwicklungsphasen. Mit dem Begriff Produktintegrität wird der Anspruch formuliert, in Früh- und Kernentwicklungsphase der CE-Entwicklung eine Gewissensfunktion zu übernehmen.

5.2 Systematik des Produktintegritätskonzeptes

Wie bei der Definition des Begriffes Produktintegrität verdeutlicht, stellt das Produktintegritätskonzept eine proaktive Methode im Rahmen des Produktentwicklungsprozesses dar, um die Umsetzung aller Anforderungen, die das Produkt über den gesamten Lebenszyklus beeinflussen, im Rahmen einer Concurrent Engineering-Entwicklung zu gewährleisten. Zielsetzung ist es, zu überwachen, ob das Produkt im Laufe des Entwicklungsprozesses allen Anforderungen gerecht wird bzw. gerecht werden kann (Bild 5.6). Dabei wird nicht zwischen festgelegten und unterstellten Anforderungen unterschieden. Die Produktintegrität als Gewissensfunktion für die Produktentwicklung führt durch das Produktintegritätskonzept gleichsam zu einer Bewertung der Anforderungen und zu einer Bewertung der Umsetzung dieser Anforderungen.

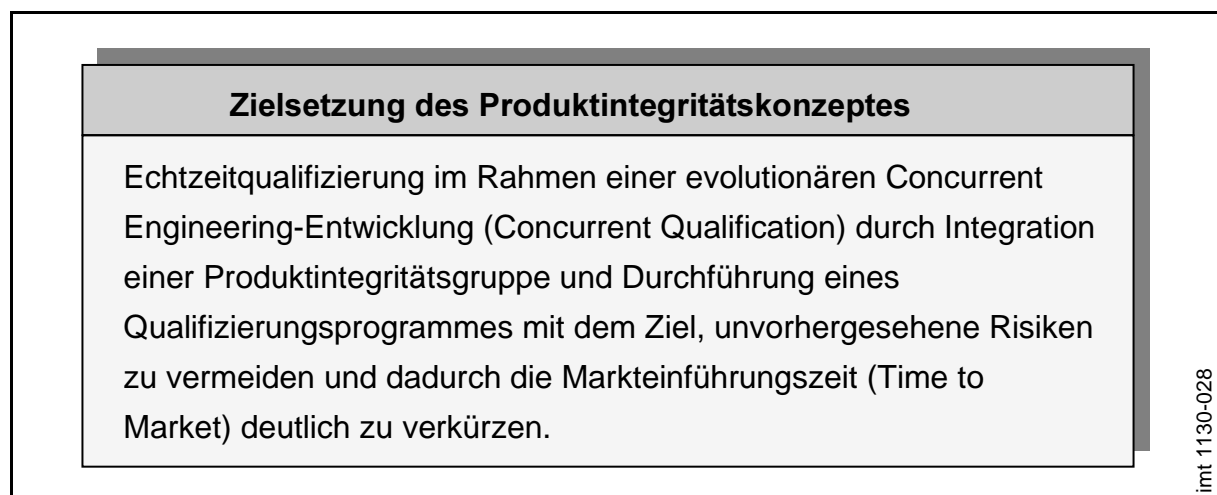


Bild 5.6: Zielsetzung des PI-Konzeptes

Eine Produktentwicklung enthält immer verschiedene Anteile von Entwicklungsinnovationsgraden, abgestuft nach Stand der Technik, evolutionärer und revolutionärer

Entwicklung (s.a. Kapitel 5.1.1). Zur Lenkung und Unterstützung komplexer Entwicklungsprozesse müssen neben den zum Stand der Technik gehörenden Qualitätsmanagementmethoden (s.a. Kapitel 2.4) ergänzende Möglichkeiten zur Steigerung der Qualitätsfähigkeit untersucht und entwickelt werden. Eine Schlüsselrolle einer komplexen Concurrent Engineering-Entwicklung kommt der frühen Durchführung von Qualifizierungsmaßnahmen zu, um Nachentwicklungen in den späten Phasen des Entwicklungsprozesses möglichst auszuschließen. Wie gezeigt wurde, werden klassischerweise Produktqualifizierungstests erst nach vollständig abgeschlossener Produktentwicklung durchgeführt. Dieses Vorgehen führt zwangsläufig zu Nachentwicklungen sowohl im Bereich der Produktentwicklung als auch bezogen auf den Fertigungsprozess. Diese Problematik soll durch das im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Produktintegritätskonzept vermieden werden. Vorrangige Zielsetzung des PI-Konzeptes ist es, unvorhergesehene Risiken im Verlauf eines Entwicklungsprozesses auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Aus dem Anspruch der Produktintegrität leitet sich für die Concurrent Engineering-Entwicklung daher eine Qualifizierung nahezu in Echtzeit ab, die es ermöglicht, die zeitaufwendigen und kostenintensiven Nacharbeiten nach Beendigung der Produktentwicklung zu umgehen. Die Produktintegrität stellt die Gewissensfunktion für die Entwicklung dar, wobei neben der Bewertung der Produktanforderungen die Bewertung der Pflichtenhefterfüllung durch das Produktintegritätskonzept im Vordergrund steht. Damit lässt sich eine auf den Concurrent Engineering-Entwicklungsprozess abgestimmte Produktqualifizierung erreichen. Diese Echtzeitqualifizierung im Rahmen einer CE-Entwicklung wird in dieser Arbeit mit dem Begriff Concurrent Qualification (CQ) zum Ausdruck gebracht.

Die Rahmenbedingungen für die Entwicklung des PI-Konzeptes aus dem vorangegangenen Kapitel haben deutlich gemacht, dass sowohl für die Qualität eines Produktes und damit die Erfüllung aller festgelegten und unterstellten Anforderungen als auch für die Qualität des Entwicklungsprozesses die Einführung des Begriffes Produktintegrität von entscheidender Bedeutung ist. Die Produktintegrität als Gewissensfunktion für den Entwicklungsprozess bildet die Voraussetzung für eine frühzeitige Qualifizierung und Verifizierung aller Entwicklungstätigkeiten. Damit liefert sie einen proaktiven Beitrag innerhalb des Produktentwicklungsprozesses. Hierzu wird eine Produktintegritätsgruppe als Hilfsmittel für die Produktentwicklungsphase eingeführt. Dies führt zu einem umfassend qualifizierten Produkt, das allen Anforderungen gerecht wird, damit kundenorientiert ist und schnell auf den Markt gebracht werden kann. Zielcharakter hat das PI-Konzept insbesondere für komplexe, vor allem evolutionäre Concurrent Engineering-Entwicklungen, die durch die Vernetzung der verschiedenen Abteilungen und das parallele Ausführen von Entwicklungstätigkeiten geprägt sind.

Das Produktintegritätskonzept wird damit auch dem Anspruch an eine Concurrent Engineering-Entwicklung gemäß Canty gerecht, die frühzeitige und umfassende Berücksichtigung aller Produktaspekte, die das Produkt über den gesamten Lebenszyklus beeinflussen, in den Vordergrund zu stellen.

Mit Hilfe des Produktintegritätskonzeptes wird ein proaktiver Ansatz beschrieben, der speziell im Bereich der evolutionären Concurrent Engineering-Entwicklungsprozesse die Nachweisführung der qualitäts- und anforderungsgerechten Umsetzung der Produkthanforderungen liefert. Im Gegensatz zu Forderungen an ein Qualitätsmanagementsystem, wo alle Abläufe detailliert festgeschrieben werden, liegt die Zielsetzung des Produktintegritätskonzeptes darin, den Entwicklungsstand nahezu jederzeit durch geeignete Qualifizierungsmaßnahmen objektiv überprüfen zu können und für alle transparent und nachvollziehbar zu machen. Nur so wird jedem der Stand des Produktes innerhalb der komplexen Entwicklungsumgebung bewusst und kann allen zur Verfügung gestellt werden. Ausgehend von diesem Wissen kann dann umgehend, ohne Zeitverzug reagiert werden und erforderliche Maßnahmen eingeleitet werden. Wie die Ausführungen in Kapitel 2.3.3 gezeigt haben, ist der gesamte planende Bereich einer Produktentwicklung in der Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff. nur wenig berücksichtigt. Es lassen sich allerdings auch nur Abläufe sinnvoll standardisieren, wenn sie geregelt ablaufen. Das ist bei komplexen Entwicklungsprozessen gerade in der Entwicklungsphase nicht der Fall, denn situationsbedingte Abweichungen lassen sich im Vorhinein nur schwer festlegen. Das heißt, dass dynamische, situativ abhängige Zusammenhänge im Rahmen der Entwicklungsphase durch normative Qualitätsmanagementsysteme nur sehr vage bzw. überhaupt nicht geregelt werden können. Für die Beschreibung repetitiver Abläufe einer Stand der Technik Entwicklung jedoch können sie einen Beitrag zur Schaffung von Transparenz leisten.

Das vorgestellte Produktintegritätskonzept soll diesbezüglich einen Beitrag liefern, um während der Entwicklungstätigkeiten eine geeignete Vorgehensweise zu beschreiben. Denn nur mit der Konkretisierung der allgemeinen Forderungen aus der Normenreihe und deren zeitnahen Verfolgung im weiteren Entwicklungsablauf werden Unternehmen in der Lage sein, ein kundenorientiertes und damit anforderungsgerechtes Produkt zu entwickeln. Im Qualitätsmanagementsystem wird keine konkrete Vorgehensweise beschrieben, die die Umsetzung und Erfüllung der Anforderungen im Entwicklungsbereich zum Ziel hat und gleichzeitig eine Bewertung dieser Anforderungen berücksichtigt. Hierbei soll das Produktintegritätskonzept zum Einsatz kommen, bei dem die Überwachung der Pflichtenhefterfüllung in Echtzeit das entscheidende Hilfsmittel für die Produktentwicklung ist, um die Time to Market zu verkürzen. Es bietet

damit einen proaktiven Beitrag auch im Rahmen eines bestehenden, unternehmensweiten Qualitätsmanagementsystems. Die Produktintegrität spielt dabei die Rolle des Gewissens und ist die Entscheidungsgrundlage für eine objektive Bewertung und Beurteilung des Entwicklungsstatus. Dadurch kann vor allem auch die Komplexität des Concurrent Engineering-Prozesses bewältigt werden.

Voraussetzung für eine praxisgerechte Anwendung des Konzeptes ist die Integrierbarkeit in bestehende innerbetriebliche Entwicklungsabläufe eines Unternehmens und die Konformität zu Qualitätsmanagementsystemen und Qualitätsnormen. Dieser Forderung wird einerseits Rechnung getragen, indem für die Anwendung des Konzeptes nur geringe aufbauorganisatorische Anpassungen notwendig sind und die Anwendung insgesamt zu keinem Mehraufwand führt, da die äußerst aufwendigen Änderungen in späteren Phasen des Produktentstehungsprozesses, insbesondere auch nach Serienfertigungsbeginn, vermieden werden. Andererseits wird der Forderung nach Konformität zu bestehenden Qualitätsmethoden und -normen durch die Definition des Begriffes Produktintegrität entsprochen (s.a. Kapitel 5.1.3). Das PI-Konzept ist demnach als proaktive Erweiterung von Qualifizierungsmaßnahmen während des Entwicklungsprozesses und als Ergänzung des unternehmensweiten Qualitätsmanagementsystems zu verstehen, wobei dem Entwicklungsbereich ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Die Systematik des Produktintegritätskonzeptes ist in [Bild 5.7](#) dargestellt. Die Grundlage stellt die Definition des Begriffes Produktintegrität mit dem damit verbundenen Anspruch an eine Gewissensfunktion für den Entwicklungsprozess dar. Diese ist Ausgangspunkt für die Bildung einer Produktintegritätsgruppe innerhalb der Unternehmensorganisation als ausführendes Organ des Produktintegritätskonzeptes. Das Echtzeitqualifizierungsprogramm ist der Kernbereich des PI-Konzeptes und wird durch die Produktintegritätsgruppe im Entwicklungsverlauf ausgeführt. Die durchgängige Anwendung des proaktiven PI-Konzeptes schafft dann die Voraussetzung, um im Rahmen einer Concurrent Engineering-Entwicklung zu einer Concurrent Qualification zu gelangen. Die beiden Hauptelemente der Echtzeitqualifizierung sind demnach:

- Bildung einer Produktintegritätsgruppe, die in die Unternehmensorganisation integriert wird.
- Durchführung eines Echtzeitqualifizierungsprogrammes mit Produktintegritäts-Analyse und Produktintegritäts-Qualifizierung.

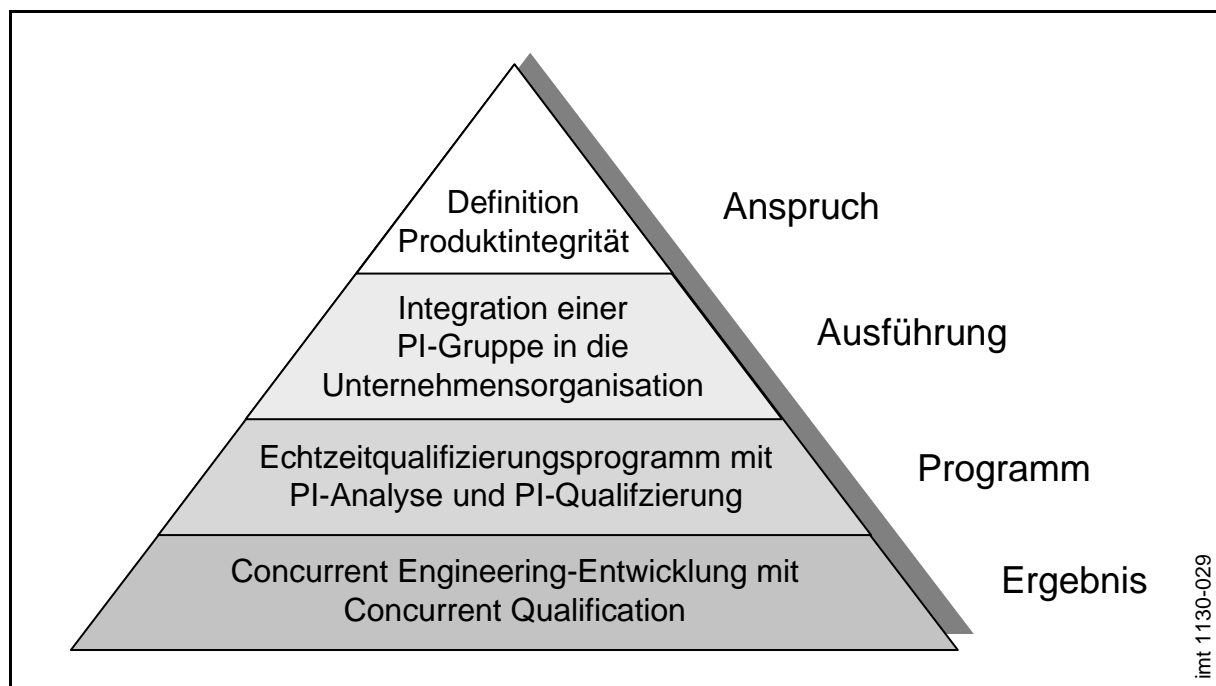


Bild 5.7: Systematik des Produktintegritätskonzeptes

5.3 Produktintegritätsgruppe (PI-Gruppe)

Neben der Definition des Begriffes Produktintegrität bildet die Produktintegritätsgruppe als ausführendes Element des Produktintegritätskonzeptes die Grundlage für die Umsetzung des PI-Konzeptes während eines Produktentwicklungsprozesses. Gemäß der Definition des Produktintegritätsbegriffes muss die Erfüllung aller Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt gewährleistet werden, um zu einem anforderungsgerechten und damit kundenorientierten Produkt zu kommen. Als Beitrag zum Verständnis der Produktintegrität muss daher ein organisatorischer Ansatz vollzogen werden, um die Voraussetzungen für die umfassende Echtzeitqualifizierung der Entwicklungsergebnisse zu gewährleisten. Dazu ist eine eigene organisatorische Einheit notwendig, die im Rahmen der parallelen Entwicklung von Produkt und Fertigungsprozess sicherstellt, dass das Produkt eine hohe Integrität erlangt und die im Laufe der Entwicklung die an das Produkt gestellten Anforderungen dementsprechend analysiert und deren Umsetzung verfolgt. Die Durchführung dieser durchgängigen Qualifizierungsmaßnahmen erfordert grundsätzlich personelle und materielle Ressourcen innerhalb eines Unternehmens. Aus diesem Grund soll hierzu die eigens gegründete Produktintegritätsgruppe durch die Durchführung von umfassenden Echtzeitqualifizierungsmaßnahmen die beschriebene Gewissensfunktion übernehmen. Die Einführung einer Produktintegritätsgruppe soll dabei nicht im Widerspruch zu bestehenden Qualitätselementen stehen.

Auf die Randbedingungen für die Aufstellung der Produktintegritätsgruppe wird im folgenden detailliert eingegangen. Die Betrachtungen zur Integration der PI-Gruppe in das Unternehmen und innerhalb des Entwicklungsprozesses stehen dabei im Vordergrund.

5.3.1 Integration in die Unternehmensorganisation

Die Produktintegrität braucht einen organisatorischen Rahmen, der die Umsetzung des Produktintegritätsgedanken unterstützt und damit die Durchführung des Echtzeitqualifizierungsprogrammes sicherstellt. Eine wesentliche Forderung an die Aufstellung einer Produktintegritätsgruppe besteht darin, dass sie sich relativ einfach in die bestehende Unternehmensstruktur eingliedern lässt. Dies kann ein entscheidender Faktor bei der Einführung des PI-Konzeptes und der damit zusammenhängenden Akzeptanz in einem Unternehmen sein. Grundsätzlich lassen sich verschiedenen Möglichkeiten für die Integration der PI-Gruppe in ein Unternehmen finden. Dabei gelten die nachfolgend aufgeführten Aspekte zu den vier wesentlichen Einflussfaktoren, deren Vor- und Nachteile anschließend diskutiert werden:

- Zeitliche Dauer der Aufstellung.
- Qualifikation der PI-Gruppenmitglieder.
- Organisation und Einbindung in das Unternehmen.
- Ressourcenverfügbarkeit.

Dauer

Ein wesentliches Kriterium ist die zeitliche Dauer der Aufstellung der PI-Gruppe. Diese Dauer kann von den zur Verfügung stehenden Ressourcen innerhalb des Unternehmens (s.u.) oder aber auch von der Größe, Anzahl und Bedeutung der Entwicklungsaufgaben abhängig sein. Darüber hinaus spielt der Umfang, in dem das PI-Konzept angewendet werden soll, eine wesentliche Bedeutung bei dieser Betrachtungsweise. Dabei lassen sich verschiedene Stufen unterscheiden, die von einem Pilotprojekt zur Einführung der Produktintegrität bis hin zur Übertragung auf alle Entwicklungsaktivitäten und Unternehmensbereiche mit durchgängiger Einführung der Produktintegrität gehen können.

Bei Anwendung des PI-Konzeptes ist es von großem Vorteil, wenn die PI-Gruppe mit ihren Aufgaben und Funktionen dauerhaft im Unternehmen eingeführt wird. Hierdurch wird die Voraussetzung geschaffen, dass die Echtzeitqualifizierungsmaßnahmen durch die PI-Gruppe in allen Entwicklungsprojekten des Unternehmens zur

Anwendung kommt. Dies setzt allerdings die entsprechende Ressourcenbereitstellung im Unternehmen voraus. Ist dies nicht möglich, so ist die zeitbegrenzte Aufstellung der PI-Gruppe zu wählen, wodurch erforderliche Personalressourcen nur zeitweise für die Dauer des Entwicklungsprojektes und der zugehörigen Echtzeitqualifizierungsphase zur Verfügung gestellt werden müssen. Dies kann bei kleineren und mittleren Unternehmen ein entscheidender Vorteil sein. Die PI-Gruppe besteht dann aus Mitgliedern, die bislang in andere Aufgaben eingebunden waren und für die Durchführung der Echtzeitqualifizierung eines Entwicklungsprojektes von ihren bisherigen Aufgaben entweder freigestellt werden oder diese zusätzlich übernehmen müssen. Dieser Weg lässt sich mit einem relativ geringem organisatorischen Aufwand realisieren, führt aber im letzteren Fall zu Mehrbelastung der Mitarbeiter und sollte daher vermieden werden. Wird die PI-Gruppe allerdings als eigenständige und dauerhafte Abteilung aufgestellt, so ist damit gleichzeitig der größte Aufwand verbunden. Die Mitglieder sind jedoch in keiner Doppelfunktion und können daher gezielt alle PI-Aufgaben in allen Entwicklungsprojekten übernehmen.

Qualifikation

Die Qualifikation der Mitglieder der Produktintegritätsgruppe stellt neben dem organisatorischen Rahmen eine weitere wichtige Forderung an die PI-Gruppe dar. Für die Durchführung des PI-Konzeptes und den damit verbundenen Aufgaben sind sowohl Entwicklungserfahrungen als auch Erfahrungen aus dem Qualitätssicherungsbereich der PI-Gruppenmitglieder erforderlich. Hieraus resultiert die Forderung, dass die Mitglieder der PI-Gruppe idealerweise Entwicklungs- oder Qualitätssicherungsingenieure sein sollten. Sie müssen innerhalb der Hauptqualifizierungsphasen mit Produktintegritäts-Analyse und Produktintegritäts-Qualifizierung (s.a. Kapitel 5.4) die kritische Beurteilung der Entwicklungsergebnisse vornehmen und dadurch den jeweiligen Entwicklungsstand ermitteln. In der PI-Analysephase ist vor allem die kritische Auseinandersetzung mit den Anforderungen an das Produkt und den ersten Entwürfen entscheidend, woraus das umfassende Qualifizierungsprogramm für den Entwicklungsbereich generiert werden soll. In der PI-Qualifizierungsphase steht dagegen die konsequente Durchführung von Qualifizierungstests im Vordergrund, die insbesondere eine gewissenhafte Ausführung und Dokumentation beinhalten.

Organisation

Unabhängig von der in einem Unternehmen herrschenden Organisationsform besteht die Hauptforderung an die Bildung einer PI-Gruppe darin, eine für sich eigenständige Gruppe aufzubauen. Wichtig dabei ist, dass die PI-Gruppe einen starken Einblick

in den Entwicklungsbereich hat, denn für die Durchführung der Aufgaben ist die Nähe zum Entwicklungsgeschehen erforderlich. Hieraus folgt, dass die Aufstellung der PI-Gruppe als Teil der Entwicklungsabteilung erfolgen sollte. Hierdurch kann sie dann relativ einfach direkten Zugang zu allen erforderlichen Entwicklungsinformationen erhalten. Außerdem wäre aufgrund der Aufgaben der PI-Gruppe eine Angliederung an die Qualitätssicherungsabteilung denkbar. Die Eigenständigkeit als PI-Gruppe im Entwicklungsprozess muss in diesem Fall allerdings gewahrt bleiben, um den proaktiven Charakter des PI-Konzeptes jederzeit zu gewährleisten.

Ressourcen

Die in einem Unternehmen zur Verfügung stehenden Personalressourcen sind ein weiterer Einflussfaktor bei der Aufstellung einer PI-Gruppe. In kleineren Unternehmen ist der Personalrahmen in der Regel deutlich eingeschränkt, weshalb es sich in diesem Fall anbietet, die PI-Aufgaben nur von einer Person ausführen zu lassen, die nur zeitweise für die Durchführung der Qualifizierungsmaßnahmen von den bisherigen Aufgaben freigestellt wird. In größeren Unternehmen dagegen sollte die PI-Gruppe als selbständige Fach- und Organisationsabteilung dauerhaft errichtet werden, die dann unternehmensweit für die Durchführung des PI-Konzeptes verantwortlich ist.

Für eine intensive und gewissenhafte Durchführung der Qualifizierungsaufgaben sind neben den erwähnten Kriterien in jedem Fall ausreichende Einrichtungen wie Mess- und Prüfmittel zur Verfügung zu stellen, um eine unabhängige Produktqualifizierung gewährleisten zu können. Diesbezüglich sind neben der notwendigen Entwicklungserfahrung auch die Kenntnisse im Bereich des Testaufbaus und der Testdurchführung erforderlich. Hierzu können auch Mitarbeiter aus dem Bereich des Musterbaus in die PI-Gruppe aufgenommen werden, die entsprechendes Know-how mitbringen.

5.3.2 Integration in den Entwicklungsprozess

Die PI-Gruppe sollte als gleichwertiges Mitglied wie Entwicklung, Konstruktion oder Fertigung dem Entwicklungsteam angehören. Die Darstellung des Teams mit der PI-Gruppe als Teammitglied zeigt [Bild 5.8](#). Die Integration der PI-Gruppe in den Entwicklungsprozess erfordert das Verständnis aller Abteilungen und Beteiligten für die Notwendigkeit der Durchführung der Echtzeitqualifizierungsmaßnahmen während des gesamten Entwicklungsprozesses. Als Voraussetzung muss in diesem Zusammenhang gerade die dauerhafte Aufstellung einer Produktintegritätsgruppe innerhalb des Unternehmens angestrebt werden.

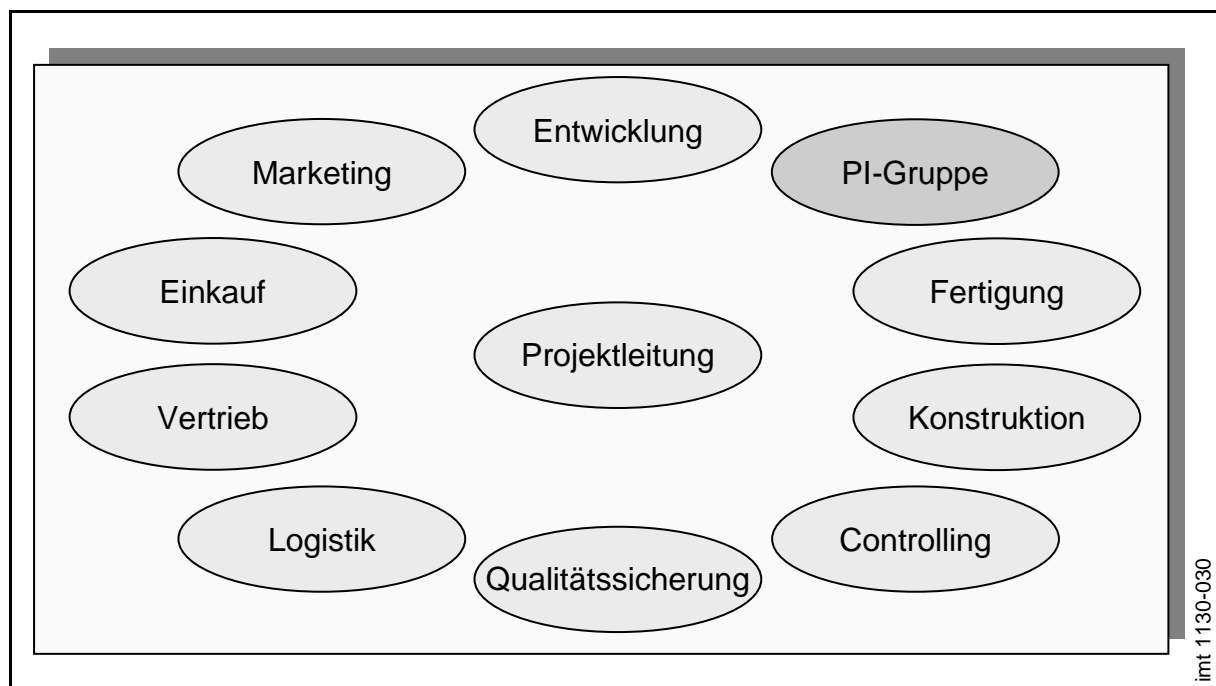


Bild 5.8: PI-Gruppe als Mitglied des interdisziplinären Entwicklungsteams

Hierfür ist die generelle Akzeptanz der PI-Gruppe durch alle Abteilungen des Unternehmens Voraussetzung. Weiterhin ist es wichtig, dass die Kompetenzen zwischen den Abteilungen eindeutig geregelt sind, um ein reibungsloses Zusammenspiel der Abteilungen zu gewährleisten. Das Produktintegritätskonzept sieht nämlich eine klare Trennung von Entwicklung und Qualifizierung vor. Hierbei besteht ein wesentlicher Unterschied zu den Forderungen des TQM (s.a. Kapitel 2.3), wonach die Qualifizierung von Entwicklungstätigkeiten in den frühen Entwicklungsphasen einzig durch die Durchführung von Selbsttest erfolgt. Dieser Ansatz ist für eine Echtzeitqualifizierung nicht ausreichend und daher für das PI-Qualifizierungskonzept nicht gültig. Denn gerade durch die Qualifizierung der eigenen Entwicklungstätigkeit gerät der Entwickler in einen nicht unerheblichen Gewissenskonflikt. Dem einzelnen Entwickler kann daher auch nicht die Verantwortung für das Gesamtprodukt und damit der umfassenden Überprüfung der Entwicklungsarbeit überlassen werden. Demzufolge ist die Hauptforderung des PI-Konzeptes die klare Trennung der Entwicklungstätigkeit von der Produktqualifizierung (Bild 5.9). Die Gesamtverantwortung für die durchgängige Produktqualifizierung im Entwicklungsprozess wird daher ausschließlich der PI-Gruppe übertragen.

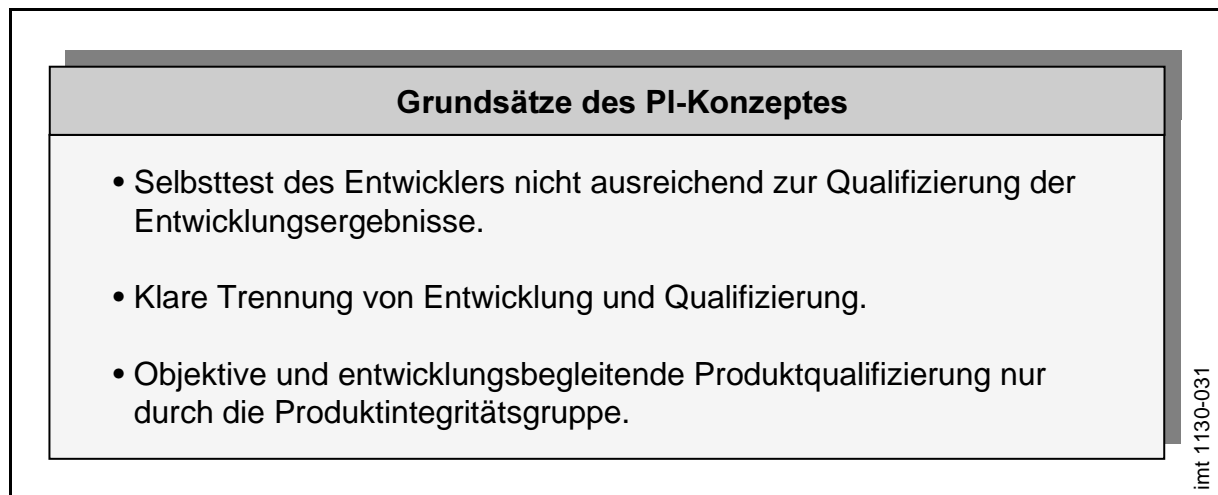


Bild 5.9: Grundsätze des PI-Konzeptes

5.4 Produktintegritätsmaßnahmen

Die Durchführung der Produktintegritätsmaßnahmen des PI-Konzeptes im Rahmen der Entwicklung durch die Produktintegritätsgruppe gliedert sich in zwei unterschiedliche Bereiche. Die Zuordnung zu den beiden Hauptentwicklungsphasen ergibt sich aus Bild 5.10, wobei die Ableitung aus dem im Stand der Technik dieser Arbeit erläuterten Phaseneinteilung von Produkt- und Prozessentwicklung deutlich wird.

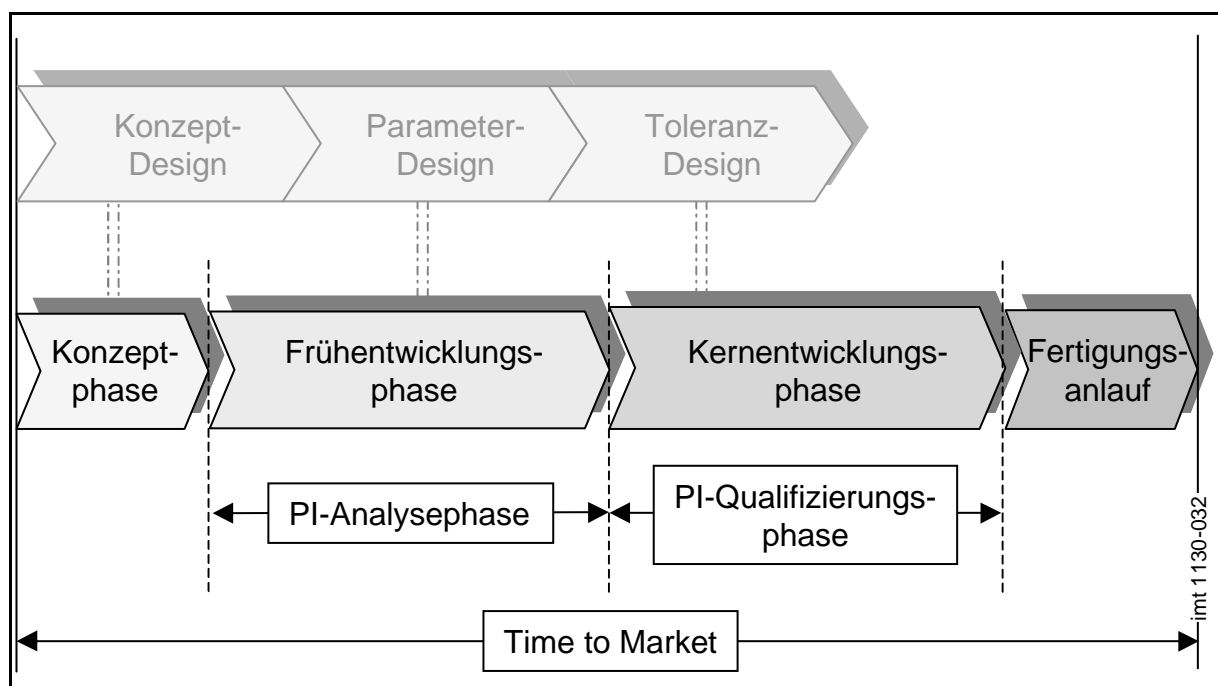


Bild 5.10: Produktintegritätsmaßnahmen im Rahmen des Entwicklungsprozesses

Bei der Bildung der einzelnen Phasen des evolutionären CE-Prozesses, auf die das proaktive PI-Konzept Anwendung findet, ist auffallend, dass die Trennung von Produkt- und Prozessentwicklung völlig aufgehoben wurde. Beide Phasen, die klassischerweise getrennt nacheinander ablaufen, sind im CE-Prozess verschmolzen, um den komplexen und innovativen Anforderungen zu entsprechen. Somit resultiert eine Einteilung des Entwicklungsprozesses, die sich grundsätzlich nur nach dem Detaillierungsgrad der Produkt- und Prozessentwicklung richtet.

Eine Übersicht über die unterschiedlichen Aufgaben der Produktintegritätsgruppe zeigt [Bild 5.11](#).

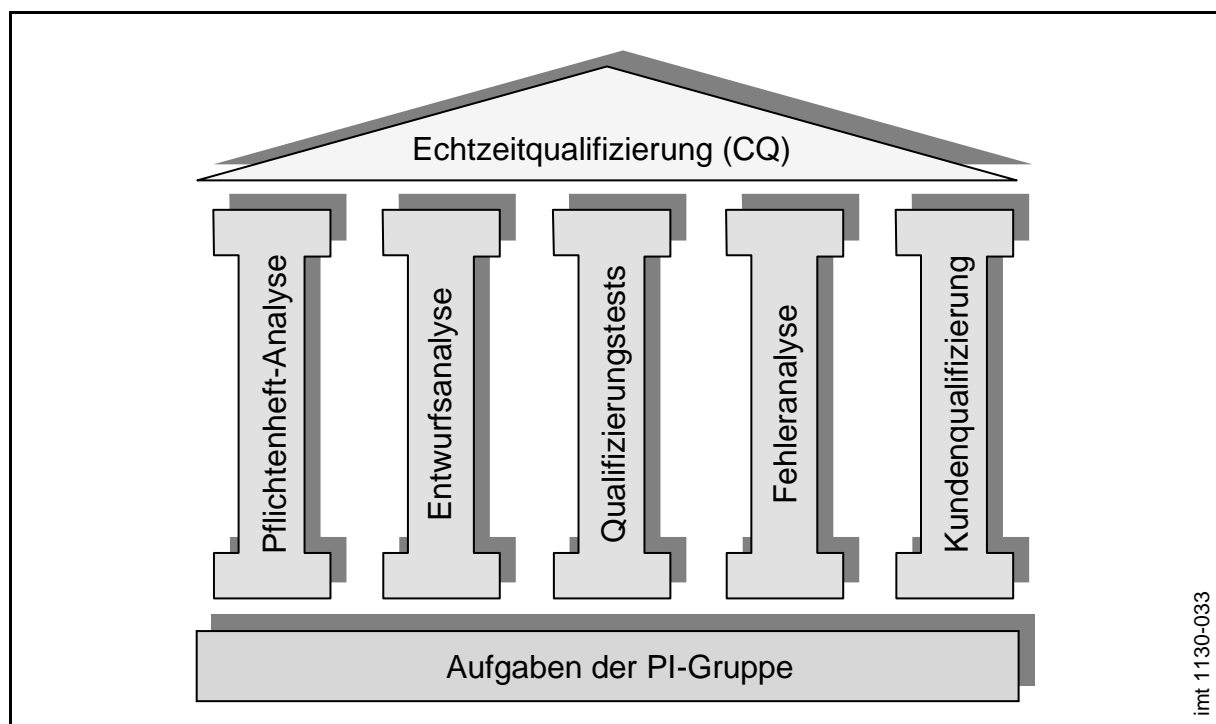


Bild 5.11: Aufgaben der Produktintegritätsgruppe

In der frühen Entwicklungsphase, der sog. Frühentwicklungsphase, in der noch keine Modelle und Muster des Produktes vorhanden sind, liegt der Schwerpunkt auf der Produktintegritäts-Analyse. Hierbei steht sowohl die Analyse der im Pflichtenheft spezifizierten Anforderungen als auch die Analyse erster Funktionslösungen und Entwürfe von Produkt und Fertigungsprozess zur Umsetzung dieser Anforderungen im Vordergrund. Aufgabe der PI-Gruppe ist es, in dieser Phase die intellektuelle Durchdringung aller Lösungsansätze und dadurch das völlige Verständnis für das vorgesehene Produktkonzept zu erlangen. Dies ist die entscheidende Voraussetzung für die weitere Vorgehensweise bei der PI-Qualifizierung. Der PI-Analysephase schließt sich

innerhalb der Kernphase der Entwicklung die Produktintegritäts-Qualifizierungsphase an. Hier werden Qualifizierungstests anhand der im weiteren Verlauf der Entwicklung erzeugten Produktmuster, zunächst an einzelnen Komponenten oder Baugruppen und schließlich an gesamten Geräten durchgeführt. Darüber hinaus bestehen weitere Aufgaben der PI-Gruppe in der Fehleranalyse und der Kundenqualifizierung. Im folgenden werden die Aufgaben der PI-Gruppe detailliert beschrieben.

5.4.1 Produktintegritäts-Analyse

Bei der Produktintegritäts-Analyse (PI-Analyse) steht die analytischen Durchdringung des Produktentwurfes und des Fertigungsprozessentwurfes im Vordergrund. Dies bedeutet, dass neben dem Pflichtenheft, welches die Grundlage für den Beginn der Produktentwicklung darstellt, Funktionen und Entwürfe von Produkt und Fertigungsprozess anhand von Berechnungen, Schaltungen und Zeichnungen etc. frühzeitig vor der eigentlichen Mustererstellung untersucht werden. Die Produktintegritätsgruppe soll durch das Verständnis für das Produkt in die Lage versetzt werden, die weitere Konkretisierung des Produktes verfolgen und durch die sich anschließenden Qualifizierungstest entsprechend bewerten zu können. Am Ende dieser Entwicklungsphase soll mit Hilfe der Produktintegritäts-Analyse gewährleistet sein, dass möglichst umfassend alle Aspekte und Risiken vor Beginn der Mustererstellung berücksichtigt und interdisziplinär im gesamten Entwicklungsteam abgestimmt und gelöst worden sind. Die PI-Analyse hat als Hauptaufgabe die intellektuelle Durchdringung und Analyse aller Lösungsansätze, gleichgültig ob es nur das Produkt selbst oder die erforderlichen Verfahren zur Herstellung betreffen, zum Ziel. Diese bildet die Grundlage und Voraussetzung, um in späteren Entwicklungsphasen das umfassende Qualifizierungsprogramm durchführen zu können. Die Produktintegritäts-Analyse gliedert sich gemäß Bild 5.12 in zwei Schritte. Im ersten Schritt erfolgt zunächst in die Pflichtenheft-Analyse, verbunden mit einer Risikoabschätzung hinsichtlich des Entwicklungsinnovationsgrades durch eine sog. Produktintegritäts-Risikoanalyse und der Berücksichtigung eines „idealen Pflichtenheftes“. Im zweiten Schritt steht das Verstehen der produktbezogenen und fertigungsprozessbezogenen Entwicklungsansätze durch die Durchführung von Funktionsanalyse, Produktentwurfsanalyse und Prozessentwurfsanalyse im Vordergrund. Dabei ist im Sinne des Concurrent Engineering herauszustellen, dass keine zeitliche Trennung zwischen produktbezogener und fertigungsprozessbezogener Analyse zu machen ist, sondern dass beide Analysen so weit wie möglich parallel erfolgen sollten.

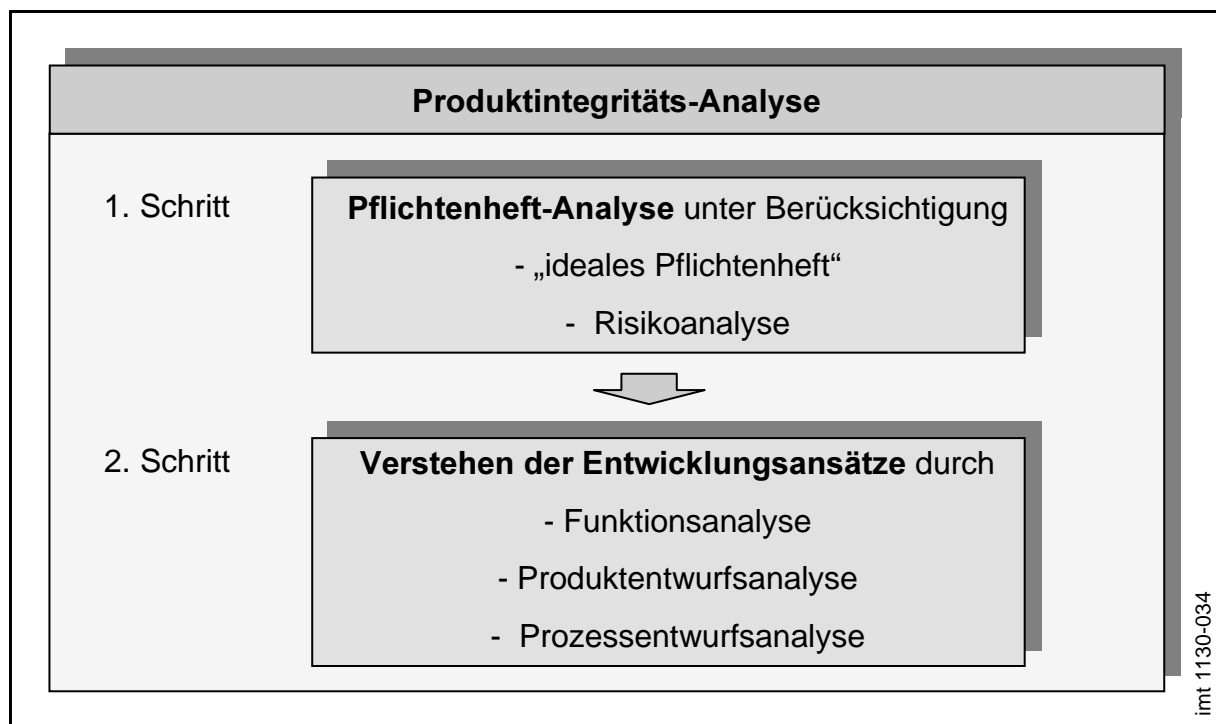


Bild 5.12: Produktintegritäts-Analyse

a) Pflichtenheft-Analyse

Im Rahmen der Pflichtenheft-Analyse werden die spezifizierten Produkthanforderungen des Pflichtenheftes untersucht. Das Pflichtenheft entsteht aus der Umsetzung der vom Kunden geäußerten Produkthanforderungen des Lastenheftes. Der Kunde hat Anspruch auf ein Produkt, das in Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit des Unternehmens über die im Lastenheft festgelegten Anforderungen hinaus alle Aspekte möglichst gut abdeckt. Damit das Unternehmen diesem Anspruch gerecht wird, muss eine Pflichtenheft-Analyse durch die PI-Gruppe durchgeführt werden. Die Pflichtenheft-Analyse ist maßgeblich auch für die Festlegung des Testprogrammes erforderlich. Denn nur aus der intensiven Betrachtung des Pflichtenheftes und der dort festgeschriebenen Spezifikationen und Parameter lässt sich im weiteren Entwicklungsverlauf ein schlüssiges und umfassendes Qualifizierungsprogramm erstellen. Aus diesem Grund muss der PI-Ingenieur sich ein klares Bild von allen Parametern und Daten im Pflichtenheft machen. Dies beinhaltet im wesentlichen zwei Gesichtspunkte. Zum einen die Analyse hinsichtlich des „idealen Pflichtenheftes“ und zum anderen die Untersuchung der Produkthanforderungen durch eine Produktintegritäts-Risikoanalyse, um in Bezug zum Entwicklungsinnovationsgrad auf mögliche Risiken hinweisen zu können. Der Ablauf der Pflichtenheft-Analyse geht aus [Bild 5.13](#) hervor.

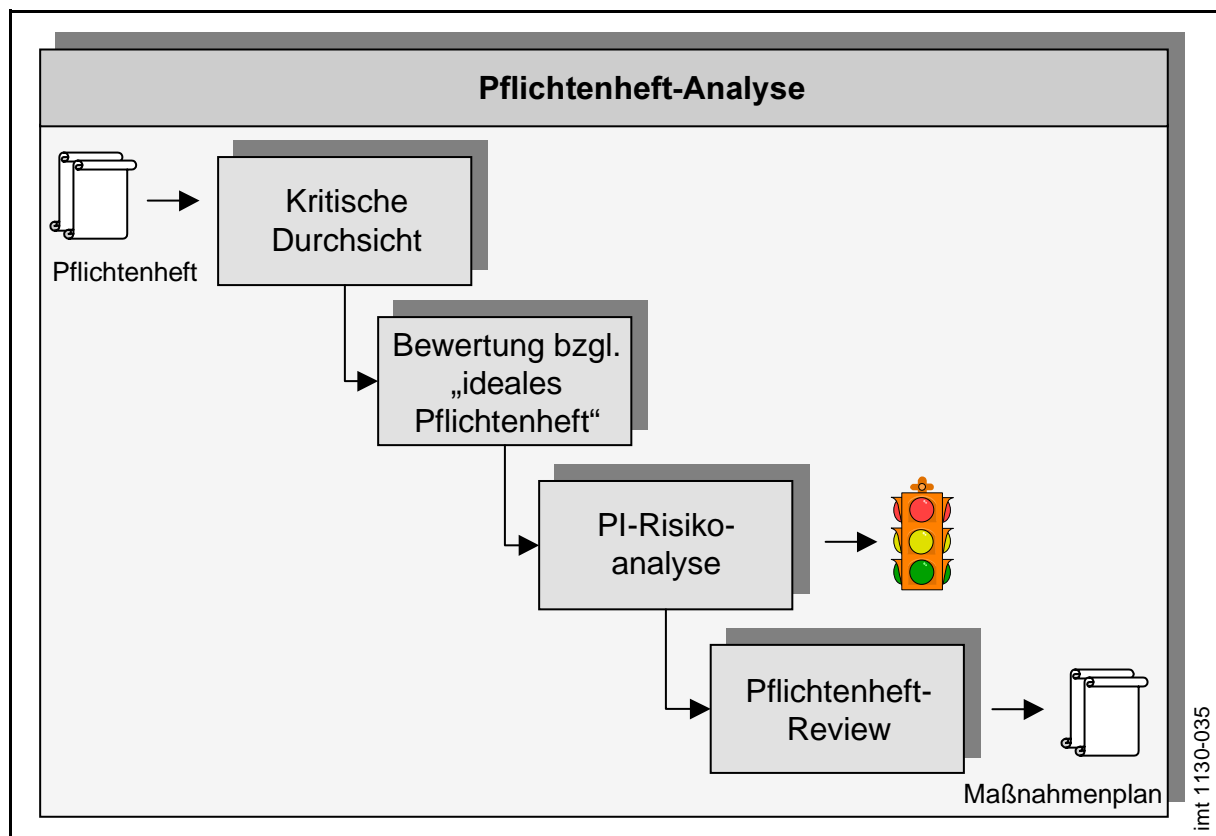


Bild 5.13: Prinzipieller Ablauf der Pflichtenheft-Analyse

Der erste Schritt der Produktintegritäts-Analyse ist die kritische Durchsicht des Pflichtenheftes nach dessen Erstellung. Dabei muss eine Überprüfung hinsichtlich Vollständigkeit und Konformität mit den Entwicklungszielen durchgeführt werden. Die Pflichtenheft-Analyse umfasst zunächst alle spezifizierten Angaben, die je nach Unternehmen und Entwicklungsprojekt neben den rein technischen Daten u.a. auch Produktbeschreibung, Marketingkonzept, Terminplan, Kostenplan, Zubehör, Bedienungskonzept, Qualitätsanforderungen und Fertigungskonzept beinhalten können.

Im zweiten Schritt sollten neben den festgeschriebenen Anforderungen auch die nicht festgelegten Anforderungen betrachtet werden. Hier kann die Vorstellung vom „idealen Pflichtenheft“ Hilfestellung leisten. Das „ideale Pflichtenheft“ soll als Maßstab dienen, wie umfassend die Anforderungen an das Produkt beschrieben und festgelegt worden sind. Hieraus können Bereiche identifiziert werden, die nur ungenügend oder gar nicht beschrieben wurden oder Bereiche, die schwer festlegbar sind und erst im Laufe der Entwicklung festgelegt werden können. Daneben kann diese Vorgehensweise zu einem besseren Verständnis eines umfassenden Pflichtenheft führen. Auf dieser Grundlage lässt sich in einem Unternehmen ein Wissensstand bezüglich notwendiger

Pflichtenheftumfänge erarbeiten. Man kann zwischen Bereichen unterscheiden, die ganz konkret vor Beginn jeder Entwicklung festzulegen sind und Bereichen, die erst im Laufe der Produktentstehung spezifiziert werden können und erst danach in das Pflichtenheft aufgenommen werden müssen.

Ein weiterer wesentlicher Gesichtspunkt der Pflichtenheft-Analyse stellt die genaue Überprüfung der technischen Daten hinsichtlich der zu realisierenden Zielsetzung dar, denn aus diesen Daten wird im weiteren Verlauf der Testplan für die umfassende Qualifizierung generiert. Mit Hilfe der PI-Risikoanalyse werden kritische Parameter und Bereiche im Hinblick auf den Entwicklungsinnovationsgrad (s.a. Kapitel 5.1.1) analysiert und eingestuft. Dadurch wird die Festlegung entsprechender Bereiche bereits im Vorfeld der Entwicklung ermöglicht. Diese Punkte können dann im weiteren Verlauf der Entwicklung gezielt verfolgt und überprüft werden. Gleichzeitig gewährleistet diese Vorgehensweise, dass Produktaspekte, die revolutionären Charakter haben, frühzeitig erkannt werden. Diese Bereiche müssen entweder revidiert werden oder eine gesonderte Betrachtung erfahren. Das Risiko, dass durch revolutionäre Aspekte Zielsetzungen des Entwicklungsprojektes nicht erfüllt werden, muss bereits hier reduziert werden.

Im letzten Schritt erfolgt die Vorstellung der Pflichtenheft-Analyseergebnisse der PI-Gruppe in einer Entwicklungsteam-Besprechung, dem Pflichtenheft-Review. In diesem wird die Bewertung des Pflichtenheftes und der kritischen Parameter diskutiert. An dieser Stelle sollen auf Basis der Analyseergebnisse im Team entwicklungsverbessernde Maßnahmen abgeleitet werden. Diese können beispielsweise Auswirkungen auf das Pflichtenheft (Änderung) haben, in dem die Änderung dieser Punkte angestoßen bzw. beschlossen wird.

Wichtig für die weiteren Entwicklungstätigkeiten sind Änderungen, die sich auf die Produkthanforderungen beziehen und die damit direkte Auswirkungen auf das Pflichtenheft haben können. Hierbei spricht man auch von „moving targets“ oder „living specifications“ [BOT99]. Das bedeutet, dass das Pflichtenheft nicht als starres Dokument anzusehen ist, sondern als ein sich im Laufe der Entwicklung durch die verschiedensten Begebenheiten änderndes, dynamisches Dokument. Diesbezüglich übt die Produktintegrität die Gewissensfunktion auch gegenüber sich verändernden Zielen aus. Diese Tatsache ist auch für die Durchführung der Pflichtenheft-Analyse entscheidend. Dies hat zur Folge, dass diese Analyse kein einmaliger Prozess ist, sondern sich jeder Pflichtenheftänderung eine wiederholte Überprüfung des Pflichtenheftes durch die Produktintegritätsgruppe anschließen sollte, wenn der Einfluss auf das Produkt durch

diese Änderung entscheidend sein kann. Denn die Auswirkung einer Pflichtenheftänderung kann durchaus weitreichende Folgen haben. Hier gilt es, durch die Pflichtenheft-Analyse abzuschätzen, welche Auswirkungen diese Änderungen auf die Produktintegrität des zu entwickelnden Produktes haben. Durch diese Vorgehensweise ist fortlaufend die Überprüfung der Anforderungen hinsichtlich sich im Laufe einer Entwicklung verändernden Zielsetzungen gewährleistet. Ebenso erfolgt bei geänderter Anforderung jeweils eine wiederholte Durchführung der PI-Risikoanalyse.

Für die Durchführung der Pflichtenheft-Analyse ist ein breites Erfahrungswissen von großem Vorteil, das sich idealerweise auf frühere Entwicklungsprojekte im eigenen Unternehmen stützt. Als Hilfsmittel könnte diesbezüglich die Aufstellung einer Datenbank dienen, in der alle Pflichtenhefte und ggf. Ergebnisse früherer Pflichtenheft-Reviews zusammengestellt werden. So ließe sich zum besseren Vergleich schnell auf konkrete Daten früherer Entwicklungsprojekte zurückgreifen.

„Ideales Pflichtenheft“

Ein Hilfsmittel für die Durchführung der Pflichtenheft-Analyse ist die Vorstellung von einem „idealen Pflichtenheft“. Hierbei soll davon ausgegangen werden, dass in diesem idealen Fall alle nur möglichen Anforderungen berücksichtigt sind. Das heißt, dass neben den geforderten insbesondere auch die implizierten oder unterstellten, nicht explizit geäußerten Anforderungen berücksichtigt werden müssen. Dazu gehören beispielsweise auch Bereiche wie z.B. Anmutung und Haptik, die sich in der Regel nur sehr schwer beschreiben lassen. Bild 5.14 zeigt die graphische Darstellung des „idealen Pflichtenheftes“ als Polardiagramm. Jede Anforderung bzw. jede Gruppe von Anforderungen entspricht einem Strahl des Polardiagrammes. Für die „ideale Produktanforderung“ entstehen dadurch $n =$ unendlich viele Strahlen, so dass aus den Endpunkten der Strahlen ein Kreis (n -Eck) resultiert. Die PI-Gruppe führt die Pflichtenheft-Analyse unter der Berücksichtigung der Fragestellung durch, was das Produkt im Idealfall alles beinhalten müsste und welche Anforderungen diesbezüglich hätten festgelegt werden müssen. Im Hinblick auf die Gewissensfunktion und den ethischen Aspekt der Produktentwicklung bietet diese Sichtweise eine geeignete Hilfestellung. Die PI-Gruppe soll als Gewissen das Pflichtenheft beurteilen und in dieser Phase gegenüber einem „idealen Pflichtenheft“ vergleichen, um die Voraussetzungen zu schaffen, ein optimales Produkt zu erzeugen, dass allen Anforderungen gerecht wird. Das „ideale Pflichtenheft“ ist diesbezüglich der Maßstab zur Beurteilung, wie umfassend die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt beschrieben worden sind. Diese Vorgehensweise ist erforderlich, denn ein Kunde legt in der Regel nur wesentliche Bereiche

des Produktes fest und alles weitere wird dem Unternehmen überlassen.

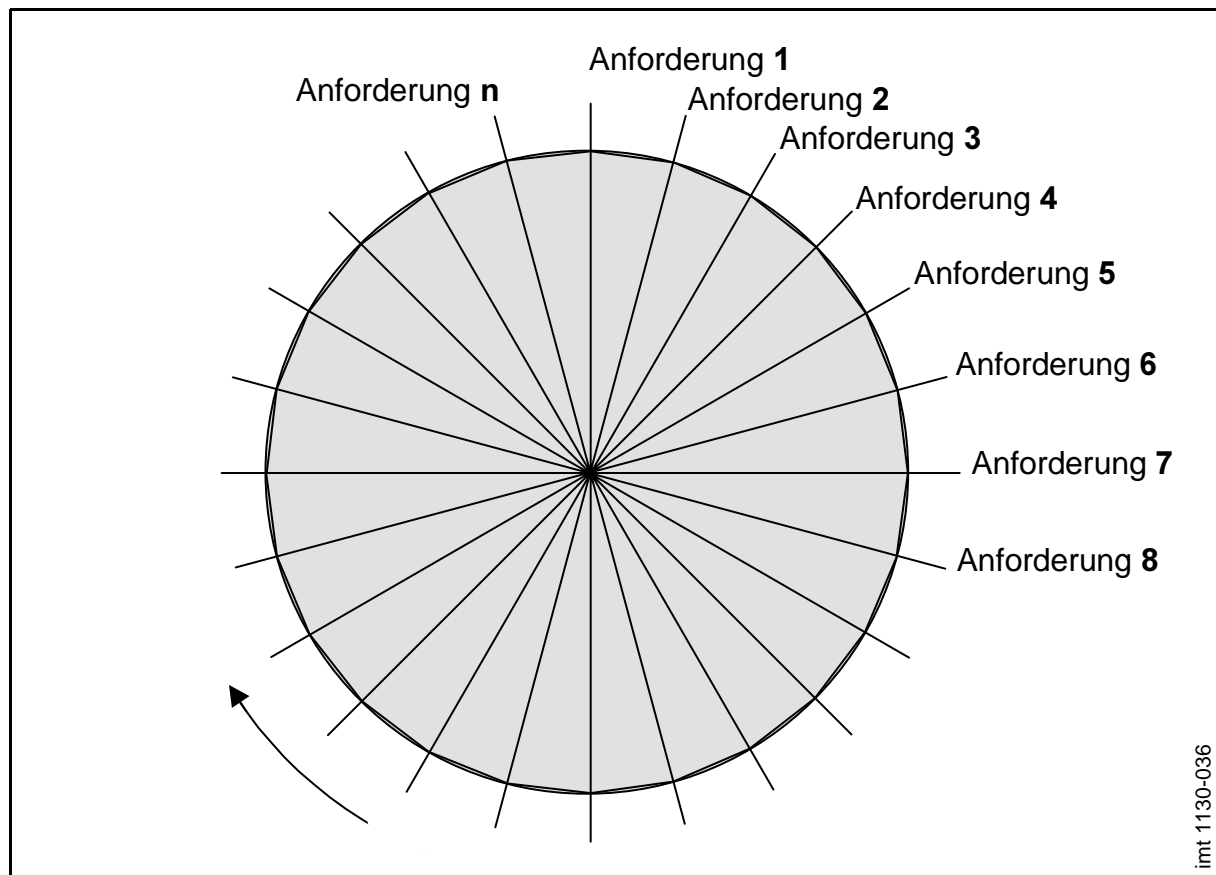


Bild 5.14: „Ideales Pflichtenheft“

Ein reales Pflichtenheft ist im Vergleich zum „idealen Pflichtenheft“ unvollständig und kann daher immer nur einen Teil der Produkthanforderungen beinhalten. Außerdem werden Anforderungen, die sich nicht in messbare Werte fassen lassen, in der Regel nicht im Pflichtenheft beschrieben. Das (reale) Pflichtenheft stellt im Polardiagramm daher ein Vieleck dar und keinen Kreis. Im Gegensatz zur „idealen Produkthanforderung“ gibt es Bereiche, die entweder gar nicht erfasst und nur unzureichend festgelegt sind und die damit in der Verantwortung der Entwicklung liegen, diese entweder zu berücksichtigen oder wegfällen zu lassen. Die Differenz aus Vieleck und Kreis (n -Eck) stellen die Bereiche dar, die nicht oder nur ungenügend berücksichtigt wurden. Die im [Bild 5.15](#) dargestellten grauen Bereiche des Pflichtenheft-Polardiagrammes entsprechen dieser Differenz. Hier liegt die Aufgabe des Entwicklungsteams, die für das zu entwickelnde Produkt jeweils notwendigen Aspekte zu identifizieren und zusätzlich zu konkretisieren.

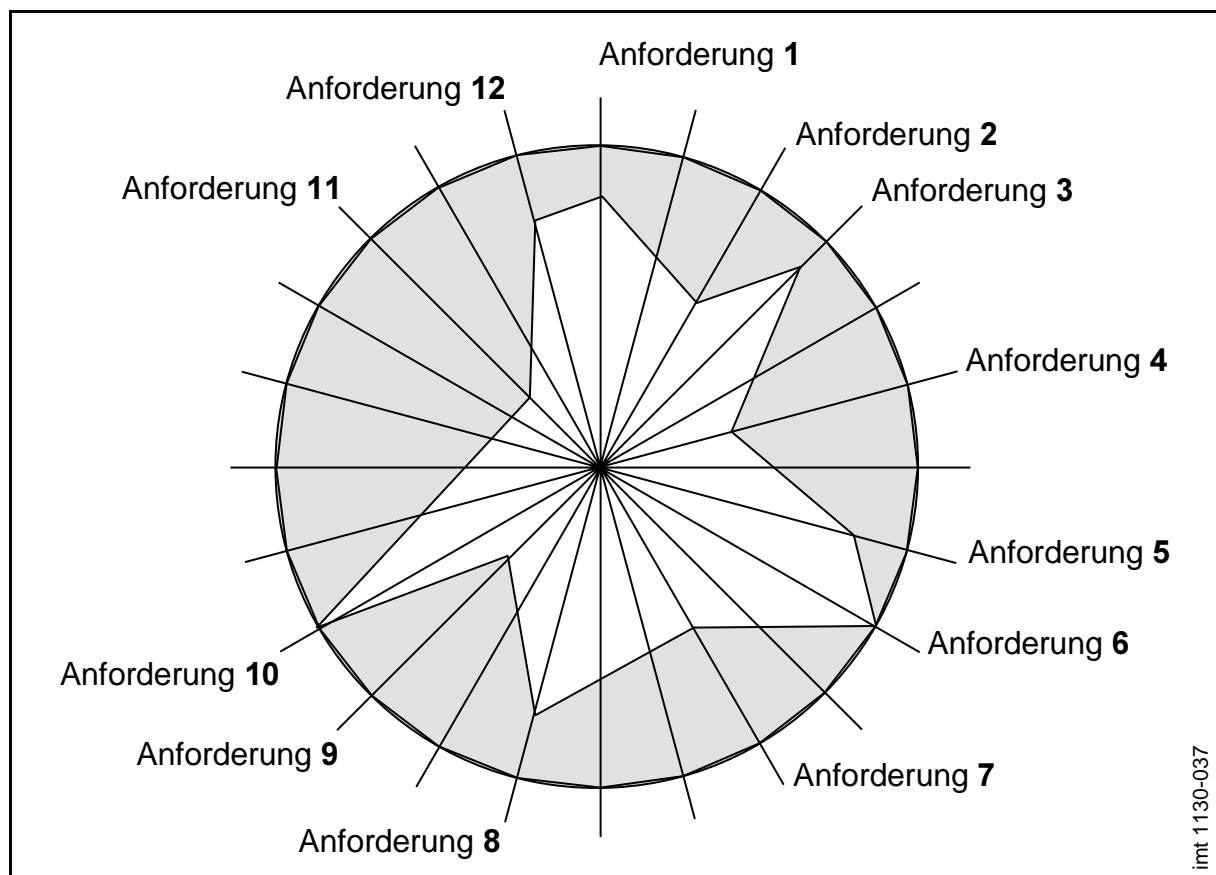


Bild 5.15: Pflichtenheft-Polardiagramm

Produktintegritäts-Risikoanalyse

Für die Risikoabschätzung der einzelnen Produkthanforderungen des Pflichtenheftes soll eine einfache und zugleich wirkungsvolle Bewertungsmethode eingesetzt werden. Diese Produktintegritäts-Risikoanalyse bietet die Möglichkeit, durch eine Bewertung der Anforderungen hinsichtlich der in Kapitel 5.1.1 erläuterten Entwicklungsinnovationsgrade eine Abschätzung ihres Risikopotentials zu gewinnen. Diese Betrachtungsweise bezieht sich immer sowohl auf die Entwicklung des Produktes als auch auf die Entwicklung der Fertigungsprozesse. Für die Kennzeichnung dieser Risikopotentiale werden Farbindikatoren verwendet. Zielsetzung der Risikoanalyse ist es, für die Entwicklung und Fertigung eine Risikoabschätzung zur Verfügung zu stellen, auf deren Basis sie ihre Konzepte und Entwürfe ständig überprüfen können und diese damit bezüglich der Innovationsfähigkeit und vor allem Realisierbarkeit jederzeit hinterfragen (Bild 5.16). Die Risikoanalyse soll eine intensivere Auseinandersetzung mit den Angaben des Pflichtenheftes bewirken und vor allem kritische Bereiche aufzeigen. Im Laufe der Entwicklung ist dann im Rahmen der weiteren PI-Qualifizierungsmaßnahmen besonders auch im Hinblick auf ein sich änderndes Pflichtenheft oder geänderter

Zielsetzungen eine erneute Überprüfung der gekennzeichneten Bereiche erforderlich.

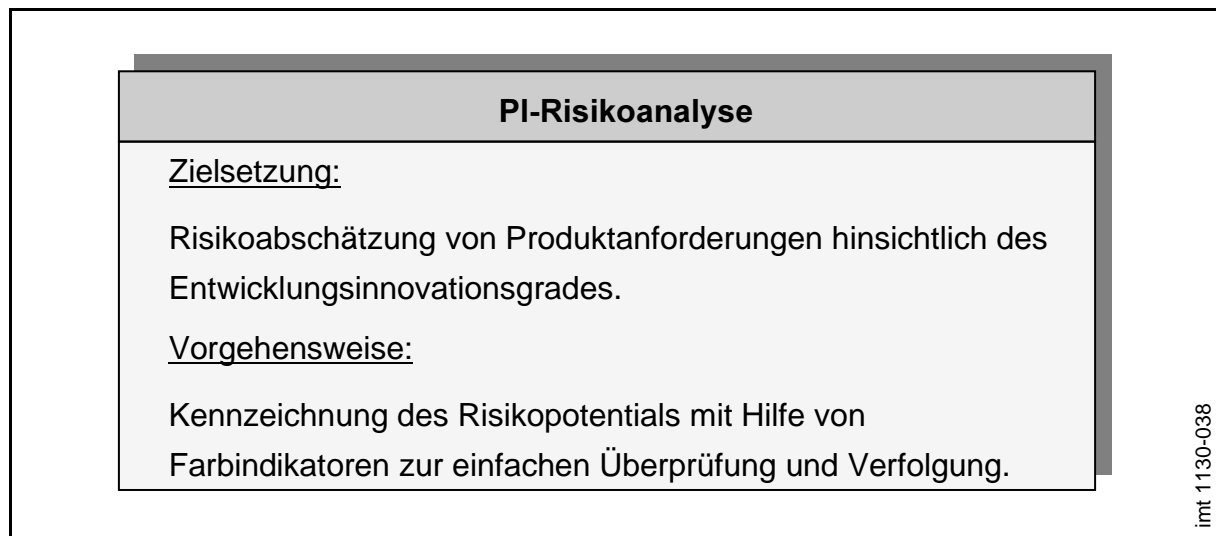
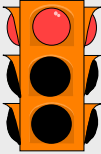

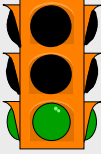


Bild 5.16: PI-Risikoanalyse

Kernpunkt der PI-Risikoanalyse ist die Bestimmung und Kennzeichnung des jeweiligen Risikopotentials mit Hilfe von Farbindikatoren. Diese Indikatoren werden durch eine Ampelskala dargestellt, bei der den drei Farbtönen rot, gelb und grün entsprechende Bewertungskriterien zugeordnet werden. Die Farbwerte dienen neben der jeweiligen Klassifizierung vor allem dem schnellen Überblick über das Vorhandensein von Risikopotential. Mit Hilfe der Farbindikatoren werden bei der Pflichtenheft-Analyse verschiedene Aspekte oder Parameter durch eine gezielte Farbwahl hinsichtlich des Entwicklungsinnovationsgrades gekennzeichnet, um damit die Voraussetzung zu schaffen, dass diese Aspekte im weiteren Entwicklungsverlauf gezielt verfolgt werden können. Gerade in der frühen Entwicklungsphase sollten entsprechende Bereiche gekennzeichnet werden, um dadurch generelle Entwicklungsprobleme aufzuzeigen. Es werden Einschätzungen vorgenommen, ob die Realisierung von Anforderungen einfach erscheint oder ob bezüglich ihrer Umsetzung mit einem Risiko zu rechnen ist.

Zur Kennzeichnung des Risikopotentials einer Produktanforderung werden die Farbindikatoren vergeben, wodurch jeweils einer der drei Entwicklungsinnovationsgrade charakterisiert wird. Die Farbe Grün steht dabei für einen Stand der Technik Aspekt, die Farbe Gelb beschreibt eine evolutionäre Tendenz und Rot steht für einen revolutionären Gesichtspunkt. Die mit der Vergabe von Farbpunkten zusammenhängende Bewertung der Anforderungen ist in [Bild 5.17](#) dargestellt. In Abhängigkeit vom Entwicklungsinnovationsgrad resultieren daraus verschiedene Maßnahmen, die für die nachfolgenden Entwicklungs- und Qualifizierungsphasen verschiedene Konsequenzen haben.

Hierzu lassen sich neben Konzeptänderungen auch eine Zeit- oder Ressourcenplanung zählen. Aus diesem Grund ist die Weiterverfolgung der gekennzeichneten Pflichtenheftbereiche und ihre wiederholte Überprüfung im weiteren Entwicklungsverlauf erforderlich, denn nur dann kann eine Aussage darüber getroffen werden, inwieweit das Risikopotential gemindert werden konnte.

Farbindikator	Kriterium	Maßnahmen
rot 	sehr hohes Risikopotential (revolutionärer Aspekt)	<ul style="list-style-type: none"> - Rückfalllösung - Fremdvergabe - wöchentliche bis tägliche Statusbesprechungen in der Kernphase
gelb 	mittleres Risikopotential (evolutionärer Aspekt)	<ul style="list-style-type: none"> - regelmäßige Überwachung des Fortschrittes - wöchentliche Statusbesprechungen in der Kernphase
grün 	geringes Risikopotential (Stand der Technik Aspekt)	<ul style="list-style-type: none"> - keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich

imt 1130-039

Bild 5.17: Bewertungsmaßstäbe für die PI-Risikoanalyse

Wenn eine Anforderung erst sehr spät im Entwicklungsablauf erfüllt wird, steigt das Risiko, dass deren Umsetzung nicht mehr rechtzeitig realisiert werden kann. Dies bedeutet, dass die Risikoabschätzung der Anforderungen je nach Entwicklungszeitpunkt einen unterschiedlichen Gewicht haben kann. Ist eine Anforderung z.B. zu einem sehr späten Entwicklungszeitpunkt noch immer mit rot bewertet, ist deren Realisierung sehr viel kritischer, als wenn zu einem früheren Entwicklungszeitpunkt die Anforderung noch nicht erfüllt ist. Um dieses erhöhte Risiko bezüglich der Umsetzung der Entwicklungsziele aufzudecken, müssen solche Anforderungen aufgedeckt und Maßnahmen getroffen werden. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass es auch zur Übererfüllung (engl.: margin) von Produkthanforderungen kommen kann, die im gewissen Umfang sogar erwünscht sind. Diese Übererfüllung wird ebenso durch die Gewissensfunktion der PI-Gruppe und dem damit verbundenen ethischen Anspruch an die Produktentwicklung aufgedeckt und kenntlich gemacht.

Die Vergabe eines roten Punktes erfolgt für die Pflichtenheftbereiche, die aus Sicht des entwickelnden Unternehmens revolutionären Charakter und damit ein sehr hohes Risikopotential haben. Das heißt, dass vergleichbare Lösungen bisher nicht realisiert wurden und daher ein großer Innovationsschritt zu vollziehen ist. Dieses kann sich sowohl auf die Entwicklung als auch auf die Fertigung beziehen. In diesem Fall der Bewertung ist fraglich, ob das (Teil-)Entwicklungsziel unter den gegebenen Randbedingungen für diese Entwicklung überhaupt erreicht werden kann. Als entscheidende Maßnahme für einen Aspekt mit revolutionärem Charakter ist eine Rückfalllösung („Backup-Lösung“) vorzusehen, auf die gegebenenfalls zurückgegriffen werden kann. Darunter ist zu verstehen, dass anstelle der geforderten Lösung eine vergleichbare Lösung parallel verfolgt wird, die im Falle des Scheiterns zum Einsatz kommt. Diese Lösung sollte zum Stand der Technik zählen oder bestenfalls geringen evolutionären Charakter haben und damit sicherstellen, dass die Umsetzung realisierbar bleibt. Nur so kann der Ungewissheit des revolutionären Entwicklungsaspektes entgegengetreten werden. Hierfür sollen bestehende Entwicklungsmethoden und Fertigungsverfahren eingesetzt werden. Darüber hinaus könnte eine Fremdvergabe von diesen Teilbereichen der Entwicklung eine Lösung für diese Problematik darstellen. Als weitere wesentliche Maßnahme sind regelmäßige Besprechungen erforderlich. Hierbei sollten besonders in der Kernphase der Entwicklung, in der noch entwickelt, bereits gefertigt und gleichzeitig intensiv getestet wird, wöchentliche, in besonders kritischen Bereichen auch tägliche Statusbesprechungen des Entwicklungsteams durchgeführt werden. Hierzu sollten allerdings nur die unmittelbar betroffenen Bereiche zusammengerufen werden. Es bietet sich an, täglich zu einem festgelegten Zeitpunkt eine kurze Statusbesprechung durchzuführen, die den Zweck hat, in prägnanter Art und Weise den jeweiligen Status zu vermitteln.

Evolutionäre Aspekte des Pflichtenheftes, die mittleres Risikopotential aufweisen, werden mit einem gelben Farbpunkt markiert. In der Regel werden Produktentwicklungen zum größten Teil evolutionären Charakter haben. Aus diesem Grund wird eine Kennzeichnung mit dem gelben Punkt in jedem Fall überwiegen. Sollte das nicht so sein, handelt es sich entweder nicht um eine Neuentwicklung oder aber die Zielsetzung der Entwicklung wird möglicherweise verfehlt. Evolutionäre Aspekte sind in der Regel mit relativ hoher Komplexität und entsprechend geringer Planbarkeit verbunden. Die Erfüllung solcher Anforderungen kann daher nur durch das Einleiten von bestimmten Maßnahmen erreicht werden. Hierzu ist gerade die regelmäßige Überwachung des Entwicklungsfortschrittes im Rahmen der nachfolgenden PI-Qualifizierungsmaßnahmen vorzusehen. In der Kernphase der Entwicklung sind die evolutionären Aspekte regelmäßig durch wöchentliche Statusbesprechungen zu verfolgen.

Pflichtenheftbereiche, die zum Stand der Technik gezählt werden können, werden mit dem grünen Farbpunkt gekennzeichnet. In der Regel kann man fest mit der Erfüllung der Anforderungen innerhalb der festgelegten Randbedingungen rechnen, denn es besteht geringe Komplexität und gute Planungssicherheit. Das Risikopotential sollte daher sehr gering sein. In der PI-Analysephase sind aus diesem Grund keine zusätzlichen, über die PI-Qualifizierungsmaßnahmen hinausgehenden Maßnahmen erforderlich. Für die gelb gekennzeichneten Bereiche ist in der Kernentwicklungsphase eine wöchentliche Überprüfung ausreichend.

Die Risikoanalyse soll nicht nur innerhalb der Pflichtenheft-Analyse Einsatz finden, sondern durchgängig im Rahmen des PI-Konzeptes eine situationsabhängige Hilfestellung zur Abschätzung des Risikopotentials hinsichtlich des Entwicklungsinnovationsgrades von Anforderungen und Entwürfen und damit im Bezug zum Entwicklungsziel geben. Bei der wiederholten Durchführung der Risikoanalyse in späteren Phasen der Entwicklung durch Überprüfung der Anforderung, die zuvor ein hohes Risikopotential aufgewiesen haben, kann somit in Abhängigkeit davon eine Aussage zum jeweiligen Entwicklungsstand gemacht werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, in jeder Phase der komplexen Concurrent Engineering-Entwicklung aus einer zeitnahen Risikobeurteilung notwendige Maßnahmen für die weitere Vorgehensweise abzuleiten. Dabei bezieht sich die Beurteilung sowohl auf einzelne Komponenten oder Baugruppen als auch auf einen einzelnen Parameter und dessen technischen Wert. Durch den Einsatz der Risikoanalyse kann der Entwicklung ein einfaches Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden, wonach die weitere Vorgehensweise bestimmt wird, um eine Risikominimierung für den Entwicklungsprozess zu erreichen. Durch die Visualisierung wird das Risikopotential in jeder Stufe des Entwicklungsprozesses kenntlich gemacht. Dadurch lässt sich die Risikoanalyse als ein Frühwarnsystem für die Entwicklung und deren Entwicklungsfortschritt verstehen, wodurch sich eine gewisse Planungssicherheit erzielen lässt.

Die Kennzeichnung der zuvor risikobehafteten Bereiche eines Pflichtenheftes werden bei Erledigung von rot über gelb auf grün wechseln. Sind alle Bereiche auf grün gesetzt, kann von einem geringen Risikopotential für die Entwicklung ausgegangen werden.

b) Verstehen der Entwicklungsansätze

Das Verstehen der Entwicklungsansätze spielt neben dem Verständnis und der Beurteilung der Pflichtenheftangaben die Hauptrolle innerhalb der PI-Analysephase. Hierdurch gewinnt die PI-Gruppe parallel zum Entwicklungsgeschehen Einblick in den

jeweiligen Stand der Entwicklung und kann anhand der entstehenden Entwürfe und Muster die Analyse und Beurteilung der Umsetzung der geforderten Produkthanforderungen vornehmen. Damit ist sie die entscheidende Voraussetzung für die anschließende PI-Qualifizierung. Die Analyse der Entwicklungsansätze erfolgt in den Schritten Funktionsanalyse, Produktentwurfsanalyse und Fertigungsprozessentwurfsanalyse, die nachfolgend beschrieben werden.

Funktionsanalyse

Im Anschluss an die Pflichtenheft-Analyse erfolgt mit Hilfe der Funktionsanalyse der erste Analyse-Baustein zur frühzeitigen Überprüfung der Anforderungsumsetzung. Grundlage für die Funktionsanalyse sind erste Funktionslösungen der Entwicklung, die in Form von Funktionsmodellen, Prinzipskizzen, Berechnungen, Messungen, Schaltungsplänen, Bedienkonzepten o.ä. erstellt werden. Der Ablauf der Funktionsanalyse ist in Bild 5.18 dargestellt.

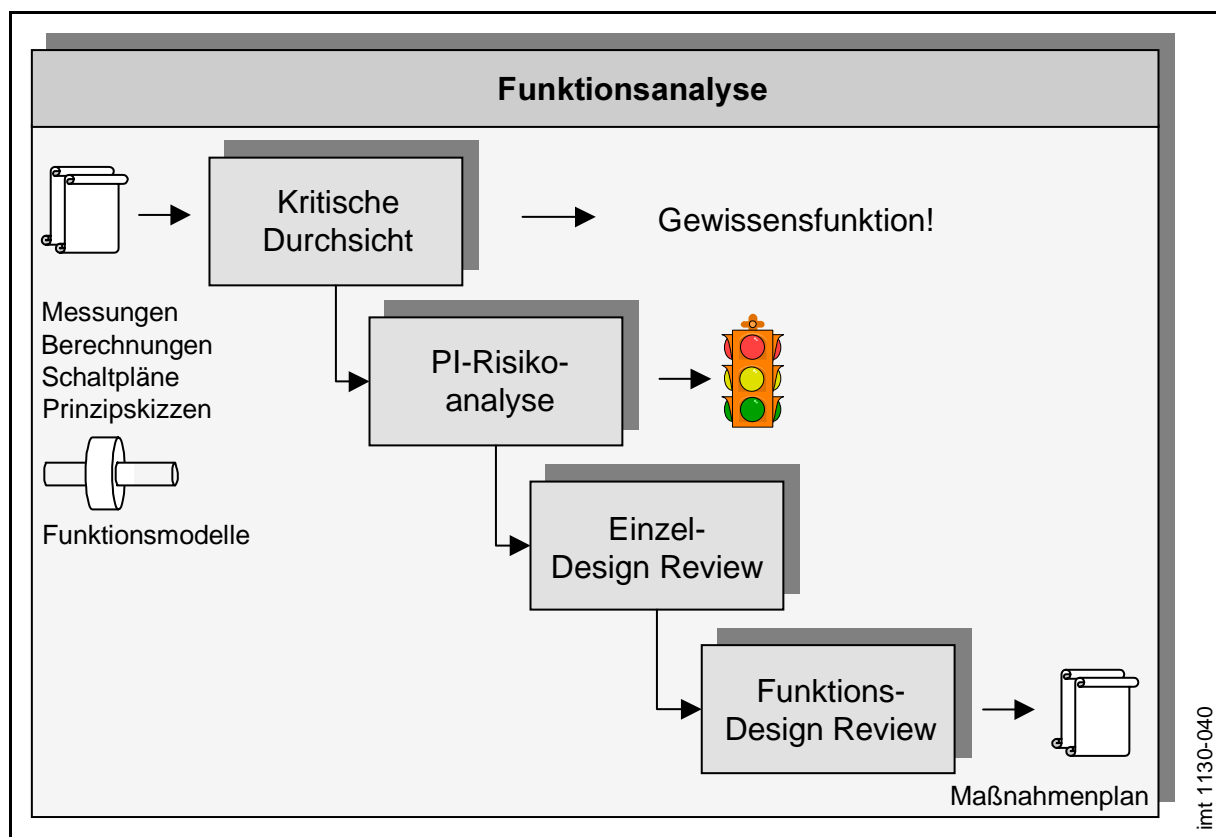


Bild 5.18: Prinzipieller Ablauf der Funktionsanalyse

Im ersten Schritt erfolgt eine kritische Durchsicht der Unterlagen vor dem Hintergrund der Realisierbarkeit und der Konformität zur Zielsetzung des Pflichtenheftes. Da-

bei steht die Analyse und Bewertung der Funktionsentwürfe im Vordergrund, um ein objektives Verständnis für alle Ansätze zu erlangen und damit die Gewissensfunktion ausführen zu können. Darüber hinaus werden die in der Pflichtenheft-Analyse ermittelten kritischen Pflichtenheftbereiche verfolgt und deren Umsetzung in Funktionen bewertet. Sollten auf den Entwicklungsinnovationsgrad bezogene Bewertungen in der PI-Risikoanalyse durchgeführt worden sein, so müssen diese Bereiche innerhalb der Funktionsanalyse wiederholt betrachtet werden. Die Vorstellung der Ergebnisse dieser Analysephase erfolgt in einem Funktions-Design Review. Hier werden im Team Maßnahmen für die weitere Vorgehensweise abgeleitet und die Weiterverfolgung der in der Pflichtenheft-Analysephase ermittelten kritischen Bereiche besprochen. Zur Vorbereitung eines solchen Design Reviews bieten sich Vorbesprechungen mit den jeweiligen Bereichen an. In diesen sog. Einzel-Design Reviews mit den verantwortlichen Entwicklern können die Problembereiche und Unklarheiten bereits im Vorfeld des Funktions-Design Reviews direkt besprochen werden, wodurch eine äußerst zeitnahe Bearbeitung erfolgen kann.

Produktentwurfsanalyse

Im weiteren Verlauf der Produktentwicklung nimmt die Umsetzung der Funktionslösungen in konkrete Entwürfe immer detailliertere Formen an. Es entstehen erste Bauteilentwürfe beispielsweise mit Hilfe von Rapid Prototyping-Verfahren wie Stereolithographie, Werkstatt-Fräsmodelle, Schaltungslayouts und Leiterplattenkonturen, Software-Prototypen etc. In dieser Analysephase setzt sich die PI-Gruppe intensiv mit den Produktentwürfen auseinander und bewertet diese nicht nur im Hinblick auf die Erfüllung des Pflichtenheftes und der Erfüllbarkeit von Funktionen, sondern auch bezüglich der Fertigbarkeit und Montierbarkeit. Auch innerhalb der Produktentwurfsanalyse wird die Weiterverfolgung der in der PI-Risikoanalyse ermittelten kritischen Bereiche durchgeführt sowie alle bereits in früheren Phasen aufgetretenen Risikobereiche hinterfragt. In einem Produktentwurfs-Design Review wird das Resultat der kritischen Auseinandersetzung mit den Produktentwürfen durch die PI-Gruppe vorgestellt. Hierbei werden alle beteiligten Abteilungen über den aktuellen Entwicklungsstatus informiert, um anschließend konstruktiv an der Bearbeitung der aufgetretenen Probleme mitwirken zu können. Auch hier eignet sich die Vorbesprechung der Produktentwürfe zunächst in Einzel-Design Reviews direkt mit den betroffenen Bereichen, um eine Abstimmung und frühzeitige Informationsweitergabe zu gewährleisten. Bei fertigungsspezifischen Fragestellungen ist die Fertigungsabteilung mit einzubeziehen. Das Ergebnis dieser Analysephase stellt ein Maßnahmenplan für den weiteren Entwicklungsablauf dar. Der Ablauf der Produktentwurfsanalyse ist in Bild 5.19 dargestellt.

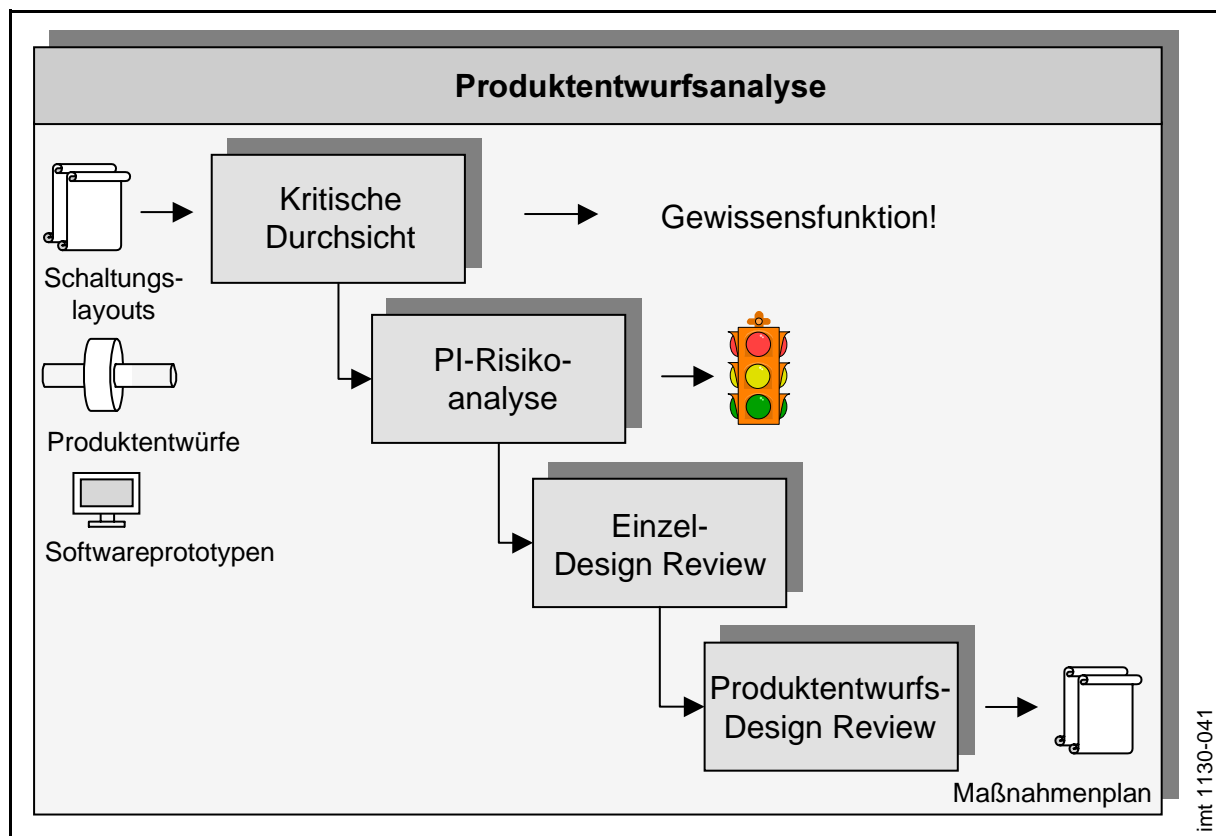


Bild 5.19: Prinzipieller Ablauf der Produktentwurfsanalyse

Prozessentwurfsanalyse

Die Produktintegritäts-Analyse wird nicht nur ausschließlich produktbezogen durchgeführt, sondern betrachtet parallel hierzu auch die zur Herstellung des Produktes notwendige Entwicklung der Fertigungsverfahren. Hierzu muss bereits frühzeitig vor der Erstellung erster Muster und Geräte die vorbereitende Analyse der einzusetzenden Fertigungsprozesse erfolgen. Durch die Einbindung der Fertigung in das Entwicklungsteam von Beginn an besteht zwar ein guter Überblick über die ersten Gestaltungsentwürfe des Produktes. Dennoch sind diese Informationen zum Teil noch sehr wenig konkret und zugleich unsicher, da sie sich im Laufe der Entwicklung noch vielfach ändern können. Die Fertigung sollte jedoch bereits in dieser Entwicklungsphase ein erstes Konzept für die Realisierung der Fertigungslinie mit den einzusetzenden Fertigungsverfahren ausgearbeitet haben. Insbesondere bei neu zu entwickelnden Fertigungsprozessen müssen die zeitaufwendigen Planungen parallel und in Absprache mit der Entwicklung erfolgen, denn in diesem Stadium fällt eine Entscheidung darüber, welche bestehenden Fertigungsprozesse zum Einsatz kommen und welche Fertigungsprozesse neu entwickelt werden müssen. Gerade für diese Überlegungen

ist die frühzeitige Einbindung der Fertigung sowie die interdisziplinäre Zusammenarbeit über die Abteilungsgrenzen hinaus zwingend notwendig. Auch in dieser Analysephase ist der Einsatz der Risikoanalyse sinnvoll, wodurch eine Risikoabschätzung der geplanten Fertigungsprozesse erfolgen kann. Wie bei den produktentwicklungsbezogenen Analysephasen soll abschließend auch bezüglich der Fertigungsprozesse ein Prozesentwurfs-Design Review im Entwicklungsteam erfolgen, wo mögliche Problembereiche diskutiert werden. Eine Vorbesprechung in Einzel-Design Reviews kann auch hier zu einer verbesserten Informationsweitergabe und Abstimmung im Vorfeld beitragen. Den Ablauf der Prozesentwurfsanalyse zeigt [Bild 5.20](#).

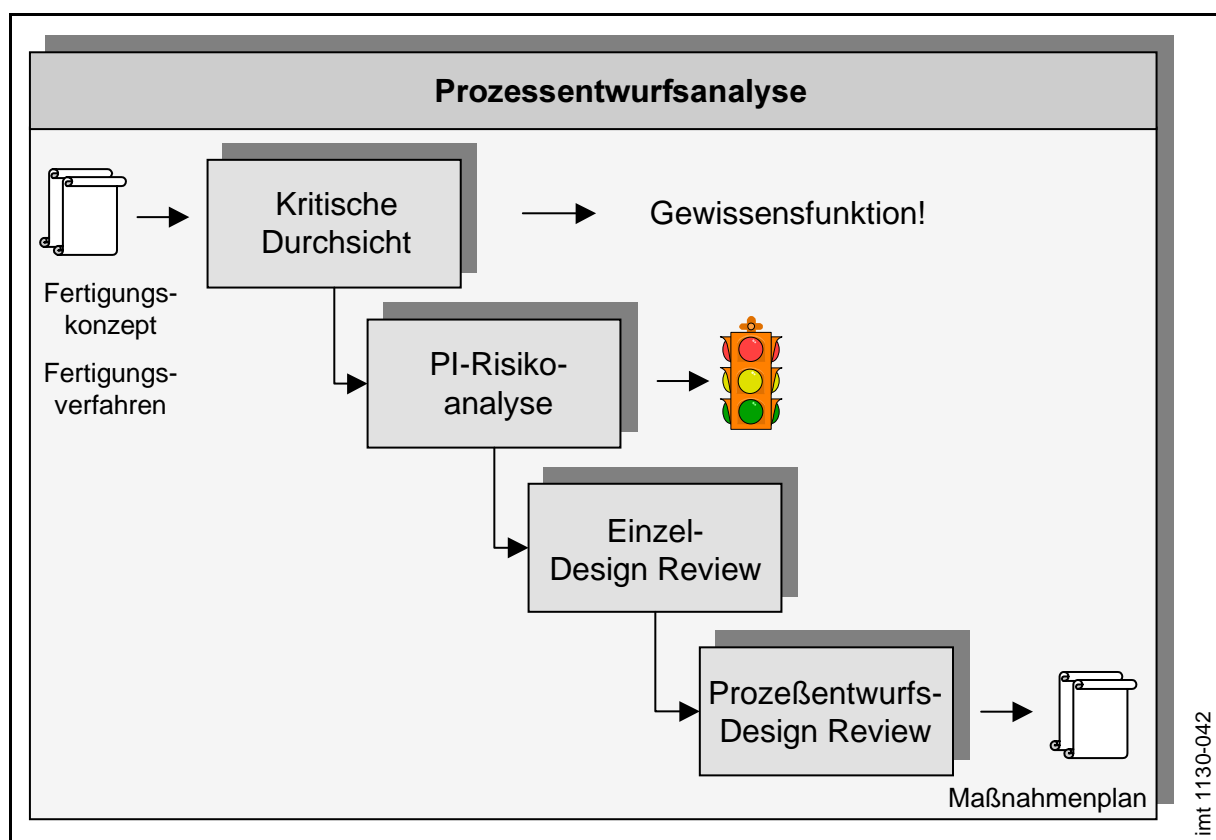


Bild 5.20: Prinzipieller Ablauf der Prozesentwurfsanalyse

5.4.2 Produktintegritäts-Qualifizierung

Die zweite Hauptphase der entwicklungsbegleitenden und zeitnahen Produktqualifizierung stellt die Produktintegritäts-Qualifizierung dar. In dieser Phase steht die Beurteilung des jeweiligen Entwicklungsstandes durch konkrete Qualifizierungstests im Vordergrund, damit daraus resultierende Ergebnisse in Echtzeit an die Entwicklung zurückfließen können. Dadurch lassen sich zahlreiche Entwicklungsiterationen vor Beginn der Serienfertigung durchführen und damit zeit- und kostenaufwendige Nachent-

wicklungen nach Beginn der Serienfertigung vermeiden. Die Qualifizierungstests erfolgen im Anschluss an die PI-Analysephase, die auf der Grundlage von Entwürfen und Modellen zunächst für die analytische Durchdringung aller relevanten Produkt- und Fertigungsprozessaspekte verantwortlich ist. In der Kernentwicklungsphase werden diese Funktions- und Entwurfsvorschläge umgesetzt und in ersten Produktmustern verwirklicht. Die PI-Qualifizierungsphase beginnt mit dem ersten vollständigen Produktmuster, das alle Komponenten und Funktionen des zukünftigen Produktes beinhaltet. Bis zur Serieneinführung des Produktes entsteht eine Vielzahl von weiteren Produktmustern, die in der PI-Qualifizierungsphase durch umfangreiche Tests fortlaufend und umfassend beurteilt werden. Der Ablauf der Produktintegritäts-Qualifizierung ist in [Bild 5.21](#) dargestellt.

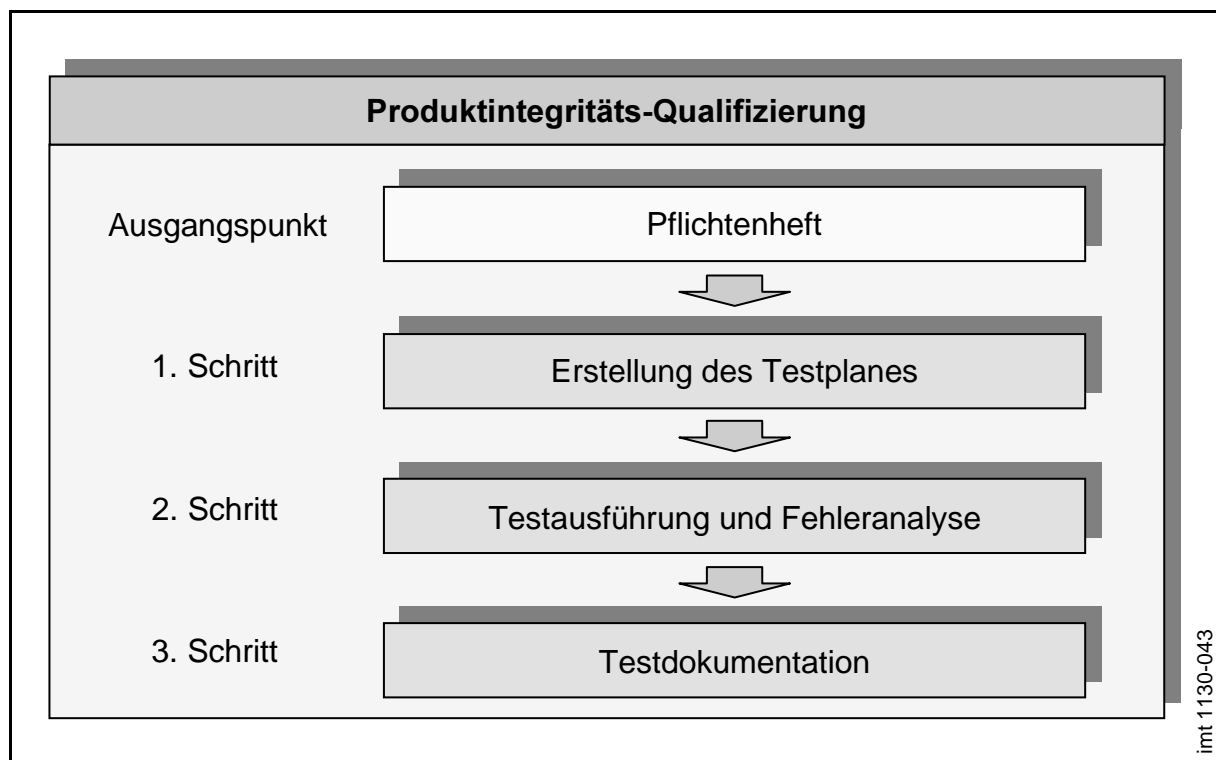


Bild 5.21: Produktintegritäts-Qualifizierung

Die Produktintegritäts-Qualifizierung beginnt mit der Aufstellung eines detaillierten Testplanes. Ausgangspunkt hierfür ist das Pflichtenheft, in dem alle Spezifikationen des Produktes festgeschrieben sind. Zum Testplan gehört ebenfalls die Erstellung von Testvorschriften. Anschließend erfolgt die Testausführung mit nachgeschalteter Fehleranalyse bei Nichterfüllung einer Spezifikation. Eine ausführliche Testdokumentation schließt das Testprogramm ab. Ebenso wie die PI-Analyse erfolgt auch die Entwicklungsqualifizierung durch Tests iterativ, das heißt es werden für jede Produkt-

musterstufe alle Qualifizierungstest vollständig wiederholt und somit jeweils der aktuelle Stand der Entwicklung ermittelt. Die PI-Qualifizierungsphase endet erst mit der Übergabe des Produktes an die Fertigung und dem Beginn der Serienfertigung. Der Anspruch des Produktintegritätskonzeptes nach Qualifizierung der Entwicklungsarbeit in Echtzeit erfordert die Durchführung von Tests so früh wie möglich. Dabei muss Wert darauf gelegt werden, dass sich der Aufwand des Qualifizierungsprogrammes in Grenzen hält. Es ist grundsätzlich anzustreben, mit möglichst wenig Tests ein möglichst großes Spektrum abzudecken, auch wenn eine 100%ige Abdeckung nicht erreichbar ist. Dieses ist bereits bei der Testplanerstellung zu berücksichtigen. Die Durchführung dieser zeitnahen Qualifizierungsmaßnahmen im Entwicklungsbereich stellt zunächst einen deutlichen Mehraufwand dar, hat allerdings den entscheidenden Vorteil, durch den stark reduzierten Nachbesserungsaufwand in späten Phasen der Entwicklung, also vor und insbesondere nach Serienfertigungsbeginn, den Gesamtaufwand deutlich zu verringern. Aus diesem Grund ist in jedem Fall ein frühzeitiger Testbeginn erforderlich, auch wenn noch nicht alle Funktionen eines Produktmusters vollständig geprüft werden können. Die Rückschlüsse, die aus diesen frühzeitigen, wenn auch unvollständigen Tests geschlossen werden können, sind für die weitere Entwicklung von großem Nutzen und damit unverzichtbar.

a) Erstellung des Testplanes

Die Testplanerstellung ist der erste Schritt der PI-Qualifizierungsphase. Der Entwurf des Testplanes für das entwickelte Produkt kann zeitgleich mit der Festschreibung des Pflichtenheftes beginnen. Grundlage zur Testplanerstellung ist zum einen das Pflichtenheft, in dem bereits die wichtigsten, vor allem technischen Größen mit den dazugehörigen Parametern festgelegt worden sind. Zum anderen gibt es zahlreiche Prüf-aspekte, die nicht explizit im Pflichtenheft festgehalten worden sind, die aber zur Funktionserfüllung entscheidend sein können oder aus Sicht des Unternehmens relevant sind (s.a. „ideales Pflichtenheft“). Ferner können sich im Laufe der Entwicklung vielfach noch Parameter ergeben, die sich nachträglich als kritisch herausstellen. Diese können zusätzlich in das Pflichtenheft aufgenommen und gleichfalls im Rahmen der Produktintegritäts-Qualifizierung überprüft werden. Ein PI-Testplan muss daher generell Tests für alle technischen Daten aus dem Pflichtenheft enthalten, und er wird darüber hinaus durch Tests weiterer Parameter ergänzt, die sich zusätzlich als testrelevant herausstellen.

Der PI-Testplan stellt den umfassenden Qualifizierungsplan für ein Produkt im Entwicklungsstadium dar. Er muss derart gestaltet sein, dass er für alle entstehenden Muster der Entwicklungsphasen anzuwenden ist. Die Aufstellung der Testpläne hat im-

mer so zu erfolgen, dass der Testaufwand möglichst in Grenzen gehalten wird. Das heißt, dass vor dem Hintergrund der Effektivität jeweils zu überprüfen ist, inwieweit sich Tests vereinfachen oder zusammenfassen lassen. Grundvoraussetzung muss immer sein, mit so wenig Tests wie möglich ein möglichst großes Testspektrum zu erreichen, um so viele Produkteigenschaften wie möglich überprüfen zu können. In [Bild 5.22](#) sind weitere Grundsätze und Bedingungen für die Aufstellung des PI-Testplanes zusammengefasst. Der Testplan wird anschließend festgeschrieben und die Ausführung der Tests hat nach dem festgelegten Plan zu erfolgen. Jede Abweichung vom Testplan ist zu begründen und zu dokumentieren. Soll der Testplan im Laufe der Entwicklungsphase angepasst oder geändert werden, so ist die neue Vorgehensweise abzustimmen und zu dokumentieren. Es ist eine Revisionskontrolle vorzusehen, aus der die verschiedenen Stände hervorgehen.

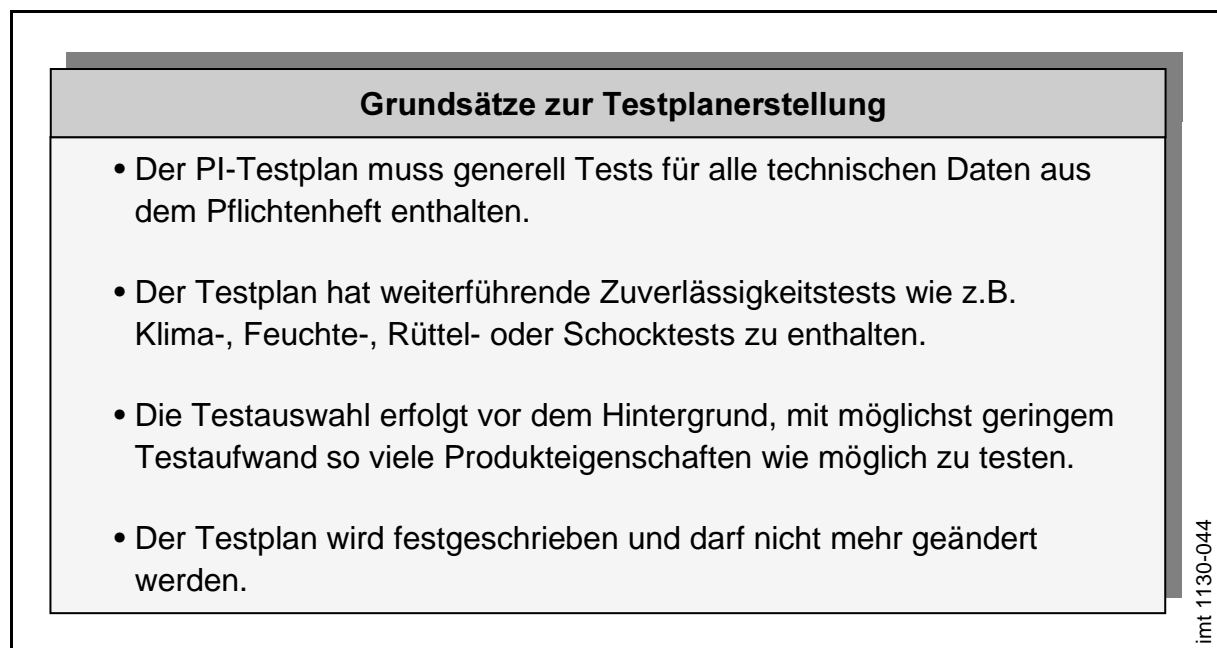


Bild 5.22: Grundsätze zur Testplanerstellung

Auf der Grundlage von PI-Testplänen verschiedener Entwicklungsprojekte kann in einem Unternehmen ein sog. Standard-Qualifizierungsplan aufgestellt werden, der ein umfassendes und globales Qualifizierungswerk für den gesamten Entwicklungsbereich darstellt. Dieser lässt sich dann grundsätzlich bei allen Entwicklungsprojekten im Unternehmen anwenden, um daraus detaillierte und produktspezifische Testpläne zu generieren.

Testvorschriftenerstellung

Zum PI-Testplan gehört ebenso die detaillierte Ausarbeitung und Festlegung von Testvorschriften. Ist der Testplan mit allen erforderlichen Tests festgelegt worden, erfolgt anschließend die Generierung der einzelnen Testvorschriften. Im zeitlichen Ablauf des Entwicklungsprozesses sollte die Erstellung der Testvorschriften ebenso wie die Testplanerstellung bereits parallel zur PI-Analysephase erfolgen. Ausgehend von dem PI-Testplan wird für jeden explizit aufgeführten Test eine entsprechende Testvorschrift festgelegt. Diese enthält dabei zum einen für jeden Test die erforderlichen Testgeräte und zum anderen die genaue Abfolge der Testdurchführung. Durch die Festlegung der Testvorschriften wird gewährleistet, dass ein Test immer nach der gleichen Abfolge und mit den gleichen Testgeräten durchgeführt wird. Für die Reproduzierbarkeit von Testergebnissen ist die konsequente Durchführung gemäß Testvorschrift und Dokumentation erforderlich. Wird eine Testvorschrift nicht befolgt, so kann es zu Abweichungen kommen, die beispielsweise auf den Einsatz anderer Testgeräte zurückzuführen sind und nicht auf eine Änderung des Produktmusters. Für die Testvorschriften gilt wie für den PI-Testplan, dass Testvorschriften zu befolgen sind und keine Abweichung zulässig ist. Nur wenn der PI-Testplan geändert wird, darf die Testvorschrift angepasst werden. In diesem Fall ist aber die Kontrolle durch Festhalten von Revisionsständen erforderlich, um nachvollziehen zu können, aus welchem Grund und wie häufig eine Testvorschrift geändert wurde.

Die Aufstellung der Testvorschriften darf keinesfalls im Widerspruch zu bestehenden Qualifizierungsvorschriften eines Unternehmens stehen. Diese stellen vielmehr die Basis für das umfassende PI-Qualifizierungswerk dar und sollten in Verbindung mit dem Testplan zu einer Vereinheitlichung der Qualifizierungstest für ein Entwicklungsprojekt führen.

b) Testausführung

Der Hintergrund für die frühzeitige und umfassende Qualifizierung der Entwicklungsarbeit ist die zeitnahe Ermittlung des jeweiligen Entwicklungsstandes und die Aufdeckung möglicher Problembereiche. Dadurch lassen sich potentielle Probleme schneller erkennen und es kann verhindert werden, dass diese Probleme erst zu einem späteren Zeitpunkt zu Tage treten. Diese Vorgehensweise führt jedoch dazu, dass möglicherweise zunächst eine Reihe unvollständiger Tests an Mustern, bei denen noch nicht alle Funktionen und Parameter anforderungsgemäß umgesetzt worden sind, durchgeführt werden. Durch diese vorzeitigen Tests können allerdings bereits in einem sehr frühen Entwicklungsstadium Hinweise in die Entwicklung zurückfließen, so

dass sich daraus ableitende Änderungen sehr viel früher berücksichtigen lassen. Einerseits führt dies zwangsläufig zu einer Vielzahl von Entwicklungsiterationen, andererseits können dadurch im nachfolgenden Muster bereits die ersten Änderungen realisiert werden. In der Regel beeinflussen sich eine Vielzahl von Parameter recht stark untereinander, so dass auch Wechselwirkungen untereinander zu berücksichtigen sind und dadurch bei jeder neuen Testwiederholung immer alle Parameter erneut überprüft werden sollten. Auch hierbei ist die Aufnahme von Revisionsständen erforderlich, um eine Verfolgung der Änderungen nachvollziehen zu können und um feststellen zu können, welche Auswirkung auf das Ergebnis eine entsprechende Änderung gehabt hat. Die detaillierte Dokumentation der Testergebnisse ist auch diesbezüglich äußerst wichtig.

Grundsätzlich sollten Qualifizierungstest so früh wie möglich im Entwicklungsablauf durchgeführt werden. Im Rahmen des PI-Konzeptes werden die Qualifizierungstests nach Abschluss der PI-Analysephase und nach Fertigstellung erster Produktmuster durchgeführt. Wichtig hierbei ist, dass die Durchführung der Tests ausschließlich durch die Produktintegritätsgruppe erfolgt, denn entscheidend für eine unabhängige und damit objektive Bewertung der Entwicklungsergebnisse ist die klare Trennung von Entwicklung und Qualifizierung. Die Erfahrung zeigt, dass ein Entwickler schnell in Gewissenskonflikte gerät, wenn er seine eigene Arbeit zu beurteilen hat. Statt dessen soll die Produktintegrität die Gewissensfunktion einnehmen und anstelle des Entwicklers die Qualifizierung wertneutral vornehmen.

Bei der Testausführung muss vom Ausführenden strikte Disziplin verlangt werden. Vor dem Test werden alle Testmuster überprüft und deren Zustand festgehalten. Alle Tests werden so ausgeführt, dass die Ergebnisse über jeden Zweifel erhaben sind. Die Durchführung der Tests folgt dem Testprogramm in allen Einzelheiten. Der Ausführende muss sich exakt an die Testvorschriften halten und die Tests genau nach dem im PI-Testplan festgelegten Ablauf durchführen. Abweichungen davon sind unzulässig. Nur dadurch kann die Reproduzierbarkeit der Testergebnisse sichergestellt werden. Stellt sich heraus, dass das Testprogramm unvollständig ist oder sollten im Verlauf der Entwicklung neue Tests notwendig werden, wird das Testprogramm entsprechend ergänzt. Dazu ist für jeden neuen Test ebenfalls zuerst die Testvorschrift zu erstellen. Eine Modifikation eines bestehenden Tests ist nur nach Absprache mit dem Entwicklungsteam und erfolgter Dokumentation, das heißt der Änderung der bestehenden Testvorschrift, zulässig. Besteht ein Muster einen Test nicht erfolgreich, wird ein Fehleranalyse-Ingenieur eingeschaltet (s.u.). Die Grundsätze für die Durchführung der Produktintegritäts-Tests sind in Bild 5.23 zusammengestellt.

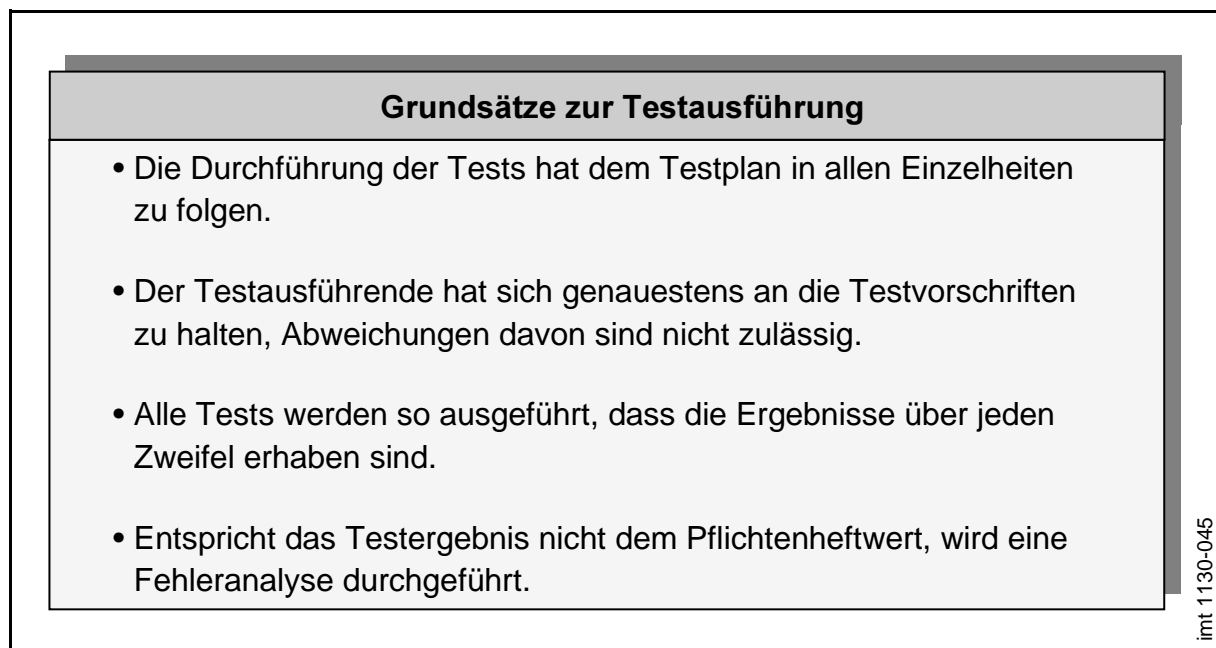


Bild 5.23: Grundsätze zur Testausführung

In den frühen Phasen der Produktintegritäts-Qualifizierung ist darauf zu achten, dass möglicherweise noch nicht alle Funktionen des Produktes realisiert worden sind. Ein Gesamttest des Produktes kann zu diesem Zeitpunkt noch nicht erfolgen. In diesem Fall kann die Festlegung von Schnittstellen zwischen den einzelnen Bauteilen und Baugruppen erforderlich sein, um einen separaten Funktionstest einer Baugruppe zu ermöglichen. Außerdem können in diesem Zusammenhang auch bestimmte Tests einzelner Komponenten bereits vorgezogen und unabhängig von der Fertigstellung der gesamten Baugruppe oder des Produktes durchgeführt werden. Dies ist insbesondere bei kritischen Komponenten vorteilhaft, um die Anzahl der Test- und Entwicklungsiterationen erhöhen zu können. Hierzu ist allerdings eine sehr frühzeitige Qualifizierung notwendig. Trotz dieser vorgezogenen Einzelfunktionstest muss diese Komponente im weiteren Qualifizierungsverlauf im Gesamtzusammenhang mit allen anderen Baugruppen des Produktes überprüft werden.

Fehleranalyse

Die Fehleranalyse stellt eine weitere Aufgabe der Produktintegritätsgruppe im Rahmen der PI-Qualifizierung dar, die nicht immer durchgeführt werden muss. Sie ist für die Analyse der Tests nur in den Fällen zuständig, in denen geforderte Produktanforderungen des PI-Testplanes nicht erreicht und unterschritten werden. Die Aufgabe der Fehleranalyse besteht darin, Aussagen über die Ursache der Nichterfüllung ma-

chen zu können. Nicht immer ist das Nichterreichen auf ein unzureichendes Muster zurückzuführen. Aufgabe dabei ist es, zu untersuchen, ob die Ursache für das Nichterreichen der Anforderung an dem Testmuster oder an der Testapparatur liegt. Eine Variationen vom festgelegten Prüfablaufes ist auf jedenfall auszuschließen. Im Hinblick auf eine Bewertung der Testergebnisse vorangegangener Tests und daraus abgeleiteter Maßnahmen ist ganz entscheidend zu wissen, warum eine Produkthanforderung (wiederholt) nicht erreicht wurde. Mit Hilfe einer Fehleranalyse lässt sich diese Unsicherheit weitestgehend ausschließen. Idealerweise wird für diese Funktion innerhalb der PI-Gruppe eigens ein Fehleranalyse-Ingenieur oder eine Fehleranalyse-Gruppe abgestellt.

Die Fehleranalyse gliedert sich im wesentlichen in die drei Bereiche Testapparaturanalyse, Testmusteranalyse und Fehleranalysedokumentation (Bild 5.24).

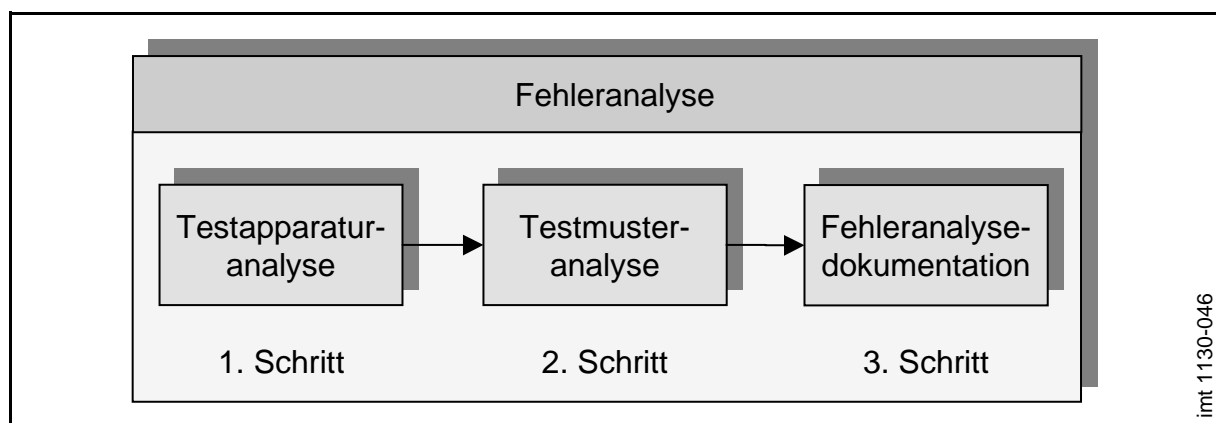


Bild 5.24: Fehleranalyse

Der erste Schritt der Fehleranalyse beinhaltet die Analyse der Testapparatur. Hierbei ist zunächst eine Kontrolle der eingesetzten Messgeräte erforderlich. Die wesentlichsten Fehlerursachen können in der Fehlbedienung der Messinstrumente liegen, in der Verwendung falscher Messgeräte abweichend zur festgeschriebenen Testvorschrift oder an Messgeräten, die beispielsweise nicht (mehr) richtig kalibriert sind. Die Eingrenzung der Fehlersuche muss in jedem Fall systematisch erfolgen. Nach Beendigung der Testapparatur-Analyse steht fest, ob das Fehlerpotential von der Testausführung oder von den Messgeräten selber ausgegangen sein kann.

Zur Eingrenzung des Fehlerpotentials schließt sich der Testapparatur-Analyse die Testmuster-Analyse an. Gegebenenfalls muss in diesem Fall das Testprogramm in Teilbereichen oder komplett nochmals durchlaufen werden, um eine mögliche Fehler-

ursache ermitteln bzw. ausschließen zu können. Das Produktintegritätskonzept ist so konzipiert, dass gerade die Reproduzierbarkeit von Qualifizierungsergebnissen jederzeit gewährleistet ist. Um die Relevanz der Testmuster-Analyse herauszustellen, ist anzumerken, dass besonders in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses niemals alle Spezifikationen erfüllt sind und alle Tests erfolgreich sein können. Gerade dann ist es wichtig zu wissen, woran die Nichterfüllung einer Produkthanforderung liegt. Wenn z.B. ein Test im Laufe des Entwicklungsprozesses mehrere Male durchgeführt wird und ein Fehler erst in einem der späteren Tests aufgetreten ist, muss geklärt werden, wo die Ursache für die Fehlfunktion liegt. Beispielsweise können im Vergleich zum vorherigen Mal Änderungen in das Produkt eingeflossen sein, deren Auswirkungen auf andere Funktionen vorher nicht bis ins Detail abgeschätzt werden konnten. Jede Änderung, die in das Produkt einfließt, sollte als Revisionsstand dokumentiert werden. Ein System für das Änderungsmanagement ist hierbei hilfreich.

Die Ergebnisse aus der Fehleranalyse sind zu dokumentieren, um dadurch die Transparenz und die Nachvollziehbarkeit der Untersuchungen zu gewährleisten. Damit wird die Voraussetzung geschaffen, dass andere Stellen, insbesondere die Entwicklungsabteilung, eine nachvollziehbare Dokumentation erhalten, nach der sie ggf. Änderungen in den Entwurf und in die Mustererstellung einfließen lassen können. Als Ergebnis der Fehleranalyse kann auf Grundlage der Fehleranalyse-Dokumentation beispielsweise eine Überarbeitung der Testvorschriften, ein Austausch der Prüfapparatur oder eine Überarbeitung des Testmusters notwendig sein.

c) Testdokumentation

Die Dokumentation der Testergebnisse hat im Rahmen der PI-Qualifizierungsmaßnahmen für alle Beteiligten eine große Bedeutung. Ein Testprogramm gilt erst dann als abgeschlossen, wenn die Testergebnisse vollständig dokumentiert sind. Die Testdokumentation ist die Grundlage für die Beurteilung der Entwicklungsergebnisse in anschließenden Besprechungen des Entwicklungsteams und Design Reviews. Sie sind damit gleichzeitig Ausgangspunkt für weiterführende Maßnahmen, die sich aus den Entwicklungsergebnissen ableiten können. Die verschiedenen Dokumentationen der Testdaten und -ergebnisse sind in Bild 5.25 dargestellt. Es wird zwischen dem Testplan, in dem die Testdaten enthalten sind, dem vollständigen Testbericht und einem Statusbericht unterschieden. Die Berichte werden in der Regel durch das Ausfüllen von Formblättern erstellt. Eine ausführliche Dokumentation ist bei jedem Testdurchlauf zwingend erforderlich. Bei Testergebnissen, die dem Kunden präsentiert werden, sollte der vollständige Testbericht herangezogen werden.

Art	Zweck	Inhalt
Testdaten / Testplan	Interner Qualifizierungsnachweis	Mehrseitiges Dokument mit Aufstellung aller Testdaten als Basisdokument für die Testausführung
Testbericht	Interner und externer Qualifizierungsnachweis	Mehrseitiges Dokument mit ausführlicher Darstellung der Testergebnisse
Statusbericht	Interner Qualifizierungsnachweis	Einseitige Zusammenfassung aller Testergebnisse zur übersichtlichen Präsentation

int 1130-047

Bild 5.25: Testdokumentation

Die Dokumentation der Qualifizierungstest geht von dem Pflichtenheft aus, in dem die festgelegten Parameter mit Zielwerten bereits aufgeführt sind. Diese Angaben werden als Testdaten im ersten Schritt in den PI-Testplan übertragen und ggf. nach der Reihenfolge der Testausführung sortiert. In dem Testplan stehen die sich so ergebenden Testdaten mit ihren jeweiligen Zielwerten und der Numerierung in der gewünschten Reihenfolge. Dieser PI-Testplan stellt damit das Basisdokument für die weitere Qualifizierung dar.

Der Testbericht resultiert direkt aus dem PI-Testplan, nach dem die Tests anschließend ausgeführt werden. Er stellt die ausführlichste Dokumentation der Testergebnisse dar und besteht in der Regel aus einem mehrseitigen Dokument. Der Testbericht enthält die Testparameter, den Zielwert, die Toleranzgrenzen und das Testverfahren. Das Testverfahren kann auch in der Testvorschrift stehen. Dann sollte im Testbericht auf diese verwiesen werden. Der Testbericht dient der PI-Gruppe als Arbeitsdokument, in das bei der Testausführung die Testergebnisse aufgenommen werden. Hierfür ist entsprechender Platz für die Eintragung der Testergebnisse vorzusehen, die bei der Testdurchführung zunächst auch per Hand erfolgen kann. Andernfalls ist ein entsprechendes zusätzliches Dokument erforderlich, in dem für jeden einzelnen Parameter ein Messwert mit Bemerkungen eingetragen wird. Auf jeden Fall ist die Aufnahme des jeweiligen Revisionsstandes des untersuchten Testmusters oder Testobjektes von großer Bedeutung. Darunter wird die Numerierung des Versionsstan-

des der Testobjekte verstanden, die durch die PI-Gruppe getestet werden. Nur durch die genaue Dokumentation dieser Revisionsstände lässt sich später nachvollziehen, welche Änderungen im Testmuster enthalten waren und welchen Einfluss diese Änderungen auf die Testergebnisse haben.

Der Statusbericht hat die Funktion, nahezu jederzeit Aussagen über den Teststatus und damit über den jeweiligen Produktstatus geben zu können. Die Produktintegritätsgruppe verfügt durch die zeitnahe Qualifizierung des Produktes über den besten Überblick über den Entwicklungsstatus. Daraus resultiert die Möglichkeit und zugleich die Aufgabe, das Entwicklungsteam jederzeit über den Stand der Entwicklung unterrichten zu können (Status). Der Statusbericht muss ein klar und deutlich verständliches Dokument sein, das in Besprechungen (u.a. auch vor der Geschäftsführung) dazu dient, in übersichtlicher Form Auskunft über den Entwicklungsfortschritt zu geben. Dazu bietet sich eine einseitige Zusammenfassung an, um somit kurz und prägnant einen guten Überblick über die Testergebnisse zu erhalten. Diese Ergebniszusammenfassung sollte eine Kurzform des ausführlichen Testberichtes sein, die alle Tests mit den jeweiligen Ergebnissen enthält. Konkrete Testergebnisse können dem detaillierten Testbericht entnommen werden.

Kundendokumentation

Wenn der Kunde des Produktes nicht der Endverbraucher ist, dann kommt der PI-Gruppe mit der Kundenqualifizierung möglicherweise eine weitere Funktion zu. Wie gezeigt wurde, besitzt die PI-Gruppe durch die Durchführung des Qualifizierungsprogrammes in jeder Phase des Entwicklungsprozesses detaillierte Kenntnisse zum jeweiligen Stand der Entwicklung. Damit ist sie am besten in der Lage, den jeweiligen Entwicklungsstatus auch gegenüber diesem Kunden zu dokumentieren. Zielsetzung bei der Durchführung des Qualifizierungsplanes muss es daher sein, auch im Hinblick auf eine erforderliche Kundenqualifizierung eine umfassende, entwicklungsbegleitende und objektive Qualifizierung des Produktes zu erreichen. Nur dadurch besteht die Möglichkeit, den Kunden zu überzeugen, von intensiven eigenen Qualifizierungstests abzusehen. Die Kundenqualifizierung erfordert in diesem Fall keine zusätzlichen Qualifizierungsmaßnahmen beim Kunden. Der Vorteil für den Kunden bei der Durchführung des Produktintegritätskonzeptes besteht darin, dass er überzeugt werden kann, dass seine eigene Produktqualifizierung nach Abschluss der Entwicklung überflüssig ist. Der Kunden wird in diesem Fall die Entwicklungsqualifizierung akzeptieren und anstelle seiner eigenen, firmeninternen Qualifizierung übernehmen. Dazu muss das Produktintegritätsprogramm lückenlos dokumentiert und ausgeführt worden sein.

Zur Dokumentation von Qualifizierungsergebnissen für den Kunden wird in der Regel der ausführliche Testbericht herangezogen, der dem Kunden als Überblick dient, wie weit die Entwicklung und die Produktqualifizierung vorangeschritten sind. Er kann ggf. auch aus einer Überarbeitung von Test- und Statusbericht resultieren, die bereits für die interne Qualifizierung erstellt worden sind. In jedem Fall ist entscheidend, dass durch die Darstellung der Testergebnisse zweifelsfrei der aktuelle Entwicklungsstand wiedergespiegelt wird.

5.5 Concurrent Qualification (CQ)

Die Zielsetzung von Concurrent Engineering, neben der umfassenden Berücksichtigung aller Produktanforderungen vor allem besonders schnell zum Entwicklungsziel und damit zu einer Verkürzung der Time to Market zu gelangen, wird durch das beschriebene Produktintegritätskonzept mit den dazugehörigen PI-Maßnahmen wirkungsvoll unterstützt. Aus der Gliederung der wesentlichsten Elemente in PI-Analyse und PI-Qualifizierung ergibt sich der Anspruch an eine Qualifizierung, die insbesondere innerhalb einer evolutionären Concurrent Engineering-Entwicklung für eine zeitnahe und fortlaufende Qualifizierung steht. Vor diesem Hintergrund wird die Produktintegritäts-Qualifizierung durch Anwendung des PI-Konzeptes zu einer sog. Concurrent Qualification. Damit wird gleichzeitig zum Ausdruck gebracht, dass aus der Sichtweise dieser Arbeit das Zusammenspiel von Entwicklungsprozess und Produktqualifizierung eng miteinander verknüpft ist. Der Concurrent Engineering-Entwicklungsprozess wird damit zum CE-Prozess mit Concurrent Qualification (CQ).

Der Begriff Concurrent Qualification wird als Synthese aus Gewissen und Testwissen verstanden. Durch die Durchführung der PI-Analyseschritte und der nachfolgenden PI-Qualifizierung erlangt die PI-Gruppe eine Wissensfunktion für die Entwicklung und den CE-Entwicklungsprozess. Sie hat durch das völlige Verständnis für das Produktkonzept und für alle Produkt- und Fertigungsprozessmerkmale innerhalb der Analysephase die Voraussetzung geschaffen, Einfluss auf den weiteren Entwicklungsprozess nehmen zu können und die spätere Produktmusterqualifizierung durchführen zu können. Durch die Ausführung der PI-Qualifizierungsprogramme im weiteren Verlauf der Entwicklung entsteht aufgrund der Testergebnisse ein Testwissen, woraus die Wissensfunktion der PI-Gruppe resultiert. Dadurch besteht die Fähigkeit der PI-Gruppe, als Wissen des CE-Entwicklungsprozesses die Entwicklung steuern und lenken zu können. Durch die Anwendung des PI-Konzeptes im Rahmen einer Concurrent Engineering-Entwicklung gelangt man demnach zu einer Concurrent Qualification. Concurrent Qualification ist damit das generelle Ziel in einem evolutionären Entwicklungsprozess, der vorgestellte PI-Ansatz ist dabei der Weg zum Ziel.

5.5.1 PI-Maßnahmen im CE-Entwicklungsprozess

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen zeitnahen Qualifizierungsmaßnahmen des PI-Konzeptes stellen einen proaktiven Ansatz dar, um innerhalb eines vernetzten und komplexen CE-Prozesse die Entwicklung eines umfassend qualifizierten und damit anforderungsgerechten Produktes zu gewährleisten. Die Produktintegrität als Wissensfunktion für den gesamten Produktentwicklungsprozess und in Verbindung mit dem ethischen Anspruch stellt eine Erweiterung bisheriger, vor allem reaktiv im Entwicklungsgeschehen eingebundenen Qualitätsmanagementmethoden dar. Aus Bild 5.26 geht die generelle zeitliche Einordnung der zuvor beschriebenen PI-Qualifizierungsmaßnahmen hervor, wobei zu berücksichtigen ist, dass der iterative Charakter des PI-Konzeptes durch das wiederholte Durchführen von PI-Maßnahmen in späteren Entwicklungsphasen nicht dargestellt ist.

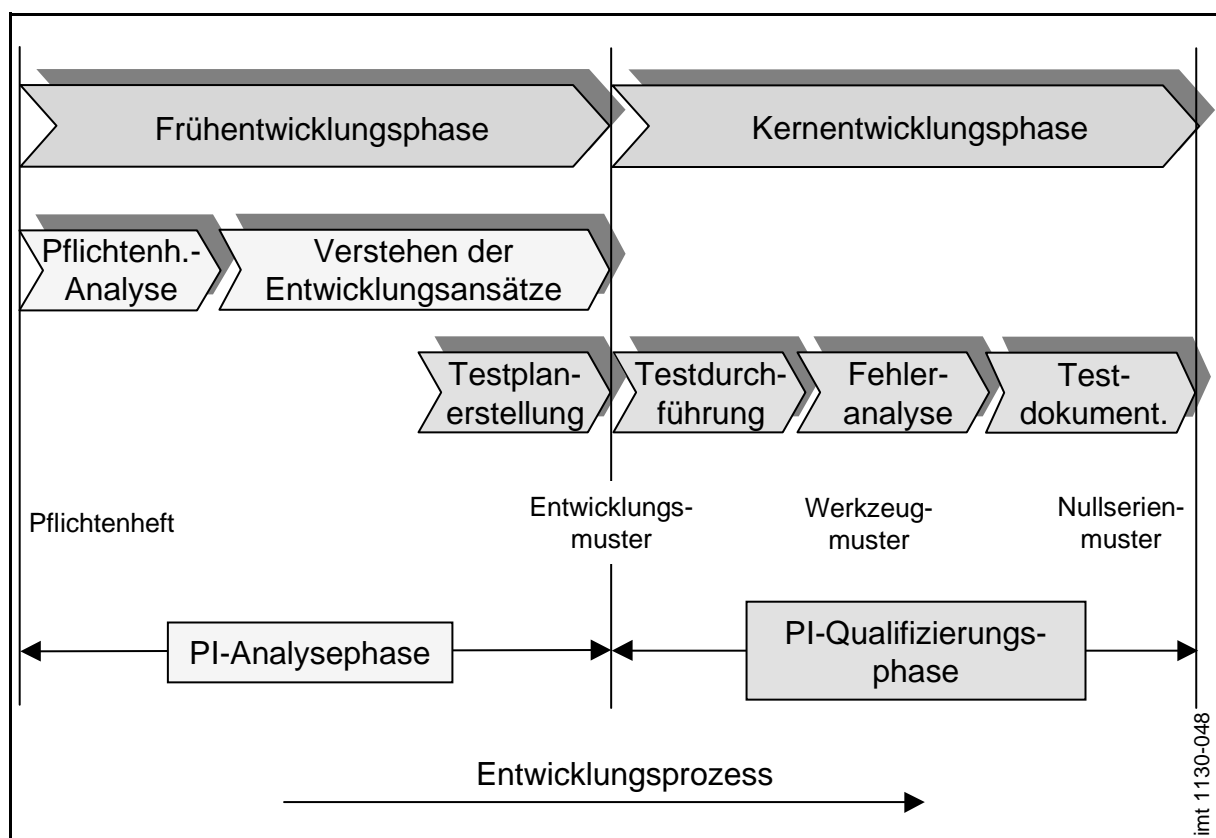


Bild 5.26: PI-Qualifizierungsmaßnahmen im Entwicklungsprozess

5.5.2 Produktintegritäts-Regelkreis

Das Zusammenspiel aller behandelten Produktintegritätsmaßnahmen lässt sich mit Hilfe eines Regelkreises veranschaulichen (Bild 5.27). Das Regelkreismodell führt

alle PI-Aktivitäten der Echtzeitqualifizierung während des Entwicklungsprozesses zusammen und lässt die Regelung und Steuerung durch die Durchführung des PI-Konzeptes erkennen. Dabei wird der iterative Charakter besonders deutlich, denn in jeder Entwicklungsphase, ausgehend vom Beginn der Entwicklung bis zum Serienfertigungsstart, tragen die PI-Maßnahmen zur entwicklungsbegleitenden und fortlaufenden Analyse und Qualifizierung bei. Damit ist eine zeitnahe und vor allem proaktive Einflussnahme auf das Entwicklungsgeschehen durch die PI-Gruppe möglich.

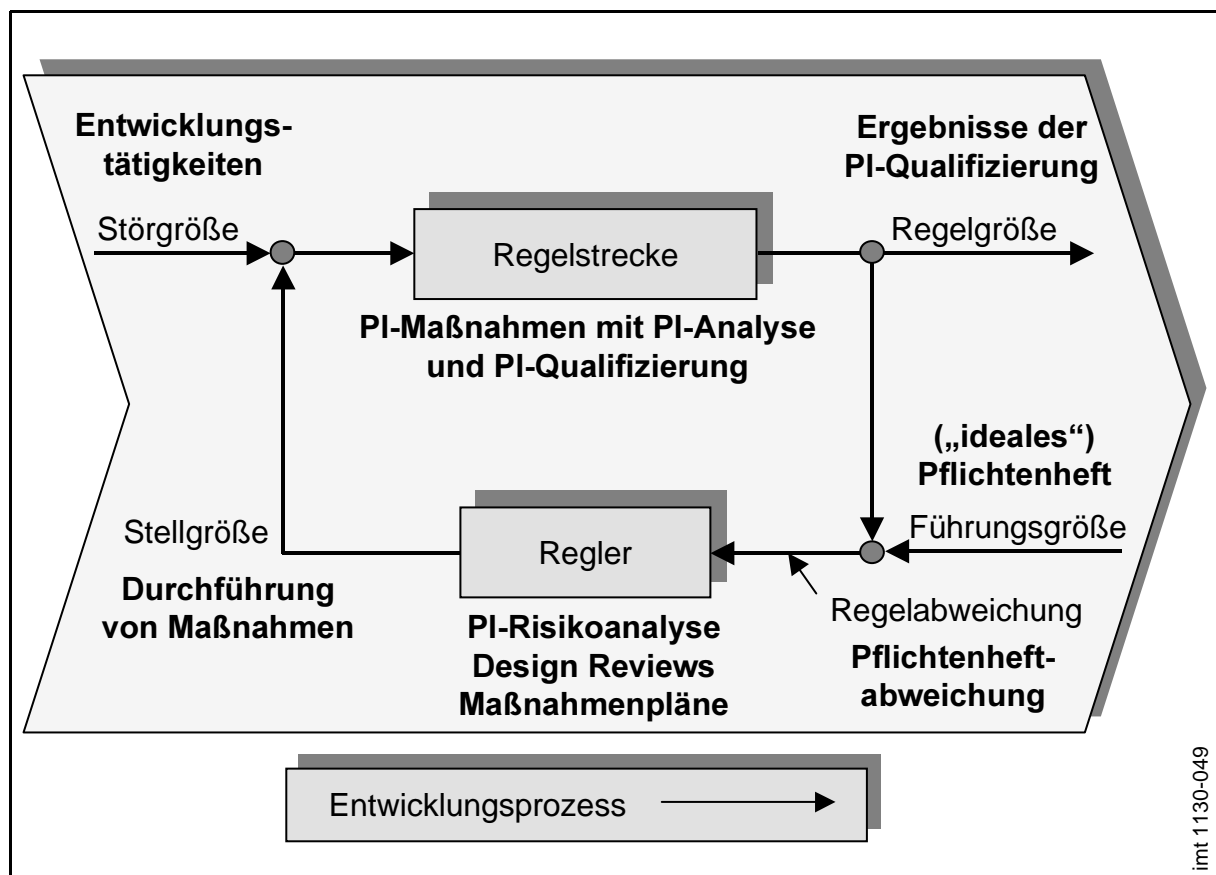


Bild 5.27: Produktintegritäts-Regelkreis

Die Anschauung mit Hilfe eines Produktintegritäts-Regelkreises wird verwendet, weil die zu regelnde Größe die Produktintegrität und damit den Umsetzungsgrad der Produkthanforderungen dokumentiert. Durch die Durchführung von Produktintegritätsmaßnahmen wird ein geschlossener Qualifizierungsablauf bis zur Serienfertigung realisiert. Der Entwicklungsstatus wird fortlaufend und parallel zum Entwicklungsprozess zeitnah durch die PI-Gruppe erfasst und mit den festgelegten Produkthanforderung verglichen. Dabei stellen die Produkthanforderungen die Führungsgröße (Soll-Daten) und die ermittelten Qualifizierungsergebnisse die Regelgröße (Ist-Daten) für den Regler dar. Die Differenz oder Abweichung der jeweiligen Analyse- und Qualifizierungsergeb-

nisse von den Pflichtenheftangaben ist die Eingangsgröße der Reglers, die Regelabweichung. Die Regelstrecke des PI-Regelkreises wird durch die fortlaufenden PI-Maßnahmen wie PI-Analyse und PI-Qualifizierung gebildet, die zur Feststellung des Entwicklungsfortschrittes dienen. Zu der Störgröße der Regelstrecke werden alle von außen wirkenden Größen gezählt. Im Fall des PI-Regelkreises zählen dazu die Entwicklungstätigkeiten, die in der Regel unvorhersehbar und dementsprechend schlecht planbar sind. Der Regler des PI-Regelkreises kann als Entscheidungsprozess innerhalb des Entwicklungsteams angesehen werden. In ihm werden auf Grundlage der PI-Qualifizierungsergebnisse die Analyse für die Abweichungen und weitere Vorgehensweisen abgestimmt. Als Hilfsmittel hierzu sind die erläuterten PI-Design Reviews, die PI-Risikoanalyse, die Entwicklungsbesprechungen und die Maßnahmenpläne zu zählen. Die Ausgangsgröße des Reglers, die Stellgröße, ist als Durchführung und Umsetzung der Maßnahmen zu verstehen, die zusammen mit den übrigen Entwicklungstätigkeiten, der Störgröße, wiederum auf die Regelstrecke wirken.

Die beschriebene Sichtweise verdeutlicht, dass in allen Phasen der Entwicklung die PI-Gruppe durch die Ausführung entsprechender PI-Maßnahmen zur zeitnahen Qualifizierung des Produktes beiträgt. Der PI-Regelkreis lässt sich in jeder Entwicklungsphase anwenden und durch Qualifizierungsmaßnahmen durchlaufen.

6 Anwendung des Produktintegritätskonzeptes

Die in Kapitel 5 beschriebenen theoretischen und konzeptionellen Ansätze des Produktintegritätskonzeptes müssen bei ihrer Übertragung und Anwendung innerhalb eines Unternehmens unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen angepasst werden. Es existiert für die Durchführung der Produktintegritätsmaßnahmen eine klare Vorgehensweise mit fest vorgegebenen Analyse- und Qualifizierungsschritten. Dabei muss die Anwendung jeweils situationsbedingt auf die Verhältnisse eines Unternehmens abgestimmt werden. Grundsätzlich muss bei der Einführung des PI-Konzeptes die Bereitschaft für Veränderungen im Unternehmen gegeben sein. Dazu ist immer die Unterstützung des oberen Führungskreises und des Managements erforderlich. Ferner kann die Einführung des Produktintegritätskonzeptes nur dann Erfolg haben, wenn sowohl die Entwicklungsabteilung als auch die Qualitätssicherungsabteilung das Konzept mitträgt. Vor der Einführung des Qualifizierungsprogrammes erscheint daher in jedem Fall die Durchführung eines Workshops zum Thema Produktintegrität und Echtzeitqualifizierung sinnvoll. Nur so können alle beteiligten Unternehmensbereiche mit dem Ansatz und der Vorgehensweise vertraut gemacht werden.

6.1 Ausgangssituation

Ein Teil des Produktintegritätskonzeptes konnte innerhalb eines kleinen und mittelständischen Unternehmens (KMU) der Elektronikbranche angewandt und erfolgreich eingeführt werden. Der Schwerpunkt bei der Einführung des PI-Konzeptes lag dabei auf der elektrischen Entwicklung, weil hier der größte Nutzen erwartet wurde. Aus diesem Grund erfolgte keine vollständige Durchführung des PI-Konzeptes. Neben der Einführung des PI-Konzeptes und der zugehörigen Qualifizierungsmaßnahmen innerhalb des bestehenden Entwicklungsprozesses in diesem Unternehmen wurden als vorausgehende und begleitende Maßnahmen verschiedene Managementansätze eingebracht und Unterstützung beim Projekt- und Risikomanagement geleistet. Darüber hinaus wurde eine gezielte Besprechungskultur angeregt und umgesetzt, die dazu geführt hat, dass Besprechungen zur richtigen Zeit und mit der entsprechenden Effektivität durchgeführt wurden. Diese Dinge waren zusätzliche Faktoren, die die Umsetzung des Konzeptes erleichtert und unterstützt haben. Auf nähere Einzelheiten soll an dieser Stelle allerdings verzichtet werden, da der Kernbereich der Betrachtungen die Umsetzung der in Kapitel 5 erarbeiteten Ansätze ist.

Voraussetzung für die Einführung des PI-Konzeptes war, dass der bestehende Entwicklungsprozess unter Beibehaltung seiner Musterbauphasen erhalten blieb und das Produktintegritätskonzept daran angewendet werden sollte. Die Begriffe für die un-

terschiedlichen Muster, die im Laufe des Entwicklungsprozesses entstehen, variiert von Unternehmen zu Unternehmen stark. In dem betreffenden Unternehmen wurden folgende Begriffe gewählt (s.a. [Bild 6.1](#)):

- Entwicklungsmuster.
- Werkzeugmuster.
- Nullserienmuster.

Im untersuchten Entwicklungsprozess des Unternehmens waren bislang umfangreiche Qualifizierungstests am Produkt nur nach Abschluss der Entwicklungsphase und vor Beginn der Serienfertigung durch die Qualitätssicherungsabteilung vorgesehen. Bis zu diesem Zeitpunkt war die Entwicklung selbst für die Umsetzung des Pflichtenheftes und der Überprüfung der eigenen Entwicklungsarbeit verantwortlich, so dass bis zur Erstellung des Nullserienmusters keine objektive Qualifizierung der Produktentwicklung und des Entwicklungsstandes erfolgte. Um die Qualifizierung während des Entwicklungsprozesses zu optimieren, wurde das PI-Konzept mit seinen beiden Hauptphasen PI-Analyse und PI-Qualifizierung eingeführt. Die Zuordnung zum Entwicklungsprozess geht aus [Bild 6.1](#) hervor. Nach einer Konzeptphase, in der das Pflichtenheft erstellt wurde, folgte die Frühentwicklungsphase, aus der das Entwicklungsmuster resultierte. Anschließend entstanden in der Kernphase der Entwicklung zunächst erste Werkzeugmuster und danach Nullserienmuster. Der Entwicklungsprozess endete mit dem Serienfertigungsstart. Die beide Hauptphasen PI-Analyse und PI-Qualifizierung, wurden der Früh- und der Kernentwicklungsphase zugeordnet.

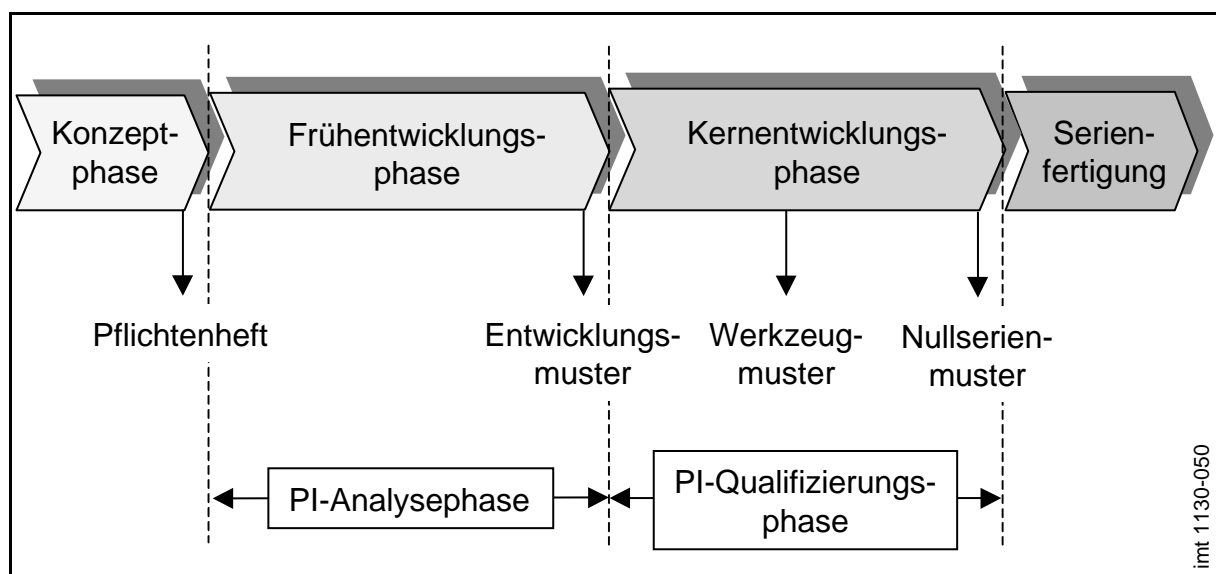


Bild 6.1: Phasen des Entwicklungsprozesses

6.2 PI-Gruppe

Zur Durchführung und Koordinierung der PI-Qualifizierungsaufgaben wurde im untersuchten Unternehmen keine eigenständige PI-Gruppe aufgebaut. Es wurde dagegen der Ansatz gewählt, mit dem geringsten Aufwand an Personalressourcen die Umsetzung des PI-Konzeptes für den Entwicklungsbereich zu gewährleisten. Aus diesem Grund wurde ein erfahrener Mitarbeiter aus der Qualitätssicherung, Bereich Prüfmittelbau, der ehemals als Entwicklungsingenieur tätig war, als Verantwortlicher für die Produktintegrität während des Entwicklungsprozesses ausgewählt. Dieser Mitarbeiter besaß damit idealerweise sowohl Erfahrungen aus seiner früheren Entwicklungstätigkeit als auch aus dem Bereich der Qualitätssicherung. Für die Durchführung der PI-Maßnahmen wurde er von seinen Aufgaben freigestellt. Die Frage, auf welche Art und Weise eine PI-Gruppe in die Unternehmensorganisation integriert werden soll, stellte sich damit aus oben genannten Gründen nicht (s.a. Kapitel 5.3.1). Organisatorisch wurde der Produktintegritätsingenieur zur Qualitätssicherungsabteilung zugeordnet. Die Aufgaben, die sich aus dem PI-Konzept für das betreffende Unternehmen innerhalb des Entwicklungsprojektes ergaben, wurden ihm übertragen und er vertrat die Funktion Produktintegrität als gleichwertiges Mitglied im Entwicklungsteam. In der Frühentwicklungsphase und der anschließenden Kernphase der Entwicklung, also in der Phase, in der noch entwickelt, bereits gefertigt und gleichzeitig intensiv getestet wird, wurden alle Analyse- und Qualifizierungsmaßnahmen vollständig durch den Produktintegritätsingenieur durchgeführt. In [Bild 6.2](#) sind die Grundvoraussetzungen für die Einführung des PI-Konzeptes im untersuchten Unternehmen zusammengestellt.

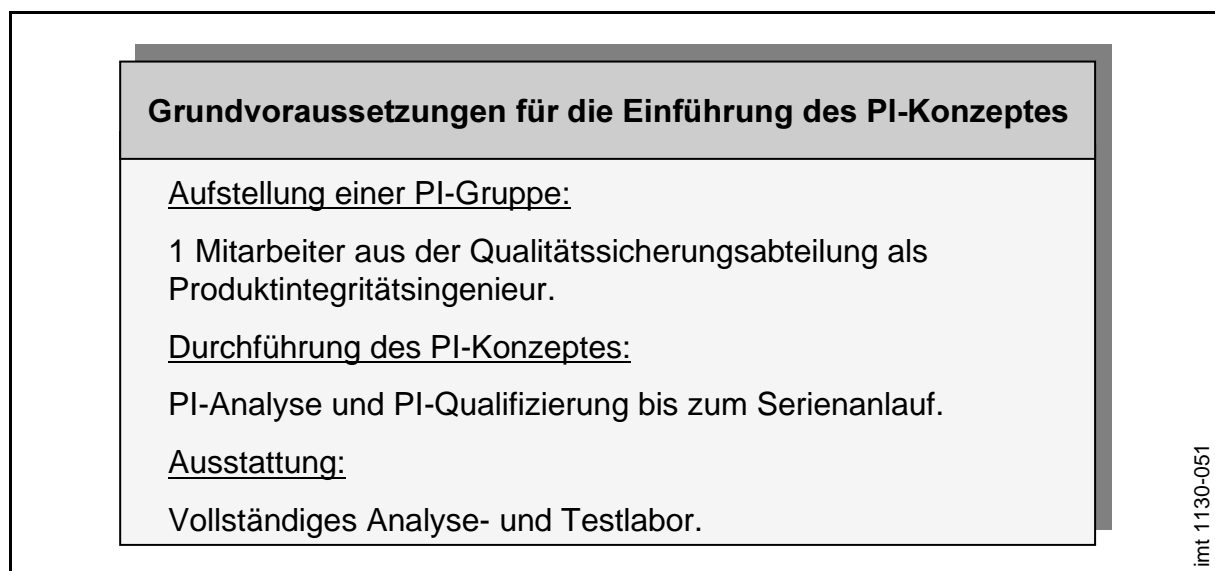


Bild 6.2: Grundvoraussetzungen zur Einführung des PI-Konzeptes

Voraussetzung für die Realisierung der PI-Qualifizierungsmaßnahmen ist neben der Aufstellung einer PI-Gruppe das Vorhandensein der entsprechenden Prüf- und Messeinrichtungen zur Ausführung der Qualifizierungstests. Die PI-Gruppe benötigt hierzu ein vollständiges Test- und Analyselabor, mit dem die Produktmuster in den verschiedenen Entwicklungsphasen umfassend qualifiziert werden können. Dem Produktintegritätsingenieur stand weiterhin das Testfeld der Qualitätssicherungsabteilung zur Verfügung, in dem weitergehende Untersuchungen wie Zuverlässigkeitsprüfungen an den Entwicklungsmustern ausgeführt werden konnten.

6.3 Frühentwicklungsphase

Die Produktintegritäts-Analysephase begann mit dem Ende der Konzeptphase und hatte ihren Schwerpunkt innerhalb der Frühentwicklungsphase. Bei der PI-Analyse standen neben der Pflichtenheft-Analyse die analytische Durchdringung des Produktentwurfes und des Fertigungsprozessentwurfes im Vordergrund. Im bisherigen Entwicklungsprozess des Unternehmens existierten bislang keine vergleichbaren Maßnahmen. Eine objektive Bewertung der Entwicklungstätigkeiten erfolgte erst nach der Erstellung des Nullserienmusters vor Beginn der Serienfertigung. Aus diesem Grund wurden zur Analyse des Pflichtenheftes sowie zur Analyse von Produkt und Fertigungsprozess verschiedene Maßnahmen vom PI-Ingenieur eingeleitet. Eine Übersicht über die eingeführten PI-Maßnahmen innerhalb der Frühentwicklungsphase geht aus [Bild 6.3](#) hervor. Zu diesen Maßnahmen gehörten neben der Analyse des Pflichtenheftes, die Einführung von Stromlaufplan- und Schaltungslayout-Analyse und mit der Erstellung des Testplanes und der Testübersichten sowie der Zusammenstellung von Testvorschriften bereits Maßnahmen, die zur PI-Qualifizierungsphase zu zählen sind.

Die in der PI-Qualifizierungsphase erforderlichen Testpläne wurden bereits aufbauend auf dem Pflichtenheft und der Pflichtenheft-Analyse innerhalb der PI-Analysephase durchgeführt. Die Durchführung erster Qualifizierungstests innerhalb der PI-Qualifizierungsphase fiel mit der Fertigstellung des ersten Produktmusters, dem Entwicklungsmuster zusammen, wohingegen Teilfunktionen, einzelne Komponenten und Baugruppen oder Module bereits während der PI-Analysephase, und damit parallel zur Testplanerstellung in Vortests überprüft wurden. Die PI-Analysephase dauerte bis zum Beginn der Kernentwicklungsphase an. Eine Ausweitung der Maßnahmen der PI-Analysephase auf den späteren Entwicklungsverlauf erfolgte nur dann, wenn sich Pflichtenheftänderungen ergaben und daher einzelne Produkthanforderungen erneut auf ihr Risikopotential untersucht werden mussten.

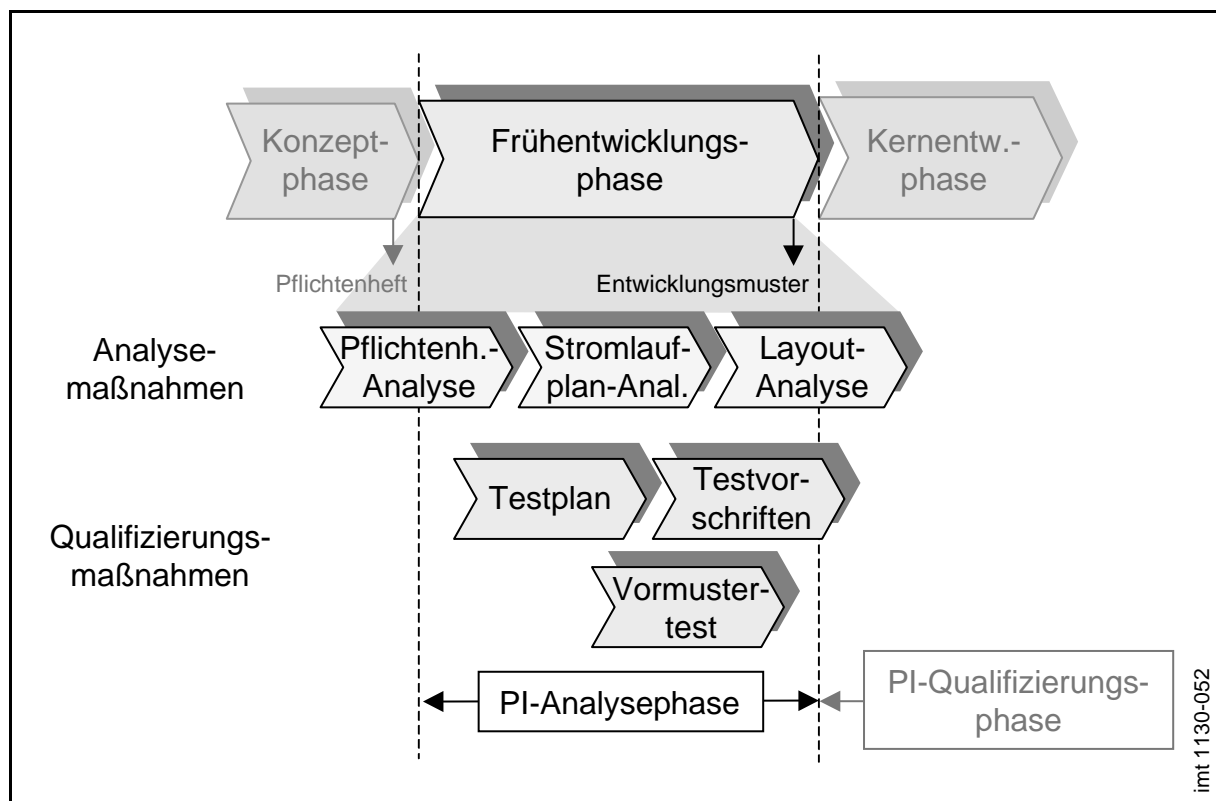


Bild 6.3: Eingeführte PI-Maßnahmen innerhalb der Frühentwicklungsphase

6.3.1 Pflichtenheft-Analyse

Zunächst erfolgte die eingehende Untersuchung des Pflichtenheftes, das die Grundlage für die Erstellung der Testpläne für die spätere Qualifizierung der Muster darstellte. Das Pflichtenheft ist das Ergebnis der Konzeptphase und ist mit allen Abteilungen zuvor abgestimmt worden. Die Festlegung der Pflichtenheftangaben ist aufgrund des frühen Zeitpunktes aber immer mit einer gewissen Unsicherheit verbunden, so dass in jeder Entwicklungsphase mit Pflichtenheftänderungen gerechnet werden muss. Ein Auszug aus dem Pflichtenheft des vorliegenden Entwicklungsprojektes ist im Anhang in [Bild A.1](#) dargestellt. Dieser bezieht sich nur auf die technischen Daten, die insbesondere für die elektrische Entwicklungsabteilung relevant waren und die Grundlage für die PI-Qualifizierung sind. Daneben sollten aber auch alle anderen Aspekte des Pflichtenheftes überprüft werden, auch wenn Teilbereiche nicht zum eigentlichen Verantwortungsbereich der Entwicklung zu zählen sind. Bei der Pflichtenheft-Analyse wurden alle technischen Pflichtenheftangaben dahingehend überprüft, ob die Zielwerte realistisch erscheinen und grundsätzlich eingehalten werden können. Grundlage dafür waren neben den technischen Daten anderer Pflichtenhefte vor allem Erfahrungen aus früheren Entwicklungsprojekten. Hierfür ist ein großes Know-how des

Produktintegritätsingenieurs über das Produktspektrum und die technologischen Grenzen des Unternehmens notwendig. In dieser Phase sollte eine Beurteilung hinsichtlich des Entwicklungsinnovationsgrades durch eine PI-Risikoanalyse erfolgen, um das Risiko der Umsetzung einzelner Produkthanforderungen einschätzen zu können. Dadurch ist das Entwicklungsteam in der Lage, auf potentielle Risikoaspekte ein besonderes Augenmerk zu legen. Im vorliegenden Anwendungsfall wurde allerdings auf eine solche Risikobewertung verzichtet. Hauptaspekt der Pflichtenheft-Analyse war die Gewinnung von Erkenntnissen über den Aufbau und die Funktionen des Produktes, um in den nachfolgenden Qualifizierungsphasen über ein entsprechendes Wissen verfügen zu können. Dazu hat der Produktintegritätsingenieur das Pflichtenheft analysiert und versucht, bereits in diesem Entwicklungsstadium ein möglichst gutes Verständnis über das zu entwickelnde Produkt zu erlangen. Mit diesem Wissen wird anschließend anhand der im Pflichtenheft festgeschriebenen Parameter der Testplan erstellt (s.a. Kapitel 6.3.3). Die Erstellung eines vorläufigen Testplanes kann hierbei zunächst eine gute Hilfestellung sein. Die technischen Daten des Pflichtenheftes werden bei der Testauswahl eingehend hinterfragt und in einen vorläufigen Testplan umgesetzt.

6.3.2 Stromlaufplan- und Schaltungslayout-Analyse

Neben der Pflichtenheft-Analyse wurden als weitere Maßnahmen innerhalb der PI-Analysephase für den Bereich der elektrischen Entwicklungsabteilung zwei neue Analyseprozesse eingeführt (Bild 6.4). Zielsetzung war es, Probleme bei der Entwicklung von elektronischen Schaltungen möglichst früh erkennen zu können und hierzu den Abstimmungsprozess insbesondere zwischen der mechanischen Entwicklungsabteilung und der Fertigung deutlich zu verbessern, um Nachentwicklungsphasen zukünftig vermeiden zu können. Im Vordergrund standen beispielsweise die Festlegung der Prüfpunkte im Schaltungslayout für die Fertigung oder die Berücksichtigung der Montagefähigkeit der Leiterplatten in den vorgesehenen Gehäuseaufnahmen. Die Notwendigkeit für eine zeitnahe und damit frühzeitige Qualifizierung auch von Teilfunktionslösungen wurde erkannt. Der eine Analyseprozess betraf die Analyse der Stromlaufpläne von elektronischen Schaltungen und der andere die Analyse der entsprechenden Schaltungslayouts. Um den Abstimmungsprozess zwischen den verschiedenen Entwicklungsabteilungen zu fördern, wurden für beide Analyseprozesse sog. Mini-Design Reviews initiiert. Die Verantwortung der Durchführung dieser Reviews lag beim Produktintegritätsingenieur in Zusammenarbeit mit der elektrischen Entwicklung, wohingegen die Umsetzung der sich ergebenden Resultate alleinige Aufgabe der elektrischen Entwicklungsabteilung war.

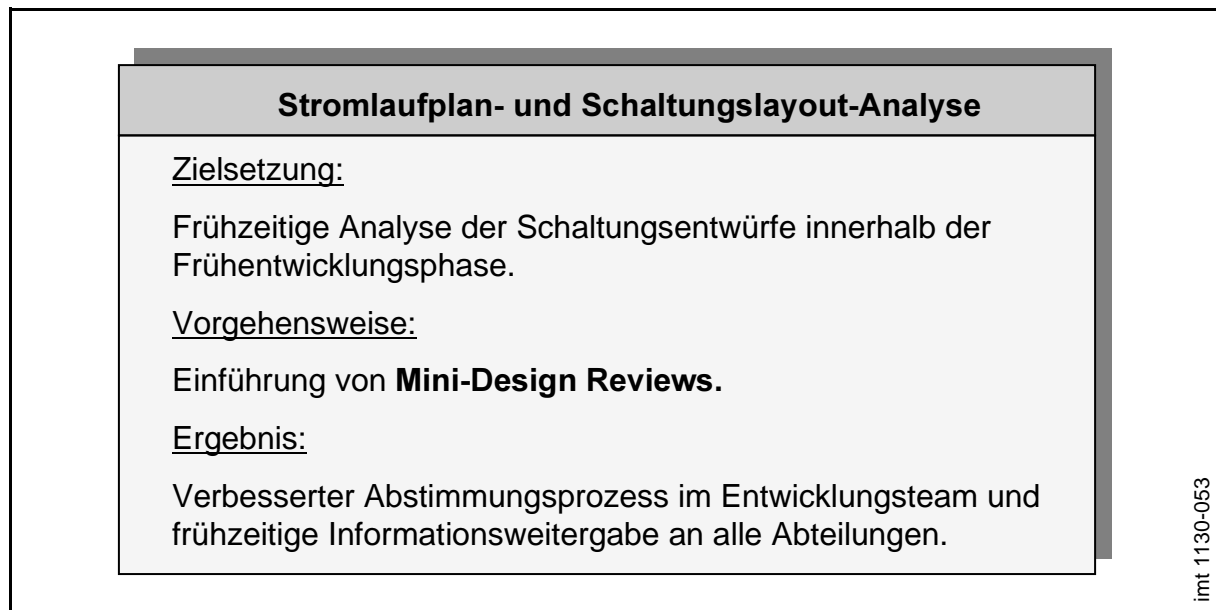


Bild 6.4: Stromlaufplan- und Schaltungslayout-Analyse

Die erste Analyseprozess begann, als der Stromlaufplan einer elektronischen Schaltung vollständig als CAD(Computer Aided Design)-Plan vorlag. Zur Vorbereitung auf das Mini-Design Review wurden die Stromlaufpläne allen beteiligten Bereichen als Kopie ausgehändigt. Nur so konnte gewährleistet werden, dass alle entsprechend vorbereitet in das Stromlaufplan Mini-Design Review kommen, um mit dem gleichen Wissensstand die Problemstellungen optimal diskutieren zu können. Am Stromlaufplan Mini-Design Review müssen neben der elektrischen Entwicklung und dem PI-Ingenieur die übrigen Entwicklungsabteilungen, die Fertigung und die Prüfplanung sowie die Projektleitung teilnehmen. Ein Maßnahmenplan, dessen Umsetzung die Projektleitung verfolgte, stellte das Ergebnis des Mini-Design Reviews dar. Auf Basis dieses Maßnahmenplanes konnte die Prüfplanung mit der Erstellung des Prüfkonzeptes für die Fertigungslinie beginnen. Diese Vorgehensweise verdeutlicht, wie notwendig solche Mini-Design Reviews innerhalb der PI-Analysephase auch für die Abstimmung mit anderen Prozessen sind, die dadurch so früh wie möglich angestoßen werden müssen.

Der zweite Analyseprozess im Bereich der elektrischen Entwicklung wurde durchgeführt, als das Layout einer elektronischen Schaltung erstmals vollständig in die CAD eingegeben worden war. Der Ablauf des Mini-Design Reviews für das Schaltungslayout entspricht dem des Stromlaufplan Mini-Design Reviews. Durch die Informationsweitergabe durch Verteilung des Layouts als Datei oder Kopie an alle Beteiligten konnten die einzelnen Bereiche bereits im Vorfeld das Layout studieren und mögliche Probleme analysieren. Die festgestellten Problembereiche und möglicher-

weise ersten Lösungsansätze hierzu dienten dann als Diskussionsgrundlage für das sich anschließende Schaltungslayout Mini-Design Review. Teilnehmer dieses Reviews waren alle Abteilungen, die in irgendeiner Weise vom Layout der Schaltung abhängig waren, das heißt deren Arbeiten auf dem Layout aufsetzten oder mit dem Schaltungslayout abgestimmt sein mussten. Als Ergebnis dieses Mini-Design Reviews wurde ein Maßnahmenplan erarbeitet, dessen Umsetzung im Verantwortungsbereich der elektrischen Entwicklungsabteilung lag.

6.3.3 Testplanerstellung

Den Ablauf der Testplanerstellung ist in Bild 6.5 dargestellt.

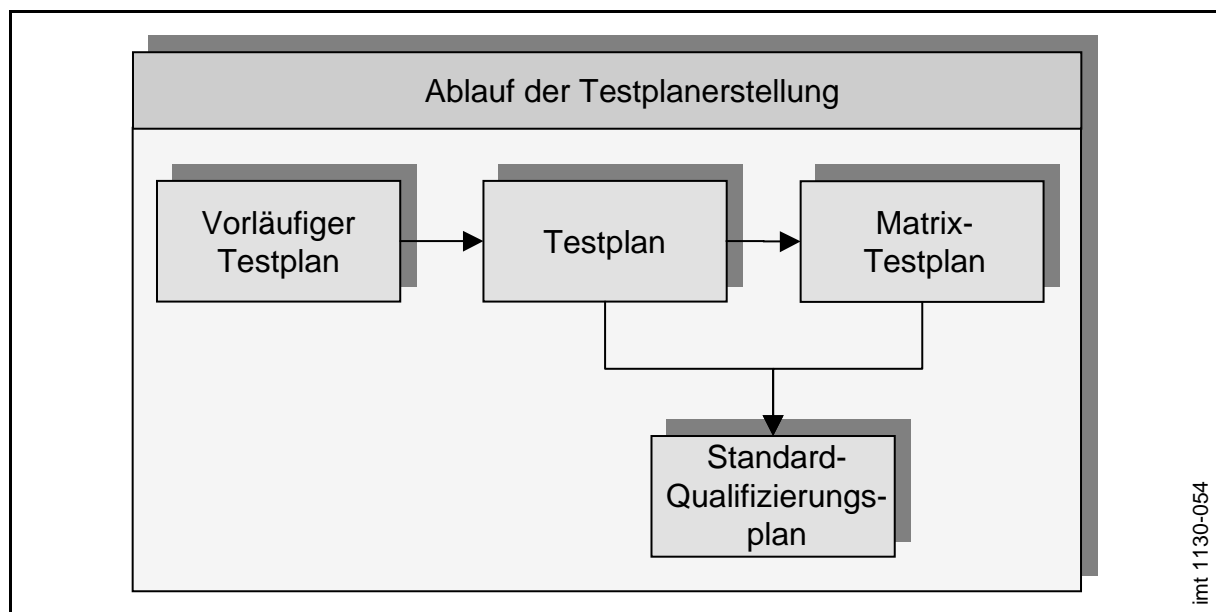


Bild 6.5: Ablauf der Testplanerstellung

Ausgehend von dem Pflichtenheft erfolgte im ersten Schritt der Testplanerstellung zunächst eine Übertragung der technischen Daten in einen vorläufigen Testplan (Bild A.1 im Anhang). Jeder angegebene Wert des Pflichtenheftes stellt einen Testparameter dar, für den jeweils festgelegt werden muss, durch welches Testverfahren er geprüft und in welcher Kombination mit anderen Parametern er möglicherweise zusammen getestet werden kann. Dabei sind Wechselwirkungen und Beeinflussungen eines Parameters auf einen anderen Parameter zu beachten. Im vorläufigen Testplan wurden für die relevanten Parameter dann allgemeine Testbedingungen für die Ausführung festgelegt und ein entsprechendes Test- und Prüfverfahren ausgewählt. Dabei musste unterschieden werden, ob Standard-Testverfahren (z.B. nach DIN), spezielle unternehmenseigene Testverfahren, Test- oder Messverfahren, die die Zulassung ei-

nes technischen Gerätes betreffen oder neu zu entwickelnde Testverfahren eingesetzt werden sollten. Durch diese Vorgehensweise wurde gleichzeitig eine weitere Analyse des Produktes und des Pflichtenheftes durchgeführt, und der PI-Ingenieur konnte dadurch im Vorfeld auf weitere potentielle Problembereiche stoßen. Der vorläufige PI-Testplan gibt damit bereits in einer sehr frühen Entwicklungsphase, in der noch keine Muster zu untersuchen sind, einen guten Überblick über das Testspektrum und lässt dadurch sowohl die Detailplanung der Qualifizierungstests als auch die Termin- und Ressourcenplanung zu.

Die Erstellung des endgültigen Testplanes erfolgte durch Überarbeitung des vorläufigen Testplanes zu einem späteren Zeitpunkt der Frühentwicklungsphase. Dadurch konnten auch notwendige Änderungen des Pflichtenheftes berücksichtigt werden. Der Testplan sollte spätestens zum dem Zeitpunkt endgültig festgelegt sein, wenn die ersten Baugruppen oder Module fertiggestellt sind, mit denen dann Voruntersuchungen durchgeführt werden können. Bild A.3 im Anhang zeigt einen endgültigen Testplan. Die unterschiedlichen Testmerkmale und die dazugehörigen technischen Spezifikationswerte sind zeilenweise angeordnet. Die Reihenfolge der Tests entspricht nicht der Reihenfolge der entsprechenden Pflichtenheftangaben, sondern richtet sich danach, inwieweit sich Tests zusammenfassen lassen und eine optimale, aufwandsminimierte Testdurchführung möglich ist. Dabei ist zusätzlich darauf zu achten, welche Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Parametern vorliegen. Diese müssen in jedem Fall ebenfalls durch das Testprogramm abgedeckt werden. Der Testplan sieht weiterhin zwei Spalten vor, in denen bei der Testdurchführung die Testergebnisse und Bemerkungen dokumentiert werden können. Ganz wichtig ist die detaillierte Dokumentation, um welches Testmuster es sich gehandelt hat. Dazu sollten die jeweilige Entwicklungsphase und der Revisionsstand des Musters notiert werden. Diese sind erforderlich, um später nachvollziehen zu können, um welche Version des Testmusters es sich gehandelt hat und welche Verbesserungen oder Änderungen zum vorherigen Muster vorgenommen worden sind. Die genaue Dokumentation der Testergebnisse ermöglicht auch im nachhinein eine schnelle Überprüfung, zu welchem Zeitpunkt welche Änderungen in das Produkt eingeflossen sind. Außerdem ist leicht zu erkennen, welche Auswirkungen Änderungen auf die Testwerte haben. Vor diesem Hintergrund dient die Dokumentation der Qualifizierungsmaßnahmen gleichzeitig als weitere Entwicklungsdokumentation.

a) Matrix-Testplan

Eine Schlüsselfunktion des PI-Qualifizierungsprogramm ist es, das Auftreten von Produktfehlern im Feld, also von Fehlern und Beanstandungen, die erst nach Serien-

fertigungsbeginn beim Einsatz des Produktes beim Kunden auftreten, zu vermeiden. Eine Vielzahl von möglichen Fehlern in diesem Bereich lassen sich durch sorgfältig ausgewählte Software- und Bedientests bereits im Vorfeld eliminieren. Eine Früherkennung führt dazu, dass solche Aspekte schon während der Entwicklung berücksichtigt und entsprechend abgefangen werden können. Aus diesem Grund sollte eine generelle Vorgehensweise während des Entwicklungsprozesses erstellt werden, um das Auftreten solcher Feldausfälle beim Kunden wirksam im Vorfeld verhindern zu können.

Neben der singulären Überprüfung der technischen Daten durch die Ausführung des PI-Testplanes mussten bei der Aufstellung des Testplanes demnach auch Einflüsse berücksichtigt werden, die beispielsweise durch die Bedienung des Gerätes verursacht werden oder durch Variation von äußeren, nicht direkt beeinflussbaren Größen wie z.B. Temperatur, Feuchte oder Spannung. Um diese Einflüsse systematisch erfassen und durch ein entsprechendes Testprogramm abdecken zu können, wurde der Testplan um eine zusätzliche Matrix erweitert. In dieser Matrix, vergleichbar mit dem äußeren Feld eines Taguchi-Versuchsplanes, wurden diejenigen Parameter aufgenommen, deren Variation einen entscheidenden Einfluss auf das Testergebnis erwarten ließ. Bei der Auswahl dieser Parameter ist ein großes Erfahrungswissen erforderlich. Im Anhang ist ein Beispiel für einen Matrix-Testplan in [Bild A.4](#) dargestellt. Bei der Testausführung sind diese Parametervariationen stets mit einzubeziehen und als zusätzliche Tests zu untersuchen. Je nach Anzahl dieser möglichen Einflussfaktoren kann sich ein sehr großes Testspektrum ergeben. In diesen Fällen muss eine geeignete Auswahl der Versuchsparameter getroffen werden, das heißt, es muss abgewogen werden, welche Versuche sinnvolle Ergebnisse liefern bzw. wie man durch die getroffene Auswahl eine möglichst große Abdeckung der Versuchsmatrix erhält. Hierbei können statistische Ansätze Hilfestellung leisten. Aus Sicht der Produktintegrität muss in jedem Fall eine vollständige Testdurchführung und damit eine umfassende Produktqualifizierung gerade auch im Hinblick auf den Einsatz des Produktes beim Kunden in jeder Entwicklungsphase gewährleistet sein, um vor allem in den frühen Phasen der Entwicklung das Produkt auf alle möglichen Aspekte und Fehlfunktionen hin überprüfen zu können. Unter den gegebenen Personalressourcen wurde im vorliegenden Fall daher nur ein Teilbereich des Matrixtestplanes bearbeitet.

b) Standard-Qualifizierungsplan

Der Vorstellung des Unternehmens, einen möglichst einheitlichen und für alle verschiedenen Entwicklungsprojekte gleichermaßen anwendbaren Test- oder Qualifizierungsplan zu verwenden, wurde durch die Aufstellung eines sog. Standard-Qualifi-

zierungsplan entsprochen. Auf der Grundlage der PI-Testpläne und Qualifizierungsmaßnahmen verschiedener früherer Entwicklungsprojekte wurde ein solcher Qualifizierungsplan erstellt, der ein umfassendes und globales Qualifizierungswerk für den Entwicklungsbereich eines Unternehmens darstellen sollte. In diesem wurden alle denkbaren Qualifizierungsparameter und -merkmale aufgeführt, die für eine Qualifizierung der Entwicklungstätigkeiten erforderlich sein könnten, auch die innerhalb der Matrix-Testpläne aufgetretenen Aspekte. Zielsetzung war es, einen solchen Qualifizierungsplan generell bei allen Entwicklungsprojekten im Unternehmen einzusetzen, um daraus dann projektspezifisch detaillierte PI-Testpläne zu generieren. Hierzu werden dem jeweiligen Entwicklungsprojekt entsprechend nur die Merkmale entnommen, die für das zu entwickelnde Produkt in Betracht kommen. In dem Standard-Qualifizierungsplan wird zusätzlich festgelegt, welche Qualifizierungsmaßnahmen in welchem Entwicklungsstadium zwingend durchgeführt werden müssen. Damit gewinnt man schnell einen Überblick über das erforderliche Testspektrum und stellt gleichzeitig sicher, dass alle notwendigen Qualifizierungsmerkmale berücksichtigt worden sind. Ein Beispiel für den Standard-Qualifizierungsplan zeigt [Bild A.5](#) im Anhang, in dem aufgrund der Fülle von Prüfparametern allerdings nur die grobe Gliederungsstruktur dargestellt ist. Er ist unterteilt in die drei Qualifizierungsgruppen Funktion, Robustheit und Zuverlässigkeit/Lebensdauer. In der Praxis sollte der Standard-Qualifizierungsplan als Datenbank programmiert sein, um ihn besonders einfach pflegen und anwenden zu können.

6.3.4 Testübersichten

Die Erstellung der Testübersichten gehört zeitlich ebenfalls in die PI-Analysephase. Die Testübersichten werden auf der Grundlage von Testplänen erstellt und dienen dazu, einen schnellen Überblick über den Stand der PI-Qualifizierungsmaßnahmen zu erhalten. Sie werden vorwiegend in Entwicklungs- und Statusbesprechungen zur Präsentation des Qualifizierungsfortschrittes eingesetzt. Die Aufstellung erfolgt auf Basis des Testplanes, der zu einem einseitigen Blatt zusammengefasst wird. Ein Beispiel eines solchen Planes ist in [Bild A.6](#) dargestellt. Die ersten beiden Spalten des Testplanes kennzeichnen die Testnummer und den dazugehörigen Test. In der dritten Spalte wird der jeweilige Status festgehalten, das heißt, ob ein Test bestanden wurde oder ob das Testobjekt den Anforderungen noch nicht entspricht. Als weitere Kennzeichnung des jeweiligen Testobjektes ist in der vierten Spalte der Revisionsstand vermerkt. Dieser ist besonders wichtig, um im Vergleich zu vorangegangenen Tests zu kennzeichnen, ob bzw. welche Bereiche eines Testobjektes inzwischen überarbeitet wurden. In den weiteren Spalten können Bemerkungen zum Test oder Testmuster und die weitere

Vorgehensweise mit dazugehöriger Zeitplanung aufgeführt werden.

6.3.5 Testvorschriften

Die Erstellung der Testvorschriften ist im Rahmen der PI-Qualifizierungsmaßnahmen ganz entscheidend. Hierdurch sollen Abweichungen, die auf eine Variation der Testmittel oder Testbedingungen zurückzuführen sind, von Anfang an ausgeschlossen werden. Es muss grundsätzlich gewährleistet sein, dass jeder Test immer mit den gleichen Prüfmitteln und nach demselben Testablauf ausgeführt wird. Die Variation einer Testvorschrift ist nur dann zulässig, wenn Änderungen des Testplanes sich direkt auf die entsprechende Testvorschrift auswirken.

Die Ausarbeitung aller Testvorschriften, die für eine umfassende Qualifizierung eines Entwicklungsprojektes notwendig sind, muss in jedem Fall vor Beginn der Testausführung abgeschlossen sein. Die im Testplan aufgeführten Testverfahren sind grundsätzlich vollständig zu dokumentieren. Sie sollten als Kernelemente den jeweiligen Anwendungsbereich und Zweck des Verfahrens, die eingesetzten Geräte, die Beschreibung des Messplatzes, die erforderlichen Einstellungen der Geräte sowie die Beschreibung der Prüfverfahren unter Angabe von Reihenfolge sowie Beurteilung und Auswertung beinhalten. Die Darstellung einer Testvorschrift zeigt [Bild A.7](#). Testvorschriften können auch unabhängig von einem konkreten Entwicklungsprojekt erstellt werden. In vielen Fällen bestehen bereits Testvorschriften oder Prüfnormen im Unternehmen. Bei besonderen Testanforderungen für einen Anwendungsfall sollten diese Vorschriften entsprechend angepasst oder ggf. neu erarbeitet werden. Im untersuchten Entwicklungsprojekt konnten einige bestehende Prüfnormen des Unternehmens zur Hilfe genommen werden. Die Pflege aller Testvorschriften eines Unternehmens sollte zentral durch eine Abteilung durchgeführt werden. Dieser Gesichtspunkt wurde durch das eingeführte PI-Konzept angeregt.

Um das Verhalten des Produktmusters bei gleichzeitiger Variation von Temperatur und Spannung testen zu können, bietet sich der Einsatz eines 4-Corner-Tests an. Die vier Ecken des Tests entsprechen den vier unterschiedlichen Prüfpunkten, die durch die beiden Parameter gebildet werden. In [Bild 6.6](#) ist der 4-Corner-Test, ein Temperatur-/Spannungs-Wechseltest dargestellt. Das Betriebsverhalten des Produktmusters soll bei Variation der zwei Einflussgrößen Temperatur und Spannung getestet werden. Dazu wird der Prüfling in einen Klimaschrank gelegt und nach außen so verdrahtet, dass alle Testfunktionen während der Testphase untersucht werden können. Der 4-Corner-Test wurde im untersuchten Projekt zur Hilfe genommen, weil auf Kundenbeanstandungen reagiert werden musste, deren Ursache sich möglicherweise auf

Betriebsstörungen bei extremen Temperaturen sowie auf Spannungswechsel bzw. Spannungsabfall zurückführen ließen. Die vier „Prüfecken“ des Tests zeigen die grau unterlegten Ecken von Bild 6.6 als Variation der Spannung (minimal 10,5 V und maximal 15 V) und Variation der Temperatur (minimal -10 °C und maximal +55 °C).

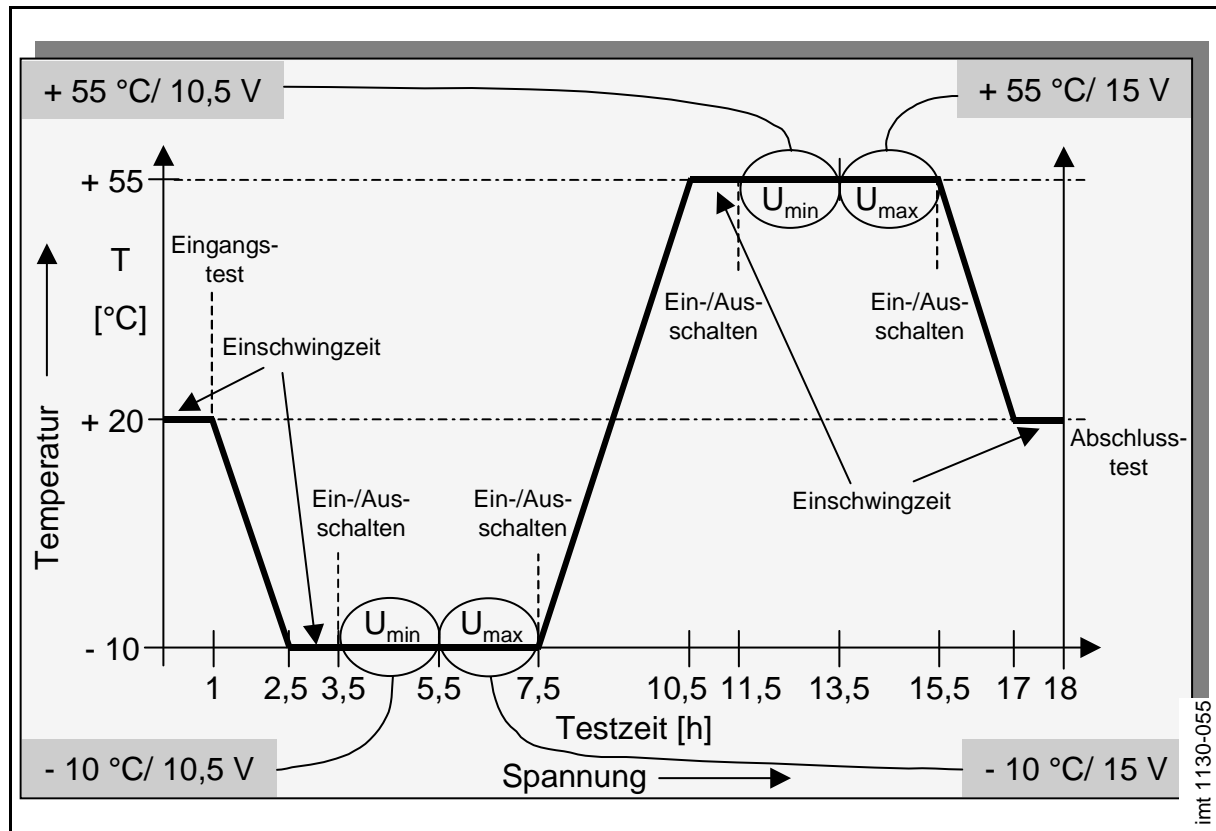


Bild 6.6: Beispiel für einen 4-Corner-Test

Nach einer Einschwingzeit, die generell 1 Stunde beträgt, erfolgt die Eingangsmessung aller gewünschten Parameter bei Raumtemperatur von +20 °C und Normalspannung von 12 V. Anschließend wird der Klimaschrank auf die minimale Testtemperatur von -10 °C abgekühlt. Das Ein- und Ausschalten des Gerätes vor der jeweiligen Versuchsphase soll bereits erste Hinweise auf ein mögliches Versagen liefern. Dieser Gesichtspunkt war auf früherer Kundenbeanstandungen zurückzuführen und wurde daher in das 4-Corner-Testprogramm mit aufgenommen. Alle Funktionen des Testmusters werden dann zunächst bei der niedrigen Temperatur für die Dauer von jeweils 2 Stunden bei minimaler und bei maximaler Spannung getestet. Der gleiche Testablauf wird nach dem Erwärmen des Klimaschranks auf die maximale Temperatur von 55 °C durchgeführt. Nach einer erneuten Einschwingzeit folgt dem Ein-/Ausschalttest die Überprüfung aller Gerätefunktionen bei Variation der Spannung auf den mini-

malen und maximalen Wert. Abschließend wird der Klimaschrank auf Raumtemperatur abgekühlt und das Testobjekt nach der Einschwingzeit einem Abschluss-test unterzogen. Danach kann das Testobjekt weiteren, auch zerstörenden Testverfahren unterzogen werden.

Der 4-Corner-Test kann in der Regel auch für einzelne Bau- und Funktionsgruppen durchgeführt werden. In diesem Fall ist es jedoch wichtig, die jeweiligen Schnittstellen zu den benachbarten Funktionsträgern und Modulen genauestens zu kennen, um einen aussagekräftigen Test absolvieren zu können.

6.4 Kernentwicklungsphase

Innerhalb des Entwicklungsprozesses kommt der Kernphase der Entwicklung, in der noch entwickelt, bereits gefertigt und gleichzeitig intensiv getestet wird, eine große Bedeutung zu. Gerade in dieser Phase besteht das größte Potential, das Produkt hinsichtlich aller relevanten Aspekte zu durchleuchten und so zeitnah wie möglich Nachbesserungen durch Entwicklungsiterationen einfließen zu lassen. Auch wenn Entwicklungsprojekte in den späten Phasen der Produktentwicklung generell zur Zeitknappheit neigen, sollte diese Phase so intensiv wie möglich zur Qualifizierung des Produktes genutzt werden, um späte Nachbesserungen gerade nach Serienfertigungsstart zu verhindern. Der Schwerpunkt der Produktintegritätsmaßnahmen innerhalb der PI-Qualifizierungsphase liegt in der Durchführung von Tests zur Qualifizierung der Produktmuster. Diese Phase beginnt mit dem ersten vollständig erstellten Muster, hier als Entwicklungsmuster bezeichnet. Einzelne Baugruppen und Module wurden bereits während der PI-Analysephase durch Tests qualifiziert und bewertet, um im Vorfeld eines ersten Gesamttests Hinweise zum Entwicklungsstand zu erhalten.

Bild 6.7 gibt einen Überblick, welche Maßnahmen in der Kernentwicklungsphase eingeführt wurden. Wesentlichstes Element war die Ausführung von Tests anhand der verschiedenen Muster. Die vorbereitenden Maßnahmen wie Testplan- und Testvorschriftenerstellung sind bereits in der Frühentwicklungsphase abgeschlossen worden. Im betrachteten Entwicklungsbeispiel wurden Entwicklungs- und Werkzeugmuster-tests ausgeführt und in Testberichten dokumentiert. Darüber hinaus erfolgte die Einführung von Design Reviews für diese Stufen des Entwicklungsprozesses, um den abteilungsübergreifenden Abstimmungsprozess zu verbessern und um zielgerichtet die Qualifizierungsergebnisse auswerten und verfolgen zu können.

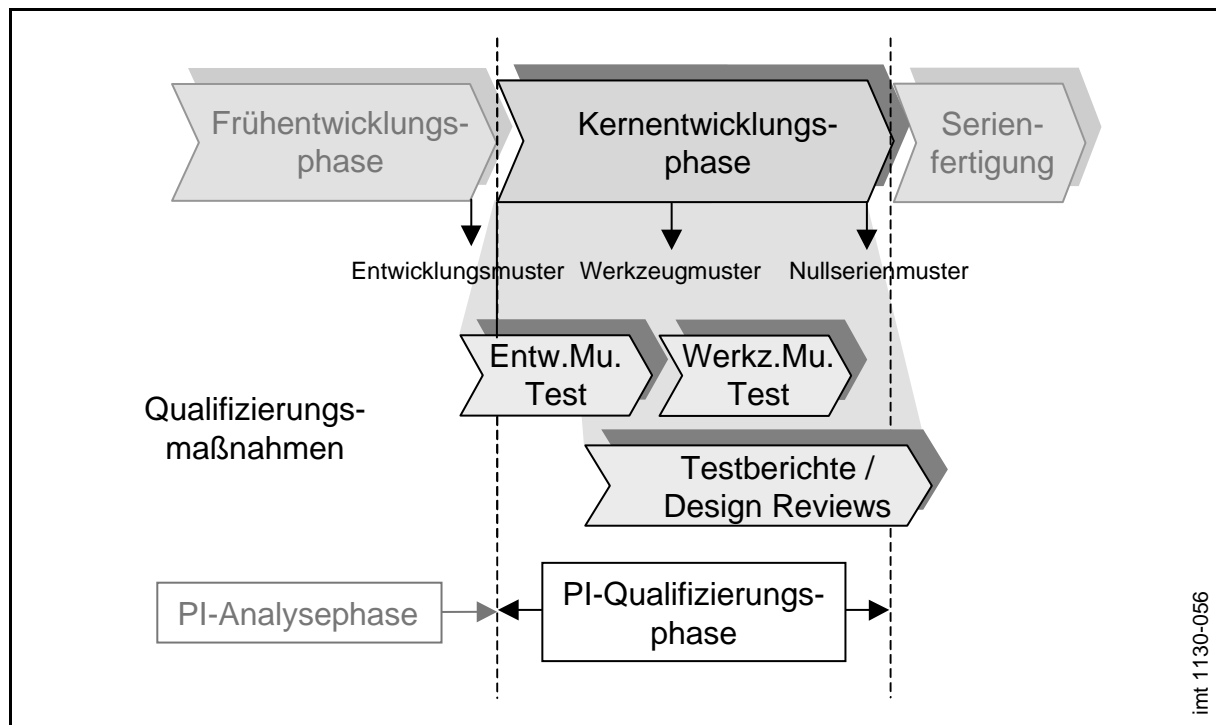


Bild 6.7: Eingeführte Maßnahmen innerhalb der Kernentwicklungsphase

6.4.1 Testausführung

Die Testausführung erfolgte anhand des in der PI-Analysephase festgeschriebenen Testplanes, der bei allen entstehenden Produktmustern durchgängig angewandt wurde. Wie beschrieben fanden Vormuster-Tests einzelner Baugruppen oder Module bereits in der Analysephase statt, um der Entwicklung frühzeitig erste Hinweise über den Entwicklungsstand geben zu können. Die Qualifizierung konzentrierte sich auf das Entwicklungsmuster und das Werkzeugmuster, weil in diesen Phasen das größte Potential bestand, Qualifizierungsergebnisse und Informationen zu den Testmustern zeitnah in den Entwicklungsprozess zurückfließen zu lassen. Der Nutzen für die Entwicklung durch die Anwendung des PI-Konzeptes war in dieser Kernentwicklungsphase entscheidend.

Die Entwicklungsmuster-Qualifizierungsphase begann mit der Beforschung der Leiterplatten, nachdem diese erstmals durch die Fertigung bestückt worden waren. Der verantwortliche Entwickler beforschte die Leiterplatten, nahm anschließend die Schaltungen in Betrieb und testet dabei ihre wesentlichen Funktionen. Anschließend wurde das Entwicklungsmuster mit alle anderen Baugruppen und Bauteilen innerhalb der mechanischen Entwicklung montiert. Gleichzeitig wurde hierbei zwischen den Entwicklern der verschiedenen Entwicklungsabteilungen und der Fertigung eine sog. Kol-

lisionsprüfung durchgeführt, um potentielle Montageprobleme festzustellen. Dies ist sinnvoll, denn zu diesem Zeitpunkt wurde das Produkt zum ersten Mal zusammengebaut. Durch eine genaue Untersuchung und Abstimmung zwischen den Abteilungen konnten in diesem Entwicklungsstadium Problembereiche festgestellt und Sofortmaßnahmen zu deren Abhilfe eingeleitet werden. Anschließend wurde das Entwicklungsmuster an den PI-Ingenieur übergeben. Der Ablauf der Werkzeugmuster-Qualifizierungsphase erfolgte entsprechend.

Die Durchführung der PI-Tests zur umfassenden Musterqualifizierung wurde gemäß des festgelegten PI-Testplanes und der Prüfvorschriften ausgeführt. Sind dabei Testmerkmale festgestellt worden, die das Testmuster nicht erfüllt hat, wurde eine Fehleranalyse durch den Produktintegritätsingenieur veranlasst. Erster Schritt dabei war die (mehrfache) Wiederholung des jeweiligen Prüfvorganges. Hiedurch ließ sich feststellen, ob es sich um einen systematischen Fehler handelte, oder ob der Fehler zufällig auftrat. Sollte die Wiederholung allerdings keinen Rückschluss zulassen, wurden zunächst die eingesetzten Prüfeinrichtungen untersucht. Daneben musste eine Überprüfung der Testdurchführung erfolgen. Hierbei war sicherzustellen, dass die Vorgehensweise genau nach der Prüfvorschrift erfolgt ist. Hat die Testapparatur-Analyse zu keinem Ergebnis geführt, musste das Testmuster analysiert werden. Dazu wurde das Testmuster eingehend untersucht. Möglicherweise konnte die entsprechende Funktionalität beim jeweiligen Entwicklungsstand noch nicht erfüllt werden oder sie wird erst in einem späteren Muster realisiert sein. Sofern dem PI-Ingenieur mehrere Produktmuster zur Verfügung gestellt wurden, konnte die Prüfung eines anderen Musters möglicherweise Aufschluss über das nicht erreichte Prüfergebnis bringen. Die Auswertung dieser Fehleranalyse wurde anschließend in dem Testbericht bei dem aufgetretenen Merkmal vermerkt.

6.4.2 Testbericht

Der Testbericht wurde aus dem Testplan für das Produkt erstellt. Dabei wurden im Testplan die Testergebnisse und Bemerkungen zu jedem Testmerkmal festgehalten. Weiterhin wurde notiert, um welches Testmuster es sich gehandelt hat. Dies ist erforderlich, um später Auswirkungen von Änderungen auf das Muster zurückverfolgen zu können und um eine komplette Dokumentation der Testreihen zu gewährleisten. Der Testplan wurde erst zum Ende der Entwicklung immer genauer eingehalten. Ein vollständig durchgeführter Testplan und ein in allen Aspekten positiv beurteiltes Muster konnte es in der frühen Kernentwicklungsphase nicht geben. In dem betrachteten Entwicklungsbeispiel wurden die PI-Tests in der Reihenfolge Vormustertest (bereits in der PI-Analysephase ausgeführt), Entwicklungsmustertest, Werkzeugmüstertest und Null-

serientest durchgeführt. Der Vormustertest stellte hierbei den unvollständigsten Test dar, weil er als Vortest nur ein Bauteil oder eine Baugruppe singulär betrachtete und nicht im Verbund mit den anderen Bauteilen des Gesamtproduktes stand.

Bild A.8 im Anhang zeigt einen Vormuster-Testbericht eines Leiterplattentests. In dieser Entwicklungsphase, in der noch kein funktionsfähiges Gesamtmuster des Produktes zur Verfügung stand, sollten bereits einzelne Bauteile oder Baugruppen durch den PI-Ingenieur getestet werden. Dabei war allerdings darauf zu achten, dass die Schnittstellen zu den angrenzenden Bauteilen eindeutig definiert waren und dementsprechend bei der Testdurchführung abgebildet und simuliert werden konnten. Ansonsten besteht die Gefahr, dass der Test in Bezug zum Gesamtgerät möglicherweise nicht relevant ist und nur bedingt eine Aussage darüber liefert, ob das Bauteil den Anforderungen entspricht. Der Vormuster-Testbericht in Bild A.8 bezieht sich in diesem Fall nur auf eine von drei im Gesamtgerät vorhandenen Leiterplatten, so dass die Schnittstellenproblematik nicht unerheblich war. Es zeigt sich, wie begrenzt der Umfang zur Qualifizierung einer Baugruppe im Vergleich zum gesamten Testumfang ausfällt. Dennoch ist auch hier der Nutzen eines solchen Tests nicht zu unterschätzen. Dem Entwickler werden gerade in dieser Vormuster-Phase wertvolle Hinweise über den Stand der Entwicklung gegeben, so dass dadurch sehr viel früher Überarbeitungen in das Muster einfließen können.

Im Entwicklungsmuster-Testbericht in Bild A.9 im Anhang sind die Qualifizierungsergebnisse eines ersten umfassenden und vollständigen PI-Tests am Entwicklungsmuster des Produktes dargestellt. Die Ergebnisse der Tests wurden in den Spalten Ergebnis und Bemerkungen eingetragen. Dabei wurden bei bestandenem Test der genaue Messwert aufgenommen, bei nicht bestandenem Test zusätzlich ein erster Hinweis oder eine Bemerkung, durch die auf eine mögliche Ursache der Testwertabweichung geschlossen werden konnte (Fehleranalyse). Sofern nicht alle Messergebnisse in dem Testplan-Dokument Platz fanden, wurde ein Zusatzblatt erstellt, das die detaillierte Auflistung der zugehörigen Messergebnisse enthielt.

6.4.3 Statusbericht

Ein Statusbericht resultiert aus der einseitigen Testübersicht (s.a. Kapitel 6.3.4). In Bild A.10 im Anhang ist ein Statusbericht für das Entwicklungsmuster des Produktes dargestellt. Er dient als aufbereiteter Testbericht für die übersichtliche Darstellung der PI-Testergebnisse auf einer Seite und verdeutlicht damit den Entwicklungsstand sowohl im Rahmen der Entwicklungsbesprechungen als auch im Rahmen der Muster-Design Reviews (s.a. Kapitel 6.4.4). Jeder an der Entwicklung Beteiligte kann darüber

hinaus jederzeit auch die ausführlichen Qualifizierungsergebnisse aus dem Testbericht einsehen. Die Darstellung der Testergebnisse in dem Testbericht-Dokument erfolgte ohne Angabe des tatsächlichen Messwertes, sondern bei bestandenerm Test lediglich durch den Eintrag „i.O.“ und bei nicht bestandenerm Test durch „n.i.O.“.

6.4.4 Entwicklungsmuster- und Werkzeugmuster-Design Review

Als Weiterführung der in der PI-Analysephase eingeführten zwei Design Review-Prozesse wurden auch im Rahmen der PI-Qualifizierungsphase für die elektrische Entwicklung zwei Abläufe für die Durchführung von Design Reviews zur Musterqualifizierung konzipiert. Es hatte sich gezeigt, dass durch die in der PI-Analysephase eingeführten Design Reviews der Abstimmungsprozess der Entwicklungsabteilungen untereinander deutlich verbessert und Problembereiche entsprechen früher diskutiert werden konnten. Aus diesem Grund wurden für die Qualifizierung erster Produktmuster die Abläufe Entwicklungsmuster-Design Review und Werkzeugmuster-Design Review entwickelt (Bild 6.8).

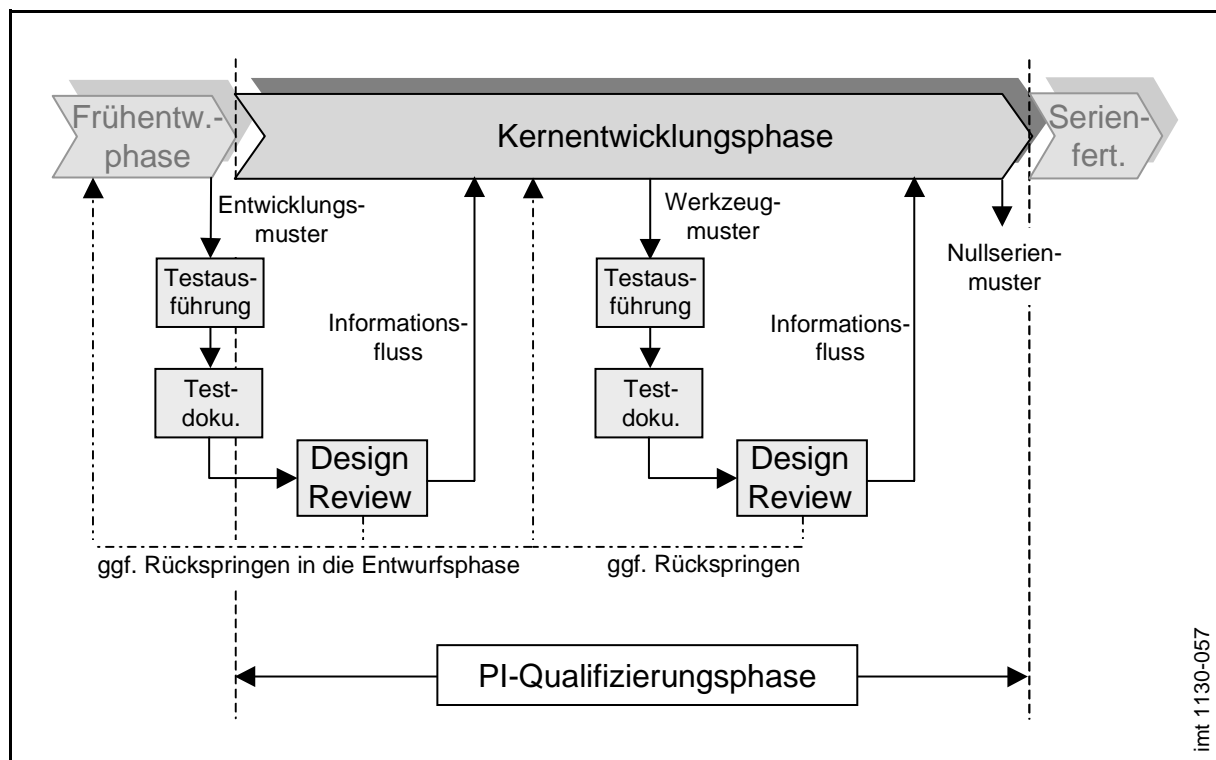


Bild 6.8: Entwicklungsmuster- und Werkzeugmuster-Design Review

Das Entwicklungsmuster-Design Review erfolgte nach dem Abschluss der vollständigen PI-Tests am Entwicklungsmuster. Die Grundlage für dieses Design Review bildeten die PI-Testergebnisse. Diese wurden zur Vorbereitung auf das Entwicklungs-

muster-Design Review an alle Beteiligten verteilt, so dass sich jeder bereits im Vorfeld über den aktuellen Entwicklungs- und Qualifizierungsstand informieren konnte. Dadurch sollte erreicht werden, dass die Durchführung des Design Review zeitoptimiert ablaufen kann. Dieses Entwicklungsmuster-Design Review wurde innerhalb des Entwicklungsteams abgehalten und von dem PI-Ingenieur geleitet. Ein Maßnahmenplan, dessen Umsetzung die Projektleitung überwacht, stellt das Ergebnis des Design Reviews dar. Hieraus kann auch das Rückspringen in die Frühentwicklungsphase folgen, wenn sich gravierende Schaltungsänderungen abzeichnen. Möglicherweise macht dieses eine wiederholte Durchführung von Stromlaufplan- oder Layout-Analyse erforderlich. Ansonsten erfolgt die Bearbeitung der offenen Punkte in der sich anschließenden Entwicklungsphase.

Für die Durchführung des Werkzeugmuster-Design Reviews gab es zwei Randbedingungen. Zum einen mussten alle im Entwicklungsmuster-Design Review beschlossenen Maßnahmen vollständig umgesetzt sein und zum anderen musste die Werkzeugmuster-Qualifizierung durch den PI-Ingenieur abgeschlossen sein. Das Werkzeugmuster-Design Review wurde erst anschließend eingeleitet. Der Ablauf des Werkzeugmuster-Design Reviews entspricht dem des Entwicklungsmuster-Design Reviews. Zunächst wurden die detaillierten PI-Qualifizierungstest am Werkzeugmuster durchgeführt. Wie bei den anderen Reviews hatte es sich bewährt, deren Ergebnisse wiederum vorab an alle beteiligten Abteilungen zu schicken, um damit eine gezielte Vorbereitung auf das Review zu erreichen. Beim Werkzeugmuster-Design Review wurden alle offenen Punkte aus dem Testbericht innerhalb des gesamten Entwicklungsteams beleuchtet. Das Ergebnis war ein Maßnahmenkatalog, der für die nachfolgende Entwicklungsphase konkrete Maßnahmen zur Problembewältigung aufzeigte. Der PI-Ingenieur als Qualifizierungsfunktion begleitete die Umsetzung dieser Maßnahmen.

In Abhängigkeit von den offenen Punkte, die der PI-Ingenieur feststellte, konnten auch größere Designänderungen an den Leiterplatten erforderlich werden. In diesen Fällen erfolgte die Überarbeitung durch die elektrische Entwicklung. Anschließend wurde aus diesem Grund eine Wiederholung des Stromlaufplan- und Schaltungslayout-Design Reviews notwendig, wodurch damit formal ein Zurückspringen in die PI-Analysephase erfolgte. Auf die wiederholte Durchführung von PI-Tests anhand von Baugruppen oder Einzelkomponenten sollte bei gravierenden Änderungen nicht verzichtet werden. Nachdem alle Beanstandungen überarbeitet worden waren, wurde das Entwicklungsmuster-Design Review jedoch nicht wiederholt, sondern die Änderungen flossen direkt in die nächste Entwicklungsstufe, in den Werkzeugmusterbau, ein.

In Bild A.11 im Anhang ist ein Maßnahmenplan aufgeführt, der im Rahmen des Entwicklungsmuster-Design Reviews aufgrund der Ergebnisse der PI-Tests erstellt wurde. Dieser Maßnahmenplan enthält alle nicht erfüllten Anforderungen mit den jeweiligen Abhilfemaßnahmen und dem geplanten Zeitpunkt, zu dem eine Lösungsfindung und Überarbeitung abgeschlossen sein sollte. Dieser Maßnahmenplan wurde regelmäßig innerhalb der wöchentlichen Besprechung des Entwicklungsteams durchgesprochen und der jeweilige neue Status aufgenommen. Auch hier galt es, so früh wie möglich Änderungen in das Produkt einfließen zu lassen, um neue Erkenntnisse frühzeitig gewinnen zu können. Für die Umsetzung des Maßnahmenplanes steht üblicherweise der Zeitraum bis zum nächsten Design Review, dem Werkzeugmuster-Design Review, zur Verfügung. Erst dann erfolgt eine wiederholte Überprüfung der bekannten Problematiken. Dieses ist allerdings viel zu spät und muss vermieden werden. Aus diesem Grund sollte eine Überprüfung mit evtl. neuer Terminfestlegung zur Behebung der Maßnahmen in der Entwicklungsbesprechung jeweils wochenweise erfolgen. Nur dadurch lässt sich der Fortschritt jeder einzelnen Problematik zeitnah erfassen.

6.5 Schlussbetrachtung

Die Anwendung des Produktintegritätskonzeptes zur umfassenden und zeitnahen Qualifizierung der Entwicklungstätigkeiten im Rahmen einer komplexen Produktentwicklung konnte anhand des beschriebenen Entwicklungsprojektes innerhalb eines KMU durchgeführt werden. Eine vollständige und durchgängige, bis zur Serienreife des Produktes notwendige Anwendung aller PI-Qualifizierungsmaßnahmen war in diesem Fall nicht vorgesehen. Die Umsetzung bezog sich zum einen nur auf die Entwicklungsabteilung und zum anderen hatten die PI-Maßnahmen ihren Schwerpunkt innerhalb der Frühentwicklungsphase und wurden nur zum Teil in der Kernentwicklungsphase weitergeführt. Unabhängig davon ließen sich für das Unternehmen wesentliche Entwicklungsabläufe im Hinblick auf eine umfassende Produktqualifizierung durch die Einführung des PI-Konzeptes entscheidend verbessern. Für die Durchführung der PI-Aktivitäten wurde ein erfahrener Mitarbeiter aus der Qualitätssicherung mit Entwicklungserfahrungen ausgewählt. Dieser Produktintegritätsingenieur konnte neben der Ausführung der PI-Aufgaben die Notwendigkeit für eine zeitnahe Analyse und Qualifizierung während des betrachteten Entwicklungsprozesses an alle am Entwicklungsprojekt Beteiligten vermitteln. Dadurch wurde ein äußerst positiver Beitrag für dieses Entwicklungsprojekt durch das PI-Konzept geliefert, indem erstmals ein umfassend qualifiziertes Produkt vor Serienfertigungsbeginn zur Verfügung stand. In Bild 6.9 sind die wesentlichsten Aspekte durch den Einsatz des PI-Konzeptes zusammengefasst.

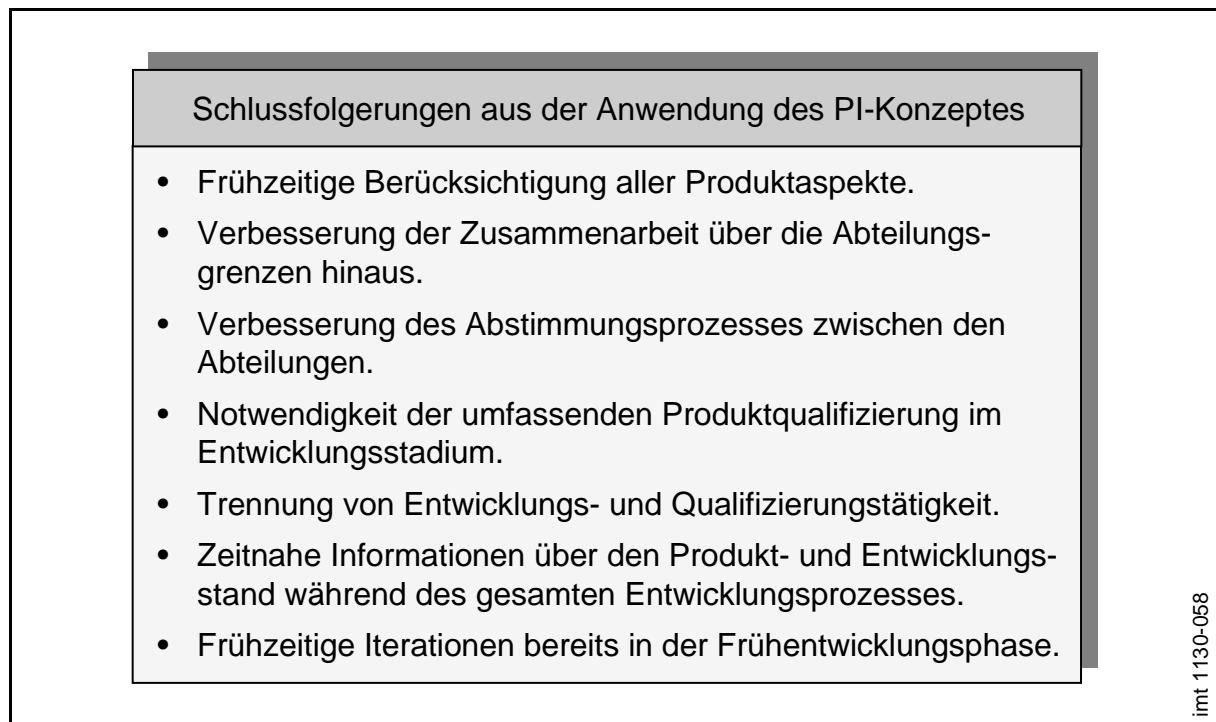


Bild 6.9: Schlussfolgerungen aus dem Einsatz des PI-Konzeptes

Durch den Produktintegritätsansatz ist das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer frühzeitigen und umfassenden Qualifizierung im Entwicklungsbereich geschaffen worden. Die durchgeführten Qualifizierungsmaßnahmen des PI-Konzeptes haben im Entwicklungsprojekt zu einem deutlich verbesserten Verständnis für das zu entwickelte Produkt und die Koordination der vernetzten Entwicklungstätigkeiten geführt. Dazu gehörten auch bessere Kommunikationswege und Abstimmungsprozesse zwischen den involvierten Abteilungen. Die Produkthanforderungen wurden durch die unabhängige PI-Gruppe sowohl hinsichtlich der Machbarkeit und Realisierungsmöglichkeit als auch hinsichtlich ihrer Umsetzung im Rahmen des Entwicklungsprojektes permanent und nicht erst nach vorher festgelegten Zeitintervallen oder Meilensteinen analysiert. Dies war Voraussetzung dafür, dass gemäß der Definition von Concurrent Engineering von Canty [CAN87] alle das Produkt über seinen gesamten Lebenszyklus beeinflussenden Aspekte berücksichtigt und entsprechend in den Entwicklungsprozess einfließen konnten. Dies galt gerade auch für sich im Laufe der Entwicklung verschiebende Zielsetzungen. Darüber hinaus erhielt besonders die Entwicklungsabteilung durch die objektive und zeitnahe Qualifizierung der Entwicklungsmaßnahmen einen besseren Überblick über den jeweiligen Entwicklungsstatus und über den Produktfortschritt. Die Entwicklung konnte durch diese Qualifizierung laufend über den Entwicklungsstand informiert werden und entsprechend schnell Maßnahmen einleiten, um auftretende Probleme

schnellstmöglichst zu beseitigen. Dies hat bereits in der Frühentwicklungsphase zu notwendigen Iterationen geführt. Hierzu hat im entscheidenden Maße die Tatsache beigetragen, dass die Entwicklungstätigkeit von der Qualifizierungstätigkeit klar entkoppelt wurde.

7 Zusammenfassung

Die übergeordnete Zielsetzung der vorliegenden Arbeit besteht in der Entwicklung eines umfassenden Produktqualifizierungssystems zur Verkürzung der Time to Market beim Concurrent Engineering-Entwicklungsprozess. Der erarbeitete Ansatz ist in weiten Teilen bei einem kleinen und mittelständischen Unternehmen praxisgerecht eingesetzt worden.

Aus den theoretischen Untersuchungen zur klassischen, sequentiellen Produktentwicklung und zur vernetzten, parallelen Produktentwicklung, wobei gerade die frühen Phasen der Produktentwicklung im Vordergrund der Betrachtungen stehen, ergibt sich die Notwendigkeit für die Entwicklung eines Echtzeitqualifizierungssystems. Denn selbst die unternehmensweite Einführung des Total Quality Managements mit den entsprechenden Qualitätsmanagementmethoden ist keine Gewähr dafür, dass die Entwicklungstätigkeiten umfassend und zeitnah qualifiziert werden und damit zwangsläufig ein anforderungsgerechtes und kundenorientiertes Produkt entsteht.

Die Grundlage für die Entwicklung des Echtzeitqualifizierungssystems bildet die Definition des Begriffes Produktintegrität. Diese stellt zusammen mit den Betrachtungen zum Entwicklungsinnovationsgrad den theoretischen Hintergrund der Arbeit dar. Der Begriff Produktintegrität steht für eine Gewissensfunktion der Entwicklung, wodurch eine objektive Beurteilung der Entwicklungsergebnisse ermöglicht wird. Diese ist erforderlich, um ausgehend von einer Bewertung der Produkthanforderungen in Echtzeit Aussagen über den Produkt- und Entwicklungsstand machen zu können. Die Produktintegrität als Regel- und Einflussgröße der Entwicklungstätigkeiten ist gemeinsam mit der Robustheit des Fertigungsprozesses die Voraussetzung zur Entwicklung eines Produktes hoher Qualität.

Für die Erstellung und Umsetzung des Produktintegritätskonzeptes in einem Unternehmen wird eine Produktintegritätsgruppe aufgestellt. Diese neugeschaffene Abteilung hat die Verantwortung für die Produktqualifizierung in allen Phasen des Entwicklungsprozesses bis zur Serieneinführung des Produktes. Sie führt das Echtzeitqualifizierungsprogramm aus, das in jeder Entwicklungsphase so zeitnah wie möglich die Entwicklungsergebnisse in Form von Modellen, Entwürfen, Mustern, etc. beurteilt. Das Produktintegritätskonzept stellt damit einen proaktiven Ansatz zur Qualifizierung des zu entwickelnden Produktes dar, um innerhalb einer vernetzten und komplexen Entwicklungsumgebung ein umfassend qualifiziertes Produkt zu erzielen. Das Produktintegritätskonzept gliedert sich in die zwei Hauptbereiche Produktintegritäts-Analyse und Produktintegritäts-Qualifizierung, wobei zusätzliche Aufgaben die

Produktintegritäts-Fehleranalyse sowie die Kundenqualifizierung sind. Darüber hinaus steht mit der Produktintegritäts-Risikoanalyse ein weiteres Hilfsmittel zur Verfügung, die Produkthanforderungen auch bezüglich des Entwicklungsinnovationsgrades einzuordnen und deren Umsetzung im Entwicklungsverlauf entsprechend verfolgen zu können. Ausgangspunkt für die Produktintegritäts-Analyse, die schwerpunktmäßig bis zur Erstellung eines ersten vollständigen Produktmusters durchgeführt wird, ist das festgelegte Pflichtenheft. Im Vordergrund dieser Phase steht die analytische Durchdringung aller Produkt- und Fertigungsprozessaspekte, um durch das vollkommene Verständnis des Produktes frühzeitig auf Problembereiche aufmerksam machen zu können und die Voraussetzung für die anschließende Durchführung der Qualifizierungstest zu schaffen. Die sich anschließende Produktintegritäts-Qualifizierungsphase beinhaltet die konsequente Durchführung der Qualifizierungstests durch die Produktintegritätsgruppe anhand der entstehenden Produktmuster und endet mit dem Beginn der Serienfertigung. Voraussetzung für die Durchführung der Qualifizierungstest sind definierte Testvorschriften und festgelegte Testpläne.

Im Vordergrund der Einführung des Produktintegritätskonzeptes steht der Anspruch, die zeit- und kostenaufwendige Nachentwicklungsphase zu verhindern, um damit zu einer schnelleren Markteinführung des Produktes zu gelangen. Die Notwendigkeit für die Durchführung des vorgestellten Echtzeitqualifizierungsprogrammes hat die Anwendung des Konzeptes innerhalb eines kleinen und mittelständischen Unternehmens gezeigt. Es wurden neben der Berücksichtigung aller Produktaspekte von Beginn an insbesondere die Kommunikation und der möglichst frühzeitige Abstimmungsprozess zwischen den Abteilungen gefördert sowie zahlreiche Iterationen bereits in der Frühentwicklungsphase des Entwicklungsprozesses realisiert. Darüber hinaus konnte der Erfolg gerade durch die Trennung von Entwicklungs- und Qualifizierungstätigkeit erzielt werden. Voraussetzung ist allerdings, dass das Bewusstsein für die Qualifizierung der Entwicklungstätigkeiten in Echtzeit allen Beteiligten im Unternehmen vermittelt wird. Die aufgezeigten Verbesserungen unterstreichen damit eindrucksvoll die Bedeutung der Einführung des Produktintegritätskonzeptes, um in allen Entwicklungsphasen die erforderlichen Echtzeitinformationen über den Entwicklungsfortschritt bereitstellen zu können.

8 Literatur

- [AKA92] Akao, Y.: QFD-Quality Function Deployment: Wie die Japaner Kundenwünsche in Qualität umsetzen. verlag moderne industrie, 1992
- [AHS96] Ahsen von, A.: Total Quality Management: Komponenten und organisatorische Umsetzung einer unternehmensweiten Qualitätskonzeption. Peter Lang, 1996
- [BEN98] Benes, G.: Qualitätsmanagementsysteme im Mittelstand - eine empirische Analyse. VDI Verlag, 1998
- [BER80] Bersoff, E. H.: Software Configuration Managment: An Investment in Product Integrity. Prentice Hall, 1980
- [BEU93] Beumers, M.: Qualitätsgerechte Produktgestaltung: Optimierung der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Fertigung mittels Qualitätsmerkmalsfokussierung. Verlag Shaker, 1993
- [BIR91] Birolini, A.: Qualität und Zuverlässigkeit technischer Systeme: Theorie, Praxis, Management. Springer Verlag, 1991
- [BOT99] Both, A.: Die Elektronikindustrie als Entwicklungspartner - Bauteilestrategien der Zukunft. in: 3. Euroforum Fachkonferenz - Elektronik-Systeme im Automobil. Stuttgart, 1999
- [BUL90] Bullinger, H.-J., Wasserloos, G.: Reduzierung der Produktentwicklungszeiten durch Simultaneous Engineering. CIM Management 6/90, 1990
- [BUL96] Bullinger, H.-J.; Warschat, J.: Concurrent Simultaneous Engineering Systems: The Way to Successful Product Development. Springer Verlag, 1996
- [BUL97] Bullinger, H.-J.; Warschat, J.; Wißler, K. F., Seitz, V.: Rapid Product Development: Schneller von der Idee zum innovativen Produkt. Industrie Management 13 (1997) 1, S. 52-54
- [CAN87] Canty, E. J.: Simultaneous Engineering: Expanding scope of quality responsibility, Digital Equipment Corporation White Paper, 1987

- [CAR75] Carrubba, E.R.; Gordon, R.D.; Spann, A.C.: Assuring product integrity, Lexington Books, 1975
- [CLA91] Clark, K. B.; Fujimoto, T.: Product Development Performance: Strategy, Organisation, and Management in the World Auto Industry. Harvard Business School Press, Boston, 1991
- [CLA92] Clark, K. B.; Fujimoto, T.: Automobilentwicklung mit System: Strategie, Organisation und Management in Europa, Japan und USA. Campus Verlag, 1992
- [CLE92] Cleetus, K. J.: Definition of Concurrent Engineering (CERC Technical Report Series Research Note - CERC-TR-RN-92-003) Concurrent Engineering Research Center, West Virginia University, 1992
- [CRO86] Crosby, P. B.: Qualität bringt Gewinn, McGraw-Hill, 1986
- [DAN96] Danner, S.: Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse. Dr.-Ing. Dissertation, TU München, 1996
- [DGQ93] DGQ 11-04: Begriffe zum Qualitätsmanagement. Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V., Beuth Verlag, 1993
- [DIN87] DIN 55350: Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik. Beuth Verlag, 1987
- [DIN90] DIN 25448: Ausfalleffektanalyse (Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluß-Analyse). Beuth Verlag, 1990
- [DIN94a] DIN EN ISO 9001: Qualitätsmanagementsysteme: Modell zur Qualitätssicherung/QM-Darlegung in Design, Entwicklung, Produktion, Montage und Wartung. Beuth Verlag, 1994
- [DIN94b] DIN EN ISO 9002: Qualitätsmanagementsysteme: Modell zur Qualitätssicherung/QM-Darlegung in Produktion, Montage und Wartung. Beuth Verlag, 1994
- [DIN94c] DIN EN ISO 9003: Qualitätsmanagementsysteme: Modell zur Qualitätssicherung/QM-Darlegung bei der Endprüfung. Beuth Verlag, 1994

- [DIN94d] DIN EN ISO 9004: Qualitätsmanagement und Elemente eines Qualitätsmanagementsystems. Beuth Verlag, 1994
- [DIN95] DIN EN ISO 8402: Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung: Begriffe. Beuth Verlag, 1995
- [DIN97] DIN 69905: Projektwirtschaft - Projektabwicklung: Begriffe. Beuth Verlag, 1997
- [DOO88] Doody, A. F.; Bingaman, R.: Reinventing the Wheels - Ford's Spectacular Comeback. Ballinger, Cambridge, 1988
- [EHL99] Ehlers, K.: Das technisch komplexe Produkt - eine Komposition unterschiedlicher Entwicklungszyklen. in: Mechatronik in der Automobilindustrie - Prozesse und Strukturen für die Produkte von morgen. Tagung am WZL, RWTH Aachen, 1999
- [EHL00] Ehlers, K.: Elektronik-Entwicklung im integrierten Produktentstehungsprozeß. in: 4. Euroforum Fachtagung - Elektronische Systeme im Automobilbau. Stuttgart, 2000
- [EHR95] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung: Methoden für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. Carl Hanser Verlag, 1995
- [EVE89] Eversheim, W.: Simultaneous Engineering - eine organisatorische Chance, VDI Bericht 758: Simultaneous Engineering - Neue Wege des Projektmanagements. VDI Verlag, 1989
- [EVE95] Eversheim, W. (Hrsg.): Simultaneous Engineering: Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie. Springer Verlag, 1995
- [FIS51] Fisher, R.A.: Design of Experiments. Oliver & Boyd, Edinburgh, 1951
- [FRA89] Franke, W. D.: FMEA: Fehlermöglichkeits- und einflußanalyse in der industriellen Praxis. verlag moderne industrie, 1989
- [FRE93] Frehr, H.-U.; Hormann, D.: Produktentwicklung und Qualitätsmanagement. vde-verlag, 1993
- [FRE94] Frehr, H.-U.: Total Quality Management - Unternehmensweite Qualitätsverbesserung. Carl Hanser Verlag, 1994

- [GAT96] Gatzen, H. H.: Ein einfacher Ansatz für Concurrent Engineering. Unterlagen zu einem eintägigen Workshop. Eigendruck im Selbstverlag, Isernhagen, 1996
- [GAT98] Gatzen, H. H.; Tönshoff, H. K.: Risk Management and Product Integrity - A Simple Approach to Concurrent Engineering. TMCE '98: 2nd International Symposium on Tools and Methods for Concurrent Engineering. Manchester, 1998
- [GBF99a] <http://www.gbf.de/>, 1999
- [GBF99b] Informationen der Fa. GBF, Gesellschaft für Biomedizinische Forschung mbH, Braunschweig, Juni 1999
- [GÖT95] Götze, S.: Die multikulturelle Entscheidungsfindung als Modell für die Simultane Produktentwicklung. Verlag Shaker, 1995
- [GRA92] Grabowski, H.; Rude, S.; Schmidt, M.: Entwerfen in Konstruktionsräumen zur Unterstützung der Teamarbeit, in: Scheer (Hrsg.): Simultane Produktentwicklung, gmft, 1992
- [GRÜ96] Grünewald, T.: Von der Produkt- zur Prozeßbetrachtung: Flexible Standardisierung komplexer Auftragsabwicklung. Dr.-Ing. Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, 1996
- [HER93] Hering, E. (Hrsg.): Qualitätssicherung für Ingenieure. VDI-Verlag, 1993
- [HER96a] Hering, E. (Hrsg.): Qualitätsmanagement für Ingenieure. VDI-Verlag, 1996
- [HER96b] Hering, E.; Stepsarsch, W.; Linder, M.: Zertifizierung nach DIN EN ISO 9000: Prozeßoptimierung und Steigerung der Wertschöpfung. VDI-Verlag, 1996
- [HEI95] Heine, J.: Prozeßorientierte Methodik zur Einführung eines Qualitätsmanagementsystems: - Ein Beitrag zur Optimierung von Geschäftsprozessen in Unternehmen, die in kleinen und mittleren Stückzahlen komplexe Produkte herstellen. Verlag Shaker, 1995

- [HES99] Hess, H.-J.: Persönliche Mitteilung von Herrn Hans-Joachim Hess, Rechtsanwalt und Geschäftsführer der EBDI AG in Zürich, Schweiz am 22.04.1999
- [HES94] Hesse, W.; Weltz, F.: Projektmanagement für evolutionäre Software-Entwicklung. Information Management 3/94, 1994, S. 20-32
- [HIL97] Hiller, F.: Ein Konzept zur Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung. Dr.-Ing. Dissertation, Universität Kaiserslautern, 1997
- [HOF97] Hoffmann, J.: Entwicklung eines QFD-gestützten Verfahrens zur Produktplanung und -entwicklung für kleinere und mittlere Unternehmen. Springer Verlag, 1997
- [HUM93] Hummel, R.: Planungsmethodik für den Aufbau von Qualitätssicherungssystemen in kleinen und mittleren Produktionsunternehmen. Dr.-Ing. Dissertation, Universität Stuttgart, 1993
- [HUN91] Hunt, V. Daniel: Enterprise Integration Sourcebook - The Integration of CALS, CE, TQM, PDES, RAMP, and CIM. Academic Press, Inc., San Diego, 1991
- [IDT99] <http://www.idts.com/home.html>, 1999
- [INM99] <http://www.inma.org/>, 1999
- [ISO94] ISO 8402: Quality management and quality assurance - Vocabulary. International Organization of Standardization, Schweiz, 1994
- [JO90] Jo, H.H.; Parsaei, H.R.; Wong, J.P.: Computers and Industrial Engineering Nr. 21, S. 35 - 9, 1990
- [KAM95] Kamiske, G. F.; Brauer, J.-P.: Qualitätsmanagement von A bis Z: Erläuterungen moderner Begriffe des Qualitätsmanagements. Carl Hanser Verlag, 1995
- [KIN89] King, B.: Better Designs in Half the Time: Implementing QFD Quality Function Deployment in America. GOAL/QPC, 1989
- [KLE96] Klein, B.: Konstruktionsmanagement. WEKA Fachverlag für technische Führungskräfte, 1996

- [KNI97] Knickel, V.: Gestaltung von Kommunikationsprozessen an Schnittstellen in der Produktentwicklung - Methodisches Vorgehen und CSCW-Unterstützung. Dr.-Ing. Dissertation, Universität Kaiserslautern, 1997
- [KRO91] Krottmaier, J.: Versuchsplanung: Der Weg zur Qualität des Jahres 2000. Verlag Industrielle Organisation, 1991
- [KRO94] Krottmaier, J.: Versuchsplanung: Ein integraler Bestandteil der TQM-Strategie. Verlag Industrielle Organisation, 1994
- [KRO95] Krottmaier, J.: Leitfaden Simultaneous Engineering: Kurze Entwicklungszeiten, niedrige Kosten, hohe Qualität. Springer Verlag, 1995
- [LAC86] Lacey, R.; Little, T.: Ford - The Men and the Machine. Brown & Company, 1986
- [LIN93] Lindberg, L.: Notes for Concurrent Engineering. Annals of the CIRP Vol. 42/1/1993, 1993
- [LIN95] Lincke, W.: Simultaneous Engineering: Neue Wege zu überlegenen Produkten. Carl Hanser Verlag, 1995
- [LOG89] Logothetis, N.; Wynn, H. P. (Hrsg.): Quality Through Design: Experimental Design, Off-line Quality Control, and Taguchi's Contributions. Oxford University Press, 1989
- [LÜB93] Lübbe, U.: Modell für ein rechnerunterstütztes Qualitätssicherungssystem gemäß DIN ISO 9000 ff.. Dr.-Ing. Dissertation, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart, 1993
- [MAS94] Masing, W. (Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement. Carl Hanser Verlag, 1994
- [MIL93] Miller, Landon C. G.: Concurrent Engineering Design - Integrating the Best Practices for Process Improvement. Society of Manufacturing Engineers, Dearborns, 1993
- [NEU96] Neumann, A.: Quality Function Deployment: Qualitätsplanung für Serienprodukte. Dr.-Ing. Dissertation, RWTH Aachen, 1996
- [NMS99] <http://www.nmslab.com/>, 1999

- [PAH93] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Springer Verlag, 1993
- [PES96] Pesch, A.: Prozeßoptimierung der Produktentwicklung. LIT Verlag - Betriebswirtschaftliche Schriftenreihe, Bd. 79, 1996
- [PFE93] Pfeufer, H.-J.: FMEA - Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse: Kurzüberblick. BMW AG, AQ-1 Methoden und Verfahren, 1993
- [PFE96] Pfeifer, T.: Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken. Carl Hanser Verlag, 1996
- [PHA89] Phadke, M. S.: Quality Engineering using robust design. Prentice Hall, 1989
- [PIC99] <http://www.accom.com.au/picu/>, 1999
- [PRA96] Prasad, Biren: Concurrent Engineering Fundamentals - Integrated Product and Process Organization, Volume I. Prentice Hall, 1996
- [RED97a] Redeker, G.: Grundlagen der Qualitätssicherung. Vorlesungsumdruck, Institut für Qualitätssicherung, Universität Hannover, 1997
- [RED97b] Redeker, G.: Qualitätssicherung in der Produktion. Vorlesungsumdruck, Institut für Qualitätssicherung, Universität Hannover, 1997
- [REI96] Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement. Springer Verlag, 1996
- [ROS96] Ross, P. J.: Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design. McGraw-Hill, 1996
- [SAA97] Saatweber, J.: Kundenorientierung durch Quality Function Deployment: Systematisches Entwickeln von Produkten und Dienstleistungen. Carl Hanser Verlag, 1997
- [SAL95] Salomone, T.A.: What every engineer should know about concurrent engineering. Marcel Dekker, Inc., 1995
- [SCH94] Schumann, G.: Adaptive Planung des Produktentwicklungsprozesses. Carl Hanser Verlag, 1994

- [SOH92] Sohlenius, G.: Concurrent Engineering. Annals of the CIRP Vol. 41/2/1992, 1992
- [TAG86] Taguchi, G.: Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Product and Processes. Asian Productivity Organization, 1986
- [TIP92] Tipnis, Y.A. [Hrsg.]: Tolerance and Deviation Information: Selected Case Studies. Proceedings ASME 1992, New York, 1992
- [TOU97] Toutenburg, H.; Gössl, R.; Kunert, J.: Quality Engineering: Eine Einführung in Taguchi-Methoden. Prentice Hall, 1997
- [VAS87] Vasilash, Gary S.: Simultaneous Engineering - Management's New Competitiveness Tool. Reprinted from Production 1987, in: Simultaneous Engineering - Integrating Manufacturing and Design. Society of Manufacturing Engineers, Michigan, 1990
- [VDA97] Verband der Automobilindustrie e.V.: Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie 4: Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz Teil 3: Projektplanung, Verband der Automobilindustrie e.V., 1997
- [VDI93a] VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI-Verlag, 1993
- [VDI93b] VDI-Richtlinie 2243 (Entwurf): Konstruieren recyclinggerechter Produkte. VDI-Verlag, 1993
- [VDI94] VDI-Richtlinie 2247: Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung. VDI-Verlag, 1994
- [VOI97] Voigt, H.-D.: Qualitätssicherung - Qualitätsmanagement: praxisnah - anwendungsorientiert. Handwerk und Technik, 1997
- [WHE92] Wheelwright, Steven C.; Clark, Kim B.: Revolutionizing Product Development. The Free Press, A Division of Macmillan, Inc., 1992
- [WHT99] <http://www.whp.fr/indexde.htm>, 1999
- [WIL97] Wildemann, H. (Hrsg.): Qualität und Unternehmenserfolg: Neue Lösungen und Fallbeispiele. TCW Transfer-Centrum-Verlag GmbH, 1997

- [WIL96] Wilson, C. C.; Kennedy, M. E.; Trammell, C. J.: Superior Product Development: Managing the Process for Innovative Products. Blackwell Publishers, 1996
- [WIN88] Winner, R. I.; Pennell, J. P.; Bertrand, H. E.; Slusarczyk, M. M. G.: The Role of Concurrent Engineering in Weapons Systems Acquisition. IDA-Report R-338, Institute for Defense Analyses, 1988
- [WIß96] Wißler, K. F.: Durch evolutionäre Produktentwicklung zum innovativen Produkt. in: RPD - Rapid Product Development, Proceedings Messe Stuttgart, June 10.-11., 1996, S. 393-401
- [WIT93] Wittig, K.-J.: Qualitätsmanagement in der Praxis. B. G. Teubner, 1993
- [WOL99] Wollina, U.: Persönliche Mitteilung zum Thema Produktintegrität im Bereich der Medizin. Universität Jena, 1999
- [ZIE93] Ziemke, M. Carl; Spann, Mary S.: Concurrent engineering's roots in the World War II era, in: Parsaei, Hamad R.; Sullivan, William G.: Concurrent Engineering - Contemporary Issues and Modern Design Tools. Chapman & Hall, London, 1993
- [ZIM95] Zimmermann, V.: Quality Function Deployment (QFD) im Entwicklungsprozeß: Konzepte, Modelle, Methoden und Hilfsmittel. Dr.-Ing. Dissertation, Universität Kaiserslautern, 1995
- [ZIN95] Zink, K. J.: TQM als integratives Managementkonzept: Das Europäische Qualitätsmodell und seine Umsetzung. Carl Hanser Verlag, 1995
- [ZÖL92] Zöllner, W.; Ziegler, A.: Total Quality Management: Studie zur Erfassung des Stellenwertes und der Umsetzung von Total Quality Management in Deutschland, PA Consulting Group, 1992

9 Anhang

- Bild A.1: Auszug aus dem Pflichtenheft (2 Seiten)
- Bild A.2: Beispiel für einen vorläufigen PI-Testplan
- Bild A.3: Beispiel für einen endgültigen PI-Testplan (2 Seiten)
- Bild A.4: Beispiel für einen PI-Testplan mit zusätzlicher Matrix (Auszug)
- Bild A.5: Beispiel für einen Standard-Qualifizierungsplan
- Bild A.6: Beispiel für eine einseitige Testübersicht
- Bild A.7: Beispiel für eine Testvorschrift (2 Seiten)
- Bild A.8: Beispiel für ein Vormuster-Testbericht (2 Seiten)
- Bild A.9: Beispiel für einen Entwicklungsmuster-Testbericht (2 Seiten)
- Bild A.10: Beispiel für einen Statusbericht eines Entwicklungsmusters
- Bild A.11: Beispiel für einen Maßnahmenplan

Firma	PFLICHTENHEFT		Projekt
Datum	Gerät - Technische Daten		Ausgabe
Hochfrequenzeigenschaften			
Frequenzbereiche	518-550, 630-662, 740-772, 790-822, 838-870 MHz		
Empfangsfrequenzen	tunable 25 k Steps		
Schaltbandbreite	32 MHz		
Minimaler Kanalabstand	400 kHz		
Kanalraster	n x 25KHz		
Frequenzstabilität	±10ppm (-10°C bis +55°C)		
Zwischenfrequenzen	1. 110,6 MHz, 2. 10,7 MHz		
Begrenzungseinsatz (-3dB) über alles	≤ 2μV		
Empfindlichkeit			
S/N = 52 dBAeff	≤2,5 μV (mit HDX, Nennhub)		
S/N = 90 dBAeff	≤10 μV (mit HDX, Nennhub)		
Rauschsperr:			
Kriterien	Pegel		
Schwelle einstellbar	0 bis 100μV in 8 Steps: OFF, 5dBμV, ...40 dBμV		
NF-Durchschaltverzögerung nach 1. Sender Ein	3,5s ≤ t ≤ 5s		
Wartezeit für erneute Verzögerung	≥ 2s		
NF-Abschaltzeit bei Sender Aus	≤ 1,2ms		
NF-Abschaltzeit bei langsamem Trägerschwund > 3ms	≤ 1,2ms		
NF-Durchschaltverzögerung nach kurzzeitigem Trägerschwund	≤ 1,2ms		
Trägerschwund-Schwelle	-40 dB ... -50 dB		
AM - Unterdrückung (1mV _{HF} , 60% AM)	typ. 35dB		
Spiegelfrequenzselektion			
1. Δf = 221,2 MHz	≥40dB		
2. Δf = +21,4 MHz	50dB		
Nebenempfangsstellen	60dB		
ZF-Festigkeit 110,6 MHz / 10,7 MHz	60dB / 70dB		
Nachbarkanalselektion / Abstand von fe	70dB / ±400kHz, 72dB / ±800kHz		
Intermodulationsdämpfung (400/800kHz)	≥60dB		
Blocking (Δf≥±1MHz)	≥70dB		
Entkopplung zwischen den Empfängerzügen	≥20dB		
Empfänger-Störleistung am Antenneneingang 30 - 5000MHz			
< 1GHz	≤-57dBm (2nW)		
1 GHz - 5 GHz	≤-47dBm (20nW)		
Freifeld - Störstrahlung 30 - 5000MHz			
< 1GHz	≤-57dBm (2nW)		
1 GHz - 5 GHz	≤-47dBm (20nW)		
Antenneneingangsimpedanz	50 Ω		
Eigenstörungen des Systems	≤ 10 μV		
Einstrahlfestigkeit	ETS 300 445 (EN 50082-2, EN 55011 Cl.B), Klasse 1		
HF-Pegelbereich für Diversity - Umschaltung	1μV bis 100μV		

Bild A.1: Auszug aus dem Pflichtenheft (Teil 1)

Firma	PFLICHTENHEFT		Projekt
Datum	Gerät - Technische Daten		Ausgabe
Niederfrequenzeigenschaften			
Modulationsart	FM		
Kompendersystem	dynam. Deemph wie HDS, TAttack=TDecay (2,2µF)		
Deemphasis	15µs		
Nennhub / Spitzenhub	±40kHz / ±56kHz		
Audio - Ausgänge	NF-Ausgangsspannung bei Nennhub, 1kHz:		
Line-Out 3pin XLR (EK/EM1980)	+4dB _u (1,2V _{eff}) / R _L ≥10KΩ, elektronisch symmetriert		
Line-Out 3,5 mm Klinke unbal. (EK1280)	0 dB _u (0,775V _{eff}) / R _L ≥10KΩ, unsymmetrisch		
Innenwiderstand	≤ 600 Ω		
Frequenzgang (+1,5 -1,5dB) (1mV _{HF} , ±4kHz Hub bei 1000Hz, Preemphasis 15µs)	50Hz bis 20kHz		
Klirrfaktor k _{ges}	≤ 1% bei 1 KHz		
Begrenzung des Übertragungsbereichs	durch HP fg 40Hz und 24dB/Okt		
Signal-Rauschabstand (1mV _{HF} , Spitzenhub)	≥100dB _{Aeff}		
Rumpel-Fremdspannungabstand 1mV _{HF} , Spitzenhub, ohne HDP	≥ 57 dB		
Einschalt- oder Abschaltgeräusch mit HDP (Sender und Empfänger)	≤ 50 dB S/N (Unweighted, peak)		
Phasenlage	Positiver Frequenzhub erzeugt positive Ausgangsspannung		
Kopfhörerausgang			
	I _{max} = 60 mAs, U _{max} = 5 Vss, 6 Vss mit neuer 9 V Batt.		
Minimale Last	kurzschlußfest		
Innenwiderstand	47 Ohm		
S/N (Aeff) bei Verstärkung 0 dB	85 dB		
Frequenzgang (+1,5 -1,5dB)	45Hz bis 18 kHz, Stereo: bis 15 kHz		
Klirrfaktor k _{ges}	≤ 1% im Übertragungsbereich		
Audio-Limiter	Zuschaltbar, -10dB unter Vollaussteuerung		
Phasenlage	Positiver Frequenzhub erzeugt positive Ausgangsspannung		
Einschalt- oder Abschaltgeräusch mit HDP (Sender und Empfänger)	≤ 50 dB S/N (Unweighted, peak)		
Mikrofonie	muß in der Größenordnung des Geräuschspannungsabstandes (Unw.) liegen		
Genauigkeit der Anzeigen:			
	RF	± 5 dB	
	AF	± 5 dB	
Gesamtgerät			
Temperaturbereich	-10 °C bis +55 °C		
Betriebsspannung EK XXXX	6 - 9 V _{DC}		
Stromaufnahme bei 8 V	≤ 60 mA (ohne Modulation)		
Betriebsspannung EM XXXX	10,5 - 15 V _{DC}		
Nennspannung U _N	12 V		
Stromaufnahme bei 12 V	≤ 150 mA (ohne Modulation)		

Bild A.1: Auszug aus dem Pflichtenheft (Teil 2)

Firma	vorläufiger PI-TESTPLAN		Projekt
Datum	Gerät		Ausgabe
Test Nr.	Testobjekt	Testausführung	
	Gesamtgerät:		
1	Betriebsspannung Phantomspeisung	Messung Betriebsspannung $9 V_{DC} \pm 5\%$ TBD	
2	Stromversorgung	Vorgaben	
3	Stromaufnahme Nennspannung Phantomspeisung	Meßgröße Meßgröße TBD	
4	Betriebszeit	Normalbetrieb TBD	
5	Temperaturbereich	Test zusammen mit Test 1 (Betriebsspannung)	
	HF-Eigenschaften:		
6	Frequenzbereiche	Test anderweitig	
7	Umschaltbare Senderfrequenzen	Test durch Test 4 (Ausgangsleistung)	
8	Frequenzstabilität	Messung exemplarisch bei 870 MHz	
9	HF-Ausgangsleistung	Messung bei allen 5 Frequenzbereichen; jeweils 3 Messungen (f_{oben} u. f_{unten} u. f_{Mitte}) Bei gleicher Schaltung nur 1980 testen	
10	Nebenwellenaussendungen	Zulassungsmessung ETSI 422...	
11	Oberwellenaussendungen	Zulassungsmessung	
12	Belegte Bandbreite	Zulassungsmessung	
13	Störspannungsabstand VCO	Gemessen ohne Kompander; Messung bei allen 5 Frequenzbereichen; jeweils 3 Messungen (f_{oben} u. f_{unten} u. f_{Mitte}); Bei zu starken Unterschieden (TBD):	
14	Rumpel-Fremdspannungsabstand	Messung der tieffrequenten Rumpelgrößen; Messung bei allen 5 Frequenzbereichen; jeweils 3 Messungen (f_{oben} u. f_{unten} u. f_{Mitte})	
15	Einschalten der Sender	Messung exemplarisch; Messung bei allen 5 Frequenzbereichen; jeweils eine Messung bei f_{Mitte}	
16	Ausschalten der Sender	Messung exemplarisch; Messung bei allen 5 Frequenzbereichen; jeweils eine Messung bei f_{Mitte}	
17	Automatische Trägerabschaltung	Messung exemplarisch bei 870 MHz	
18	Rückwirkungen auf den VCO - bei Antennen/Gehäuse-Berührung - bei Betätigung der Bedienelemente	Mechanische Anregung TBD Messung bei allen 5 Frequenzbereichen; jeweils 3 Messungen (f_{oben} u. f_{unten} u. f_{Mitte}) Messung bei allen 5 Frequenzbereichen; jeweils 3 Messungen (f_{oben} u. f_{unten} u. f_{Mitte})	
	NF-Eigenschaften:		
19	Modulationsart	Vorgaben	
20	Störspannungsabstand A-bewertet	NF-Eingangsteiler; Messung exemplarisch im obersten Frequenzbereich bei f_{Mitte}	
21	Kompandersystem	Definition	
22	Preemphasis	Test durch Test 21 (Frequenzgang)	
23	Nennhub/Spitzenhub bei 1 kHz	Messung bei allen 5 Frequenzbereichen; jeweils 3 Messungen (f_{oben} u. f_{unten} u. f_{Mitte})	
24	Hubkonstanz	Messung bei allen 5 Frequenzbereichen; jeweils 3 Messungen (f_{oben} u. f_{unten} u. f_{Mitte})	
25	Eingangsspannung	Messung exemplarisch bei 870 MHz	
26	Klirrfaktor bei Nennhub	Messung exemplarisch bei 870 MHz	
27	Frequenzgang	Meßempfänger von 100 Hz auf 16 kHz erhöhen	

Bild A.2: Beispiel für einen vorläufigen PI-Testplan

Firma		PI-TESTPLAN			Projekt	
Datum		Gerät			Ausgabe	
Test Nr.	Merkmal/Testobjekt	Spezifikation	Ergebnis	Bemerkung		
1	Betriebsspannung Nennspannung 9 V _{DC}	6 – 10 V _{DC}				
2	Stromaufnahme bei ausgeschaltetem Sender bei Nennspannung	= 100 µA (Hinweis in BDA erforderlich!) = 50 mA				
3	HF-Ausgangsleistung (Meßpunkt) an 50 ?	30 mW				
4	Nennhub/Spitzenhub bei 1 kHz Eingangsspannung/Signal-Rauschabstand (Spitzenhub, NF 1kHz); <u>Einstellung:</u> Range 0 dB -30 dB (Toleranz ± 2 dB?) -20 dB -10 dB 0 dB Hubkonstanz innerhalb der Schaltbandbreite	= ± 40 kHz / = ± 56 kHz V_{eff} dB_{Aeff} 1,0 tbd 0,30 tbd 0,10 tbd 0,030 tbd = ± 1 dB				
5	Nebenwellenaussendungen 47-74 MHz 87,5-118 MHz 174-230 MHz 470-862 MHz übrige Frequenzen < 1GHz f > 1 GHz	= 4 nW = 250 nW = 1 µW				
6	Oberwellenaussendungen	= 1 µW				
7	Belegte Bandbreite (-20 dBc) (-60 dBc)	140 kHz 200 kHz				
8	Klirrfaktor bei Nennhub 1 kHz (Expander Ein)	= ± 1 dB				
9	Frequenzgang (Expander Ein) 100 Hz bis 16 kHz 200 Hz bis 8 kHz Abfall unterhalb 80 Hz Abfall oberhalb 18 kHz	= ± 3 dB = ± 1 dB = 12 dB/Okt = 18 dB/Okt				
10	Störspannungsabstand VCO bezogen auf Spitzenhub innerhalb der Schaltbandbreite Rumpel-Fremdspannungsabstand	= 65 dB _{Aeff} = 60 dB _{unweff} = 55 dB _{CCIRpeak} = 55 dB _{Peak}				
11	Einschalten der Sender Minimale Betriebsspannung Trägerverzögerung Trägerunterdrückung	= 6,5 V = 2 s = 50 dB				

Bild A.3: Beispiel für einen endgültigen PI-Testplan (Teil 1)

Firma		PI-TESTPLAN		Projekt	
Datum		Gerät		Ausgabe	
12	Ausschalten der Sender Trägerverzögerung Trägerunterdrückung Geräuschspannungsabstand bezogen auf Spitzenhub	= 0,5 ms = 50 dB = 50 dB _{Peak, unw.} Abstand TX/RX 0,5 m			
13	Automatische Trägerabschaltung Hysterese (Batterieerholung) Geräuschspannungsabstand bezogen auf Spitzenhub	U _{Bat.} = 6,5 V = 1,0 V, Wiederein- schaltung nur durch Betätigung der "On"- Taste = 50 dB _{Peak, unw.} Abstand TX/RX 0,5 m			
14	Rückwirkungen auf den VCO Geräuschspannungsabstand bei Antennen/Gehäuse- Berührung bei Betätigung der Bedienelemente	Expander EIN, bezogen auf Spitzen- hub, innerhalb der Schaltbandbreite = 30 dB _{Peak, unw.} (Plopp) = 40 dB _{Peak, unw.}			
15	Mikrofonie (Klopfempfindlichkeit) Geräuschspannungsabstand ohne HDX	= 50 dB _{Peak, unw.}			
16	Betriebszeit	= 8 h			
17	Feuchte	tbd			
18	Schock	tbd			
19	Temperatur Frequenzabweichung bei 870 MHz	-10 °C bis + 55 °C = 10 kHz über Temperaturbereich			4 Corner-Test! Meßgrößen: Empfindlichkeit, HF- Pegel, Klirrfaktor, Stromaufnahme, Hubkonstanz, etc.
20	Bedienelemente	tbd			

Bild A.3: Beispiel für einen endgültigen PI-Testplan (Teil 2)

Prüfmatrix für techn. Daten Gerät:			Raumtemp. normal	Ubatt min kalt sonst normal	Ubatt min heiß sonst normal	UBatt max kalt sonst normal	UBatt max heiß sonst normal	Limitier. ein	Focus ein
Parameter	Werte	geprüft	1	2	3	4	5	6	7
Temperatur	Minimum (-10°C)	ja		o		o			
	Raumtemperatur (20 °C)	ja	o					o	o
	Maximum (+55°C)	ja			o		o		
Versorgungsspannung	Minimum (6 V)	ja		o	o				
	9 V	ja	o					o	o
Last (NF-Ausgang)	Maximum (10 V)	ja				o	o		
	Vollast (12 Ohm)	nein							
	Nennlast (32 Ohm)	ja	o	o	o	o	o	o	o
Limitier	Ein	ja						o	
	Aus	ja	o	o	o	o	o	o	o
Focus	Ein	ja							o
	Aus	ja	o	o	o	o	o	o	o
Balance	Rechts	nein							
	Mitte	ja	o	o	o	o	o	o	o
	Links	nein							
Lautstärke	Laut (K=5%)	nein							
	Mitte (halbe Maximalspannung)	ja	o	o	o	o	o	o	o
	Leise (1/10 Maximalspannung)	nein							
Meßwerte	zulässiger Bereich								
Stromaufnahme									
bei ausgeschaltetem Sender	= 100 µA	nein							
bei Nennspannung	= 50 mA	nein							
bei Phantomspeisung Mikrofon	= 95 mA	nein							
Mikrofon-Phantomspeisung	48 V ± 4 V	nein							
Ausgangsstrom, begrenzt	= 2 mA	nein							
Restrauschen	3 µV Aeff	nein							
HF-Ausgangsleistung an 50 Ohm	30 mW	nein							
Nennhub/Spitzenhub bei 1 kHzNF	= ± 32 kHz / = ± 48 kHz	nein							
Eingangsspannung/Signalrauschabstand (Spitzenhub, 1kHzNF, HDX)									
Einstellung (± 2 dB)	Veff								
Range 0 dB	-30 dB	1,0	nein						
	-20 dB	0,32	nein						
	-10 dB	0,10	nein						
	0 dB	0,032	nein						
		dB Aeff							
	-30 dB	= 100	nein						

Firma

PI-Matrix-Testplan
EntwicklungsmustertestProjekt
Ausgabe

Bild A.4:

Beispiel für einen PI-Testplan mit zusätzlicher Matrix (Auszug)

Firma		Standard-Qualifizierungsplan					Projekt	
Datum							Ausgabe	
Nr.	Merkmal	Anforderung	Prüfvorschrift	Entwicklungs- muster	Werkzeug- muster	Nullserien- muster	Bemerkung	
1.	Funktion							
1.1.	Gebrauchseigenschaften							
1.1.1.	Erster Eindruck							
1.1.2.	Bedienungsanleitung							
1.1.3.	Betrieb unter normalen Bedingungen							
1.1.4.	Betrieb unter ungünstigen Bedingungen							
1.2.	Technische Daten	siehe PI-Testplan						
1.3.	Emission und Einfluss auf Lebewesen / Umwelt / andere Gegenstände							
1.4.	Sicherheit							
1.5.	Zulassungen							
2.	Robustheit							
2.1.	Mechanische Robustheit							
2.2.	Klimatische Robustheit							
2.3.	Chemische Robustheit							
2.4.	Optische Robustheit							
2.5.	Elektromagnetische Störfestigkeit							
2.6.	Elektrische Störfestigkeit							
3.	Zuverlässigkeit / Lebensdauer							
3.1.	Lebensdauer							
3.1.1.	Zyklen einzelner Komponenten							
3.1.2.	Lebensdauer einzelner Komponenten							
3.2.	Service							
3.3.	Design							

Bild A.5: Beispiel für einen Standard-Qualifizierungsplan

Firma		PI-TESTÜBERSICHT						Projekt	
Datum		Gerät						Ausgabe	
Nr.	Test	Status	Rev. Stand	letzte Aktivität	Datum	Bemerkung	nächst. Tätigk.	Datum	
1	Betriebsspannung								
2	Stromaufnahme								
3	Antenneneingangsimp.								
4	Line-Ausgang								
5	Rumpel-Fremdspannungsabst.								
6	Signal-Rauschabstand								
7	Einschalt- oder Ausschaltgeräusch-Spannungsabstand mit HDX								
8	Mikrofonie (Klopfempfindlichk.)								
9	Signal-Rauschabstand								
10	Kopfhörerausgang - Signal-Rauschabstand								
11	Empfindlichkeit								
12	Begrenzungseinsatz								
13	Spiegelfrequenzselek.								
14	Nebenempfangsstellen								
15	ZF-Festigkeit								
16	AM-Unterdrückung								
17	Nachbarkanalselektion								
18	Intermodulationsdämpf.								
19	Blocking								
20	Empfänger-Störleistung								
21	Freifeld-Störstrahlung								
22	Eigenstörungen								
23	Einstrahlfestigkeit								
24	Nennhub/Spitzenhub								
25	Phasenlage								
26	Klirrfaktor k_{ges}								
27	Frequenzgang Deemphasis Filter zur Begrenzung des Übertragungsber.								
28	Anzeigen: - Numerisches LC-Display - LED								
29	Rauschsperr								
30	Temperatur Frequenzstabilität								
31	Übertemperatur im Innern								
32	Feuchte, Fall								
33	Betriebszeit bei Kopfhörerbetrieb								
34	Betriebszeit bei Line-Betrieb								
36	Abmessungen								
37	Gewicht								
38	Zulassungen								

Bild A.6: Beispiel für eine einseitige Testübersicht

Firma	TESTVORSCHRIFT	Projekt																		
Datum	NF-Frequenzgangmessung Empfänger	Ausgabe																		
<p><u>1. Anwendungsbereich und Zweck</u> NF-Frequenzgangmessung: Unter NF-Frequenzgang des Empfängers wird die Änderung des NF-Ausgangspegels des Empfängers in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz des an den Empfängereingang angelegten HF-Signals verstanden.</p>																				
<p><u>2. Eingesetzte Geräte</u></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HF-Meßsender</td> <td>z.B. SMS</td> <td>Rhode & Schwarz</td> </tr> <tr> <td>Universal-Pegelmeßgerät</td> <td>beliebig</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Preemphasis</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>NF-Generator</td> <td>beliebig</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Oszilloskop</td> <td>beliebig</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>						HF-Meßsender	z.B. SMS	Rhode & Schwarz	Universal-Pegelmeßgerät	beliebig	-	Preemphasis	-	-	NF-Generator	beliebig	-	Oszilloskop	beliebig	-
HF-Meßsender	z.B. SMS	Rhode & Schwarz																		
Universal-Pegelmeßgerät	beliebig	-																		
Preemphasis	-	-																		
NF-Generator	beliebig	-																		
Oszilloskop	beliebig	-																		
<p><u>3. Meßplatzaufbau</u> Zeichnung</p>																				
<p><u>4. Einstellungen</u></p> <p><u>4.1. HF-Meßsender</u> Frequenz : fe (Empfänger-Frequenz) HF-Pegel : ca. 1mV Hub : 40 kHz bei Breitband-Empfänger 8 kHz bei Schmalband-Empfänger NF-Modulation : 400 Hz</p> <p><u>4.2. NF-Generator</u> Ausgangsteiler : - 20 dB</p> <p><u>4.3. Universal-Pegelmeßgerät</u> = Anzeige des auf 0 dB kalibrierten NF-Pegels Bereichsschalter : Empfindlichkeit um 40 dB anheben = Anzeige wieder 0 dB Pegelsteller "UNCALibrated" : bis ± 1 dB nachkalibrieren sonst Fehlersuche</p> <p><u>4.4. NF-Generator</u> NF-Modulation : Frequenzen nach Prüfvorschrift</p> <p><u>4.5. Universal-Pegelmeßgerät</u> = Anzeige des Frequenzganges</p> <p><u>4.6 Oszilloskop</u> Anzeige</p>																				

Bild A.7: Beispiel für eine Testvorschrift (Teil 1)

Firma	TESTVORSCHRIFT	Projekt				
Datum	NF-Frequenzgangmessung Empfänger	Ausgabe				
<p>5. Prüfung</p> <p><u>5.1. Reihenfolge und Durchführung</u></p> <p>Meßverfahren:</p> <p>Bei Anlagen mit einem koaxialen HF-Eingang wird ein Prüfsignal mit einem Pegel von 60 dBuV auf einer Frequenz, die gleich der Nennfrequenz des Empfängers ist, an den Empfängereingang angelegt. Geräte mit fest ein- oder angebauten Antennen werden mittels einer Ankoppeleinrichtung angeschlossen (50-Ohm-HF-Anschluß; Dämpfungsverluste möglichst klein, in keinem Fall 30 dB überschreiten; Abweichung der Dämpfungsverluste in Abhängigkeit von der zu messenden Frequenz (± 1 kHz) 2 dB nicht überschreiten; keine nichtlinearen Elemente). Ein Prüfsignal mit einer Frequenz, die gleich der Nennfrequenz des Empfängers ist, wird der Ankoppeleinrichtung zugeführt, mit einem Pegel, der 50 dB größer ist, als der Pegel der Feldstärke-Empfindlichkeit, welcher in der Ankoppeleinrichtung ein Verhältnis $(S+N+D) / (N+ D)$ oder $(S+N+D) / N$ von 20 dB ergibt.</p> <p>Der Lautstärkeregler des Empfängers wird so eingestellt, daß eine Ausgangsleistung von mindestens 50 % der Nennausgangsleistung erzielt wird, wenn die normale Prüfmodulation angewandt wird. Diese Einstellung darf während der Prüfung nicht geändert werden.</p> <p>Dann wird der Frequenzhub bei 1000 Hz auf 20% des maximal zulässigen Wertes herabgesetzt. Der Frequenzhub muß konstant bleiben, während die Modulationsfrequenz zwischen 300 Hz und 3000 Hz (2550 Hz für 12,5 kHz Kanalabstand) verändert wird; dabei wird der Ausgangspegel gemessen.</p> <p>Diese Messung muß mit dem Prüfsignal auf den Frequenzen wiederholt werden, die von der Nennfrequenz des Empfängers um plus und minus der Hälfte der Grenzwerte der Frequenzabweichungen abliegen.</p> <p><u>5.2 Beurteilung und Auswertung</u></p> <p>Grenzwerte:</p> <p>Phasenmodulation: Der NF-Frequenzgang des Empfängers darf höchstens um + 1 dB oder - 3 dB von der Charakteristik abweichen, die um 6 dB/Oktave fällt und den bei 1000 Hz gemessenen Punkt durchläuft.</p> <p>Frequenzmodulation: Der Pegel des NF-Ausgangssignals des Empfängers darf höchstens um + 1 dB oder - 3 dB von seinem Wert bei 1000 Hz abweichen, wenn die Frequenz sich ändert.</p> <p><u>Zitierte Normen</u></p> <table border="0"> <tr> <td data-bbox="209 1659 542 1693">FTZ 17 TR 20-19</td> <td data-bbox="542 1659 1385 1749"><i>Technische Richtlinie für Funkanlagen des nichtöffentlichen mobilen Landfunks (nömL) für Sprach- und/oder Datenübertragung mit einem Kanalraster von 12,5/20/25 kHz</i></td> </tr> <tr> <td data-bbox="209 1749 542 1783">SNP 508, Ausgabe 9/91</td> <td data-bbox="542 1749 1385 1783"><i>HF-Empfänger - Frequenzgangmessung mit HiDyn</i></td> </tr> </table>			FTZ 17 TR 20-19	<i>Technische Richtlinie für Funkanlagen des nichtöffentlichen mobilen Landfunks (nömL) für Sprach- und/oder Datenübertragung mit einem Kanalraster von 12,5/20/25 kHz</i>	SNP 508, Ausgabe 9/91	<i>HF-Empfänger - Frequenzgangmessung mit HiDyn</i>
FTZ 17 TR 20-19	<i>Technische Richtlinie für Funkanlagen des nichtöffentlichen mobilen Landfunks (nömL) für Sprach- und/oder Datenübertragung mit einem Kanalraster von 12,5/20/25 kHz</i>					
SNP 508, Ausgabe 9/91	<i>HF-Empfänger - Frequenzgangmessung mit HiDyn</i>					

Bild A.7: Beispiel für eine Testvorschrift (Teil 2)

Firma		PI-Testplan		Projekt	
Datum		HF-LP-Vormustertest		Ausgabe	
Test Nr.	Merkmal/Testobjekt	Spezifikation	Ergebnis	Bemerkung	
	Allgemeines Frequenzbereiche Umschaltbare Senderfrequenzen:	5 abstimmbar in 25 kHz - Schritten	OK	nur der Bereich 838MHz...870MHz prüfbar	
1	Betriebsspannung Nennspannung $9 V_{DC}$	$6 - 10 V_{DC}$	OK		
2	Stromaufnahme bei ausgeschaltetem Sender bei Nennspannung	$\leq 100 \mu A$ $\leq 50 mA$	xx	z.Z. nicht bewertbar, da Teilschaltung nicht definiert	
3	HF-Ausgangsleistung an 50 ?	30 mW	nur 10mW		
4	Nennhub/Spitzenhub bei $1 kHz_{NF}$ Eingangsspannung/Signal- Rauschabstand (für Spitzenhub, $1kHz_{NF}$, HDX) Einstellung ($\pm 2 dB$) -30 dB -20 dB -10 dB 0 dB Phasenlage U_{IN} / Hub ($1 kHz_{NF}$) Hubkonstanz innerhalb der Schaltbandbreite	$\leq \pm 40kHz / \leq \pm 56kHz$ V_{eff} dB_{Aeff} 1,0 ≥ 100 0,32 0,10 0,032 invertierend $\leq \pm 1 dB$	40kHz / 0dB 50kHz / 6dB 105dB (111) 104dB 101dB 94dB xx xx	z.Z. keine Aussage Nennhub / HiDyn plus z.Z. keine Aussage z.Z. nicht bewertbar	
5	Nebenwellenaussendungen 47-74 MHz 87,5-118 MHz 174-230 MHz 470-862 MHz übrige Freq. < 1GHz $f > 1 GHz$	$\leq 4 nW$ $\leq 250 nW$ $\leq 1 \mu W$	xx xx xx	offene Schaltung aber z. Z. keine Nebenwellen	
6	Oberwellenaussendungen	$\leq 1 \mu W$	32nW		
7	Intermodulationsabstand ($\pm 400 kHz$)	$\geq 30 dB$, Abstand der Antennen = 10 cm	xx	z.Z. nicht bewertbar	
8	Belegte Bandbreite (-20 dB) (-60 dB)	$\leq 140 kHz$ $\leq 200 kHz$	- 20 dB - 58 dB	Meßverfahren noch nicht nach ETS-I	
9	Klirrfaktor bei Nennhub $1 kHz_{NF}$, Expander Ein	$\leq 0,5 \%$	< 0,3%		
10	Frequenzgang (Expander Ein) 100 Hz bis 16 kHz 200 Hz bis 8 kHz Abfall unterhalb 80 Hz Abfall oberhalb 18 kHz	$\leq \pm 3 dB$ $\leq \pm 1 dB$ $\geq 12 dB/Okt$ $\geq 18 dB/Okt$	xx xx xx xx		
11	Störspannungsabstand VCO bezogen auf Spitzenhub innerhalb der Schaltbandbreite Rumpel- Fremdspannungsabstand	$\geq 65 dB_{Aeff}$ $\geq 60 dB_{unweff}$ $\geq 55 dB_{CCIRpeak}$ $\geq 55 dB_{peak}$	70 dB 65 dB 60 dB 63 dB	Messung auf Nennhub bezogen	

Bild A.8: Beispiel für ein Vormuster-Testbericht (Teil 1)

Firma		PI-Testplan		Projekt	
Datum		HF-LP-Vormustertest		Ausgabe	
Test Nr.	Merkmal/Testobjekt	Spezifikation	Ergebnis	Bemerkung	
12	Einschalten der Sender Minimale Betriebsspannung Trägerverzögerung Trägerunterdrückung	$\geq 6,5 \text{ V}$ $\leq 2 \text{ s}$ $\geq 50 \text{ dB}$		Die folgenden Positionen z.Z. nicht prüfbar	
13	Ausschalten der Sender Trägerabfallzeit Trägerunterdrückung Geräuschspannungsabstand bezogen auf Spitzenhub	$\leq 0,5 \text{ ms}$ $\geq 50 \text{ dB}$ $\geq 50 \text{ dB}_{\text{peak, unw.}}$ gemessen über EM 1980, Abstand TX/RX 0,5 m	xx xx xx		
14	Automatische Trägerabschaltung Hysterese (Batterieerholung) Geräuschspannungsabstand bezogen auf Spitzenhub	$U_{\text{bat.}} \leq 6,5 \text{ V}$ $\geq 1,0 \text{ V}$, Wiedereinschaltung nur durch Betätigung der "On"-Taste $\geq 50 \text{ dB}_{\text{peak, unw.}}$ gemessen über EM 1980, Abstand TX/RX 0,5 m	xx xx xx		
15	Rückwirkungen auf den VCO Geräuschspannungsabstand bei Antennen/Gehäuse-Berührung bei Betätigung der Bedienelemente	ohne HDX, bezogen auf Spitzenhub, innerhalb der Schaltbandbreite $\geq 30 \text{ dB}_{\text{peak, unw.}}$ (Plopp) $\geq 40 \text{ dB}_{\text{peak, unw.}}$	xx xx		
16	Mikrofonie (Klopfempfindlichkeit) Geräuschspannungsabstand (ohne HDX, MIC - 30 dB)	$\geq 50 \text{ dB}_{\text{peak, unw.}}$	xx		
17	Betriebszeit	$\geq 8 \text{ h}$	xx		
18	Temperatur Frequenzstabilität bei 870 MHz	- 10 °C bis + 55 °C $\leq \pm 10 \text{ kHz}$ im Temperaturbereich	xx	4 Corner-Test! Meßgrößen: Empfindlichkeit, HF-Pegel, Klirrfaktor, Stromaufnahme, Hubkonstanz, etc.	
19	Feuchte, Schock		xx	siehe detaillierte Qualitätsanforderungen	
20	Programmierschnittstelle	Anlöt kabel + Spezial-Interface	xx		
21	Zulassungen	ETS 300 422, ETS 300 445 (CE), UL	xx		

Bild A.8: Beispiel für ein Vormuster-Testbericht (Teil 2)

Firma		PI-Testplan		Projekt	
Datum		Entwicklungsmustertest		Ausgabe	
Test Nr.	Merkmal/Testobjekt	Spezifikation	Ergebnis	Bemerkung	
	Allgemeines Frequenzbereiche Umschaltbare Senderfrequenzen:	5 abstimmbar in 25 kHz - Schritten	OK	804 - 836 MHz Meßfrequenz: 820 MHz Δf (22°C) = 80 Hz	
1	Betriebsspannung Nennspannung 9 V _{DC} Mikrofonspeisung	6 – 10 V _{DC} Tonaderspeisung für Elektretmikrofone	OK 8,25 V 500 µA	Kurzschlußstrom/ GPH?	
2	Stromaufnahme bei ausgeschaltetem Sender bei Nennspannung	= 100 µA = 50 mA	200 µA 55 mA	n.i.O. n.i.O.	
3	HF-Ausgangsleistung an 50 ?	30 mW	ca. 1 mV	600 µW bei 836 MHz	
4	Nennhub/Spitzenhub bei 1 kHz _{NF} Eingangsspannung (Spitzenhub, 1kHz _{NF}) Einstellung (± 2 dB) Signal-Rauschabstand (Spitzenhub, mit HDX) Phasenlage U _{IN} / Hub (1 kHz _{NF}) Hubkonstanz innerhalb der Schaltbandbreite	= ± 40 kHz / = ± 56 kHz MIC (V _{eff}) LINE (V _{eff}) 0,32 1,0 0,10 0,32 0,032 0,10 0,010 0,032 MIC(dB _{Aeff}) LINE(dB _{Aeff}) = 100 invertierend (MIC) / nicht invertierend (LINE) = ± 1 dB	siehe extra Tabelle! siehe extra Tabelle! OK	OK	
5	Nebenwellenaussendungen 47-74 MHz 87,5-118 MHz 174-230 MHz 470-862 MHz übrige Freq. < 1GHz f > 1 GHz	= 4 nW = 250 nW = 1 µW	< 20 pW < 5 pW OK	bis 13 GHz gemessen	
6	Oberwellenaussendungen	= 1 µW	< 90 pW		
7	Intermodulationsabstand (± 400 kHz)	= 30 dB, Abstand der Antennen = 10 cm	-	z.Zt. nicht zu messen (Messung in Entw.)	
8	Belegte Bandbreite (-20 dBc) (-60 dBc)	= 140 kHz = 200 kHz	-	Messung später	
9	Klirrfaktor bei Nennhub 1 kHz _{NF} , Expander Ein	= 0,5 %	~ 0,7 %	zu hoch! (~ 0,2 %)	
10	Frequenzgang (Expander Ein) 100 Hz bis 16 kHz 200 Hz bis 8 kHz Abfall unterhalb 80 Hz/40 Hz (MIC/LINE) Abfall oberhalb 18 kHz	= ± 3 dB = ± 1 dB = 12 dB/Okt = 18 dB/Okt	OK OK 40 Hz: -3 dB 18 kHz: -0,5 dB	4 kHz Hub! 80 Hz: 0 dB 36 kHz: 36 dB	

Bild A.9: Beispiel für einen Entwicklungsmuster-Testbericht (Teil 1)

Firma		PI-Testplan			Projekt
Datum		Entwicklungsmustertest			Ausgabe
11	Störspannungsabstand VCO bezogen auf Spitzenhub innerhalb der Schaltbandbreite Rumpel- Fremdspannungsabstand	= 65 dB _{Aeff} = 60 dB _{unweff} = 55 dB _{CCIRpeak} = 55 dB _{peak}	67 dB _{Aeff} 66 dB _{unw.} 57 dB _{ccirpeak}	62 dB _{Aeff} (836 MHz) 40 dB _{unw.} (836 MHz)	
12	Einschalten der Sender Minimale Betriebsspannung Trägerverzögerung Trägerunterdrückung	= 6,5 V = 2 s = 50 dB	6,7 V OK OK	n.i.O. ?!	
13	Ausschalten der Sender Trägerabfallzeit Trägerunterdrückung Geräuschspannungsabstand bezogen auf Spitzenhub	= 0,5 ms = 50 dB = 50 dB _{peak, unw.} Abstand TX/RX 0,5 m	-	Messung noch nicht klar!	
14	Automatische Trägerabschaltung Hysterese (Batterieerholung) Geräuschspannungsabstand bezogen auf Spitzenhub	U _{bat.} = 6,5 V = 1,0 V, Wiedereinschaltung nur durch Betätigung der "On"-Taste = 50 dB _{peak, unw.} Abstand TX/RX 0,5 m	5,0 V 5,1 V geändert! -	schwingt, bis er abschaltet! nicht meßbar, da er nicht sauber abschaltet!	
15	Rückwirkungen auf den VCO Geräuschspannungsabstand bei Antennen/Gehäuse-Berührung bei Betätigung der Bedienelemente	ohne HDX, bezogen auf Spitzenhub, innerhalb der Schaltbandbreite = 30 dB _{peak, unw.} (Plopp) = 40 dB _{peak, unw.}	Antenne OK Gehäuse nur 30 dB	Störung durch Anzeige!	
16	Mikrofonie (Klopfempfindlichkeit) Geräuschspannungsabstand (ohne HDX, MIC - 30 dB)	= 50 dB _{peak, unw.}	-20dB _{peak.unw.}	schlecht!	
17	Betriebszeit Normalbetrieb	> 8 h	-	Messung später!	
18	Temperatur Frequenzstabilität bei 870 MHz	- 10 °C bis + 55 °C = ± 10 kHz im Temperaturbereich	siehe extra Tabelle!	<i>4 Corner-Test!</i> Meßgrößen: Empfindlichkeit, HF-Pegel, Klirrfaktor, Stromaufnahme, Hubkonstanz, etc.	
19	Feuchte, Schock		-	Messungen später!	
20	Programmierschnittstelle	Anlöt kabel + Spezial-Interface	-	Anforderung noch unklar!	
21	Zulassungen	ETS 300 422, ETS 300 445 (CE), UL	-	Messungen später!	

Bild A.9: Beispiel für einen Entwicklungsmuster-Testbericht (Teil 2)

Firma		PI-Testplan						Projekt	
Datum		Entwicklungsmuster-Statusbericht						Ausgabe	
Nr.	Test	Status	Rev. Stand	letzte Aktivität	Datum	Bemerkung	nächst. Tätigk.	Datum	
1	Betriebsspannung	i.O.	1		22.01.	Reset n.i.O.			
2.1	Stromaufnahme "ON"	i.O.	1		22.01.				
2.2	Stromaufnahme "OFF"	n.i.O	1		22.01.	gef. max. 100µA ist : 240 µA		18.02.	
3	HF-Ausgangsleistung	n.i.O	1			10 dB zu wenig		18.02.	
4	Nennhub/Spitzenhub Eingangsspannung/ Signal-Rauschabstand Phasenlage Hubkonstanz	n.i.O i.O. i.O. i.O.	1		22.01.	Spezifikationen geändert		18.02.	
5	Nebenwellenaussend.		1			nicht meßbar		18.02.	
6	Oberwellenaussend.	i.O.	1		22.01.				
7	Intermodulationsabst.		1			nicht meßbar		18.02.	
8	Belegte Bandbreite	i.O.	1		03.02.				
9	Klirrfaktor bei Nennhub	i.O.	1		22.01.				
10	Frequenzgang	≈	1		04.02.	ja und nein !?		18.02.	
11	Störspannungsabstand VCO - Rumpel- Fremdspannungsabst.	n.i.O	1		22.01.			18.02.	
12	Einschalten der Sender	i.O.	1		22.01.				
13	Ausschalten der Sender		1			noch nicht gepr.		18.02.	
14	Automatische Trägerabschaltung	n.i.O	1		22.01.			18.02.	
15	Rückwirkungen auf den VCO	n.i.O	1		22.01.			18.02.	
16	Mikrofonie (Klopfempfindlichk.)	n.i.O	1		22.01.			18.02.	
17	Betriebszeit	i.O.	1						
18	Temperatur - Frequenzstabilität		1		26.01.	nicht meßbar Sender schwingt		18.02.	
19	Feuchte, Schock					nicht mit LabMu			
20	Programmierschnittst.					noch nicht gepr.		18.02.	
21	Zulassungen					mit Prototyp			

noch fehlende Messungen:
Nr. 13, 20 und eine HF-Einstrahlungsmessung (Störfestigkeitsprüfung) hinsichtlich Mikrofonkapsel mit Sender sind nach der Reparatur des Entwicklungsmusters noch vorzunehmen.

nächste Entwicklungstätigkeiten:
Nr. 2.2, 3, 4 (neue Spezifikationen in Pflichtenheft definieren), 11, 14, 15, 16
- die mit "nicht meßbar" gekennzeichneten Punkte können erst mit Erreichen der HF-Leistung bewertet werden.

zu Nr. 10:
Das unterschiedliche Frequenzgangverhalten über die verschiedenen Eingangsempfindlichkeits-einstellungen des Senders im Zusammenspiel mit der Akustik ist genauer zu untersuchen und entsprechend zu bewerten.

Bild A.10: Beispiel für einen Statusbericht eines Entwicklungsmusters

Nr.	Test/Funktion	Problem	Maßnahme	Verantw.	Termin	erledigt	Datum	Firma
							Ergebnisse aus Entwicklungsmuster-Design Review	
1	Einschalten Sender ab 6,5V	schaltet erst bei 6,7V ein	beforschen		23.03.		PI-Maßnahmenplan	
2	Abschaltung bei UB < 6,5V	geht bei 5V unkontrolliert aus, und ab 5,1 V mit Schwingneigung wieder an	Beforschung wie bei KM - gleiches Modul betroffen		23.03.			
3	Abschaltzeit	noch nicht geprüft - Zeitmangel	Prüfung mittels Eingriff in Gerät		16.03.			
4	Stromaufnahme	Stromaufnahme um 5mA zu hoch; Ruhestromaufnahme um 120µA zu hoch	beforschen		23.03.			
5	Mikrofonspeisung	Kurzschlußstromangabe fehlt im Pflichtenheft	Wert 500µA in techn. Daten aufnehmen		23.03.			
6	Hf-Ausgangsleistung	Leistung um 15dB zu gering	Beforschung wie bei KM - gleiches Modul betroffen		23.03.			
7	Belegte Bandbreite	Messung steht noch aus	Messung durchführen		16.03.			
8	Intermodulationsabstand	erst prüfbar mit mehreren Sendern	wird mit Funktionsmustern überprüft		23.03.			
9	NF-Frequenzgang	nur für den Line-Eingang aufgenommen. Daten OK	Messung über Mic-Eingang mit und ohne Mic's noch durchführen		16.03.			
10	Rückwirkung auf VCO	Antennenplopp OK, Gehäuse nur knapp 30dB Unterdrückung	keine, da Wert noch OK		23.03.			
11	Betätigung der Bedienelemente	> 40dB S/Npeak, ungew. nicht OK, Störung bei blinkender Anzeige	Beforschung wie bei KM - gleiches Modul betroffen		23.03.			
12	Mikrofonie	nur -20dB S/Npeak, ungew. - geford. - 50dB	beforschen		23.03.			
13	Frequenzstabilität	PLL rastet ab -5°C und ab 35°C nicht mehr, Endstufe wird abgeschaltet, vorher beginnt Sender zu schwingen	beforschen		23.03.			
14	EMV-Test, Klasse 1 > 30dB SINAD	SINAD geht bis auf 18dB runter, bei 900MHz setzt Sender total aus!	beforschen		23.03.			
15	Programmierschnittstelle	zur Prüfung fehlt Adapter und entsprechende Software	Prüfmittel auch für PI erstellen		30.03.			
16	Nennhub / Spitzenhub	Specs weichen von GPH ab	Specs in techn. Daten aufnehmen					
17	Eingangsspegel f. Mic- und Line-Eingänge	derzeitige Mic's weisen größere Pegel auf	Pegelfestlegung im GPH überprüfen und neu definieren, Meßwerte für die erforderl. Eingangsspegel je Empfindlichkeitsstufe liegen vor.		16.03.			
18	Klirrfaktor bei Nennhub	Soll max. 0,5% - Ist 0,7%	beforschen		23.03.			
19	Antennenmontage	Antenne kann eventuell nicht optimal mit der Hand festgeschraubt werden	Bei Lieferanten nach optimalerer "Griffestigkeit" am Antennenfuß anfragen - mit Muster Rütteltest durchführen		23.03.			
							Ausgabe	

Bild A.11:

Beispiel für einen Maßnahmenplan

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Wulf Wiendl
Geburtsdatum	5. November 1969
Geburtsort	Vechta
Anschrift	Gut Bockerode 4, 31832 Springe
Staatsangehörigkeit	deutsch
Familienstand	verheiratet

Schulbildung

08/1976 - 07/1980	Martin-Luther-Schule Vechta
08/1980 - 07/1982	Orientierungsstufe-Süd Vechta
08/1982 - 05/1989	Gymnasium Antonianum Vechta

Wehrdienst

10/1989 - 09/1990	Grundwehrdienst beim 2. HTG 64 in Großenkneten
-------------------	--

Studium

10/1990 - 08/1996	Maschinenbaustudium an der Universität Hannover, Fachrichtung Energie- und Verfahrenstechnik
04/1994 - 10/1994	Auslandsstudium an der Kyushu University in Fukuoka, Japan

Berufstätigkeit

11/1996 - 09/1999	Stipendiat im Rahmen eines von der DFG geförderten Graduiertenkollegs am Institut für Mikrotechnologie der Universität Hannover
10/1999 - heute	Fertigungs Koordinator bei Blaupunkt-Werke GmbH (Bosch Gruppe), Hildesheim