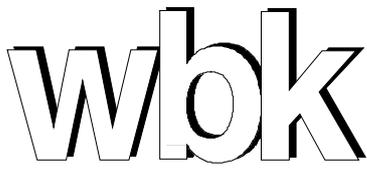


**Forschungsberichte
aus
dem Institut
für Werkzeugmaschinen
und Betriebstechnik
der
Universität Karlsruhe**

Marco Lanza

**Entwurf der Systemunterstützung des verteilten
Engineering mit Axiomatic Design**



**Forschungsberichte
aus
dem Institut
für Werkzeugmaschinen
und Betriebstechnik
der
Universität Karlsruhe**

Herausgeber: o. Prof. Dr.-Ing. H. Weule

Band 95

Marco Lanza

**Entwurf der Systemunterstützung des verteilten
Engineering mit Axiomatic Design**

Copyright: Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik
Universität Karlsruhe (TH), 1999

alle Rechte vorbehalten

Druck: Schnelldruck Ernst Grässer, Karlsruhe
Tel.: 0721/ 61 50 50

ISSN 0724-4967

**Entwurf der Systemunterstützung des verteilten
Engineering mit Axiomatic Design**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

von der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Karlsruhe (TH)

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Marco Lanza
aus Karlsruhe

Tag der mündlichen Prüfung: 01. Dezember 1999
Hauptreferent: o.Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath
Korreferent: o.Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl

Vorwort des Herausgebers

Der rasche Fortschritt der Produktionstechnik und der weltweite Wettbewerb um technisch-wirtschaftliche Spitzenpositionen machen einen intensiven Austausch von Wissen und Erfahrung zwischen Universitäten und der Industrie erforderlich. In diesem Sinne soll im Rahmen dieser Schriftenreihe in zwangloser Folge über aktuelle Forschungsergebnisse des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe berichtet werden.

Die Forschungsaktivitäten des Instituts umfassen neben der Untersuchung und Optimierung von Bearbeitungsverfahren, Maschinenkomponenten und Fertigungseinrichtungen insbesondere Aufgabenstellungen, die durch Nutzung informationsverarbeitender Systeme eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit fertigungstechnischer Einrichtungen und deren informationstechnisch-organisatorische Einbindung in automatisierte Produktionssysteme ermöglichen.

Hartmut Weule

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe (TH).

Der kollegialen Leitung des Instituts, Herrn o.Prof. Dr.-Ing. Hartmut Weule, Herrn o.Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath und Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt möchte ich für die fachliche und persönliche Unterstützung während dieser Zeit meinen Dank ausdrücken.

Mein Dank gilt im besonderen Herrn o.Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath für die Übernahme des Hauptreferates und die mir dadurch zuteil gewordene konstruktive Förderung meiner wissenschaftlichen Arbeit.

Herrn o.Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl danke ich für das der Arbeit entgegengebrachte Interesse und für die Übernahme der Korreferates.

Mit den Herren Prof. Nam P. Suh und Dr. Derrick Tate blicke ich auf eine erfolgreiche Teamarbeit bei meinem Forschungsaufenthalt am Massachusetts Institute of Technology (MIT) zurück. Für die intensive Förderung der Arbeit danke ich Ihnen sehr.

Mein Dank gilt weiterhin allen Mitarbeitern des Instituts, Hilfsassistenten und Studenten, die durch ihre wertvollen Anregungen zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben sowie den Mitarbeitern der Unternehmen mit denen ich gemeinsam die erarbeiteten Ergebnisse anwenden durfte.

Besonderer Dank gilt Frau Claudia Herdle und Herrn Dipl.-Inform. Gebhard Selinger zum einen für die berufliche Zusammenarbeit, aber insbesondere für die entgegengebrachte Freundschaft. Beide stehen für mich stellvertretend für das am wbk gelebte Leitbild.

Meinen Eltern danke ich dafür, daß Sie mir diesen Weg ermöglicht haben. Sie gaben mir jene Perspektiven, die für sie selbst zu jener Zeit nicht möglich waren. Vor allem gilt mein Dank jedoch meiner Frau Gisela, ohne sie wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Karlsruhe, im Dezember 99

Marco Lanza

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	AUSGANGSSITUATION	1
1.2	THEMENSTELLUNG UND AUFBAU DER ARBEIT	2
2	GRUNDLAGEN DES VERTEILTEN ENGINEERING	4
2.1	DER PROBLEMLÖSUNGSPROZEß	4
2.1.1	<i>Elementartätigkeiten beim Problemlösungsprozeß.....</i>	<i>4</i>
2.1.2	<i>Zusammenarbeit mehrerer Problemlöser</i>	<i>6</i>
2.2	ANFORDERUNGSSPEZIFIKATION FÜR EINE ZIELORIENTIERTE METHODE IM VERTEILTEN ENGINEERING.....	9
2.2.1	<i>Unterstützung des intrapersonellen Engineering.....</i>	<i>10</i>
2.2.2	<i>Unterstützung des interpersonellen, direkten Engineering.....</i>	<i>16</i>
2.2.3	<i>Unterstützung des interpersonellen, dezentralen Engineering</i>	<i>22</i>
2.2.4	<i>Zusammenfassender Überblick der Anforderungen.....</i>	<i>23</i>
2.3	METHODEN FÜR DEN ENGINEERINGPROZEß	23
2.3.1	<i>Methoden zur Aufgabenklärung</i>	<i>24</i>
2.3.2	<i>Methoden zur Aufgabenstrukturierung</i>	<i>26</i>
2.3.3	<i>Methoden zur Lösungssuche</i>	<i>28</i>
2.3.4	<i>Methoden zur Lösungsanalyse</i>	<i>31</i>
2.3.5	<i>Methoden zur Lösungsbewertung und –entscheidung</i>	<i>35</i>
2.3.6	<i>Integrierend wirkende Methoden</i>	<i>38</i>
2.3.7	<i>Zusammenfassender Vergleich und Methodenauswahl</i>	<i>40</i>
2.4	IUK-TECHNOLOGIEN FÜR DAS VERTEILTE ENGINEERING	41
2.4.1	<i>Standard-Softwarelösungen</i>	<i>42</i>
2.4.2	<i>Vorgehensweise zur Erweiterung der Standard-Softwarelösungen.....</i>	<i>45</i>
3	LÖSUNGSANSATZ ZUM METHODENGESTÜTZTEN, VERTEILTEN ENGINEERING	48
4	SYSTEMANFORDERUNGEN UND -ENTWURF MIT AXIOMATIC DESIGN.....	51

4.1	DEFINITION DER OBERSTEN SYSTEMANFORDERUNGEN	51
4.2	KONKRETISIERUNG MIT DEM ZIEL DER PROZESSBESCHLEUNIGUNG.....	57
4.2.1	<i>Verteilungsmanagement</i>	59
4.2.2	<i>Änderungswesen</i>	65
4.2.3	<i>Kompetenzmanagement</i>	68
4.2.4	<i>Methodenmanagement</i>	71
4.3	ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG.....	76
5	STATISCHER UND DYNAMISCH-FUNKTIONALER OBJEKTENTWURF.....	79
5.1	TEILMODELLE FÜR DAS VERTEILUNGSMANAGEMENT	79
5.2	TEILMODELLE FÜR DAS ÄNDERUNGSWESEN	81
5.3	TEILMODELLE FÜR DAS KOMPETENZMANAGEMENT	85
5.4	TEILMODELLE FÜR DAS METHODENMANAGEMENT	86
5.5	STATISCHES OBJEKTMODELL	91
6	BEISPIELHAFTE ANWENDUNG IM PROJEKT „THIXOCASTING ANLAGE“	92
6.1	VORSTELLUNG DES ENGINEERINGPROJEKTS	92
6.2	EINSATZ DES MODELLS ZUM KOOPERATIVEN ENGINEERING	94
6.2.1	<i>Konfiguration des Standard EDM-Systems: CADIM/EDB</i>	94
6.2.2	<i>Implementierung des Zugriffs über Intranet/Extranet</i>	101
6.3	ERFAHRUNGEN UND DISKUSSION.....	103
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	107
8	ANHANG: DIE METHODE "AXIOMATIC DESIGN"	109
8.1	DEFINITIONEN.....	109
8.2	CONSTRAINTS	110
8.3	ENTWICKLUNGSBEREICHE - <i>DESIGN DOMAINS</i>	111
8.4	INDEPENDENCE AXIOM.....	112
8.5	INFORMATION AXIOM.....	115
9	REFERENZEN.....	118

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Der Standort Deutschland verfügt über hervorragend ausgebildete Ingenieure und zeichnet sich weniger als Produktionsstandort für lohnintensive Fertigung, sondern vielmehr als „Engineering“-Standort aus. Somit erfordert die Markt- und Wettbewerbssituation der Unternehmen in der Bundesrepublik Deutschland den stetigen Einsatz effektiverer Arbeitsmethoden und Techniken, um im internationalen Konkurrenzkampf weiterhin den bisherigen Stellenwert der deutschen Industrie sicherzustellen. Dabei stehen insbesondere die Tätigkeiten des Engineering im Fokus der hiesigen Konstruktions- und Produktionswissenschaft¹. Unter Engineering soll hierbei das zielgerichtete Entwickeln, Konstruieren, Planen und Projektieren im Bereich der Produktentwicklung und Produktion verstanden werden.

Erfahrungswerte bezüglich Entwicklungskosten, Produktionskosten und Lieferzeit zeigen, daß die Kosten im Engineeringbereich langfristig ein Senkungspotential zwischen 30% und 50% beinhalten².

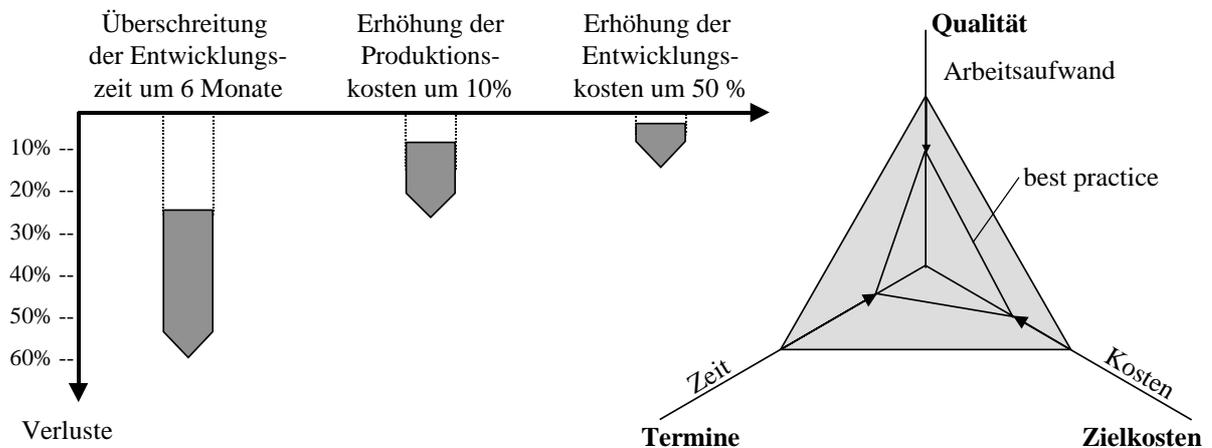


Abbildung 1.1: Spannungsfelder des Engineering am Beispiel der Produktentwicklung³

Den entscheidende Erfolgsfaktor liefert jedoch die Verkürzung der Engineeringzeiten (siehe am Beispiel Entwicklungszeit in Abbildung 1.1). Aus Untersuchungen⁴ resultiert, daß die Entwicklungszeit eines Produktes den Gewinn bzw. den Verlust eines

¹ vgl. (Abeln 1997), S. 1.

² vgl. (Bürgel 1995).

³ vgl. (Krause, et al. 1999), S. 3.

⁴ vgl. (Ebert 1992), (Meerkamm 1995), (Schmelzer 1990) und (Schacher 1992).

Unternehmens stärker als die Entwicklungs- und Produktionskosten beeinflusst⁵. Maßnahmen zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit entfalten im Bereich des Engineering ihre größte Wirkung, wenn sie darauf ausgerichtet sind, den *Produktentstehungsprozess zu beschleunigen*⁶.

1.2 Themenstellung und Aufbau der Arbeit

Die konsequente Verfolgung von Konzepten zur Verkürzung der Engineeringzeiten befürwortet die Ablösung der traditionellen, am Taylorismus orientierten abteilungsspezifischen und begrenzten Aufgabenbearbeitung durch fachübergreifendes, kooperatives Handeln⁷. Die Notwendigkeit für verteilte kooperative Arbeitsformen im Engineering bestätigt sich nicht nur innerbetrieblich durch die Bildung von fachübergreifenden Arbeitsgruppen, sondern infolge des Trends zur Verringerung der Entwicklungstiefe (*Outsourcing*) zunehmend auch überbetrieblich zwischen miteinander kooperierenden Unternehmen. Dies können zum einen Hersteller, Zulieferer und Systemlieferanten⁸ (*Supplier Chain*) sein, die neben ihrer Fertigungskapazität auch ihr konstruktives Know-How einbringen, zum anderen externe Ingenieurbüros, die bestimmte Planungsleistung übernehmen.

Diese Trends zu betriebsübergreifender Zusammenarbeit mit externen Partnern bis hin zur Bildung von Geschäftsverbänden oder virtuellen Unternehmen⁹ findet unter dem Begriff der *Kooperation* Ausdruck. Gründe hierfür sind das bereits genannte Bestreben nach kürzeren Produktentwicklungszyklen, die in vielen Bereichen gestiegene Komplexität der Produkte und insbesondere das Einhalten von Zielkosten, welches unter dem Begriff „Design to Cost“¹⁰ Ausdruck findet. Durch das kooperative verteilte Engineering soll die Nutzung von standortspezifischem Wissen und Werkzeugen und den damit verbunden Kompetenzen ausgenutzt werden.

Eng verbunden mit dem Trend zur immer stärkeren Verteilung von Engineeringprozessen ist die Methodik, diese Abläufe zu parallelisieren. Diese Strategie wird heute mit den bekannten Begriffen *Simultaneous* bzw. *Concurrent Engineering* und *Continuous Engineering*¹¹ bezeichnet.

⁵ vgl. (Weule 1996).

⁶ vgl. (Abeln 1997), S. 15-16.

⁷ vgl. (Milberg 1992) und (Ochs 1992).

⁸ vgl. (Jansen 1997).

⁹ weitergehende Literatur zu *virtuellen Unternehmen* vgl. (Schröder 1996), (Picot und Reichwald 1994).

¹⁰ vgl. (Ehrlenspiel, et al. 1998).

¹¹ Literatur zu *Simultaneous Engineering* vgl. (Beitz, et al. 1994), (Spur und Krause 1997); *Concurrent Engineering* vgl. (Krömker, et al. 1994) und *Continuous Engineering* vgl. (Grein 1997).

Handlungsbedarf besteht in der Entwicklung und Integration rechnergestützter Verfahren, Methoden und Techniken, die den Brückenschlag zwischen den einzelnen Engineeringaufgaben vollziehen, angefangen von der Angebotserstellung und Konstruktion über die Planung von Produktionssystemen bis hin zur Teilefertigung¹².

Für eng abgegrenzte Problemstellungen können die verschiedenen Bereiche einer Engineeringaufgabe als zeitliche Abfolge in der Planung gelten. Der streng chronologische Ablauf ist aber im allgemeinen nicht gegeben, da sich Lösungen in späteren Abschnitten als fehlerhaft erweisen können und nochmals verifiziert werden müssen. Grundsätzlich fehlt eine *Optimierung des Informationsaustausches* zwischen den Aufgabebereichen. Dieses Defizit betrifft einerseits die Integration aus datentechnischer Sicht, andererseits die Nutzung einheitlicher Methoden in allen Phasen des Planungszyklus¹³.

Durch die Notwendigkeit zur Teamarbeit bzw. zum Eingehen von Kooperationen besteht die Forderung ein verteiltes rechnergestütztes Informationsmanagement zur Verfügung zu stellen, was bedeutet, diese Methoden unter der Zielsetzung der Informationslogistik zu integrieren.

Die Arbeit ist dabei entsprechend Abbildung 1.2 strukturiert.

Kap. 6	Beispielhafte Anwendung im Projekt „Thixocasting Anlage“
	<ul style="list-style-type: none"> • Modellanwendung durch Systemkonfiguration, Bewertung und Diskussion im Rahmen des kooperativen Engineeringprojekts „Entwicklung einer Thixocasting Anlage“
Kap. 5	Statischer und dynamisch-funktionaler Objektentwurf
	<ul style="list-style-type: none"> • Entwurf der Entitäten, Relationen und Prozeduren in Entity Relationship Notation, Prozeß-Status- und Flußdiagrammen
Kap. 4	Systemanforderungen und -entwurf mit Axiomatic Design
	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse der Anforderungen und Entwurf der Zielarchitektur mit Axiomatic Design • Definition der Functional Requirements und Design Parameters zur Konkretisierung
Kap. 3	Lösungsansatz zum methodengestützten, verteilten Engineering
	<ul style="list-style-type: none"> • Festlegung der Hauptzielsetzung und Lösungsbausteine • Ableitung der konkreten Vorgehensweise
Kap. 2	Grundlagen des verteilten Engineering
	<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungsspezifikation, Bewertung und Auswahl von Methoden zum verteilten Engineering; Grundlagen zu Informations- und Kommunikationstechnologien

Abbildung 1.2: Weiterer Aufbau der wissenschaftlichen Arbeit

¹² vgl. (Grabowski 1992), S. 1.

¹³ vgl. (Steinwasser 1997), S. 16.

2 Grundlagen des verteilten Engineering

Die im vorherigen Kapitel erläuterten Trends zum Eingehen von Kooperationen können durch den Begriff des *verteilten Engineering* zusammenfassend ausgedrückt werden. Der Begriff „Engineering“ definiert das aktive und zielgerichtete Gestalten¹⁴. Unter „verteilt“ ist das Engineering zwischen mehreren Personen bis hin zu mehreren Unternehmen zu verstehen. Im Rahmen dieser Arbeit definiert das verteilte Engineering die kooperative Zusammenarbeit eines räumlich verteilten Konstruktions- bzw. Planungsteams, welche direkte, standortgebundene Teams als auch Beiträge einzelner Teammitglieder voraussetzt.

Aufbauend auf dem zugrundeliegenden Problemlösungsprozeß werden Anforderungen an eine zielorientierte Methode abgeleitet. Anhand dieses Anforderungskataloges werden Methoden im Entwicklungs- und Planungsprozeß analysiert und bewertet. Die Integration der ausgewählten Methode in eine übergreifende Engineeringprozeßkette zeigt den Handlungsbedarf bezüglich Rechnerunterstützung durch aktuelle Informations- und Kommunikationstechnologien.

2.1 Der Problemlösungsprozeß

In diesem Kapitel soll der Problemlösungsprozeß an sich betrachtet und zusätzlich die besonderen Aspekte der *Zusammenarbeit mehrerer Problemlöser* erläutert werden.

2.1.1 Elementartätigkeiten beim Problemlösungsprozeß

Den Aufgaben des Engineering liegen bestimmte *Elementartätigkeiten beim Problemlösen* zugrunde, deren Allgemeingültigkeit durch die Gegenüberstellung verschiedener Beschreibungen des Problemlösungsprozesses aus der Literatur nachgewiesen werden kann.

Nach Ehrlenspiel¹⁵ besteht der Vorgehenszyklus für den Problemlösungsprozeß (siehe Abbildung 2.1 links) aus den drei großen Arbeitsschritten **I) Aufgabenklärung** (Zielsuche) **II) Lösungssuche** und **III) Lösungsauswahl**, die jeweils wieder unterteilt werden können.

¹⁴ vgl. (Gerhardt und Schmied 1996), S. 19.

¹⁵ vgl. (Ehrlenspiel 1995), S. 79ff.

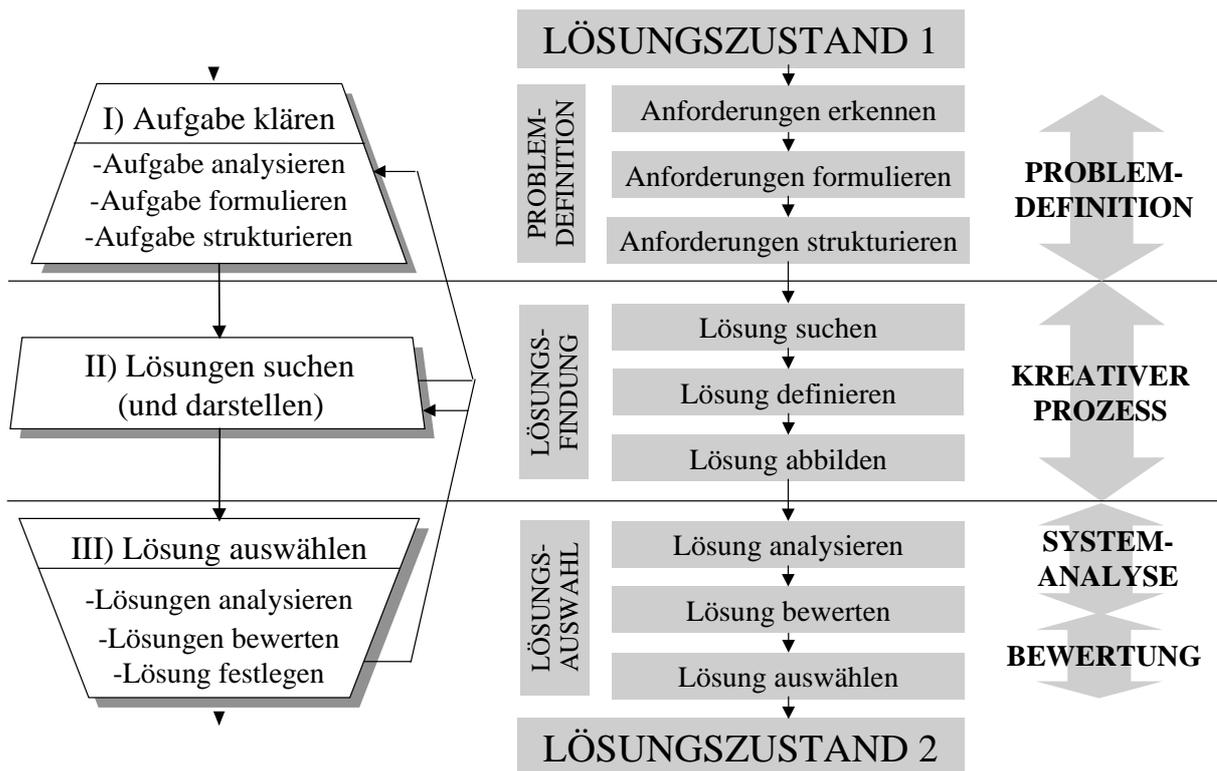


Abbildung 2.1: Gegenüberstellung der Elementartätigkeiten beim Problemlösen nach Ehrlenspiel (links), Kläger (Mitte) und Suh (rechts)

Ähnlich diesem Vorgehenszyklus stellt Kläger¹⁶ den Problemlösungsprozess als eine nicht weiter aufteilbare Sequenz aufeinanderfolgender Elementartätigkeiten dar, die ausgehend von einer Anforderungsspezifikation (*Problemdefinition*) einen Lösungszustand 1 in einen verbesserten Lösungszustand 2 überführen und anhand der Anforderungsspezifikation verifizieren, d.h. auf Erfüllung überprüfen (*Lösungsauswahl*).

Nach Suh¹⁷ können vier grundsätzliche Aspekte in den Vorgehenszyklus des Problemlösungsprozesses eingeordnet werden: Die *Problemdefinition* resultierend in der Definition der *Functional Requirements* (funktionalen Anforderungen) und *Constraints* (Restriktionen). Der *creative Prozess* (Synthese), der die *Design Parameters* (Lösungsmerkmale) festlegt. Die *Systemanalyse*, die determiniert, ob die vorgeschlagene Lösung korrekt, rational und mit der Problemdarstellung konsistent ist und schließlich die *Bewertung* des Systementwurfes (vgl. Abbildung 2.1 rechts).

Weitere den Problemlösungsprozess abbildende Phasenmodelle finden sich bei Pahl und Beitz, VDI 2222, Wertanalyse- Arbeitsplan (DIN 69910), REFA-6-Stufen Methode

¹⁶ vgl. (Kläger 1993).

¹⁷ vgl. (Suh 1990), S. 6ff.

und in der *Systemtechnik*¹⁸. Eine Gegenüberstellung dieser verschiedenen Problemlösungsmethoden sowie weitere Vergleiche mit der *natürlichen Evolution*¹⁹ und dem „*ABC des Konstruierens*“²⁰ zeigen, daß die Begriffe und deren Reihenfolge ähnlich sind und sich daraus eine Allgemeingültigkeit des gezeigten Vorgehenszyklus ableiten läßt.

2.1.2 Zusammenarbeit mehrerer Problemlöser

Nachdem die Elementartätigkeiten des allgemeinen Problemlösungsprozesses dargestellt wurden, sollen in diesem Abschnitt die Besonderheiten der Zusammenarbeit mehrerer Problemlöser beschrieben werden. Diese Zusammenarbeit wird erforderlich²¹, wenn

- die Art der Problemstellung derart komplex oder kompliziert ist, daß verschiedene Qualifikationen der Problemlöser erforderlich sind oder
- die für die Problemlösung verfügbare Zeit erheblich reduziert werden soll.

Auf Ansätze und Tendenzen, die zu diesem Organisationswandel führen und in erster Linie die *Reduzierung der Produktentwicklungszeit* anstreben, wurde bereits in Kapitel 1 ausführlich eingegangen.

Eine enge Zusammenarbeit der an der Entwicklung beteiligten Personen sowie deren Koordination und Information kann durch arbeitsorganisatorische und qualifikatorische Maßnahmen erreicht werden²². Grundsätzliche Begriffe müssen hierzu vorab geklärt werden:

Was ist unter einer Gruppe, was unter einem Team zu verstehen?

Eine **Gruppe** bezeichnet mehrere Personen, die sach- oder prozeßbezogen zusammenarbeiten. Ist die Gruppe zielorientiert mit der Bewältigung einer gemeinsamen Aufgabe beschäftigt, so spricht man von einem **Team** (auch Projektgruppe genannt)²³. Teams werden ad hoc zur Lösung eines bestimmten Problems gebildet und bestehen meist nur eine befristete Zeit. Häufig verfügen sie über eine interdisziplinäre, fachü-

¹⁸ vgl. (Pahl und Beitz 1993), (VDI-2222 1977), *Wertanalyse- Arbeitsplan* (DIN-69910 1987), *REFA-6-Stufen Methode* in (REFA 1975) und *Systemtechnik* in (Dänzer und Huber 1992).

¹⁹ Bei der natürlichen Evolution tritt „neue Lösungen durch zufällige Mutation“ und „Selektion während des Lebens“ an die Stelle von Arbeitsabschnitt II) und III) in Abbildung 2.1 links. Nur der Abschnitt I) „Aufgaben klären“ fällt weg, vgl. (Ehrlenspiel 1995).

²⁰ Im „ABC des Konstruierens“ steht **A** für Aufgaben, Anforderungen klären, **B** für Bestandsaufnahme bezüglich bekannter oder möglicher Lösungen und **C** für Kritik (Analyse) und Lösungswahl (von frz. choisir = wählen), vgl. (Ehrlenspiel 1971), (Dänzer und Huber 1992).

²¹ vgl. (Rude 1998) S. 48.

²² vgl. (Abeln 1997) S. 94.

²³ vgl. (Ehrlenspiel 1995) S. 168.

bergreifende Zusammensetzung, was zur höheren Quantität und Qualität von Ideen und Meinungen, zu größerem Wissen und zu einer breiteren Urteilsbasis führt²⁴.

Nach dieser Begriffseinführung werden die notwendigen Arbeitsformen zur Lösungsfindung im verteilten Engineering dargestellt. Alle drei Arbeitsformen existieren innerhalb einer teamorientierten Kooperation parallel, da die Zusammenarbeit eines räumlich verteilten Engineeringteams (*interpersonelles, standortübergreifendes Engineering*), direkte Teams an einem Standort (*interpersonelles, direktes Engineering*) sowie individuelle Arbeitsbeiträge einzelner (*intrapersonelles Engineering*) voraussetzt.

Intrapersonelles Engineering

Das individuelle Problemlösungsverhalten, wie es im vorhergegangenen Abschnitt erläutert wurde, ist der intrapersonelle Beitrag zur Engineeringaufgabe. Durch die in Deutschland angewandten abendländischen Lehrmethoden ist das individuelle Lösungsverhalten primär auf die Entwicklung logisch analytischer Fähigkeiten ausgerichtet. Bestimmte Lösungsmuster, welche geprägt sind durch Erfahrungen, Normen und Fachwissen, verfestigen sich bei erfolgreichem Einsatz und schränken die Problemsensitivität ein. Dies kann zu einer begrenzten Aufmerksamkeit gegenüber neuen, komplexen Situationen führen²⁵.

Interpersonelles, direktes Engineering

Die Lösungsfindung in interdisziplinären Teams kann dieses individuelle Problemlösungsverhalten verbessern. Die Vorteile der flexiblen und dynamischen Team-Struktur des interpersonellen, direkten Engineering sind²⁶:

- höherer Motivation einzelner durch Eigenverantwortung
- eindeutige Kompetenzen
- schnelle, flexible und effiziente Reaktionsmöglichkeiten auf Anforderungsveränderungen
- sowie schnellerer Informationsfluß und schnellere Entscheidungen durch kurze Informations- und Entscheidungswege ohne Umwege über überforderte bzw. überlastete Hierarchieebenen

²⁴ vgl. (Grabowski und Rude 1999), S. 140-142 und (Petrovic 1993).

²⁵ vgl. (Örter 1967).

²⁶ vgl. (Rüdebusch 1993), (Teufel, et al. 1995).

Probleme können jedoch durch Nichtbeachten sog. *Soft Factors* oder *sozialer Kompetenzen* entstehen, wenn durch unterschiedliche Ausbildungen, Zielsetzungen, Erfahrungen und Begriffswelten der einzelnen Teammitglieder Barrieren entstehen oder durch Eigenprofilierung Denkmuster verfestigt werden.

Durch eine Formalisierung des Problemlösungsprozesses, insbesondere der erforderlichen Kommunikation können diese emotionalen und zwischenmenschlichen Reibungsverluste reduziert werden. Bei einer standortübergreifenden Lösungsfindung wird die Rechnerunterstützung notwendig (siehe Kapitel. 2.4), welche eine Formalisierung erzwingt. Dieser sogenannte *rechnerbasierte Formalisierungszwang*²⁷ gestaltet den Lösungsprozeß sachlich effizienter.

Interpersonelles, standortübergreifendes Engineering

Mit der Tendenz zu virtuellen Unternehmen wird auch die Lösungsfindung im Team unternehmensübergreifend. Dezentral zusammenarbeitende Spezialisten bilden über ein Netzwerk interdisziplinäre Engineeringteams. So können beispielsweise aufkommende Technologien schneller erkannt und in innovative Fertigungsprozesse umgesetzt werden²⁸. Der dezentrale Lösungsprozeß ermöglicht die zeitgleiche Bearbeitung von Aufgabenfragmenten als auch die zeitversetzte, verteilte Bearbeitung. Der Problemlösungsprozeß findet virtuell statt, und die Teams arbeiten an ihren Projekten vor Ort weiter.

In Abbildung 2.2 sind die drei Arten der Lösungsfindung in Engineering nochmals gegenübergestellt, um die Nachteile des intrapersonellen Lösungsprozesses gegenüber der team-orientierten Problemlösung zu verdeutlichen.

Beim intrapersonellen Engineering bleiben Lösungsaspekte außerhalb des Sichtfeldes (als Schatten im Bild dargestellt) unberücksichtigt. Diese verborgenen Lösungsalternativen können aufgrund der kultur-, alters- oder ausbildungsbedingten unterschiedlichen Problemlösungsstrategien im Team des interpersonellen, direkten Engineering gegenseitig „beleuchtet“ werden (durch hellen Schatten dargestellt). Der emotionale Filter, welcher sich im interpersonellen, dezentralen Engineering bildet, ist ebenso von Vorteil, da er eine durch die zur Übertragung von Informationen notwendige Formalisierung der Beiträge fordert.

²⁷ vgl. (Kurz 1998) S. 27.

²⁸ vgl. (Teufel, et al. 1995).

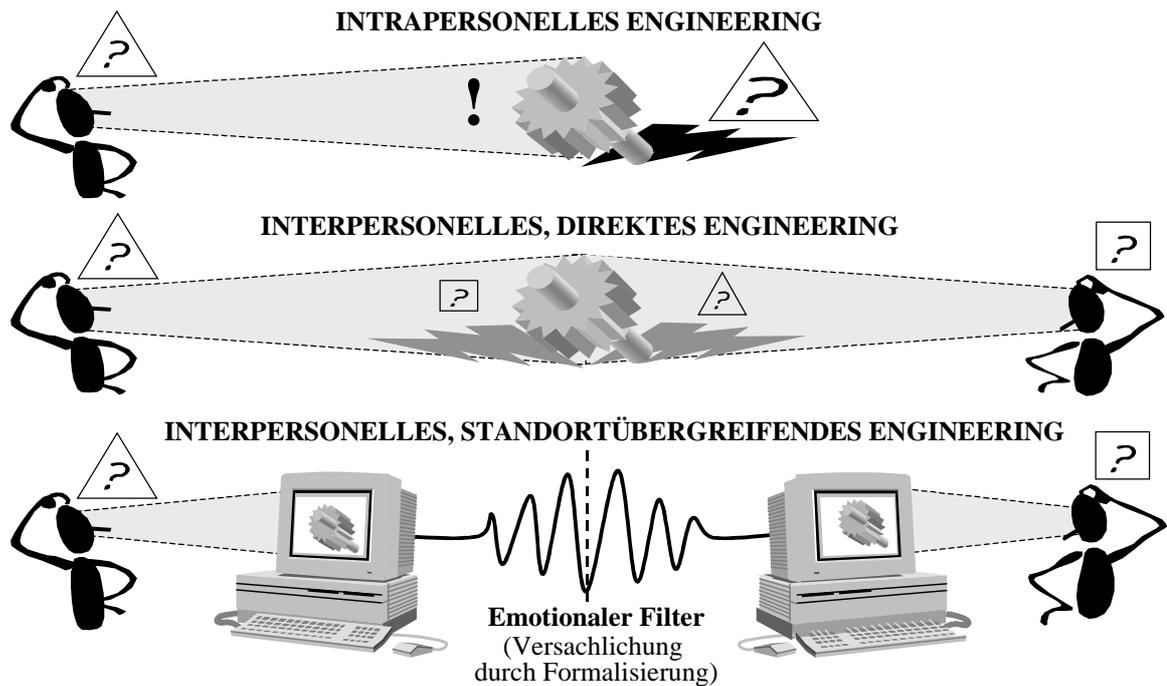


Abbildung 2.2: Sichtweisen auf Problemstellungen im Lösungsprozess in Anlehnung an Kurz²⁹

2.2 Anforderungsspezifikation für eine zielorientierte Methode im verteilten Engineering

Nach Abgrenzung des Aufgabengebiets und Klärung der theoretischen Grundlagen werden die notwendigen Anforderungen an eine „zielorientierte Methode“ spezifiziert. Wobei unter *Methoden* Vorgehensweisen und Anleitungen zum Handeln verstanden werden, die z.B. durch Ablaufpläne oder Berechnungsalgorithmen beschrieben werden können³⁰. *Zielorientierung* ist die Vereinbarung von Entwicklungszielen und soll zu einem Zielsystem führen, welches die Entwicklungsziele in unterschiedlicher Konkretisierung bzw. Detaillierung und zueinander gewichtet darstellt³¹.

Ausgehend von den drei betrachteten Arbeitsformen wird die Anforderungsspezifikation für eine zielorientierte Methode durch drei Ausgangsgrößen (siehe Abbildung 2.3) determiniert.

²⁹ vgl. (Kurz 1998) S. 28.

³⁰ vgl. (Ehrlenspiel 1985), S. 254.

³¹ vgl. (Kühnle und Spengler 1993).

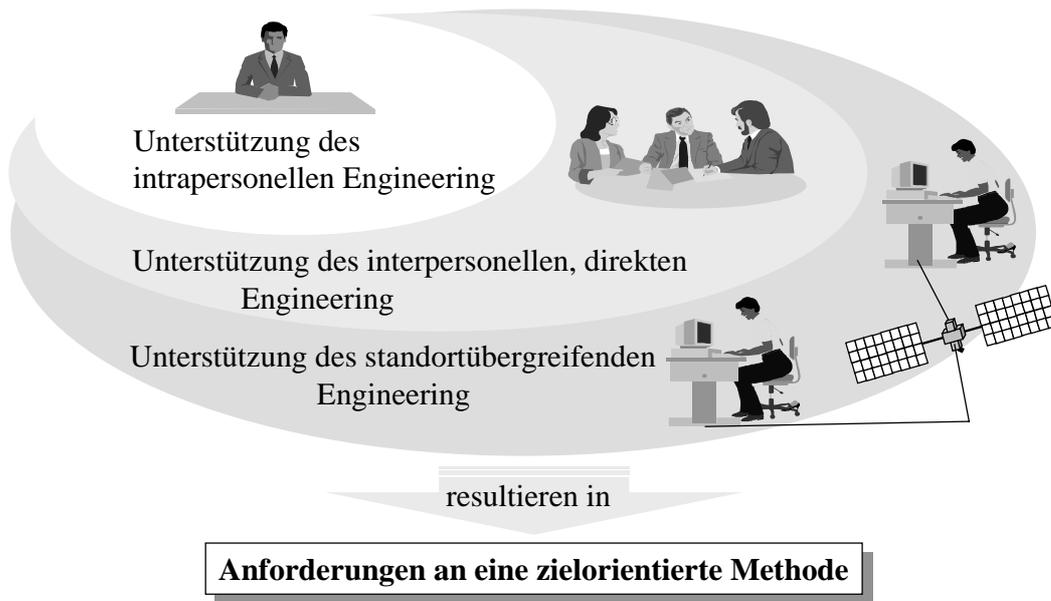


Abbildung 2.3: Ausgangsgrößen der Anforderungsspezifikation

Der schalenförmige Aufbau in Abbildung 2.3 stellt folgende Klassifizierung dar, beginnend mit den Kernanforderungen werden ausschließlich ergänzende Anforderungen betrachtet:

- *Anforderungen, welche sich aus der Unterstützung des Intrapersonellen Engineering ergeben bzw. aus den dargestellten Elementartätigkeiten des Problemlösungsprozesses abgeleitet werden können und die Kernanforderungen darstellen.*
- *Anforderungen, die sich ergänzend aus der Unterstützung des interpersonellen, direkten Engineering ergeben. Sie entstehen durch die Bedarfe des Projektmanagements zusätzlich zu den Elementartätigkeiten.*
- *Anforderungen, die darüber hinaus durch die Unterstützung des standortübergreifenden, dezentralen Engineering und der daraus resultierenden Rechnerunterstützung impliziert werden.*

2.2.1 Unterstützung des intrapersonellen Engineering

Ob kooperative Teamorganisation oder sequentielle Arbeitsorganisation im Unternehmen vorherrscht, der Arbeitsbeitrag des einzelnen Mitarbeiters setzt sich aus den wiederkehrenden *Grundtätigkeiten des Vorgehenszyklus beim Problemlösen* zusammen. (vgl. Abbildung 2.1 in Anlehnung an Ehrlenspiel³²) Die Anforderungen können mit der folgenden Fragestellung klassifiziert werden: „Was braucht der Planer, um diese einzelnen Grundtätigkeiten besser und schneller ausführen zu können?“

³² vgl. (Ehrlenspiel 1985), S. 309 ff.

2.2.1.1 Aufgabenklärung

Unter Aufgabenklärung wird definiert, „was“ in der Zukunft geschehen soll und welche Randbedingungen jeweils zu beachten sind³³.

Der Konstrukteur bzw. Planer ist hierbei bei folgenden Fragen zu unterstützen:

- Was sind Anforderungen?
- Wie findet man Anforderungen?
- Wie wichtig sind welche Anforderungen und warum?
- Wie beeinflussen sich Anforderungen? Existieren Abhängigkeiten?
- Wie sind Anforderungen zu dokumentieren?

Die Aufgabenklärung ist bereits zur Angebotserstellung erforderlich und insbesondere zu jeder der verschiedenen Engineeringarten wie beispielsweise Neu-, Anpassungs- oder Variantenkonstruktion. Die Dokumentationspflicht begründet sich durch das Produkthaftungsgesetz³⁴, der zunehmenden Komplexität und dem erforderlichen Expertenwissen innerhalb der Engineeringprozesse.

Eingeführte Begriffe im Bereich der Aufgabenklärung sind *Lastenheft* und *Pflichtenheft*³⁵ und nach VDI 2221 ist das Ergebnis der Aufgabenklärung die **Anforderungsliste**³⁶.

In der Konstruktionslehre werden verschiedene **Anforderungsarten**³⁷ unterschieden. So kann nach Relevanz klassifiziert werden: Kesselring³⁸ und Ehrlenspiel³⁹ sprechen von *Festforderungen*, *Mindestforderungen* und *Wünschen*, während Pahl und Beitz⁴⁰ nur von Forderungen und Wünschen sprechen und Roth⁴¹ zwischen Festforderungen, Zielforderungen und Wunschforderungen unterscheidet. Suh⁴² differenziert zwischen *Functional Requirements* (funktionalen Anforderungen), die mit den oben genannten Mindestforderungen verglichen werden können und *Constraints* (Restriktionen), die den Festforderungen entsprechen. Festforderungen sind hiernach Forderungen ohne

³³ vgl. (Rude 1998) S. 175ff.

³⁴ vgl. (BGB 1989).

³⁵ vgl. (VDI-3694 1991) und DIN 69905.

³⁶ Beispiele für Anforderungslisten finden sich in (Pahl und Beitz 1993), (Roth 1994) und (Ehrlenspiel 1995).

³⁷ Eine Übersicht der Anforderungsarten gibt (Rude 1998), S. 180-187.

³⁸ vgl. (Kesselring 1954).

³⁹ vgl. (Ehrlenspiel 1995).

⁴⁰ vgl. (Pahl und Beitz 1993).

⁴¹ vgl. (Roth 1994).

⁴² vgl. (Suh 1990).

Toleranzbereiche und Mindestforderungen solche mit einseitigem Toleranzbereich (Schwellwert darf nicht unter- oder überschritten werden).

Anforderungen können aber auch nach anderen Kriterien unterschieden werden, wie nach *qualitativen* und *quantitativen* Anforderungen, *externen* und *internen* Anforderungen, *expliziten* und *impliziten* Anforderungen sowie ihrer Herkunft aus den unterschiedlichen *Produktlebensphasen*⁴³.

Der Aspekt der *Abhängigkeit zwischen Anforderungen* ist zu berücksichtigen. Abhängigkeiten zwischen Anforderungen sind schwer erkennbar oder werden erst bei zugeordneter Lösung offensichtlich. Während Kläger⁴⁴ die Abhängigkeit nur weiter differenzierend beschreibt, fordert Suhs erstes Axiom (*Independence Axiom*) die *Unabhängigkeit der funktionalen Anforderungen*⁴⁵, um so eine stabilere Lösung zu finden.

Daraus resultieren folgende Anforderungen an eine zielorientierte Methode bezüglich der Aufgabenklärung:

- Die Erfassung der Anforderungen beispielsweise in Form von Listen, Lasten- bzw. Pflichtenheften ist sicherzustellen.
- Die Unterscheidung von Anforderungsarten (Mindest- und Festforderungen) sowie die Anforderungsunabhängigkeit ist zu gewährleisten.

Detaillierte Schritte der Anforderungsmodellierung zeigt Anderl⁴⁶. Dabei werden die Mechanismen Konkretisierung (Zuwachs der Soll-Eigenschaften), Dekomposition (Zerlegung der Forderungen) und Variation (Veränderung der Forderungen) verwendet. Des Weiteren ist zu berücksichtigen inwieweit sich Forderungen unterstützen, konkurrieren oder ausschließen.

2.2.1.2 Aufgabenstrukturierung

Der Strukturierung kommt beim verteilten Engineering eine besondere Bedeutung zu, da durch die Komplexität der Aufgabenstellungen und der großen Anzahl an Informationen bzw. beteiligten Personen eine Strukturierung unerlässlich ist.

Die Konstrukteure bzw. Planer sind bei folgenden Fragen zu unterstützen:

- Wie wird eine Aufgabe übersichtlich und verständlich strukturiert?

⁴³ vgl. (Kläger 1993), (Franke und Krusche 1999), (Grabowski und Lossack 1999).

⁴⁴ vgl. (Kläger 1993).

⁴⁵ nähere Erläuterungen siehe Axiomatic Design in Anhang Kapitel 8.

⁴⁶ vgl. (Anderl, et al. 1997).

- Wie ist eine komplexe Aufgabe zu unterteilen, damit sie leichter überschaubar wird und von verschiedenen Personen parallel bearbeitet werden kann?
- Wie ist eine Aufgabe lösungsneutral zu beschreiben?
- Wie ist ein System in einer abstrakten Form mit Funktionsstrukturen zu beschreiben und wie sind eventuell alternative Strukturen zu bilden?

Strukturieren kann man alle Arten von Systemen nach folgenden Ordnungsprinzipien⁴⁷:

- *einfache Reihung nach einem Merkmal* wie Neuigkeit, Umfang, Wichtigkeit, Dringlichkeit (Termin), Kosten, Häufigkeit, Gewicht, Größe, Alphabet etc.
- *hierarchische Ordnung* durch Über-, Unter- oder Gleichordnung: Beispiele sind das Organigramm oder die Baukasten- bzw. Stücklistenstruktur.
- *Ordnung nach Vernetzungskriterien*, wie z.B. die Informationsbeziehungen von Mitarbeitern oder Funktionsbeziehungen der Systemkomponenten.

Letzteres findet in der Literatur unter dem Begriff der *Funktionsstrukturarbeit*⁴⁸ große Bedeutung. Zugriffsmechanismen auf Wiederholkomponenten wie sie in Engineeringprozessen häufig vorkommen, müssen mit Funktionsbegriffen realisiert werden⁴⁹. Zudem ist die Funktionsstruktur vor dem Hintergrund der Rechneranwendung *die* notwendige Repräsentation für die rechnerunterstützte Lösungsfindung⁵⁰.

Daraus resultiert folgende Anforderung an eine zielorientierte Methode bezüglich der Aufgabenstrukturierung:

- Eine hierarchische Struktur der Anforderungen ist zu erstellen: Teilaufgaben sind zu identifizieren, die nacheinander oder parallel bearbeitbar sind.
- Teilaufgaben und die entsprechenden Aufgabenanforderungen mit ihren gegenseitigen Beziehungen zueinander sind zu visualisieren.

2.2.1.3 Lösungssuche

Suh⁵¹ bezeichnet diesen Abschnitt als „kreativen Prozeß“, wobei Kreativität die Fähigkeit ist, neue Lösungen bzw. neue Ideen zu finden⁵². Die Lösungssuche stellt einen

⁴⁷ vgl. (Ehrlenspiel 1995), S. 330.

⁴⁸ vgl. (Rude 1998), S. 237ff.; (Pahl und Beitz 1993), S. 84ff. und (Roth 1994).

⁴⁹ vgl. (Rude 1998), S. 238.

⁵⁰ vgl. (Benz 1990).

⁵¹ vgl. (Suh 1990), S. 7.

⁵² vgl. (Kniess 1995).

Syntheseschritt dar, nachdem die Aufgabenklärung und -strukturierung einen analysierenden Charakter hatten.

Der Planer ist in diesem Prozeß bei folgenden Fragen zu unterstützen:

- Wie kann die kreative Lösungssuche unterstützt werden?
- Können bereits erarbeitete Lösungen übernommen werden?
- Inwieweit ist Teamunterstützung notwendig?
- Wie kann die Lösung schnell und verständlich wiedergegeben werden?

Folgende *Strategien zur Lösungssuche*, die sich aus der Ökonomie der Denkvorgänge und der Begrenztheit des Kurzzeitgedächtnisses ableiten lassen⁵³, haben sich in der Praxis als zweckmäßig herausgestellt:

- **Zuerst vorhandene, bekannte Lösungen** überprüfen und überlegen, ob das Problem nicht durch Übernahme von bekannten Lösungen oder durch Modifikationen gelöst werden kann – wissensbasierte Vorgehensweise⁵⁴.
- **Vom Abstrakten zum Konkreten** vorgehen, d.h. ausgehend von der Grobplanung wird die Lösung verfeinert und konkretisiert. Dies dient der Entlastung des Gedächtnisses durch die *externe Speicherung der vorläufigen Lösung*.
- **Zuerst das Wirkungsvollste** bearbeiten. Durch die Fokussierung auf die wichtigsten bzw. wirkungsvollsten Teilfunktionen oder –probleme reduziert diese Strategie das Gesamtproblem auf eine überschaubare Komplexität⁵⁵.

Vor allem die letzten beiden Strategien zur Lösungssuche zeigen, daß ausgehend von funktionellen Lösungsmöglichkeiten auf der nächsten Ebene prinzipielle, physikalische Lösungsmöglichkeiten und erst dann gestalterische und stoffliche Lösungsmöglichkeiten gefunden werden können. In der Literatur wird deshalb oft zum einen von *Prinzipiarbeitung*⁵⁶ und zum anderen von *Gestaltung*⁵⁷ gesprochen.

Daraus resultieren folgende Anforderungen an eine zielorientierte Methode bezüglich der Lösungsfindung:

- Unterstützung der kognitiven Denkprozesse bei der Lösungsgenerierung.
- Unterstützung des Systemdenkens, damit Teillösungen für Teilaufgaben nicht isoliert, sondern im Zusammenhang des Ganzen betrachtet werden.

⁵³ vgl. (Ganghoff 1993) und (Ehrlenspiel 1995), S. 91 und S. 346ff.

⁵⁴ vgl. (Rude 1998).

⁵⁵ vgl. Sequenzbildung der FRs in Axiomatic Design (vgl. Anhang Kapitel 8.4).

⁵⁶ Eine Übersicht der Prinzipiarbeitung gibt (Rude 1998), S. 266 ff.; (Pahl und Beitz 1993) und (Roth 1994) konzentrieren sich speziell auf physikalische Effekte.

⁵⁷ vgl. (Ehrlenspiel 1995), (Pahl und Beitz 1993), u.a.

- Unterstützung der Lösungsdarstellung, insbesondere der Alternativenabbildung bei Teillösungen.

2.2.1.4 Lösungsanalyse

Zum Erkennen der „besten“ Lösung müssen die Eigenschaften der Lösung ermittelt werden. Diese Analyse soll die erforderliche Grundlage für die sich anschließende Bewertung liefern.

In der Analysephase ist der Planer bei folgenden Fragen zu unterstützen:

- Welche Lösungseigenschaften sollen untersucht werden?
- Wie kann Aufwand und Nutzen der Analyse abgewogen werden?
- Wie kann die Analyse methodisch unterstützt werden?

Folgende Zielkonflikte treten bei der Analyse der Lösungen auf⁵⁸:

- Die **Sicherheit der Aussagen** einer Analyse nimmt mit zunehmender Konkretisierung des Lösungsprozesses zu.
- Der **Aufwand für die Änderung** von Lösungseigenschaften steigt jedoch in gleicher Weise. Gründe liegen in der wechselseitigen Beeinflussung der Eigenschaften, die mit zunehmender Festlegung einen wachsenden Änderungsaufwand begründen.

Daraus resultieren folgende Anforderungen an eine zielorientierte Methode bezüglich der Lösungsanalyse:

- Frühzeitig und mit möglichst wenig Aufwand sind die wesentlichen Lösungseigenschaften grob abzuschätzen, um sie mit geringen Änderungen gezielt festlegen zu können.
- Nicht nur die im Rahmen der Teilaufgaben gezielt angesprochenen Eigenschaften sind zu überprüfen, sondern auch Beziehungen zu und Auswirkungen auf andere Eigenschaften sowie Teilsysteme.

2.2.1.5 Lösungsbewertung und –entscheidung

Bei der Bewertung werden die Ergebnisse der Analyse mit den Vorgaben der Anforderungsliste bzw. des Zielsystems verglichen. Die Darstellung der Nutzen- und der Aufwandseite der Lösungsvorschläge sowie ihrer Schwachstellen liefert die Grundlage für die nachfolgende Entscheidung.

Der Planer ist bei folgenden Fragen zu unterstützen:

- Nach welchen Kriterien soll bewertet werden?

⁵⁸ vgl. (Ehrlenspiel 1995), S. 434ff.

- Wie kann eine hohe Entscheidungssicherheit erreicht werden?
- Welche Alternative soll ausgewählt werden?

Im allgemeinen ist jede Bewertung durch eine Person subjektiv, und es gibt keine Sicherheit für die Auswahl einer objektiv besten Lösung. Der Einsatz von Auswahl- und Bewertungsmethoden macht den Produkterstellungsprozeß aber nachvollziehbarer, mindert Probleme mit der Produkthaftung und entspricht den Forderungen nach DIN EN ISO 9000 ff.⁵⁹. Eine Bewertung gibt immer nur einen Vergleich zu bekannten oder denkbaren Lösungen an.

Daraus resultieren folgende Anforderungen an eine zielorientierte Methode bezüglich der Lösungsbewertung und –entscheidung:

- Bereitstellung eines Bewertungsverfahrens, welches einen konsistenten Vergleich aller Lösungsalternativen mit der Anforderungsliste bzw. den Zielvorgaben gewährleistet.
- Unterstützung der Entscheidung, ob die Lösungsvorschläge den Anforderungen ausreichend genügen oder ob nach neuen Alternativen gesucht werden muß.

2.2.2 Unterstützung des interpersonellen, direkten Engineering

Die Lösungsfindung in interdisziplinären Teams bedarf eines Projektmanagements⁶⁰. Das *Projektmanagement*⁶¹ kann an sich selbst als Anforderung an eine Unterstützung des Engineering angesehen werden, jedoch ist der Begriff Projektmanagement weit gefächert und eine klar umrissene Abgrenzung fehlt. Die folgende Ausführung soll sich an der funktionalen Betrachtungsweise des Projektmanagements orientieren, welche in der einschlägigen Literatur⁶² vor allem die Projektplanung, -steuerung und –kontrolle behandelt.

⁵⁹ vgl. (BGB 1989) und (DIN-ISO-9000-9004 1994).

⁶⁰ vgl. (Honekamp 1996).

⁶¹ Definition in (DIN-6901 1987).

⁶² vgl. Standardliteratur zum Projektmanagement, z.B. (Madauss 1990).

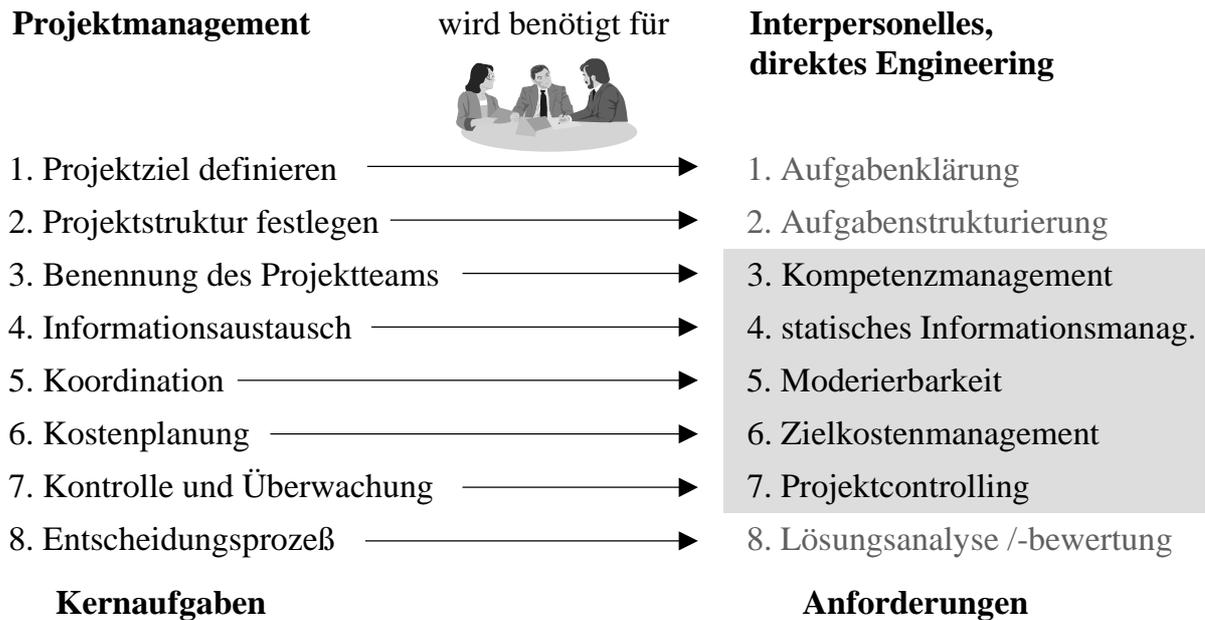


Abbildung 2.4: Resultierende Anforderungen aus den Kernaufgaben des Projektmanagements

Aus den darin betrachteten *Kernaufgaben* des Projektmanagements⁶³ (links in Abbildung 2.4) lassen sich konkret Anforderungen für die Engineeringunterstützung unidirektional abbilden. Während Aufgabenklärung, Aufgabenstrukturierung sowie Lösungsanalyse und –bewertung bereits erläutert wurden, wird nun auf die neu dazugekommenen Anforderungen (3. bis 7. in Abbildung 2.3) eingegangen.

2.2.2.1 Kompetenzmanagement

Aufgrund der Organisationsdynamik und einer hohen Personalfluktuation als auch dem erhöhten Bedarf an Expertenwissen gewinnt die Frage nach der Zuordnung von Projektaufgaben zu Personen an Bedeutung⁶⁴.

Zur Unterstützung der Projektteambildung sind folgende Fragen zu beantworten:

- Aus welchen Aufgaben setzt sich das Projekt zusammen?
- Wer kann diese Aufgaben erfüllen? Hierbei kann es sich um ein Unternehmen, eine Abteilung oder um eine Einzelperson handeln.
- Wie kann eine robuste, aktuelle Zuordnung der Aufgaben gewährleistet werden?

⁶³ in Anlehnung an (Honekamp 1996).

⁶⁴ vgl. (Grabowski und Rude 1999) und (Honekamp 1996).

Das *Kompetenzmanagement*⁶⁵ gewährleistet mit der Einführung von personenunabhängigen Kompetenzzentren (siehe Abbildung 2.5) eine robuste Verwaltung von Kompetenzen einerseits und personenabhängigen Qualifikationen andererseits.

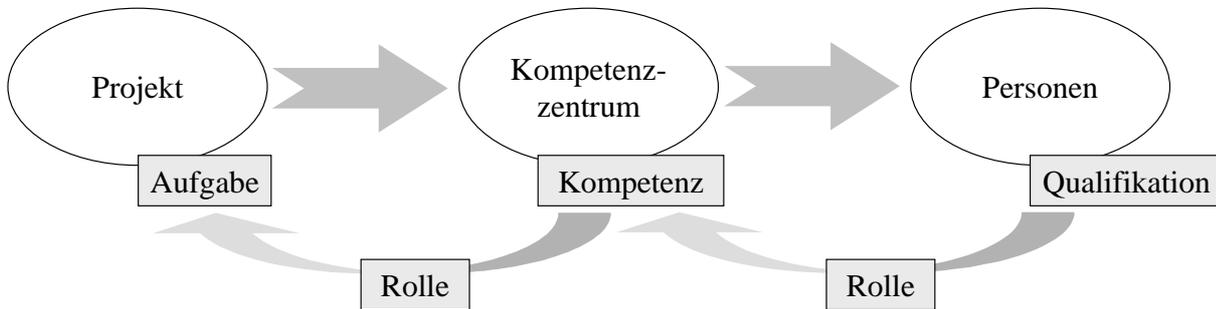


Abbildung 2.5: Aufgaben des Kompetenzmanagement

Abbildung 2.5 zeigt, daß ein Projekt über seine zu leistenden Aufgaben definiert wird. Zur Erfüllung dieser Aufgaben werden Kompetenzzentren gesucht, die die passenden Rollen aufgrund ihrer Kompetenzen einnehmen. Um Kompetenzzentren Personen zuzuordnen zu können, müssen die Qualifikationen dieser Personen die Kompetenz abdecken.

Daraus resultieren folgende Anforderungen an eine zielorientierte Methode bezüglich Kompetenzmanagement:

- Projekte mit ihren Aufgaben, Kompetenzzentren mit ihren Kompetenzen und Personen mit ihren Qualifikation müssen dokumentiert (und archiviert) werden.
- Die Zuordnung der Verantwortung von Teilaufgaben zu Kompetenzzentren, welche die zur Realisierung dieser Aufgaben notwendige Ressourcen (z.B. Fachwissen, Zugangsrechte, finanzielle Mittel, etc.) inne haben, muß unterstützt werden.
- Die konkrete Zuordnung von Kompetenzzentren zu Mitarbeitern, Teams oder Unternehmen muß aktuell sein.

2.2.2.2 Statisches Informationsmanagement

Interpersonelle Teams fordern leistungsfähige Informations- und Kommunikationsmechanismen, die eine Informationsversorgung nach dem „Holprinzip“ ermöglichen⁶⁶.

Das Planungsteam ist bei folgenden Fragen zu unterstützen:

- Wie können Informationen abgelegt werden, damit sie wieder leicht auffindbar sind?
- Von wem und in welchem Zusammenhang wurde die Information erstellt?

⁶⁵ Weitere Erläuterungen zum Thema ‚Kompetenzzentrum‘ und ‚Kompetenz‘ finden sich in (Grabowski und Rude 1999).

⁶⁶ vgl. (Grabowski und Rude 1999), (Abramovici 1996).

- Ist die Information aktuell und vollständig?

Zunehmende Datenüberflutung fordert eine strukturierte Vorhaltung der Informationen. Daraus resultieren folgende Anforderungen an eine zielorientierte Methode bezüglich Informationsmanagement in Anlehnung an Sternemann.⁶⁷:

- Informationen müssen dokumentiert und archiviert werden.
- Das Navigieren muß einfach und eindeutig sein und das Auffinden der Information muß reproduzierbar sein.
- Informationsobjekte müssen im Entstehungskontext repräsentiert werden.
- Bei Bedarf müssen Informationen aus verschiedenen Einzelobjekten konfigurierbar sein.
- Sowohl lineare als auch vernetzte Strukturen müssen unterstützt werden.
- Um Alternativen zu erkennen und weitergehende Betrachtungen zu einem Thema vorzustellen, sollen relevante Beziehungen zum aktuellen Informationsobjekt visualisierbar sein.
- Die Aktualität der Inhalte muß erkennbar sein.

2.2.2.3 Moderierbarkeit - Koordinationsfunktion

Sobald mehrere Personen interaktiv direkt zusammenarbeiten, bedarf es einer Moderation⁶⁸, die koordinierend innerhalb eines Projektteams wirkt. Moderierbarkeit wird hierbei als Grad definiert, inwieweit eine Methode die Moderation unterstützt.

Das Planungsteam ist bei folgenden Fragen zu unterstützen:

- Wie können Beiträge überschaubar visualisiert werden, um ein konsistentes Verständnis aller Teammitglieder zu erreichen?
- Wie können die einzelnen Beiträge der Mitglieder koordiniert und abgestimmt werden?
- Wie kann die teamorientierte Entscheidungsfindung unterstützt werden?

Beginnend mit der einheitlichen Terminologiefindung und Zielabstimmung innerhalb des interpersonellen Lösungsprozesses übernimmt die Moderation die *Führungsfunktion* hinsichtlich der Koordinations- und Kommunikationsschnittstellen im Projektteam⁶⁹.

Daraus resultieren folgende Anforderungen an eine zielorientierte Methode bezüglich der Moderierbarkeit:

⁶⁷ vgl. (Sternemann 1999).

⁶⁸ abgeleitet von moderieren = mäßigen (vgl. (Duden 1982)).

⁶⁹ vgl. (Kühnle und Spengler 1993).

- Eine einheitliche, leicht überschaubare Visualisierung der Diskussionsbeiträge ist zu gewährleisten.
- Die einzelnen Beiträge der Teammitglieder sind zu koordinieren und zuzuordnen, d.h. Verantwortlichkeiten müssen ersichtlich sein.
- Die Methode muß eine klar zielorientierte Vorgehensweise sicherstellen, d.h. den Planer durch seine Aufgabenbearbeitung „führen“.
- Die Aufgaben sind schrittweise zu zerlegen, um so in abgegrenzten Teilaufgaben detailliert arbeiten zu können.

2.2.2.4 Zielkostenmanagement

Beim Zielkostenmanagement stehen die Planungsobjekte und deren Zielkosten im Vordergrund. Oft sind vom Kunden vorgegebene Kostenschranken die ausschlaggebenden Kriterien für die Einleitung, Durchführung oder Einstellung eines Projekts.

Das Engineeringteam ist bei folgenden Fragen zu unterstützen:

- Wie können den Planungsobjekten realistische Zielkosten zugeordnet werden?
- Wie kann die Zusammensetzung der Zielkosten entsprechend der Kundenwahrnehmung bestimmt werden?
- Wie können die geplanten Zielkosten erreicht werden?

Der Zielkostenplan ist eine Grundlage für die Kostenkontrolle und die Konkretisierung von Zielkosten ist nur schrittweise möglich, wobei der Detaillierungsgrad stetig erhöht wird.

Daraus resultieren folgende Anforderungen an eine zielorientierte Methode bezüglich Zielkostenmanagement:

- Die schrittweise Konkretisierung der Zielkosten in Teilzielkosten mit entsprechender Konkretisierung des Planungsobjekts, d.h. des Kostenträgers des Vorhabens (z.B. Baugruppe, Fertigungsprozeß, Anlage, etc.) ist methodisch zu unterstützen.
- Die Kalkulation und Visualisierung prognostizierter Standardkosten ist zu unterstützen.
- Maßnahmen zur Zielkostenerreichung sind gegebenenfalls abzuleiten.

2.2.2.5 Projektcontrolling – Steuerungs- und Regelungsfunktion

Horváth⁷⁰ bezeichnet Controlling als Vergleich zwischen IST und SOLL mit gezieltem Reagieren als Folge von Abweichungen. Dies kann auch als kybernetischer⁷¹ Regel-

⁷⁰ vgl. (Horváth 1990).

⁷¹ vgl. (Brockhaus 1982), Band 10, S. 218 und (Wiener 1963) - Urvater der Kybernetik.

kreis betrachtet und beschrieben werden⁷². Das Projektcontrolling hat die Aufgabe, auf der Basis vorher erstellter Pläne auf Projektänderungen so zu reagieren, daß das einmal gesteckte Projektziel unter Einsatz geringster Mittel erfüllt wird⁷³.

Der für das Projektcontrolling Verantwortliche ist bei folgenden Fragen zu unterstützen:

- Wie können Termin- und Ablaufpläne eines Projekts möglichst früh erstellt werden?
- Wie können Ressourcen zur Terminerreichung optimal eingesetzt werden?
- Wie ist der aktuelle Projektstand?
- Sind Änderungen gegenüber dem Projektplan aufgetreten? Müssen sie korrigiert werden?
- Werden andere Teilprojekte von der Änderung beeinflusst?

Bei der Durchführung von Engineeringprojekten steht die Einhaltung des Termins im Vordergrund. Der Aufwand der benötigten Ressourcen müssen hierzu geplant und überprüft werden.

Daraus resultieren folgende Anforderungen an eine zielorientierte Methode bezüglich Controlling:

- Die Festlegen von Terminen für Teilaufgaben durch Rückrechnung vom Termin für die Gesamtaufgabe muß unterstützt werden.
- Eine Projekt-Fortschrittkontrolle mit regelmäßiger Ermittlung des Projektstatus ist zu unterstützen, z.B. welche Tätigkeiten sind angefangen, abgeschlossen, in Änderung, etc.
- Das Steuern von Projektaktivitäten ist zu unterstützen, bspw. die Änderung der Planwerte oder das Veranlassen von Korrekturmaßnahmen beim Verlassen der Vorgaben außerhalb eines festgelegten Toleranzfeldes.
- Querverbindungen zu anderen beeinflussten Teilprojekten sind aufzuzeigen, bspw. zieht die Änderung eines Planwertes Veränderungen an vernetzten Objekten mit sich.

⁷² Technisch ausgedrückt wird zunächst ein SOLL-Wert (Führungsgröße) eingestellt oder vorgegeben. Die „Meßeinrichtung“ meldet den IST-Wert an den Regler. Dieser bestimmt die Abweichung vom SOLL-Wert (Regeldifferenz) und gibt sie an das Regelglied weiter, das hieraus die Stellgröße ermittelt. Die Stellgröße nimmt die Korrektur der Regelstrecke vor (vgl. (Clausius 1993), S. 30).

⁷³ vgl. weitere Standardliteratur zu Controlling, z. B. (Küpper 1995),(Eschenbach 1994), (Riedl 1990), etc.

2.2.3 Unterstützung des interpersonellen, dezentralen Engineering

Die standortübergreifende, dezentrale Verteilung der Teammitglieder fordert die Verwendung von Informations- und Kommunikationssystemen (siehe Kap. 2.4). Eine rechnerbasierte Engineeringunterstützung muß deshalb zusätzlich folgenden Anforderungen genügen.

2.2.3.1 Rechnerabbildung der Arbeitsbeiträge

Das interpersonelle, dezentrale Engineering erzwingt die ausschließliche schriftliche und grafische Rechnerabbildung der Arbeitsbeiträge, durch dessen Formalisierungszwang der Lösungsprozeß sachlich effizienter gestaltet wird. Die Anforderung der Moderierbarkeit, wie sie in direkten Teams gefordert ist, wird beim standortübergreifenden Engineering um den Aspekt der Rechnerabbildung ergänzt.

Bei der Rechnerabbildung stellen sich folgende Fragen:

- Können alle Arbeitsbeiträge vollständig im Rechner abgebildet werden?
- Können die Arbeitsbeiträge der Teammitglieder rechnerbasiert koordiniert werden?

Daraus resultieren folgende Anforderungen an eine zielorientierte Methode bezüglich Rechnerabbildung der Arbeitsbeiträge:

- Eine im Rechner abgebildete, einheitliche Beschreibung der Beiträge in textueller bzw. grafischer Form ist sicherzustellen.
- Die Aktivitätensteuerung ist rechnerbasiert zu unterstützen, bspw. Transparenz über Zustände der aktuellen Beiträge, Führungsleitlinie für die Projektbearbeitung, etc.

2.2.3.2 Dynamische Informationslogistik

Eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Zusammenarbeit in verteilten Teams ist eine *Informationslogistik*, die eine bedarfsgerechte Koordination und Initiierung der Informationsflüsse ermöglicht.

Informationslogistik wird definiert⁷⁴ als Bereitstellung von standardisierten Informationsobjekten in der erforderlichen Datenqualität und -quantität, zum richtigen Zeitpunkt, am richtigen Ort, zu vertretbaren Kosten.

Folgende Fragen stellen sich im Hinblick auf eine dynamische Informationslogistik:

- Wer möchte welche Informationen und woher können diese gewonnen werden?
- Welche Informationen werden aktiv verteilt und welche sind verfügbar auf Abruf?

⁷⁴ vgl. (Grabowski und Rude 1999).

Daraus resultieren folgende Anforderungen an eine zielorientierte Methode bezüglich Informationslogistik:

- Informationsdistribution nach dem Bring- und Holprinzip ist zu unterstützen, um eine „breite“ und unmittelbare Nutzung von erarbeiteten Ergebnissen in anderen Projekten sicherzustellen.
- Die Festlegung von Informationsquellen und –senken sowie der Informationsbedarfe sind zu unterstützen (WER will WAS und WOHER stammt die Information?).

2.2.4 Zusammenfassender Überblick der Anforderungen

Die Anforderungen an eine zielorientierte Methode im verteilten Engineering wurden identifiziert und erläutert. In Abbildung 2.6 sind alle Anforderungen entsprechend dem Kapitelaufbau übersichtlich zusammengefaßt. Sie bilden die Basis für die Methodanalyse im folgenden Kapitel.

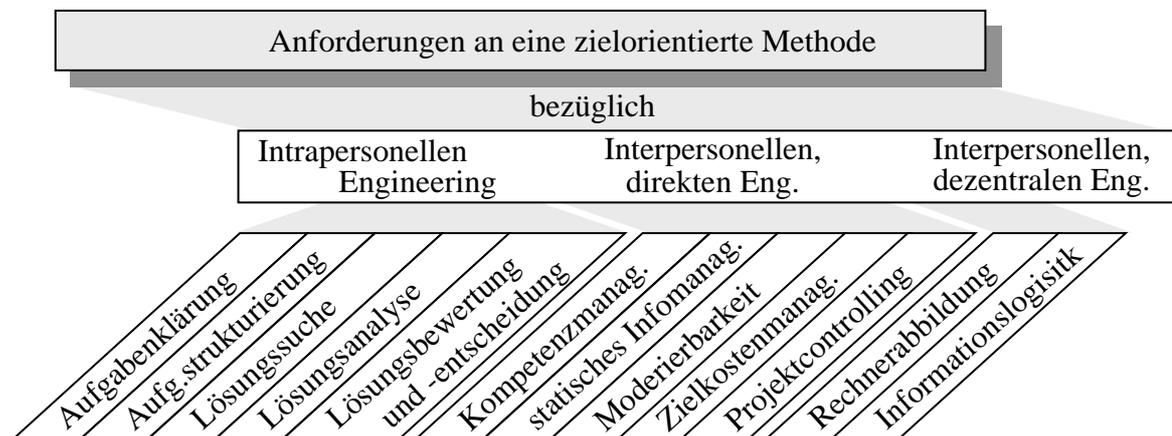


Abbildung 2.6: Zusammenfassung der Anforderungen

2.3 Methoden für den Engineeringprozeß

Nach der erfolgten Anforderungsspezifikation für eine zielorientierte Methode im verteilten Engineering, werden in diesem Kapitel derzeit angewandte Methoden des Entwicklungs- und Planungsprozesses vorgestellt und entsprechend den identifizierten Anforderungskriterien des vorherigen Kapitels analysiert.

Die analysierten Methoden konzentrieren sich auf die Repräsentation von *Planungswissen*, d.h. sie steuern und manipulieren den Planungsprozeß und stellen damit einen Planungsmechanismus bereit, der nach Ganghoff⁷⁵ der „Motor“ der Planung ist. Das

⁷⁵ vgl. (Ganghoff 1993), S. 37.

zum Problemlösen zusätzlich benötigte *Domänenwissen* bleibt weitgehend unberücksichtigt. Es stellt das innerhalb des Anwendungsgebietes vorhandene Wissen über die spezielle Problemart dar.

Der in Abbildung 2.7 gezeigte Kapitelaufbau orientiert sich an den Elementartätigkeiten beim Problemlösungsprozeß. Jedoch dient diese Klassifizierung nur der Zuordnung der Methodenschwerpunkte. Anschließend wird ein übersichtlicher Vergleich der Methoden vorgestellt (vgl. Abbildung 2.28) und eine Auswahl getroffen.

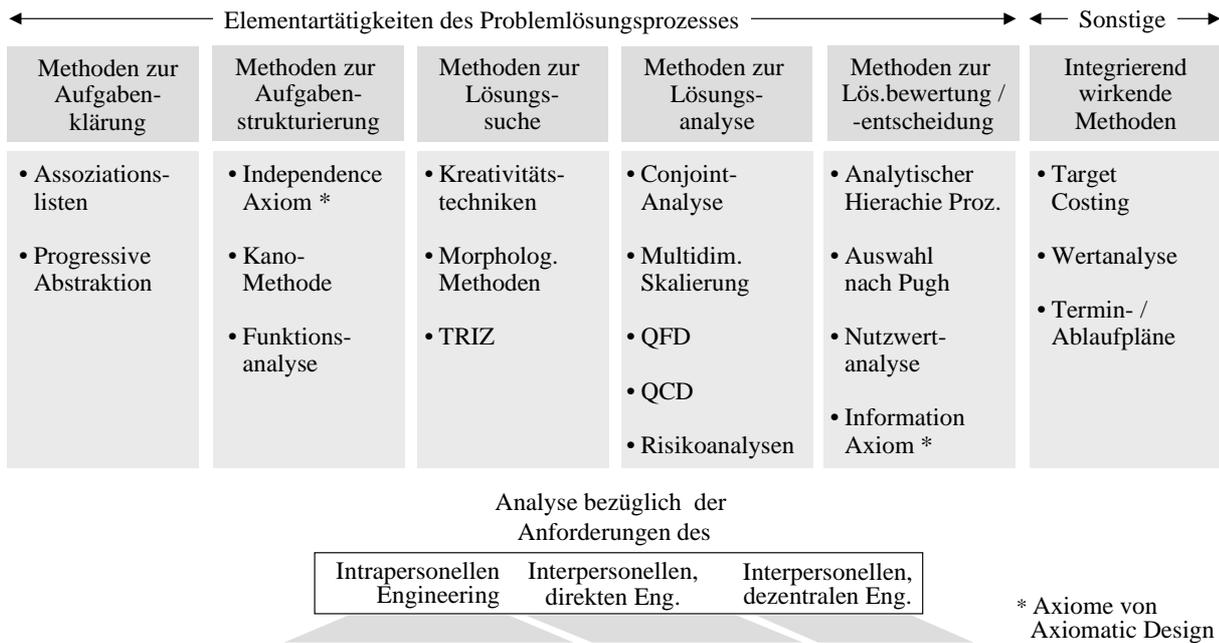


Abbildung 2.7: Einordnung der Methoden bezüglich ihrer Schwerpunkte

2.3.1 Methoden zur Aufgabenklärung

Im Bereich der Aufgabenklärung kommen vor allem Fragebögen, Interviews und Kundengespräche zum Einsatz⁷⁶. Zusätzlich zu diesen Hilfsmitteln gibt es die im folgenden beschriebene Methoden, die den Anforderungen der Aufgabenklärung hinsichtlich einer methodischen Vorgehensweise zur Anforderungsgenerierung genügen.

2.3.1.1 Assoziationslisten (Checklisten, Leitlinien, etc.)

Assoziationslisten als einfach zu handhabendes und in der Regel übersichtliches Hilfsmittel zur Klärung von Engineeringaufgaben existieren in den unterschiedlichsten

⁷⁶ vgl. (Ehrlenspiel 1995), S.319.

Ausprägungen in Form von Leitblättern, Eigenschaftslisten⁷⁷ bzw. Eigenschaftsschemata oder sog. Merkmalslisten⁷⁸.

Checklisten, wie sie in der Praxis häufig genannt werden, fördern nur in geringem Maße eine methodische Vorgehensweise. Sie sind standardisierte Listen von Anforderungen oder Leitlinien⁷⁹, mit denen das aktuelle Problem verglichen werden kann. Sie dienen dem „Nichtvergessen“ bei der Anforderungsgenerierung. Aber nur zuvor bekannte Anforderungen können berücksichtigt werden. Besonders bei ungewohnten und komplexen Situationen führt die unzureichende Anforderungsbeschreibung zu Lücken⁸⁰. Die Verwaltung dieser Listen erfolgt zum Teil EDV-unterstützt (vgl. Abbildung 2.8).

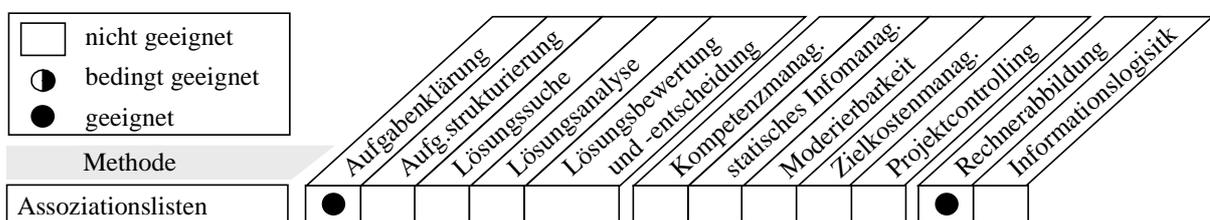


Abbildung 2.8: Bewertung der Assoziationslisten

2.3.1.2 Progressive Abstraktion

Die Progressive Abstraktion⁸¹ versucht übergeordnete Zusammenhänge zu erkennen, in die ein Problem eingebettet ist. Sie versucht dadurch zu prüfen, ob die vorläufige Problemdefinition (Black-Box-Betrachtung) den wirklich wesentlichen problematischen Tatbestand erfaßt, oder ob nicht Problemauffassungen gefunden werden können, die abstraktere und weitreichendere Lösungen anregen.

Die Abstraktion dient dazu, den Wesenskern der Aufgabe herauszufinden, Vorfixierungen und konventionelle Vorstellungen aufzulösen und durch die Erweiterung der Systemgrenzen bisher unberücksichtigte Lösungen zu erfassen. Die Black-Box-Struktur kann im Rechner grafisch visualisiert werden, jedoch ist die Abstraktion an sich sehr intuitiv und kann nur unzureichend systematisch im Rechner abgebildet werden.

⁷⁷ vgl. VDI 2225.

⁷⁸ vgl. (Rude 1998), S. 190-194.

⁷⁹ vgl. (Pahl und Beitz 1993), S. 70.

⁸⁰ vgl. (Ehrlenspiel 1995), S. 321.

⁸¹ vgl. (Schlicksupp 1992), (Pahl und Beitz 1993), S. 75-84; (Ehrlenspiel 1995), S. 323-325.

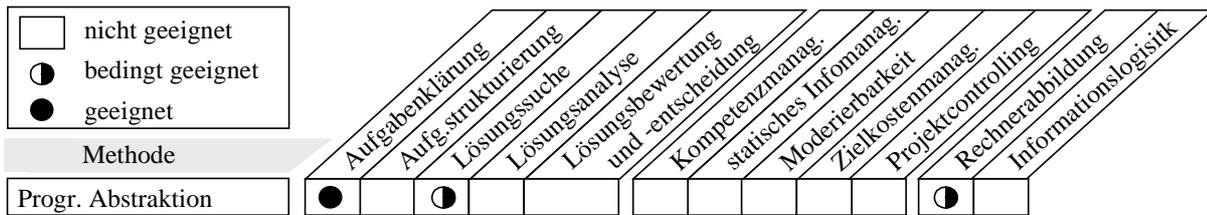


Abbildung 2.9: Bewertung der Progressiven Abstraktion

2.3.2 Methoden zur Aufgabenstrukturierung

Der Aufgabenstrukturierung kommt beim Engineering durch Zunahme der Komplexität eine besondere Bedeutung zu. Im folgenden werden Methoden vorgestellt, die den Aufbau einer Ordnungsstruktur gewährleisten.

2.3.2.1 Axiomatic Design – Independence Axiom

*Axiomatic Design*⁸² begründet sich auf zwei Axiomen, das *Independence Axiom* und das *Information Axiom*. Sie dienen als Hilfsmittel zur Strukturierung und zum Auswählen zwischen Alternativkonzepten eines Entwurfes.

Das *Independence Axiom* fordert die zielorientierte, hierarchische Strukturierung mit Hilfe der Definition von *Functional Requirements* (funktionalen Anforderungen) und von eindeutig dazugehörigen *Design Parameters* (konstruktiven Auslegungen / Lösungsmerkmalen / Effekten). Parallel zu den *Functional Requirements* werden die von den Rahmenbedingungen vorgegebenen *Constraints* (Restriktionen) definiert. So werden Ingenieure gefördert, nicht in bestehende Mustern und Schemata zu denken, sondern für jede konstruktive Lösung die eigentlich dafür ausschlaggebende Anforderung iterativ neu zu überdenken und zuzuordnen (Unterstützung der Lösungssuche).

Die Methode stellt eine durchgängige Unterstützung des intrapersonellen Engineering dar. Ausgehend von einer strukturierten Klärung der Aufgabenanforderungen bedingt durch das *Zigzagging* unterstützt es mit Hilfe der *Design Matrix* (Einflußmatrix) die Lösungsanalyse, –bewertung bis hin zur –entscheidung.

Darüber hinaus gibt das *Zigzagging* eine klar zielorientierte Vorgehensweise vor, d.h. der Konstrukteur wird durch seine Aufgabenbearbeitung „geführt“, was der Anforderung an die Moderierbarkeit einer zielorientierten Methode genügt.

Die Zielkosten der Gesamtlösung werden als *Constraints* definiert. Mit der in *Axiomatic Design* vorgegebenen Konkretisierung bzw. Detaillierung der *Constraints* wird

⁸² vgl. (Suh 1990), Grundlagen der Methode liefert Anhang Kapitel 8.

die Zielkostenspaltung erreicht und erfüllt somit die Anforderung des Zielkostenmanagement.

Eine erste Softwareumsetzung⁸³, die nur für den intrapersonellen Einsatz konzipiert ist, wurde am MIT entwickelt und zeigt, daß die Rechnerabbildung eine erhebliche Effizienzsteigerung mit sich bringt.

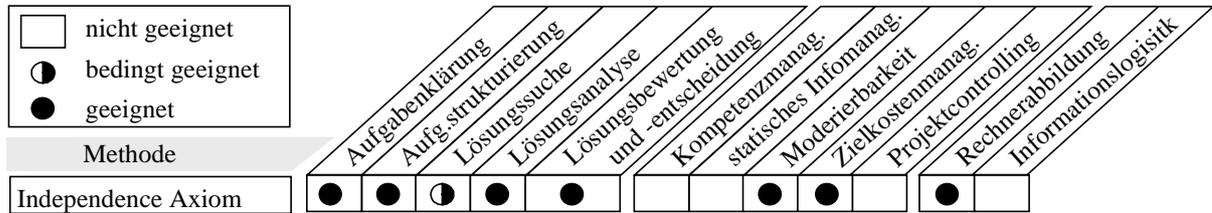


Abbildung 2.10: Bewertung der Methode Axiomatic Design – Independence Axiom

2.3.2.2 Kano-Methode

Die Kano-Methode⁸⁴ stellt ein nicht-hierarchisches Strukturierungsverfahren dar, um Kundenanforderungen in Untergruppen zu unterteilen und ihren Einfluß auf die Zufriedenheit der Kunden zu bestimmen. Dazu werden die Anforderungen entsprechend dem Kano-Modell in *Basis-*, *Leistungs-* und *Begeisterungsanforderungen* eingeteilt.

Ziel der Kano-Methode ist eine genauere Abschätzung des Einflusses der Kundenanforderungen auf die Kundenzufriedenheit sowie die Ableitung von Prioritäten für die Entwicklung (Hilfsmittel zum Trade-off). Grafisch und textuell ist die Methode gut rechnerabbildbar.

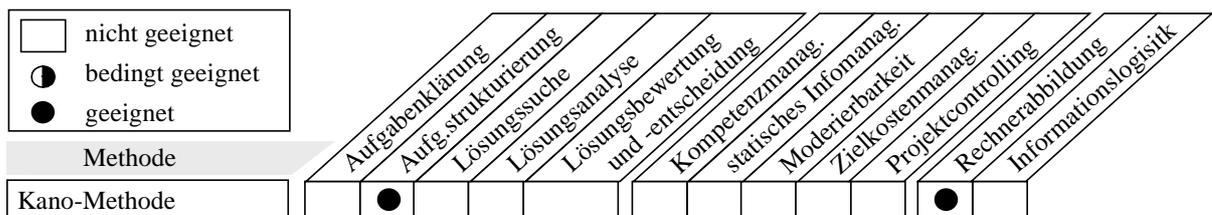


Abbildung 2.11: Bewertung der Kano-Methode

2.3.2.3 Funktionenanalyse

Die Funktionenanalyse⁸⁵ (engl. Function Analysis, FA) soll Objekte auf ihre Wirkung, Zwecke und Konzepte hin analysieren, d.h. in ihre verschiedenen Komponenten, Ele-

⁸³ vgl. <http://www.axiomaticdesign.com/>.

⁸⁴ basiert auf (Kano 1984), vgl. auch (Bailom, et al. 1996), (ASI 1989).

⁸⁵ weiterführende Literatur zu Funktionenanalyse vgl. (Birkhofer 1980), (Gierse und Pauwels 1994), (Akizama 1991), etc.

mente, Aspekte etc. aufgliedern und diese bezüglich ihrer verschiedenen Kennzeichen, Merkmale und Attribute abstrahieren, aufteilen, einordnen und bestimmen (Funktionenstruktur)⁸⁶.

Zur Erstellung der Funktionenstruktur dient einerseits der *Funktionenbaum* (engl. *Function Tree*) andererseits ermöglicht die *FAST* (*Funktionen-Analyse-System-Technik*, engl. *Function Analysis System Technique*)⁸⁷ eine stärkere logische Verknüpfung.

Die Funktionenanalyse ermöglicht durch die verbale oder rechnerunterstützte Funktionenformulierung mit optimalem Abstraktionsgrad und Funktionenstrukturen (Aufgabenstrukturierung) ein größeres Suchfeld für neue, bessere und kostengünstigere Lösungen (Lösungssuche). Auch können mit ihrer Hilfe Kostenschwerpunkte bestimmt und Ansatzpunkte für Kostensenkungen und Leistungsverbesserungen durch Bestimmung von Funktionskosten erkannt werden⁸⁸ (Zielkostenmanagement). Eine vollständige Rechnerabbildung der Funktionenstrukturen ist möglich.

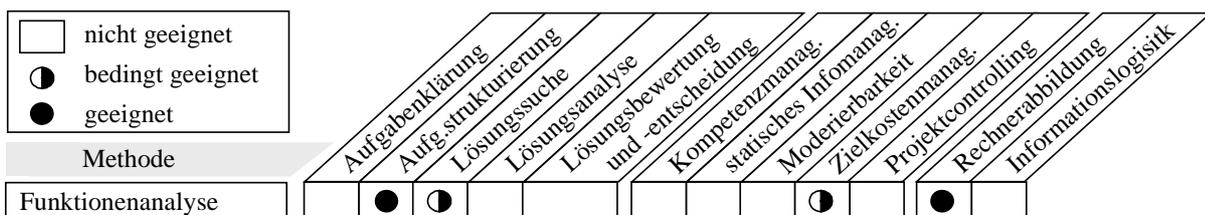


Abbildung 2.12: Bewertung der Funktionenanalyse

2.3.3 Methoden zur Lösungssuche

Im Bereich der Lösungssuche wird meist zuallererst die „konventionelle Lösungssuche“⁸⁹ durchgeführt. Hierbei handelt es sich z.B. um die Suche nach vorhandenen Lösungen im Unternehmen, Recherche in Literatur, Patentliteratur, bei Wettbewerbern, Zulieferern oder in Konstruktionskatalogen. In diesem Kapitel wird jedoch auf Methoden eingegangen, die über diese Art der Lösungssuche hinausgehen, um neue und bessere Lösungen zu suchen.

⁸⁶ vgl. (VDI-2803 1996), S. 2.

⁸⁷ basierend auf (Bytheway 1971).

⁸⁸ vgl. (VDI-2803 1996) und (VDI-2800 1997).

⁸⁹ vgl. (Ehrlenspiel 1995), S. 349.

2.3.3.1 Kreativitätstechniken

Unter Kreativitätstechniken werden bspw. Brainstorming, Methode 6-3-5, Synektik, Galeriemethode, etc. verstanden⁹⁰. Sie bilden kreative Denkprozesse ab, eliminieren Faktoren, die restriktiv auf das Denken wirken, und erzielen synergetische Effekte. Sie steigern somit die zielgerichtete Nutzung des vorhandenen Kreativitätspotentials der Mitarbeiter⁹¹.

Die meisten Techniken werden in Teams angewendet und benötigen zusätzlich einen Moderator, der die Einhaltung der Grundregeln überwacht. Das direkte Kommunizieren zwischen den Teammitgliedern ist bei vielen Techniken Voraussetzung für die kreative Lösungssuche, daher stellt sich die ausschließliche, standortübergreifende Rechnerabbildung als schwierig dar (z.B. Brainstorming).

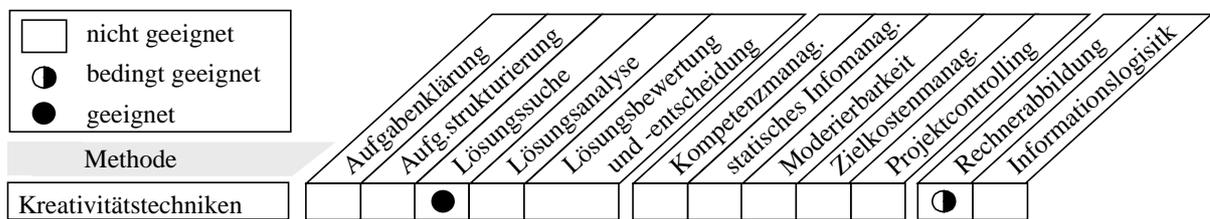


Abbildung 2.13: Bewertung der Kreativitätstechniken

2.3.3.2 Ordnungsschemata – Morphologische Methoden

Als Ordnungsschema oder morphologisches Schema wird eine matrizenartige Darstellung von konstruktiven Lösungen bezeichnet⁹². Die morphologischen Methoden sind den systematisch-analytischen Methoden zuzuordnen. Die wichtigste Variante ist der *Morphologische Kasten*⁹³. Die Ideensuche erfolgt hier nicht nach einem Zufallsprinzip, wie bei den intuitiven Kreativitätsmethoden, sondern indem die Intuition durch eine systematische Methode angeregt und unterstützt wird.

Die Methode der *Funktionsanalyse* nach Pahl und Beitz⁹⁴ entspricht der des morphologischen Kastens. Der Unterschied besteht lediglich darin, daß bei der Funktionsanalyse das Problem nicht durch Parameter, sondern durch die einzelnen Funktionen beschrieben wird, d.h., es werden möglichst viele Teilfunktionen aufgezählt und für jede

⁹⁰ vgl. (Beyer und Beyer 1994), (Pahl und Beitz 1993), (Schlicksupp 1977), (Schlicksupp 1992), (Kniess 1995).

⁹¹ vgl. (Kurz 1998), S. 20.

⁹² vgl. (Zwicky 1972).

⁹³ nach (Zwicky 1972) und (Zwicky 1989).

⁹⁴ vgl. (Pahl und Beitz 1993), S. 84ff.

einzelne Funktion Lösungsmöglichkeiten gesucht. Dies ist nicht zu verwechseln mit der reinen Funktionenanalyse, welche lösungsneutral formuliert wird.

Bezüglich der Problemart eignen sich die morphologischen Methoden in erster Linie für die Lösungssuche von Analyseproblemen: Untersuchung vorhandener Strukturen, Übersicht und Zerlegung des Problembereichs (unterstützt die Aufgabenstrukturierung) und Kombination der Teillösungen (Lösungsentscheidung). Eine Rechnerabbildung der Morphologischen Methoden ist möglich.

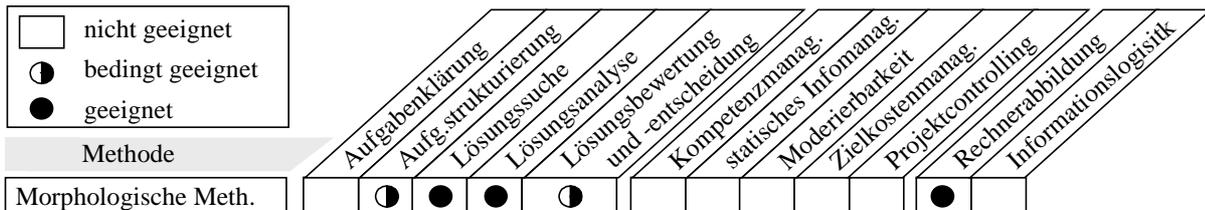


Abbildung 2.14: Bewertung der Morphologischen Methoden

2.3.3.3 TRIZ

Eine Methode zur systematischen Lösungssuche stellt die von Altshuller⁹⁵ entwickelte Methode TRIZ dar, die russische Abkürzung für „Theorie des erfinderischen Problemlösens“. TRIZ liegt die Idee zugrunde, daß wesentliche Bestandteile der meisten Probleme schon einmal gelöst wurden, dabei oft für eine völlig andere Anwendung in einer anderen Branche. Trotz unterschiedlicher Herkunft lassen sich die Lösungen vergleichbar machen, da sie auf eine begrenzte Anzahl technischer Parameter und Wirkprinzipien zurückgeführt werden können. Somit wird eine schnelle Suche in speziellen Patentdatenbanken praktikabel⁹⁶.

Ziel von TRIZ, dem „Erfinden mit System“⁹⁷, ist die systematische Suche nach grundlegenden Prinzipien, die dann für die spezielle Problemstellung angepaßt werden. Der begrenzte Wissenshorizont des Konstrukteurs wird durch intelligente Recherchemöglichkeiten⁹⁸ erweitert.

⁹⁵ vgl. (Altshuller 1988).

⁹⁶ weiterführende Literatur zu TRIZ: (Herb 1998), (Linde und Hill 1993), und TRIZ-Internetseite: <http://ebweb.tuwien.ac.at/bt/triz06.htm>.

⁹⁷ vgl. (Herb 1998).

⁹⁸ TRIZ-Software vgl. Innovation Workbench System (IWB) der Ideation Intern. Inc., Santa Monica, USA und Invention Machine (vgl. <http://www.invention-machine.com/>).

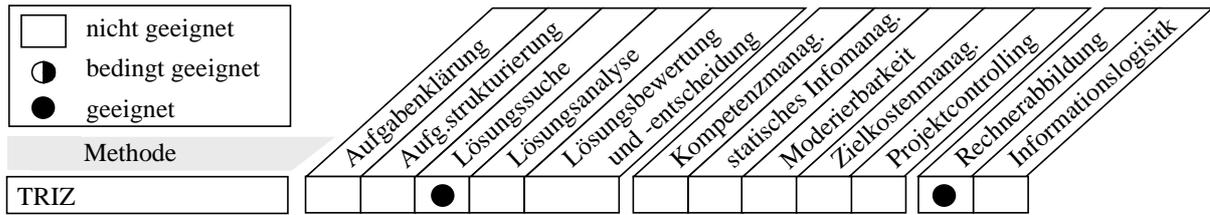


Abbildung 2.15: Bewertung der TRIZ-Methode

2.3.4 Methoden zur Lösungsanalyse

In diesem Kapitel werden Analysemethoden erläutert, die in allen Engineeringbereichen eingesetzt werden können. Spezielle Werkzeuge wie Simulationsprogramme, statistische Versuchsplanung (Design of Experiments)⁹⁹, Musterbau, etc. kommen in speziellen Aufgabenbereichen zum Einsatz, wie z.B. zur Systemanalyse durch Simulation oder analytische Modelle, und sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

2.3.4.1 Conjoint-Analyse

Die Conjoint-Analyse¹⁰⁰ gehört zu den multivariaten Analysemethoden und wird als indirekte Messung eingesetzt, wenn sich bspw. ein Kunde noch nicht über die Wichtigkeit einer Eigenschaft genau im klaren ist. Die Besonderheit der Conjoint-Analyse besteht darin, daß sie potentielle Kunden mit Kombinationen von verschiedenen Merkmalsausprägungen konfrontiert. Diese Konzeptalternativen werden den Befragten paarweise mit der Aufgabe vorgelegt, sie gemäß ihren Präferenzen in eine Rangfolge zu bringen. Dies wird heute mit Hilfe von Software-Tools¹⁰¹ schnell und effizient erfüllt.

Die Conjoint-Analyse dient dem Gewichten der Anforderungen durch Ermittlung der wichtigsten Lösungsmerkmale aus Kundensicht (Lösungsanalyse), was gleichzeitig eine Lösungsbewertung und –entscheidung unterstützt. Zudem können die gewichteten Lösungsmerkmale als Basis für die Abschätzung potentieller Kostenanteile (Zielkostenmanagement) herangezogen werden.

⁹⁹ hierzu gehören Verfahren nach Taguchi und Shanin, vgl. (Pfeifer 1996) und (Taguchi und Clausing 1990).

¹⁰⁰ weiterführende Literatur vgl. (Eversheim, et al. 1994), (Backhaus, et al. 1994), (Schubert 1991), (Schmied 1996).

¹⁰¹ Für die Conjoint-Analyse gibt es zahlreiche Softwareprogramme, z.B. MONANOVA, TradeOff, UNICON, LINMAP, ACA (vgl. z.B. (Simon 1992), S. 119).

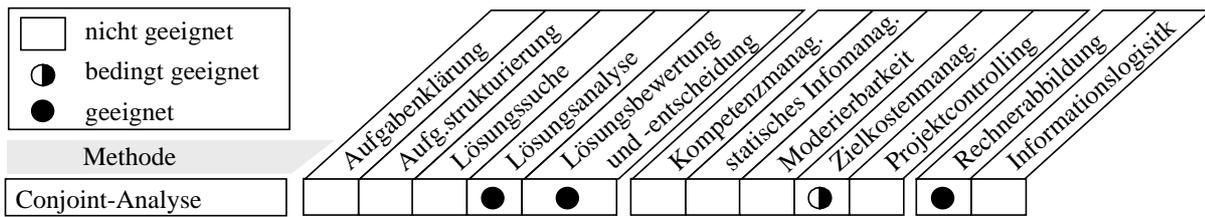


Abbildung 2.16: Bewertung der Conjoint-Analyse

2.3.4.2 Multidimensionale Skalierung

Wie die Conjoint-Analyse zählt die Multidimensionale Skalierung¹⁰² zu den multivariaten Analysemethoden und dient ebenfalls der Unterstützung von Positionierungsentscheidungen. Die Multidimensionale Skalierung hat zum Ziel, Lösungsalternativen oder verschiedene Lösungskonzepte in einem niedrigdimensionalen Raum so abzubilden, daß ihre durch die Befragten wahrgenommenen Ähnlichkeiten bzw. Unähnlichkeiten möglichst genau wiedergegeben werden. Über die relative Lage der Lösungsalternativen bzw. -konzepte zu sogenannten Eigenschafts- bzw. Präferenzvektoren können dann Eigenschaftsgewichtungen abgeleitet werden.

Die Methode gibt Aufschluß darüber, wie wichtig oder unwichtig eine bestimmte Eigenschaft für das Zustandekommen der Gesamtpreferenz ist und bildet somit die Grundlage für die Lösungsbewertung und -entscheidung. Befragungen nach Präferenzen und Skalierungen von Eindruckszuordnungen stellen an den Befragten geringere Anforderungen, als die direkte Skalierung von Eigenschaftswichtigkeiten. Die Ermittlung dieser direkten Skalierung als auch die Aggregation von Ergebnissen verschiedener Personen wird durch Software¹⁰³ unterstützt.

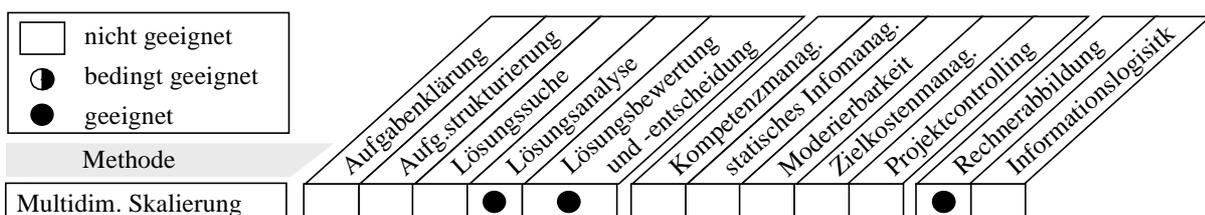


Abbildung 2.17: Bewertung der Multidimensionalen Skalierung

¹⁰² weiterführende Literatur vgl. (Backhaus, et al. 1994), (Eversheim, et al. 1994), (Kemper 1984) und (Schmied 1996).

¹⁰³ POLYCON, KYST, ALSICAL sind Software Tools zur Analyse von Ähnlichkeitsdaten (vgl. (Backhaus, et al. 1994)). Gängige Standard-Statistik Softwareprogramme (z.B. SPSS, SAS) enthalten Module zur Durchführung einer Multidimensionalen Skalierung.

2.3.4.3 Quality Function Deployment (QFD)

Die auf Akao¹⁰⁴ basierende Quality Function Deployment (QFD)¹⁰⁵ ist eine durchgängige Planungsmethodik für Produkte. Der QFD-Prozeß beginnt bei der Ermittlung der Kundenbedürfnisse und endet bei der Umsetzung der für die Produktion notwendigen Prozesse.

Der wesentliche Vorteile der QFD liegt in einer kundenorientierten Produktentwicklung (Aufgabenklärung), die die Wettbewerbsfähigkeit des Produktes frühzeitig erkennt und teamorientiertes Vorgehen fördert, was wiederum zu bereichsübergreifenden Kompromissen und schnelleren Lösungen (Lösungssuche) führt, auch wenn der Generierungsprozeß der technischen Merkmale weitgehend kreativ abläuft¹⁰⁶. Die systematische Analyse und Bewertung der Lösungen wird unterstützt, allerdings können strukturierte Anforderungen, speziell hierarchische Strukturen nur unbefriedigend systematisch in den QFD-Prozeß integriert werden¹⁰⁷.

Die quantifizierten Wichtungen der technischen Merkmale können hilfreich für die Planung des Ressourceneinsatzes innerhalb eines Entwicklungsprojekts genutzt werden¹⁰⁸ (Zielkostenmanagement). Die sequentielle Bearbeitung der QFD-Matrizen (Houses of Quality) dienen als Arbeitsanleitung des QFD-Teams und gewähren so eine systematische Führung¹⁰⁹, was der Anforderung der Moderierbarkeit einer Methode genügt. Durch geeignete Software¹¹⁰ kann die Komplexität der Methodenbearbeitung reduziert werden.

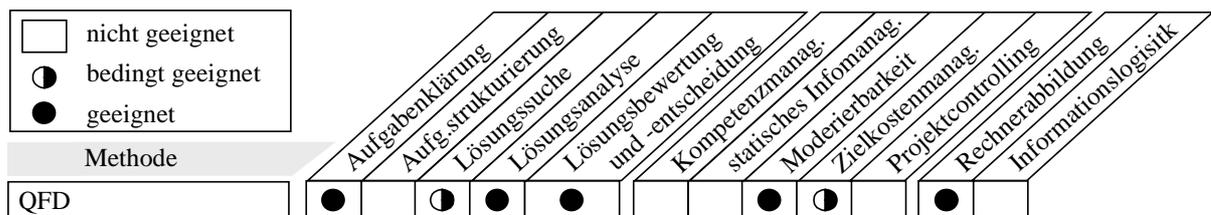


Abbildung 2.18: Bewertung der QFD-Methode

¹⁰⁴ vgl. (Akao 1992).

¹⁰⁵ Im wesentlichen werden drei QFD-Ansätze unterschieden: (Akao 1992), (King 1994) und (ASI 1989) (American Supplier Institute), letzterer ist in Europa am weitesten verbreitet.

¹⁰⁶ vgl. (Call 1997), S. 133.

¹⁰⁷ vgl. (Hartung 1994), S. 16.

¹⁰⁸ vgl. (Schöler 1990) und (Ross 1990).

¹⁰⁹ vgl. (Eversheim und Schuh 1996/2) , S. 13-30.

¹¹⁰ Eine Übersicht gängiger QFD-Software mit Bewertung findet sich beispielsweise unter der Internet-Adresse: <http://www.qfd-id.de/> z.B. *Hyper-QFD* vgl. (Danner und Schurr 1993).

2.3.4.4 Quality Cost Deployment (QCD)

Die in den 90-er Jahren entwickelte Quality Cost Deployment (QCD)¹¹¹ kann als weiterentwickelte Variante von QFD angesehen werden. Sie umfaßt zusätzlich Ansätze der kundenorientierten Kostenplanung und einer marktorientierten Sensitivitätsanalyse. Zum Ableiten des Leistungskonzeptes wird ein „House of Quality and Cost“ ausgefüllt.

Die zusätzlichen Potentiale der QCD-Methode gegenüber der QFD-Methode liegen in der simultanen Berücksichtigung von Kosten und Dienstleistungen (Service). Verursachungsgerechte Kosten können von Beginn an leichter abgeschätzt werden (Termin- und Zielkostenmanagement).

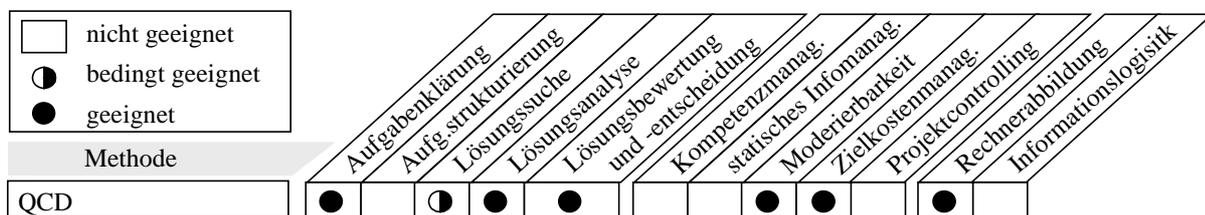


Abbildung 2.19: Bewertung der QCD-Methode

2.3.4.5 Risikoanalysen: FMEA, FTA, ETA

In Bezug auf die Problematik der Fehlervermeidung in den planerischen Phasen des Produktentstehungsprozesses fordert die Norm DIN EN ISO 9004¹¹² die periodische Entwurfsbewertung an signifikanten Entwicklungsstufen und gibt als wichtigste Methoden die Fehlerbaum-Analyse (FTA)¹¹³, die Ergebnisablauf-Analyse (ETA)¹¹⁴ sowie die Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse (FMEA)¹¹⁵ an.

Ziel der Risikoanalysen ist, aus bisherigen Fehlern möglichst viel zu lernen, um sie und andere in Zukunft zu vermeiden und Prozesse, Abläufe und Tätigkeiten zu verbessern. Sie eignen sich hervorragend für exakte und umfassende Analysen bezüglich der Zuverlässigkeit komplexer Systeme im Bereich der Aufgabenklärung (speziell die

¹¹¹ vgl. (Call 1997), S. 186.

¹¹² vgl. (DIN-ISO-9000-9004 1994).

¹¹³ vgl. (DIN-25424 1990).

¹¹⁴ vgl. (DIN-25419 1985).

¹¹⁵ Originalname: „Failure Mode and Effects Analysis“, vgl. (Hartung 1994), S. 19-24; (Pfeifer 1996), S. 59ff.; (Sontow und Clausing 1993), etc.

Aufgabenanalyse) und der Lösungsanalyse (Grundlage für die Lösungsbewertung). Der erhebliche Berechnungsaufwand wird durch EDV-Unterstützung¹¹⁶ reduziert.

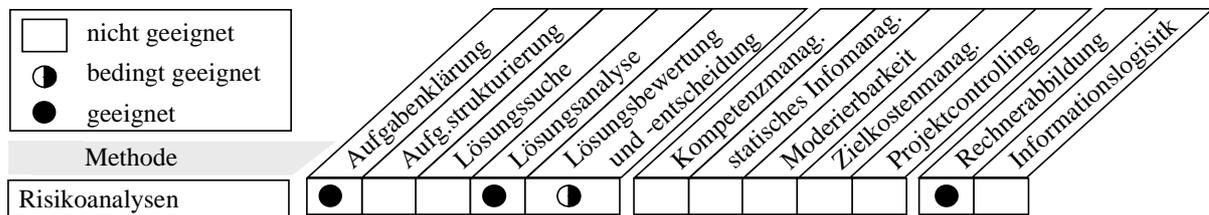


Abbildung 2.20: Bewertung der Risikoanalysen

2.3.5 Methoden zur Lösungsbewertung und -entscheidung

Im Bereich der Lösungsbewertung und -entscheidung werden Methoden vorgestellt, die einen konsistenten Vergleich aller Lösungsalternativen mit der Anforderungsliste bzw. den Zielvorgaben gewährleisten und eine Entscheidung unterstützen.

2.3.5.1 Analytischer Hierarchie Prozeß

Der Analytische Hierarchie Prozeß (AHP) wurde Anfang der 70-er Jahre von Saaty¹¹⁷ entwickelt und ist eine hierarchische Problemstrukturierung¹¹⁸. Ausgehend von der Voraussetzung, daß jeder Hauptfaktor (bei Produktentwicklungen sind das die Hauptanforderungen der Kunden) eine Reihe von Unterfaktoren besitzt, wird mit AHP versucht, auch für qualitative Ausprägungen exakte Gewichte zu berechnen (Einsatz von Softwaretools¹¹⁹), die die Beziehungen der einzelnen Faktoren bestmöglich wiedergeben.

AHP dient zur Unterstützung multiattributiver Entscheidungen bei komplexen Problemen und findet Anwendung, wenn der Kunde direkt nach der Wichtigkeit von Lösungseigenschaften befragt werden kann. Kenntnisse über Lösungseigenschaften müssen also bereits vorhanden sein, was den Einsatz von AHP hinsichtlich Lösungsanalyse begrenzt. Die Methode setzt ähnlich wie Axiomatic Design eine hierarchisierende An-

¹¹⁶ bspw. CIMAS-FMEA (vgl. <http://www.irmler.com/fmeaengl.htm>), SKILL DESIGNORS (vgl. <http://www.skillssoftware.com/designor.htm>) und PHA-Pro 3.0 (vgl. http://www.dyadem.com/pha_file1.htm).

¹¹⁷ vgl. (Saaty 1990).

¹¹⁸ vgl. (Schmied 1996), S. 176ff.

¹¹⁹ vgl. *Expert Choice* und *HIPRE 3+* unterstützen die Berechnung der Gewichtungsvektoren beim AHP (vgl. URL: <http://fre.www.ecn.purdue.edu/v1/asee/fie95/4c31/4c31.htm>) *Aliah Think* bietet AHP im Methodenverbund mit Brainstorming und Conjoint Analyse (vgl. <http://aliah.pgh.pa.us/>).

forderungsstruktur und die Unabhängigkeit der Anforderungen innerhalb einer Hierarchieebene voraus¹²⁰.

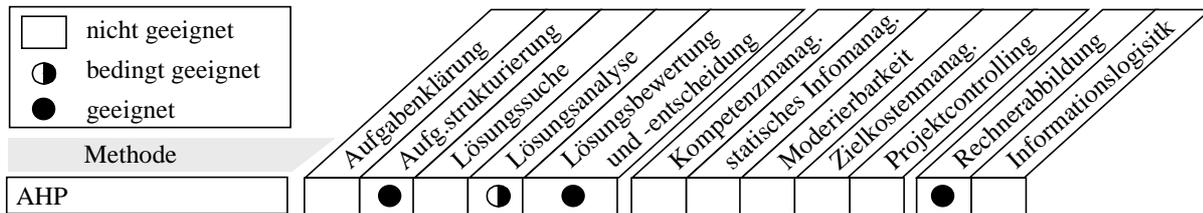


Abbildung 2.21: Beurteilung der AHP-Methode

2.3.5.2 Auswahlverfahren nach Pugh

Das Auswahlverfahren nach Pugh¹²¹ schlägt eine einfache Matrix vor, in der relevante Kriterien gegenüber den verschiedenen Lösungsalternativen aufgetragen werden. Eine der Alternativen wird zunächst als Referenz gewählt, und die anderen Alternativen werden je Kriterium gegenüber der Referenz als besser, schlechter oder gleichwertig differenziert. Nach einer ersten Reduzierung der Alternativen wird die am besten erscheinende Lösungsalternative als Referenz gewählt und der Prozeß wiederholt.

Auf diese Weise kann die am besten geeignete Lösungskonzeption schnell und einfach selektiert werden. Die Schwierigkeiten der Multikriterienanalysen werden dabei ähnlich wie beim AHP durch den Mehrfachvergleich überwunden¹²². Allerdings kann die Methode nur bei direkter Präferenzbildung der Auswähler und einfach zu vergleichenden Lösungsalternativen angewendet werden. Eine Rechnerabbildung der Matrizen ist grundsätzlich möglich.

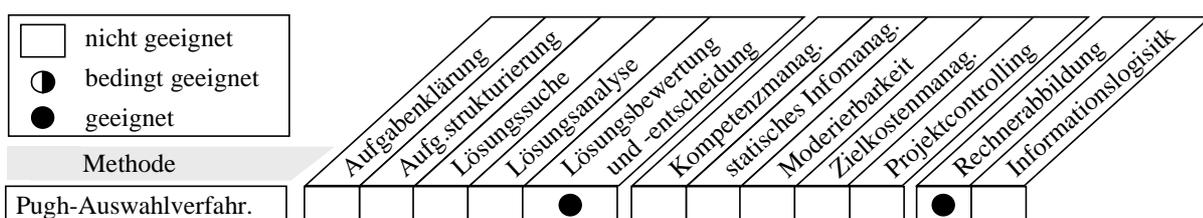


Abbildung 2.22: Bewertung des Auswahlverfahrens nach Pugh

2.3.5.3 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist die weitverbreitetste Methode zur qualitativen Bewertung von Lösungsalternativen. Den zur Bewertung relevanten Eigenschaften werden durch Ver-

¹²⁰ vgl. (Lanza 1995).

¹²¹ vgl. (Pugh 1981) und (Pugh 1991).

¹²² vgl. (Hartung 1994), S. 76-78.

gleiche mit selbst festgelegten Wertskalen Punktwerte zugeordnet¹²³. Die den *Scoring-Modellen*¹²⁴ zugrundeliegende Bewertungsmethodik ist formal der Nutzwertanalyse ähnlich. Die Beurteilungskriterien (Zielsystem) und das Wertskalensystem sind jedoch im Unterschied zur Nutzwertanalyse vorgegeben.

Die Nutzwertanalyse dient der Alternativenauswahl vor allem bei komplexen Projekten und kann am Rechner durchgeführt werden. Durch Variation der Gewichtung und der Zielwerte können zusätzlich mögliche Ergebnisverschiebungen festgestellt werden, dies entspricht einer Sensitivitätsanalyse¹²⁵.

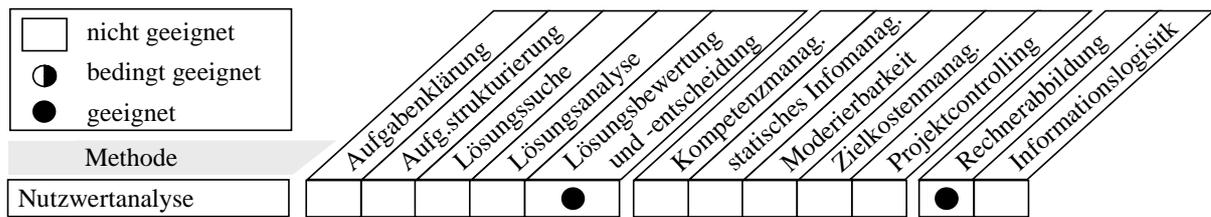


Abbildung 2.23: Bewertung der Nutzwertanalyse

2.3.5.4 Axiomatic Design – Information Axiom

Während das Independence Axiom und seine Implikationen bereits diskutiert wurde, wird nun auf die Auswahl der besten Lösung eingegangen. Das Information Axiom liefert hierzu eine quantitative Bewertung gegebener Lösungen. Zusätzlich stellt das Information Axiom die theoretische Basis für Optimierungen und Zuverlässigkeitsverbesserungen dar¹²⁶.

Das Informationsaxiom liefert eine objektive Hilfe für Lösungsentscheidungen, ohne daß willkürliche Gewichtungsfaktoren zum Einsatz kommen, wie das bei anderen, entscheidungsunterstützenden Methoden häufig der Fall ist (z.B. Nutzwertanalyse, AHP). Allerdings steigt damit auch die Notwendigkeit einer vorhergegangenen Lösungsanalyse. Umfangreiche Daten und Erfahrungswerte müssen vorab zur Verfügung stehen, um das Information Axiom anwenden zu können, das auf die vorherige Anwendung des Independence Axiom basiert. Es dient der weiteren Detaillierung der Lösungsentscheidungen die innerhalb des Independence Axiom bereits gefallen sind.

¹²³ vgl. (Baier 1997), S. 106ff. und (Eversheim und Schuh 1996/1), S. 7-53; weitere Literatur zur Nutzwertanalyse siehe (Zangenmeister 1976), (Bechmann 1978) und (Liellich 1992).

¹²⁴ bekanntestes Scoring-Modell ist das Modell von O’Meara, vgl. (Baier 1997), S. 112.

¹²⁵ vgl. (Ehrlenspiel 1995), S. 460.

¹²⁶ vgl. (Suh 1998), S. 13. und Anhang Kapitel 8.

Methode	Aufgabenklärung	Aufg. strukturierung	Lösungssuche	Lösungsanalyse	Lösungsbewertung und -entscheidung	Kompetenzmanag. statisches Informanag.	Moderierbarkeit	Zielkostenmanag.	Projektcontrolling	Rechnerabbildung	Informationslogistik
Information Axiom				●						●	

Abbildung 2.24: Bewertung der Methode Axiomatic Design – Information Axiom

2.3.6 Integrierend wirkende Methoden

Während in den vorangegangenen Kapiteln Methoden vorgestellt wurden, die schwerpunktmäßig auf einzelne Anforderungen des intrapersonellen Engineering abgestimmt sind, wird nun der Fokus auf das teamorientierte Engineering gelegt. Methoden, die die Zusammenarbeit im Sinne der Integration verbessern und organisieren, werden im folgenden vorgestellt.

2.3.6.1 Target Costing

Unter Target Costing¹²⁷ wird ein Konzept des Kostenmanagements verstanden, das durch marktorientierte Zielkostenvorgaben konsequent alle Unternehmensaktivitäten auf den Markt ausrichtet. Im Mittelpunkt steht nicht, wie herkömmlich, die Frage: „Was *wird* uns ein Produkt kosten?“, sondern statt dessen die Frage: „Was *darf* uns ein Produkt kosten?“ Der Kunde rückt damit ins Zentrum der Überlegungen.

Ausgehend vom erreichbaren Marktpreis werden unter Abzug der geforderten Rendite die Zielkosten für das Gesamtprodukt festgelegt (*Zielkostenfindung*)¹²⁸. Diese müssen im nächsten Schritt in Kosten für Funktionen oder Komponenten heruntergebrochen (*Zielkostenspaltung*)¹²⁹ und durch den Einsatz verschiedener Maßnahmen erreicht werden (*Zielkostenerreichung*)¹³⁰.

Die Durchführung des Target Costing erfolgt oft rechnerunterstützt und bildet eine Entscheidungshilfe bei der Lösungsauswahl. Die Anforderungen des Zielkostenmanagements werden vollständig erfüllt.

¹²⁷ weiterführende Literatur vgl. (Buggert und Wielpültz 1995/1), (Horváth 1993) und (Seidenschwarz 1993).

¹²⁸ vgl. (Buggert und Wielpültz 1995/2), S. 534 und (Sakurai 1989), S. 41.

¹²⁹ vgl. (Buggert und Wielpültz 1995/1), S. 89; (Horváth 1993), S. 145; (Horváth und Seidenschwarz 1992), S. 145ff.

¹³⁰ vgl. (Seidenschwarz 1991), S.201.

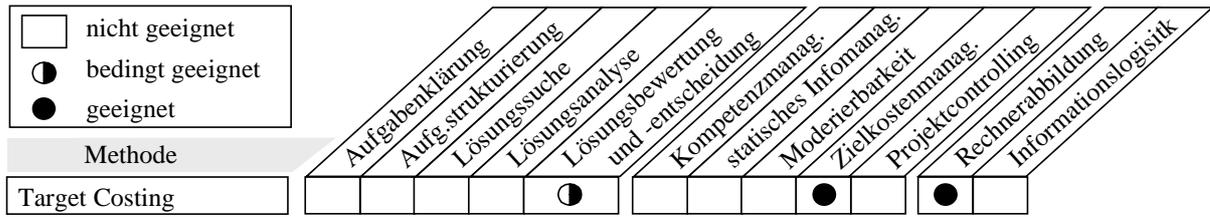


Abbildung 2.25: Bewertung des Target Costing

2.3.6.2 Wertanalyse

Die Wertanalyse ist eine von L. D. Miles¹³¹ entwickelte Methode zum Lösen komplexer Probleme, die sich auf die Systemelemente „Arbeitsplan“, „Management“ und „Verhaltensweisen“ abstützt¹³². Ziel ist, den Wert des Objekts zu steigern, d.h. nicht nur die Kosten zu senken, sondern auch den „Wert“, den Nutzen, die Funktion, die Leistung, etc. zu verbessern¹³³.

Die Erfolge der Wertanalyse liegen zum einen in erheblichen Kostensenkungen durch die Kostenplanung, die mit Hilfe des Funktionsdenkens erreicht wird (Zielkostenmanagement). Zum anderen wird durch die systematische Vorgehensweise in interdisziplinären Teams die Moderierbarkeits-Anforderung erfüllt. Eine Rechnerabbildung ist grundsätzlich möglich.

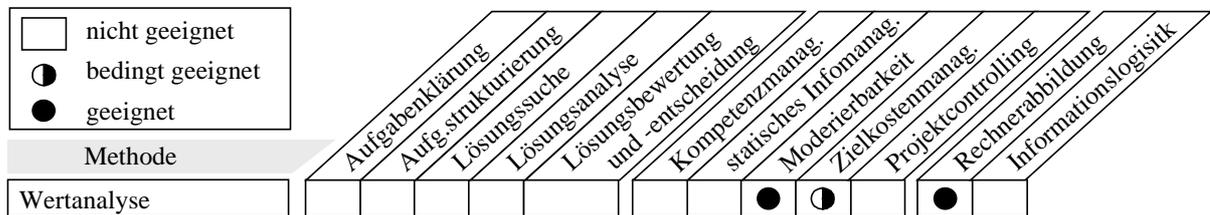


Abbildung 2.26: Bewertung der Wertanalyse

2.3.6.3 Termin- und Ablaufpläne

Mit Hilfe von Termin- und Ablaufpläne¹³⁴ wie *Balkenpläne* (Gantt-Diagramme), *Netzpläne*¹³⁵ oder *Projektstrukturpläne* und *Projektneutrale Entwicklungspläne*¹³⁶ wird ein

¹³¹ vgl. (Miles 1972).

¹³² genormt in der 1996 zurückgezogenen (DIN-69910 1987), da eine EN-Fassung in Vorbereitung ist. Ersatzweise ist die Richtlinie nach (VDI-2800 1997) gültig.

¹³³ vgl. (VDI-Wertanalyse 1995) und (Ehrlenspiel, et al. 1998), S. 101-103.

¹³⁴ vgl. (Madauss 1990), S. 191-200.

¹³⁵ Die bekanntesten Verfahren sind *Critical Path Method* (CPM), die *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) und die *Metra Potential Method* (MPM).

¹³⁶ vgl. (Eversheim und Schuh 1996/2), S. 7-133.

Entwicklungsprojekt in kleinere plan- und steuerbare Einheiten zerlegt. Die Termin- und Ablaufpläne sind in Unternehmen meist EDV-unterstützt. Sie dienen als wichtiges Hilfsmittel der Projektkoordination (Moderierbarkeit) und Projektsteuerung (Projektcontrolling), da bei gründlicher Planung in ihnen die zeitlich aufeinander abgestimmten Einzeltätigkeiten übersichtlich und kontrollfähig zusammengefaßt sind.

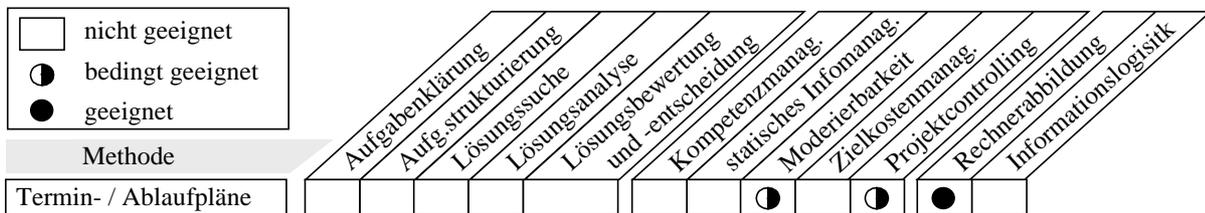


Abbildung 2.27: Bewertung der Termin- und Ablaufpläne

2.3.7 Zusammenfassender Vergleich und Methodenauswahl

Aus der in Abbildung 2.28 gezeigten Gegenüberstellung der analysierten Methoden resultiert die Auswahl von Methoden, die den Anforderungen des intra- und interpersonellen Engineering am besten gerecht werden. Darüber hinaus leiten sich konkrete Defizite und Handlungsnotwendigkeiten für eine zu konzipierende Methodenunterstützung im verteilten Engineering ab.

Wird die Anforderungserfüllung bezüglich des intrapersonellen Engineering betrachtet, so werden aus Gründen der entfallenden Schnittstellenproblematik zwischen den einzelnen Engineeringaufgaben Methoden gesucht, die durchgängig den ganzen Vorgehenszyklus des Problemlösens unterstützen.

Das *Independence Axiom* der Methode „Axiomatic Design“¹³⁷ ist die einzige Methode, die das intrapersonelle Engineering durchgängig unterstützt, wie es das *Ziel dieser Arbeit* vorsieht. Innerhalb dieser Zielsetzung beschränkt sich die Anforderung bzgl. Lösungssuche auf die Unterstützung des Systemdenkens und der Lösungsdarstellung. Unterstützung im Bereich des kreativen und kognitiven Denkprozesses liegt außerhalb dieses Aufgabenfeldes¹³⁸.

Auch bzgl. des interpersonellen Engineering ist das Independence Axiom als beste Methode auszuwählen. Jedoch bleiben die Anforderungen des Kompetenzmanagements, des Projektcontrollings, des statischen als auch dynamischen Informationsmanagements unberücksichtigt.

¹³⁷ Auf das Information Axiom der Methode kann verzichtet werden, da bereits das Independence Axiom eine im Rahmen dieser Arbeit ausreichende Lösungsbewertung und -entscheidung bereitstellt.

¹³⁸ z.B. (Kurz 1998) beschäftigt sich mit Kreativitäts- und Innovationsunterstützung.

Methoden	Intrapersonellen Engineering					Interpersonellen, direkten Eng.					Interpersonellen, dezentralen Eng.		
	Aufgabenklärung	Aufg. strukturierung	Lösungssuche	Lösungsanalyse	Lösungsbewertung und -entscheidung	Kompetenzmanag. statisches Infomanag.	Moderierbarkeit	Zielkostenmanag.	Projektmanag.	Rechnercontrolling	Informationslogistik		
Assoziationslisten	●											●	
Progr. Abstraktion	●		◐									◐	
Axiomatic Design ⁽¹⁾	●	●	◐	●	●		●	●				●	
Kano-Methode		●										●	
Funktionenanalyse		●	◐					◐				●	
Kreativitätstechniken			●									◐	
Morphologische Meth.		◐	●	●	◐							●	
TRIZ			●									●	
Conjoint-Analyse				●	●			◐				●	
Multidim. Skalierung				●	●							●	
QFD	●		◐	●	●		●	◐				●	
QCD	●		◐	●	●		●	●				●	
Risikoanalysen	●			●	◐							●	
AHP		●		◐	●							●	
Pugh-Auswahlverfahr.					●							●	
Nutzwertanalyse					●							●	
Axiomatic Design ⁽²⁾					●							●	
Target Costing					◐			●				●	
Wertanalyse							●	◐				●	
Termin- / Ablaufpläne							◐		◐			●	
Ziel dieser Arbeit	●	●	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

⁽¹⁾ Independence Axiom ⁽²⁾ Information Axiom

Abbildung 2.28: Übersicht und Vergleich der bewerteten Methoden

Nachdem anhand der Anforderungsspezifikation die zielorientierte Methode „Axiomatic Design“ identifiziert wurde, stellt sich nun die Frage nach Informations- und Kommunikations-Technologien (IuK-Technologien) mit denen die bisher unerfüllten Anforderungen bezüglich Informationsmanagement und Projektmanagement abgedeckt werden können. Insbesondere Anderl¹³⁹ fordert eine solche Integration von „Konstruktionswissenschaft und Produktdatentechnologie“.

2.4 IuK-Technologien für das verteilte Engineering

Durch die Integration der ausgewählten Methode „Axiomatic Design“ mit vorhandenen Standard-Softwarelösungen wird eine möglichst praxisnahe Lösung erreicht und der Erstellungsaufwand minimiert. Diese Kombination verspricht eine Gesamtlösung,

¹³⁹ vgl. (Anderl und Philipp 1999).

die das verteilte Engineering mit all seinen Anforderungen vollständig und durchgängig unterstützt.

Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel zunächst solche Standard-Softwarelösungen für das Informationsmanagement in Engineeringbereichen vorgestellt und des weiteren die Vorgehensweise zur Erweiterung dieser diskutiert. Nur mit dieser Erweiterung können die bisher unerfüllten Anforderungen des verteilten Engineering realisiert werden.

2.4.1 Standard-Softwarelösungen

Dem Informationsmanagement innerhalb des Entwicklungsbereiches widmen sich vorrangig sogenannte Engineering Data Management (EDM) Systeme, die die Erstellung und Verwaltung von Daten während des gesamten Entwicklungszykluses unterstützen¹⁴⁰.

Zur optimalen, standortübergreifenden Informations-Infrastruktur, welche vor allem die dynamische Informationslogik unterstützt, wird anschließend auf die notwendige Integration von Internet-Diensten zum Aufbau eines Intranets/Extranets eingegangen.

2.4.1.1 Engineering Data Management Systeme

Engineering Data Management (EDM) Systeme stellen im Entwicklungsbereich die weitest entwickelte, marktfähige Plattform für die Integration von Methoden und Informationsverwaltung dar. EDM zielt vor allem auf die Integration der Informationsflüsse und Abläufe in den Geschäftsprozessen im gesamten Lebenszyklus von Produkten und Anlagen und unterstützt die ganzheitliche Verwaltung aller Informationen aus CAx-Komponenten eines Unternehmens zu jedem Zeitpunkt. Zu den Konstruktionszeichnungen, Stücklisten, Handbüchern usw. kommt das ganze multimediale Spektrum wie z.B. Video und Sprache als Information in Frage. Das übergreifende Datenmodell der Produktdaten gewährt nicht nur den Beteiligten den Zugriff auf einen aktuellen, konsistenten und redundanzfreien Datenbestand, zudem reduziert sich das kostspielige Suchen nach Information erheblich¹⁴¹.

Dabei können die grundlegenden Funktionen wie folgt zusammengefaßt werden (siehe Abbildung 2.29).

¹⁴⁰ vgl. (ABmann 1996), S. 25, (Eigner, et al. 1991), (Ploenzke 1999).

¹⁴¹ vgl. (Krause und Doblies 1996), S. 181-195.

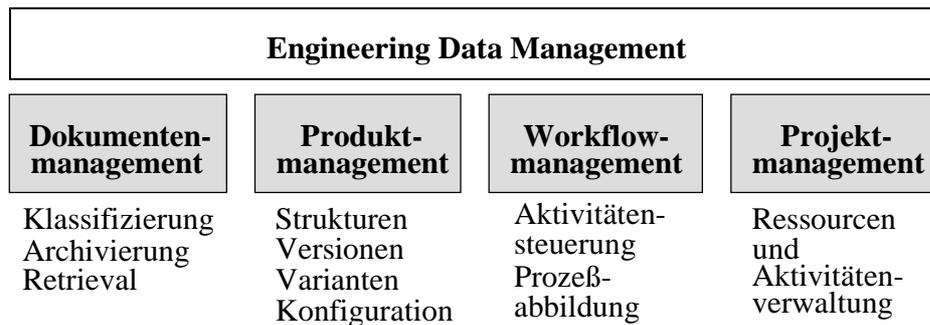


Abbildung 2.29: EDM Funktionalität

Diese Funktionen werden zwar von den Anbietern kommerzieller EDM-Systeme propagiert, sind aber tatsächlich nur teilweise realisiert¹⁴². Marktstudien und Vergleichsberichte zeigen¹⁴³, daß sich der Funktionsumfang heutiger EDM-Systeme nicht wesentlich unterscheidet.

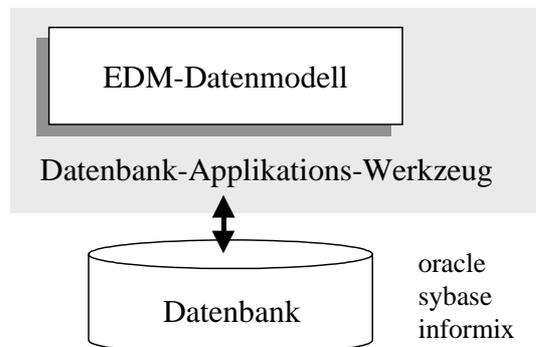


Abbildung 2.30: Grundbausteine eines EDM-Systems

Die in Abbildung 2.30 gezeigten Grundbausteine eines EDM-Systems sind eine Datenbank, ein Datenbank-Applikations-Werkzeug und ein darin eingebettetes EDM-Datenmodell.

Grundsätzlich wird bei jedem Baustein zwischen relationalen und objektorientierten Modellen unterschieden. Die in Produktionsunternehmen zum Einsatz kommenden **Datenbanksysteme** basieren momentan und auch in naher Zukunft zum großen Teil auf relationale Schemata¹⁴⁴.

Ein **Datenbank-Applikations-Werkzeug** erfüllt die allgemeine Forderung nach einer neutralen Datenbank- und Benutzeroberflächen-Schnittstelle und ist somit ein geeignetes Werkzeug, um Applikationen unabhängig von Hardware und Systemsoftware zu

¹⁴² vgl. (Storvik 1997).

¹⁴³ vgl. (Storvik 1997) und (Marcial 1997).

¹⁴⁴ vgl. (Aßmann 1996), S. 27 und (Ploenzke 1999).

entwickeln. Somit kann die Applikation und mit ihr die verwalteten Daten mehrere Jahre Technologiewandlung überleben. Diese Forderung wird immer wichtiger, da die Lebensdauer der Daten eines Unternehmens im allgemeinen sehr groß ist, und die Erneuerungszyklen der Hard- und Systemsoftware immer kürzer werden.

Im einzelnen werden Systeme als Datenbank-Applikations-Werkzeuge bezeichnet, die einen ereignisgesteuerten Benutzerdialog aufweisen, alle Informationen in einem erweiterten Data Dictionary speichern und sie zur Laufzeit auswerten, datenbankunabhängig sind und dynamische Anpassungen und Erweiterungen zur Laufzeit ermöglichen.

In dieses Datenbank-Applikations-Werkzeug wird dann das **EDM-Datenmodell** eingebettet. Dieses Datenmodell beschreibt EDM Objekte (wie bspw. Dokument, Produkt, Workflow, Projekt), ihre Beziehungen und Attribute.

2.4.1.2 Zugriff über Intranet/Extranet

Ein **Intranet** ist die Anwendung von Techniken des Internets in einem abgeschlossenen Netzwerk zur Schaffung eines unternehmensweiten Informationsraumes (im Gegensatz zum weltweiten Informationsraum Internet).

Erweitert man ein Intranet dahingehend, daß autorisierte Partner der Zugriff auf das unternehmensinterne Intranet gewährt wird, spricht man von einem **Extranet**. Technisch gesehen, verbinden Extranets die Intranets von Partnern unter der Verwendung der öffentlichen Internet-Infrastruktur.

Der von Intranet und Extranet unterstützte ganzheitliche Prozeß von der Konstruktion über die Administration bis hin zur Fertigung erschließt neuartige Möglichkeiten des qualitativen Kundendialoges und erhöht gleichzeitig die interne Produktivität eines Unternehmens und ihrer Partner maßgeblich. Mit der Nutzung von Internet als zentrales Informationsrückrat und entsprechender Koordination stehen sämtlichen beteiligten Stellen die richtigen und aktuellen Daten stets vollständig und zielgerichtet zur Verfügung¹⁴⁵.

Die wichtigsten Werkzeuge des Internets, wie sie zur Integration des zu entwickelnden Softwaresystems implementiert werden sollen, sind **E-Mail** (Electronic Mail), **FTP** (File Transfer Protokoll) und **WWW** (World Wide Web). Auf ausführlichere und vollständige Erläuterungen soll auf weiterführende Literatur¹⁴⁶ verwiesen werden.

¹⁴⁵ vgl. (Sternemann 1999).

¹⁴⁶ z.B. (Kauffels 1994), (Katie, et al. 1997), (Badach, et al. 1994), etc.

Das WWW löst die drei wesentlichen Probleme einer weltweiten Integration heterogener Informationssysteme¹⁴⁷:

- Einheitliche Adressierung:
- Einheitliche Client-Server-Kommunikation:
- Hypertext-basierte Oberflächengestaltung:

Als Entwicklungswerkzeug von WWW-Seiten eignet sich die plattformunabhängige objektorientierte Programmiersprache **Java**. Durch den Einbau von Java-Interpretern in WWW-Anzeigeprogrammen (Browser) können sogenannte **Java-Applets** in WWW-Seiten integriert werden.

Die Überführung des Internet von einer rein akademischen Nutzung in eine universelle, insbesondere kommerziell nutzbare WWW Infrastruktur verlangt dem Punkt "Sicherheit" erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen. Neue Sicherheitsstandards wie SSL (Secure Sockets Layer), S-HTTP (Security-Hypertext Transfer Protokoll) oder das neue Internet-Protokoll IPnG (Internet Protocol new Generation) sind erste Schritte in diese Richtung¹⁴⁸.

2.4.2 Vorgehensweise zur Erweiterung der Standard-Softwarelösungen

Den gezeigten Standard-Softwarelösungen fehlt die Integration von Methoden und verteilter Informationsverwaltung. Für die Entwicklung bzw. Erweiterung von Softwaresystemen findet sich in der Literatur¹⁴⁹ die in Abbildung 2.31 gezeigte Strukturierung der Vorgehensweise in Phasen. Von Phase zu Phase wird dabei das Ergebnis zunehmend abhängiger vom Zielsystem und der technischen Implementierung.

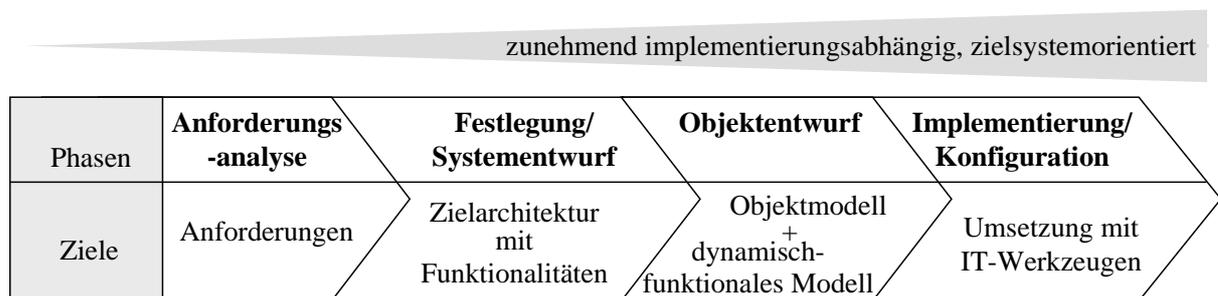


Abbildung 2.31: Software-System-Entwicklungsphasen

¹⁴⁷ vgl. (Scheller, et al. 1994), S.259.

¹⁴⁸ vgl. (Vaughan-Nichols 1997), (Pohlmann 1997), (Siyon und Hare 1995), etc.

¹⁴⁹ vgl. (Rumbaugh, et al. 1991).

In der **Analysephase** werden Anforderungen und Beschränkungen der zu erstellende Software beschrieben. Dabei handelt es sich um eine Beschreibung dessen, *was* das System leisten soll und eventuell warum, aber nicht, *wie* dies erreicht werden soll¹⁵⁰.

Erst in der **Systementwurfsphase** beginnt der Schritt vom *was* zum *wie*. Hier werden die Funktionalitäten des Systems als auch der Teilsysteme festgelegt. Die Untersuchung auf Zielarchitektur geschieht noch weitgehend implementierungsunabhängig.

Für die Architekturkonzeption sind im wesentlichen drei Aspekte von Bedeutung¹⁵¹:

- Zur Integration in bestehende, heterogene Hardware- und Softwareumgebungen muß das zu entwickelnde System offen und flexibel sein. Dies erfordert eine modulare Systemstruktur, die Berücksichtigung verbreiteter Industriestandards z.B. für Schnittstellen zu unterschiedlichen Datenbanken (z.B. ODBC, CORBA) und Anwendungsprogrammen (z.B. STEP, IGES).
- Da umfangreiche, dynamische Informationsbestände zu verwalten sind, muß das System über leistungsfähige Module zur Systemadministration verfügen.
- Zur einfachen und intuitiven Anwendung des Systems ist neben der softwareergonomischen Gestaltung des Programmsystems die Verwendung standardisierter graphischer Benutzeroberflächen, z.B. MS-Windows oder X-Windows, erforderlich.

Das in der **Objektentwurfsphase** entwickelte Objektmodell definiert die statischen und beschreibenden Informationen der relevanten Datenobjekte und wird auch als *statisches Modell* bezeichnet. Es beinhaltet im wesentlichen die Identität der Objekte, deren Beziehungen untereinander und die jeweiligen Ausprägungen. Verwendete Abbildungsmethoden, auch unter dem Namen Modellierungssprachen bekannt, sind unter anderem die Notationen der objektorientierten Sprachen EXPRESS-G, OMT (Objekt Modelling Technique), UML (Unified Modelling Language), etc.¹⁵². Für relationale Informationssysteme wird dagegen das *Entity-Relationship-Modell* (ER-Modell)¹⁵³ bevorzugt, da es immer noch weit verbreitet ist.

Das statische Objektmodell bildet den Bezugsrahmen, in dem einerseits der dynamische Ablauf aber auch die funktionalen Abhängigkeiten definiert werden. Während der dynamische Aspekt den zeitlichen Ablauf von Zuständen und Ereignissen definiert, umfaßt der funktionale Aspekt die Transformation (Prozeß, Funktion) von Daten oder Werten in Ausgangsgrößen. Auch diese Modelle können mit Hilfe der objektorien-

¹⁵⁰ vgl. (Oestereich 1998), S. 73.

¹⁵¹ vgl. (Abmann 1996), S. 73 ff.

¹⁵² z.B. (Oestereich 1998), (Blaha und Premerlani 1998), (Rumbaugh, et al. 1991), (Polly 1996).

¹⁵³ vgl. (Rauh und Stickel 1997), S.227 ff. und (Eigner, et al. 1991), S.169.

tierten Modellierungssprachen abgebildet werden. Als quasi Industriestandard zur Abbildung des *dynamisch-funktionale Modells* hat sich im europäischen Raum die *Ereignisgesteuerte Prozeßkette* (EPK) durchgesetzt.

Ziel in der **Implementierungsphase** ist es, das erstellte Objektmodell mit dem dynamisch-funktionalen Modell möglichst automatisiert in ablauffähige Anwendungssoftware umzusetzen. Sogenannte CASE-Tools¹⁵⁴ wie Rational Rose¹⁵⁵ oder Visio¹⁵⁶ bieten bereits Schnittstellen zu Standard Datenbanken an, welche die Datenbankkonfiguration automatisieren. Auch für Anwendersysteme, wie sie EDM-Systeme darstellen, sind solche Werkzeuge im Einsatz.

Die aufgezeigten Methoden und Werkzeuge decken die Anforderungen nur bedingt ab. Mit den Erkenntnissen aus der allgemeinen Vorgehensweise zur Software-Entwicklung läßt sich im nächsten Kapitel die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit konkretisieren.

¹⁵⁴ vgl. (Wiborny 1991), S. 270ff.

¹⁵⁵ vgl. <http://www.rational.com/>.

¹⁵⁶ vgl. <http://www.visio.com/>.

3 Lösungsansatz zum methodengestützten, verteilten Engineering

Das methodengestützte, verteilte Engineering ist eine wichtige gemeinsam anzugehende Aufgabenstellung für die Investitionsgüterindustrie genauso wie für die produzierende Konsumgüterindustrie.

Vor diesem Hintergrund bedarf es – wie im vorhergegangenen Kapitel aufgezeigt – der Methodenunterstützung im Engineering hinsichtlich Aufgabenklärung, Lösungssuche und -bewertung. Durch die Notwendigkeit zum interpersonellen Engineering besteht die Forderung ein verteiltes Engineering Data Management zur Verfügung zu stellen.

Verteiltes Engineering Data Management heißt die Unterstützung zur schnellen Schaffung gemeinsamer Begriffswelten, die Netzwerkunterstützung des kooperativen Projektmanagements und der verteilte Informationszugriff über Unternehmensgrenzen hinweg. Des weiteren begründen die in Abbildung 3.1 aufgezeigten Zwänge und Möglichkeiten den Handlungsbedarf.

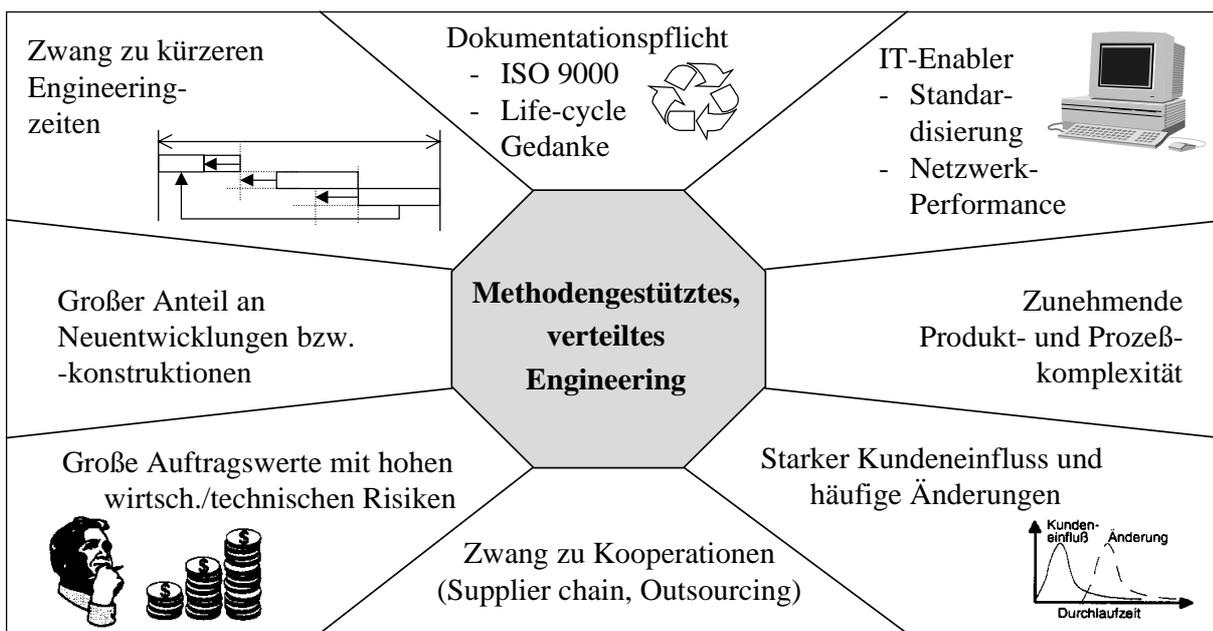


Abbildung 3.1: Einflüsse auf die wissenschaftliche Zielsetzung

Speziell typische Einflüsse¹⁵⁷ wie starker Kundeneinfluss, daraus resultierender Änderungsaufwand, geringe Umwandlungsrate der Angebotserstellung und schließlich große Auftragswerte mit hohen wirtschaftlichen und technischen Risiken erhöhen die identifizierte Problemstellung.

Lösungsansatz dieser wissenschaftlichen Arbeit ist es, mit der am Massachusetts Institute of Technology (MIT) entwickelten zielorientierten Vorgehensmethode *Axioma-*

¹⁵⁷ vgl. (Abmann 1996), S. 7.

tic Design das Engineering in verteilten Konstruktions- bzw. Planungsteams zu verbessern. Durch die vollständige Integration dieser Methode in ein verteiltes Produkt- und Prozeßdatenmodell und die Umsetzung des entstandenen Systementwurfs mit einem netzwerkbasierten Engineering Data Management, wird die zielorientierte Methode einerseits jedem Projektmitarbeiter zur Verfügung gestellt, andererseits ermöglicht sie ein zielorientiertes Projektmanagement. Damit soll ein Beitrag zur wirtschaftlichen Gestaltung des Engineering Data Managements in Entwicklungs- und Planungsphasen geleistet werden.

Abbildung 3.2 zeigt den angestrebten Lösungsansatz: Eine Gesamtlösung, welche die ausgewählte Methode Axiomatic Design mit einem kommerziellen EDM-System integriert und zusammen mit dem Zugriff über Intranet/Extranet alle Anforderungen zur Unterstützung des verteilten Engineering erfüllt.

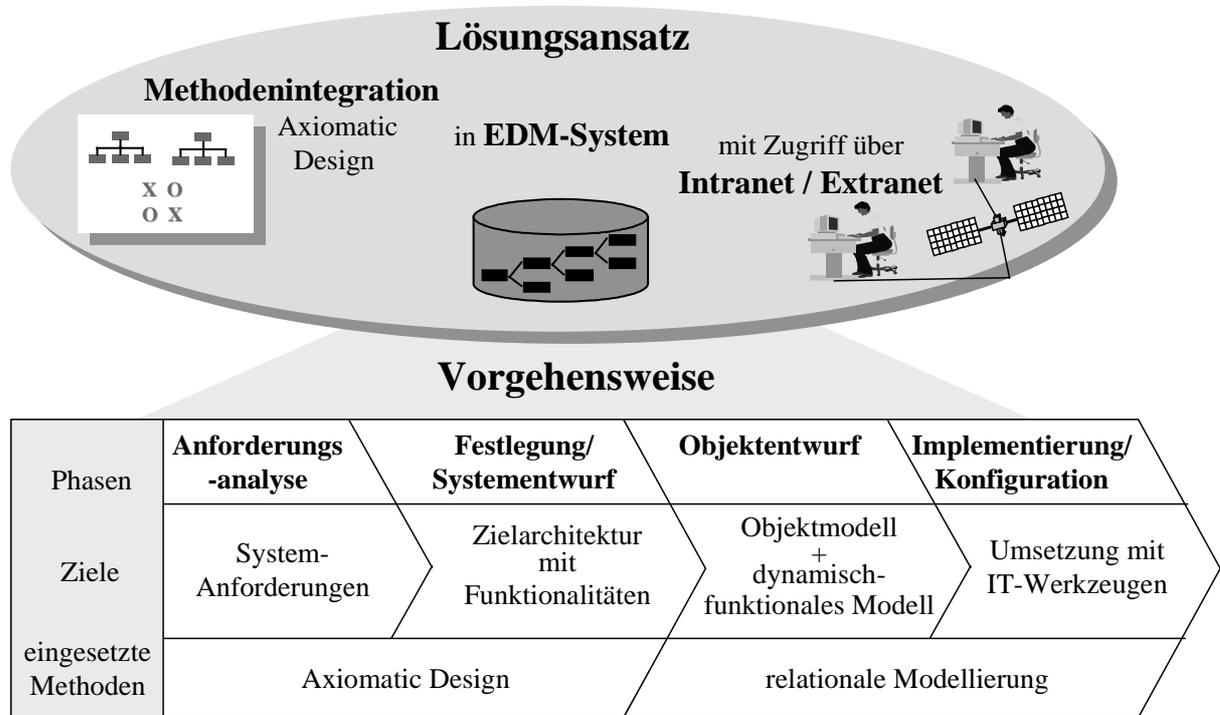


Abbildung 3.2: Lösungsansatz und Vorgehensweise¹⁵⁸

Ausgehend von den Grundlagen des verteilten Engineering und dem Lösungsansatz wird in Kapitel 4 die Anforderungsanalyse und der Systementwurf für ein zielorientiertes, verteiltes Engineering Data Management durchgeführt. Innerhalb dieser in Abbildung 3.2 gezeigten Software-Entwicklungsphasen wird Axiomatic Design wiederum als Methode zur Erstellung der Zielarchitektur eingesetzt. So wird die zur Integration ausgewählte Methode gleichzeitig in der Anwendung demonstriert. In Kapitel

¹⁵⁸ vgl. (Spath und Lanza 1999/1).

5 wird anschließend der Objektentwurf mit Erstellung der statischen und dynamisch-funktionalen Teilmodelle gezeigt. Eine Anwendungsbeschreibung der Modelle erfolgt in Kapitel 6 anhand des Projekts „Thixocasting Anlage“.

4 Systemanforderungen und -entwurf mit Axiomatic Design

Mit dem Einsatz von Axiomatic Design ergibt sich die Konkretisierung unter Berücksichtigung von Ziel (Anforderungsanalyse) *und* der Funktionalitäten (Systementwurf) für ein zielorientiertes, verteiltes Engineering Data Management. Dies gewährleistet eine integrierte Darstellung der beiden Entwicklungsphasen. Durch das prioritätengesteuerte, zielorientierte Vorgehen und die auf dem Independence Axiom beruhende Transparenz gegenseitiger Abhängigkeiten wird die Komplexität der Aufgabenstellung reduziert und beherrschbarer. Die Grundlagen der Methode finden sich ausführlicher in Anhang Kapitel 8.

4.1 Definition der obersten Systemanforderungen

Entsprechend der Vorgehensweise nach *Axiomatic Design* ist zur Bestimmung der obersten funktionalen Anforderung der wichtigste Kunde zu identifizieren. Die funktionalen Anforderungen weiterer Kunden fließen während der Konkretisierung Stufe für Stufe ein.

In Anlehnung an Suh¹⁵⁹ lassen sich die Kunden einer Produktionsressource grundsätzlich in den Endkunden des herzustellenden Produkts, die Arbeiter bzw. Angestellten des Unternehmens (Ressourcenbetreuer) und den Unternehmer (Entscheider über die notwendige Ressourcenfinanzierung) einteilen.

Abgebildet auf die Ressource Informationssystem sind somit die Kunden eines verteilten EDM-Systems¹⁶⁰:

- Das *Management*, welches über den Einsatz und die Finanzierung des Systems und seiner Projektierung entscheidet.
- Die *Systemadministration*, welche sich auf das Softwarehaus und die Anwenderunternehmen verteilt. Sie ist dafür verantwortlich, die optimale Verfügbarkeit der Software-Werkzeuge zur Unterstützung der informationslogistischen Ziele sicherzustellen.
- Die *Anwender* (Entwickler und Planer) des Engineering Data Managements, welche über die verschiedenen, kooperierenden Unternehmen verteilt sind.

¹⁵⁹ vgl. (Suh, et al. 1998).

¹⁶⁰ vgl. (Spath, et al. 1999/2).

Aus Sicht des wichtigsten Kunden, des Managements, das die Verantwortung trägt, läßt sich als oberste Anforderung - *Functional Requirement (FR)* – eine Reduzierung des „Time to Market“ mit der Ressource Engineering Data Management ableiten.

FR1: Reduziere „Time to Market“

Der nächste Schritt ist die Abbildung der Anforderungsdomäne auf den Lösungsraum. Es gibt mehrere Alternativen von Lösungsmerkmalen – *Design Parameter (DP)*, um ein definiertes FR zu erfüllen. Um FR1 zu erfüllen, soll zunächst folgender *Design Parameter* definiert werden:

DP1^a: Kommerzielles Standard-EDM-System

Ausgehend von der Zuordnung eines *Design Parameters* zu einem *Functional Requirement* (FR/DP-Paar) erfolgt gemäß des *Zigzagging*-Prozesses¹⁶¹ die Konkretisierung des FRs in seine „Sohn-FRs“.

Im folgenden wird zur Konkretisierung des obersten FRs die Definition des „Return on Investment“ (ROI) für den Einsatz einer Ressource herangezogen (siehe Gleichung 4.1). Diese Anwendung des ROI dient nicht zur Validierung einer Investition. Durch diese nicht der Investitionsrechnung gemäßen Betrachtungsweise läßt sich der Faktor Zeit vernachlässigen.

Gleichung 4.1:

$$\text{ROI} = \frac{\text{Umsatz} - \text{Laufender Aufwand}}{\text{Investment}}$$

„Umsatz“ wird mit EDM primär durch die Verkürzung von Entwicklungs- und Planungszeiten erreicht. Allerdings wird auch Zeit und Geld für die Anschaffung bzw. Installation der EDM-Systemmodule und zur Sicherstellung der Verfügbarkeit bzw. die Optimierung von EDM aufgewandt. Der „Return on Investment“ für Engineering Data Management (EDM) läßt sich somit folgendermaßen interpretieren:

Gleichung 4.2:

$$\text{ROI} = \frac{\text{Prozessbeschleunigung durch EDM} - \text{Laufender Aufwand zur Sicherstellung des EDM}}{\text{Investment zur Erstellung des EDM}}$$

Entsprechend der Gleichung wird FR1 in folgende Sohn-FRs konkretisiert:

FR11: Beschleunige den Engineeringprozeß

FR12: Reduziere den laufenden Aufwand zur Sicherstellung der EDM Funktionen während der Betriebszeit

¹⁶¹ siehe Anhang Kapitel 8.4.

FR13: Optimierte den Aufwand zur Planung, Beschaffung und Konfiguration des EDM Investments

Mit der Definition des DP1^a auf oberster, abstrakter Ebene und der FR1x ergeben sich folgende DP1^ax:

DP1^a1: Verfügbarkeit aller „verwalteten“ Informationen zu jeder Zeit an allen Orten

DP1^a2: Standardadministration

DP1^a3: Anschaffung sofort einsetzbarer, nicht zu konfigurierender Standard-Softwarepakete

Nachdem die FR/DP-Paare festgelegt wurden, ergibt sich folgende „Einflußmatrix“¹⁶², welche zeigt, wie die *Design Parameters* die einzelnen *Functional Requirements* beeinflussen:

Gleichung 4.3:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR11} \\ \text{FR12} \\ \text{FR13} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{X} & 0 & 0 \\ \text{X} & \text{X} & \text{X} \\ 0 & 0 & \text{X} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \text{DP1}^{\text{a}}1 \\ \text{DP1}^{\text{a}}2 \\ \text{DP1}^{\text{a}}3 \end{Bmatrix}$$

Um das *Independence Axiom* zu erfüllen, muß die Reihenfolge der FR/DP-Paare geändert werden, so daß eine untere Dreiecksmatrix entsteht:

Gleichung 4.4:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR11} \\ \text{FR13} \\ \text{FR12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{X} & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & 0 \\ \text{X} & \text{X} & \text{X} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \text{DP1}^{\text{a}}1 \\ \text{DP1}^{\text{a}}3 \\ \text{DP1}^{\text{a}}2 \end{Bmatrix}$$

Dies ergibt eine *einseitig abhängige* Lösung. DP1^a1 bedeutet, daß jeder einzelnen Person alle verwalteten Informationen zu jeder Zeit und an jedem Ort zur Verfügung stehen, ungeachtet ob die Person die Information benötigt oder nicht. Diese Art des Datenzugriffs kann durch einen vernetzten Zugriff auf eine Datenbank gewährleistet werden. Daher spielt die Konfiguration der Software-Pakete (Customization) keine große Rolle (FR13). Die Menge der Anwender und Arbeitsplätze (DP1^a1) sowie die Qualität der Standard Software (DP1^a3) beeinflussen den laufenden Aufwand für das Engineering Data Management (FR12).

Die Umsetzung nach DP1^ax funktioniert nur, wenn der Informationsumfang überschaubar bleibt und eine kleine Anwendergruppe bedient werden muß. Die Abläufe sind dabei durch geringes Simultaneous Engineering, kontrollierbare und verarbeitbare

¹⁶² siehe Anhang Kapitel 8.4.

Informationskapazitäten, wenige Informationsquellen, homogenisierte Informationsbedarfe und geringe Verwendung von CAD/CAM oder anderer Software charakterisiert.

Aufgrund der Steigerung der Produktkomplexität, des Informationsflusses bedingt durch elektronische Quellen, des Bedarfes an Dokumentation bedingt durch ISO 9000 ff. bzw. Produkthaftungsgesetz und dem Bedürfnis nach Kommunikationsmanagement zwischen verschiedenen Unternehmen haben sich die Rahmenbedingungen geändert. Die folgende Einflußmatrix spiegelt die Situation der ausgewählten Lösung DP1^ax unter den heutigen Rahmenbedingungen:

Gleichung 4.5:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR11} \\ \text{FR13} \\ \text{FR12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & 0 \\ \text{X} & \text{X} & \text{X} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \text{DP1}^{\text{a}1} \\ \text{DP1}^{\text{a}3} \\ \text{DP1}^{\text{a}2} \end{Bmatrix}$$

DP1^a1 erfüllt nun nicht mehr FR11, da die Bereitstellung aller verwalteten Informationen eine Komplexität erzeugt, welche in keine Prozeßbeschleunigung resultiert. Vielmehr verbringt der Entwickler und Planer durch den bereitgestellten Informationsfluß mehr Zeit mit der Überprüfung und Suche nach der „richtigen Information“. Nach Weule¹⁶³ verwendet der Ingenieur 70 % seiner Arbeitszeit mit der Suche nach verwendbarer Information, die nur einen kleinen Teil der dramatisch zunehmenden verfügbaren Informationen darstellt.

Daher ist alternativ folgender Design Parameter zu definieren:

DP1^b: *EDM gestütztes Axiomatic Design Projektmanagement*, welches die zielorientierte Methode Axiomatic Design, ein EDM-System und den Zugriff über Intranet/Extranet unter den Zielen der Informationslogistik integriert.

Informationslogistik bedeutet die Bereitstellung von Information in der erforderlichen Qualität und -quantität, zum richtigen Zeitpunkt, am richtigen Ort und zu vertretbaren Kosten. Folgende alternativen Lösungsmerkmale zur Erfüllung von FR1x werden durch Auswahl von DP1^b auf der höchsten Ebene definiert¹⁶⁴:

¹⁶³ Ergebnis des im Rahmen des EU finanzierten RACE II Programs durchgeführten Forschungsprojekts SMAC in (Weule 1996).

¹⁶⁴ Zur besseren Übersicht wird des weiteren die Tabellenform zur Darstellung der FR/DP-Paare gewählt.

FR11: Beschleunige die Entwicklungs- und Planungsprozesse	DP1 ^b 1: Informationsmanagement zur Maximierung der Benutzerproduktivität
FR12: Optimierte den laufenden Aufwand	DP1 ^b 2: Kostenbewußte Systemadministration zur Sicherstellung der EDM Verfügbarkeit
FR13: Optimierte Investitionsaufwand	DP1 ^b 3: Investition in integrierte offene Software-Werkzeuge

Die Beschleunigung der Entwicklungs- bzw. Planungs- und der nachfolgenden Prozesse wird einerseits durch die methodische und EDV-technische Unterstützung in jeder einzelnen Planungsaktivität erreicht, andererseits durch die Unterstützung des aus dem Gedanken des simultanen Arbeitens resultierenden „verteilten Engineering“. Der dafür notwendige Systementwurf des Informationsmanagements ist zu erstellen und umzusetzen.

Abbildung 4.1 zeigt die grundsätzlichen Aufgaben der Systeminvestition und –administration und deren zeitlicher Einordnung.

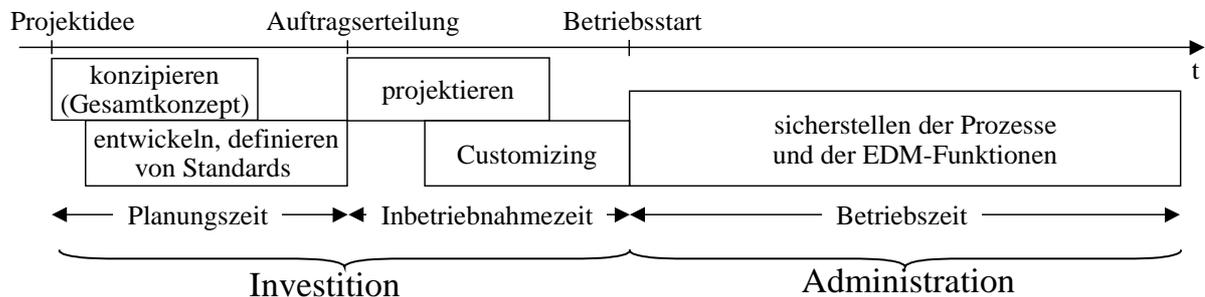


Abbildung 4.1: Aufgaben der Systeminvestition und -administration

Die Optimierung des Investitionsaufwands gibt vor, daß das Gesamtsystem nicht eigens programmiert werden kann, sondern auf einer Konfiguration aus am Markt verfügbaren, modulatorientierten Softwarepaketen basieren muß. Dafür ist erst ein IT-Gesamtkonzept zu erstellen und Standards zu definieren, auf denen die Auswahl beruht. Daraufhin ist der im Gesamtkonzept erstellte Systementwurf zu konfigurieren (Projektierung und Customizing).

Zur Optimierung der Sicherstellung der EDM-Funktionen (Administrationsaufwand) müssen einerseits die richtigen Methoden und Werkzeuge zur Verfügung gestellt, andererseits dafür optimierte Geschäftsprozesse entwickelt werden.

Die Einflußmatrix in Gleichung 4.6 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den drei FRs und DPs in der heutigen Informationsumgebung:

Gleichung 4.6:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR11} \\ \text{FR12} \\ \text{FR13} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{X} & 0 & 0 \\ \text{X} & \text{X} & 0 \\ \text{X} & \text{X} & \text{X} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \text{DP1}^{\text{b1}} \\ \text{DP1}^{\text{b2}} \\ \text{DP1}^{\text{b3}} \end{Bmatrix}$$

Die primäre Wertschöpfung durch EDM wird durch die Verbesserung der einzelnen Aktivitäten seiner Endverbraucher - der Benutzer - (DP1^{b1}) und deren interaktives Zusammenspiel erreicht. Somit beeinflusst DP1^{b1} einerseits den laufenden Aufwand (FR12), andererseits werden dadurch Grundfunktionalitäten für die Software-Werkzeuge gefordert und dadurch die Optimierung des Investitionsaufwands (FR13) beeinflusst (siehe Abbildung 4.2).

Die Investition in integrierte offene Software-Werkzeuge hat einen dienstleistenden Charakter gegenüber der Systemadministration, da *Ergebnisse* von DP1^{b3} in DP1^{b2} einfließen. Z.B. sind die ausgewählten Software-Werkzeuge (Ergebnisse von DP1^{b3}) ausschlaggebend für eine kostenbewußte Systemadministration. Diese Dienstleistungsfunktion von DP1^{b3} zu DP1^{b2} impliziert, daß DP1^{b2} bestimmte *Restriktionen* an DP1^{b3} stellt und somit an der Definition des *Functional Requirement* FR13 teilhat. Bspw. verlangt DP1^{b2} das Vorhandensein von Customizing Tools und beeinflusst so FR13.

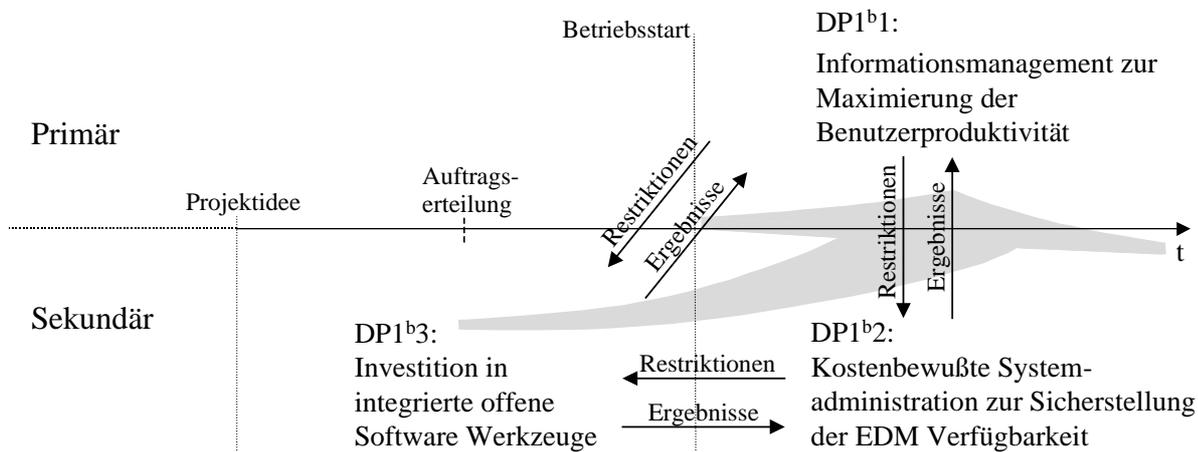


Abbildung 4.2: Kunden-Lieferanten-Beziehungen

Wie in Abbildung 4.2 dargestellt sind somit DP12^{165} und DP13 sekundäre Dienstleister (Lieferanten), welche Restriktionen von DP11 (Kunde) erhalten und deren Ergebnisse zur Umsetzung der primären Anforderung FR11 beitragen.

¹⁶⁵ Im folgenden wird das Indize „b“ weggelassen.

Die gezeigte Einflußmatrix ist nach Axiomatic Design *decoupled* (einseitig entkoppelt) und erfüllt das *Independence Axiom*.

Die folgende Arbeit fokussiert die Konkretisierung der primären Wertschöpfung: Prozeßbeschleunigung durch rechnergestütztes Axiomatic Design Projektmanagement. Die dadurch beeinflusste Systeminvestition und -administration ist aufgrund einer rein prototypischen Umsetzung nicht Gegenstand dieser Arbeit. Eine Vielzahl von Veröffentlichung schildert Restriktionen, Anforderungen und Aufgaben bei der Investition und Administration von EDM-Systemen¹⁶⁶.

4.2 Konkretisierung mit dem Ziel der Prozeßbeschleunigung

Das Functional Requirement FR11 „Beschleunige die Entwicklungs- und –planungprozesse“ wird im Zusammenhang mit DP11 „Informationsmanagement zur Maximierung der Benutzerproduktivität“ konkretisiert.

Abbildung 4.3 zeigt die zu beachtenden Möglichkeiten der Prozeßbeschleunigung:

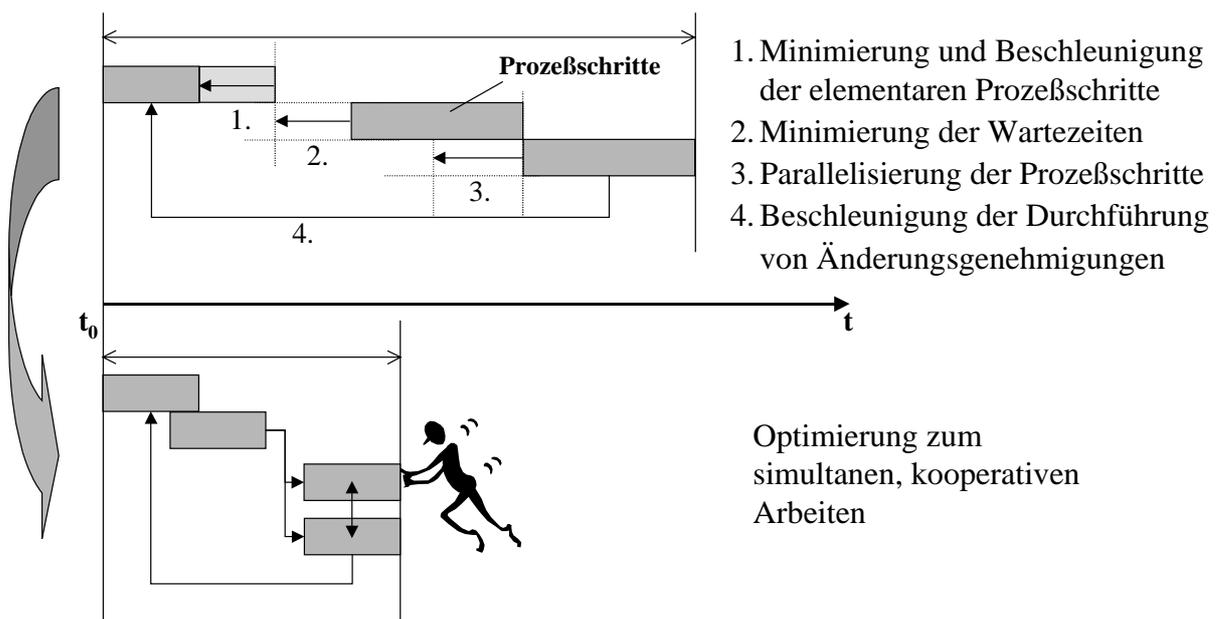


Abbildung 4.3: Möglichkeiten zur Prozeßbeschleunigung

Grundlegend für die Prozeßbeschleunigung ist die Minimierung und Beschleunigung der elementaren Prozessschritte (1.). Diese wurden in Kapitel 2 identifiziert und verlangen zur Beschleunigung ein *Methodenmanagement*, welches die ausgewählte Methode „Axiomatic Design“ vollständig integriert.

¹⁶⁶ vgl. (Ploenzke 1999), (Spath, et al. 1999/3), (Storvik 1997), (Stark 1992), (Eigner, et al. 1991).

Wird in einem Projekt die Verantwortung zwischen mehreren Personen geteilt, gewinnt die Bereitstellung und der Austausch von Informationen an Bedeutung. Die Parallelisierung der Prozeßschritte und gleichzeitige Minimierung der Wartezeiten (2. + 3.) erfordern die *Unterstützung der Verteilung und Synchronisation* der Daten durch definierte Workflows¹⁶⁷.

Die Durchführung von Änderungen dient der Erhaltung der Aktualität eines Planungsobjekts¹⁶⁸. Die Reduzierung der Ablaufzeit vom Änderungsantrag bis zum Beginn der Änderungsdurchführung (4.) erfordert somit ein *Änderungswesen*, welches die Durchführung dieser Änderungsgenehmigung weitgehendst automatisch steuert, verfolgt und dokumentiert (Workflow).

Zur Gestaltung dieser Workflows ist es notwendig zu wissen, wer welche Information zu welchem Zeitpunkt benötigt. Die Lieferanten und Kunden bzw. Quellen und Senken von Informationen werden als Kompetenzzentren definiert (siehe Kapitel 2.2.2.1: Kompetenzmanagement). Das *Management dieser Kompetenzzentren* ist zur Koordination der Workflows notwendig.

Aus den aufgezeigten Möglichkeiten ergeben sich folgende *Functional Requirements* mit den dazugehörigen *Design Parameters* zur Prozeßbeschleunigung¹⁶⁹:

FR111: Unterstütze die Parallelisierung der Entwicklungs- und Planungsprozesse	DP111: Verteilungsmanagement
FR112: Reduziere die Ablaufzeit vom Änderungsantrag bis zum Beginn der Änderungsdurchführung	DP112: Änderungswesen
FR113: Verwalte die Informationsquellen und Senken zur Koordination	DP113: Kompetenzmanagement
FR114: Reduziere die Zeit für die elementaren Prozeßschritte	DP114: Methodenmanagement

Die gezeigte Reihenfolge der FR/DP-Paare begründet sich aus der Überlegung, welche Kunden-Lieferanten-Beziehungen (Übergabe von Restriktionen und Ergebnissen) zwischen den DPs bestehen. Die folgende Einflußmatrix in Gleichung 4.7 verdeutlicht die Zusammenhänge.

¹⁶⁷ vgl. Definition „Workflow“ bei (Houy 1996), (Scheer 1994).

¹⁶⁸ vgl. (DIN-6772 1981).

¹⁶⁹ vgl. (Spath, et al. 1999/3).

Gleichung 4.7:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR111} \\ \text{FR112} \\ \text{FR113} \\ \text{FR114} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{X} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & 0 & 0 \\ \text{X} & \text{X} & \text{X} & 0 \\ \text{X} & \text{X} & \text{X} & \text{X} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \text{DP111} \\ \text{DP112} \\ \text{DP113} \\ \text{DP114} \end{Bmatrix}$$

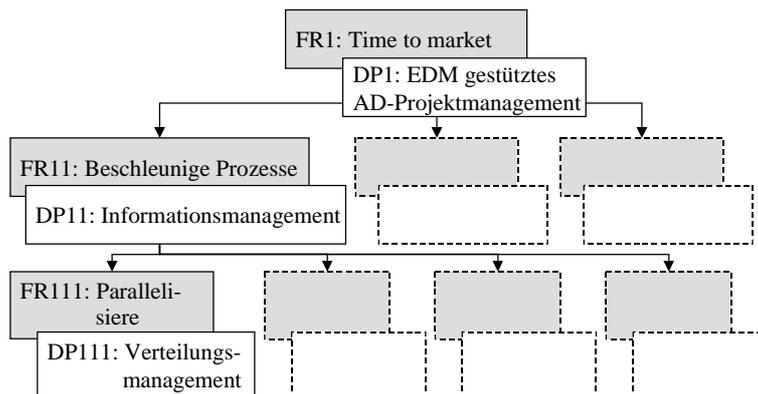
Die Funktionen DP111 ‘‘Verteilungsmanagement‘‘ und DP112 ‘‘Änderungswesen‘‘ sind voneinander unabhängig, da das Änderungswesen nur den Teil des Iterationsprozesses betrachtet, der durch die Änderungsanfrage angestoßen und mit der Bekanntmachung der genehmigten Änderung an alle betroffenen Kompetenzzentren endet. Die eigentliche Änderungsdurchführung unterliegt wiederum dem Verteilungsmanagement.

Diese beiden Funktionen ‘‘holen‘‘ bzw. ‘‘bringen‘‘ relevante Informationen von bzw. zu Kompetenzzentren. Somit werden die Anforderungen (FR113) an das Kompetenzmanagement von diesen Funktionen beeinflusst.

Im Rahmen eines Entwicklungsprojekts ist die gemeinsame Fokussierung auf ein Ziel und die daraus folgende Zusammenarbeit wichtiger als die Optimierung der einzelnen Elementartätigkeiten. Daraus ergibt sich, daß das Methodenmanagement (DP114) Dienstleister des verteilten Arbeitens und dessen Koordination ist.

Die in Gleichung 4.7 gezeigte Einflußmatrix ist *decoupled* und erfüllt somit das *Independence Axiom*.

4.2.1 Verteilungsmanagement



In diesem Kapitel wird innerhalb der Prozeßbeschleunigung auf das Verteilungsmanagement eingegangen. Es handelt sich konkret um den Zugriff auf Informationsobjekte.

Unter einem **Informationsobjekt** wird ein Objekt verstanden, welches in einem Engineeringprozeß erzeugt oder verändert wird. Es handelt sich zum einen um das physische Objekt (z.B. Prototyp, Dokument, etc.) zum anderen um die dazugehörigen

Stamm- und Strukturdaten. **Stammdaten** charakterisieren die zu verwaltende Objekte und **Strukturdaten** die Beziehungen zu anderen Objekten¹⁷⁰.

Verteilung durch EDM heißt, daß mit einer Benachrichtigung (z.B. in Form von Emails) dem Empfänger der **Zugriff** auf die Stamm- und Strukturdaten des Informationsobjekts freigegeben wird (Erteilung der Zugriffsrechte). Beziehen sich diese Stamm- und Strukturdaten auf ein Dokument wird der Zugriff auch auf dieses ermöglicht. Ist der Zugriff nicht möglich (bspw. durch fehlende Vernetzung oder Dokument in Papierform), sind die fehlenden Daten mit der Benachrichtigung weitgehendst automatisch mitzusenden.

Die kooperative Zugriff auf Informationsobjekte läßt sich, wie in Abbildung 4.4 dargestellt, bezüglich der Zugriffszeit und der Anwenderanzahl unterteilen.

	<i>Gleichzeitiger Zugriff</i>	<i>Zugriff zu verschiedenen Zeitpunkten</i>
<i>Einzelner Anwender</i>	Einzelzugriff auf Informationsobjekte	Linearer Zugriff unter Status-Verwaltung
<i>Verschiedene Anwender</i>	Synchroner oder asynchroner Zugriff über Kopien	Verteilter Zugriff über Kopien unter Status-Verwaltung

Abbildung 4.4: *Zugriff unter Berücksichtigung von Zeit und Anwenderanzahl*

Aus der Matrix ist abzuleiten, daß beim Zugriff verschiedener Anwender, Informationsobjekte durch Kopien zur Verfügung zu stellen sind. Um die Konsistenz der Informationsobjekte beim Zugriff zu verschiedenen Zeitpunkten zu sichern, wird nach Abschluß eines elementaren Prozeßschrittes ein neuer *Status* (Zustandsbeschreibung) vergeben.

Beim parallelen Zugriff muß in den später zu synchronisierenden und den reinen asynchronen unterschieden werden. **Zu synchronisierend** heißt in diesem Fall, daß die verteilten Daten im Rahmen der Zusammenführung „synchronisiert“ bzw. auf Konsistenz überprüft werden. Beim **reinen asynchronen** Zugriff entfällt diese Konsistenzprüfung.

Abbildung 4.5 zeigt die drei zu beachtenden Möglichkeiten der Verteilung.

¹⁷⁰ vgl. (Eigner, et al. 1991), S.47.

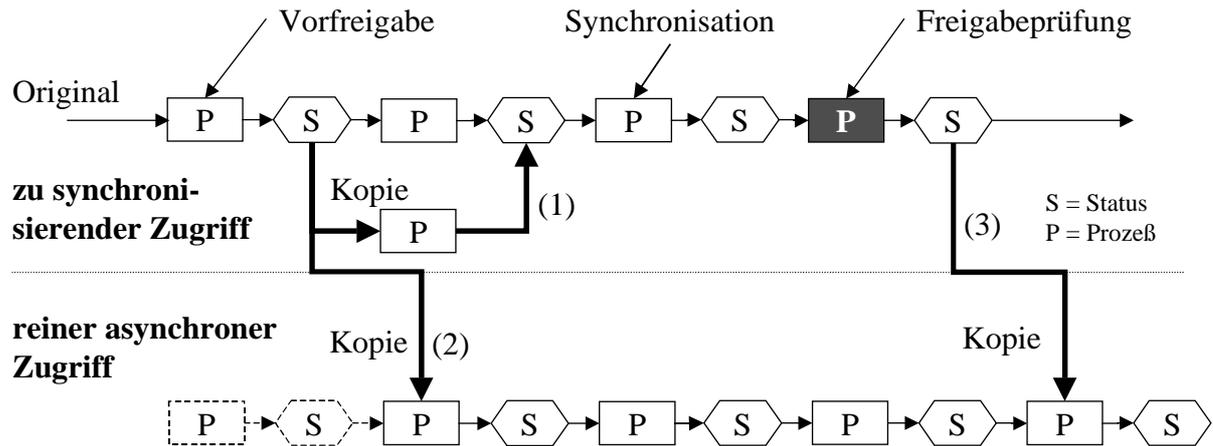


Abbildung 4.5: Verteilungsarten aus Sicht des Informationsobjekts

Die parallele Bearbeitung von Informationsobjekten, die eine Synchronisation erfordern, kann nur vor deren endgültigen Freigabe stattfinden. Die Bearbeitung der Kopie und des Originals besitzen die gleiche Zielsetzung (1). Während die Synchronisation der Stamm- und Strukturdaten durch EDM unterstützt wird, liegt die Synchronisation der Dokumentinhalte nicht in der Verantwortung des EDM. Letzteres wird als verteiltes, anwendungsinternes „Datenhandling“ bezeichnet und liegt in der Verantwortung des Eigentümers. Gleiches gilt für den reinen synchronen Zugriff, der z.B. durch Werkzeuge des *Application Sharing*¹⁷¹ unterstützt wird.

Ein reiner asynchroner Zugriff liegt vor, wenn die Weiterbearbeitung der Kopie eine andere Zielsetzung verfolgt, z.B. muß die Layoutplanung frühestmöglich auf eine Dokumentation der Prozeßablaufplanung zugreifen. Falls ein solcher Zugriff vor der Freigabe stattfindet (Vorfreigabe – (2)), sind direkt *nach* der Freigabe alle *vorherigen* Empfänger von Kopien darüber zu benachrichtigen, daß sie nun auf das freigegebene Informationsobjekt zugreifen können (3).

Das FR111 „Unterstütze die Parallelisierung der Entwicklungs- und Planungsprozesse“ wird mit dem DP111 „Verteilungsmanagement“ somit in folgende FR/DP-Paare konkretisiert:

FR111: Unterstütze den Prüfprozeß zur Freigabe (3)	DP111: Definition der Stati und Kompetenzen zur Freigabeprüfung
FR112: Unterstütze parallele Prozesse mit zu synchronisierendem Zugriff (1)	DP112: Definition der Stati und Kompetenzen zum synchronisierenden Zugriff

¹⁷¹ vgl. (Teufel, et al. 1995).

FR1113: Unterstütze parallele Prozesse mit reinem asynchronem Zugriff vor der Freigabe (2)	DP1113: Definition der Stati und Kompetenzen zum reinen asynchronen Zugriff vor der Freigabe
FR1114: Koordiniere die Verteilungsprozesse (1)-(3)	DP1114: Steuerung der Statiwechsel und Zugriffe

In DP1111, DP1112 und DP1113 werden die notwendigen Stati, Kompetenzen und ihre Beziehungen modelliert (Workflow-Modellierung). Die Kompetenz stellt die Beziehung zwischen einem Kompetenzzentrum und einem Informationsobjekt dar (siehe Kapitel 4.2.4).

Das Kompetenzzentrum mit der *Kompetenz des Eigentümers* stößt den Prüfprozeß zur Freigabe (DP1111) nach abgeschlossener Bearbeitung an (siehe Abbildung 4.6). Wird ein Informationsobjekt im Rahmen mehrerer Entwicklungsprojekte bearbeitet, existieren unter Umständen verschiedene *verantwortliche* Kompetenzzentren. Die Entscheidung zur Freigabe ist dann gemeinsam von diesen Kompetenzzentren zu treffen.

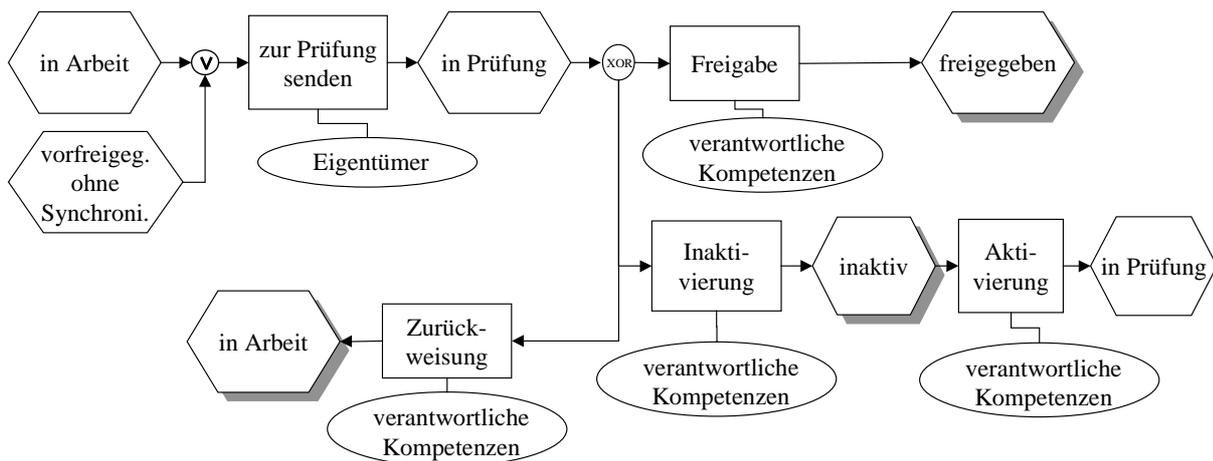


Abbildung 4.6: Freigabeprüfung aus Sicht des Informationsobjekts

Geben alle *Verantwortlichen* die Zustimmung zur Freigabe, erhält das Informationsobjekt den Status „freigegeben“. Alle *beeinflussten* Kompetenzzentren werden benachrichtigt. Ein einmal freigegebenes Informationsobjekt kann nicht mehr gelöscht werden. Nach der Freigabe unterliegt es den Richtlinien des Änderungswesens (siehe Kapitel 4.2.2).

Im Falle einer Projekteinstellung oder –aufschiebung wird das Informationsobjekt „inaktiv“ gesetzt. Bei Wiederaufnahme ist das Informationsobjekt wiederum „in Prüfung“ zu setzen.

Wenn ein verantwortliches Kompetenzzentrum sich gegen die Freigabe entscheidet, wird das Informationsobjekt zurückgewiesen und bekommt wiederum den Status „in Arbeit“. Es wird mit einem Kommentar zur Zurückweisung versehen.

Um den synchronisierenden Zugriff auf Informationsobjekte vor der Freigabe (DP1112) für die entsprechenden Kompetenzzentren zu modellieren, wird der Status „vorfreigegeben zur Synchronisation“ eingeführt (siehe Abbildung 4.7). Nach der Synchronisation (siehe Abbildung 4.5) muß dieser Status auf „in Arbeit“ zurückgesetzt werden.

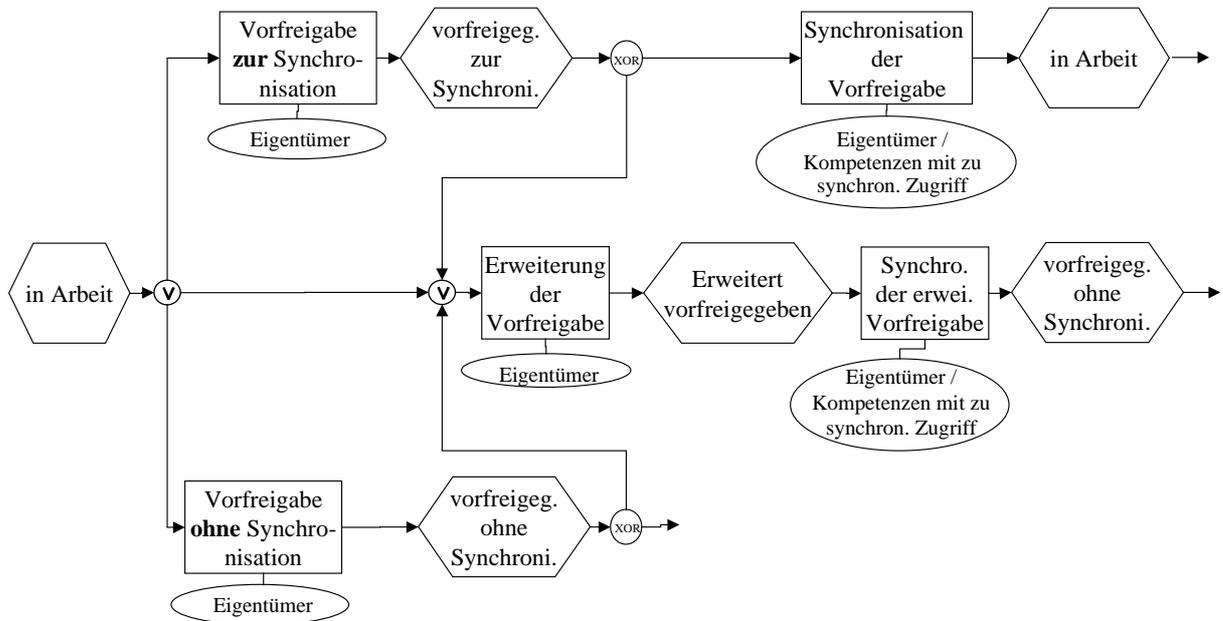


Abbildung 4.7: Vorfreigabe aus Sicht des Informationsobjekts

Zur Modellierung des reinen asynchronen Zugriffs vor der Freigabe (DP1113) wird der Status „vorfreigegeben ohne Synchronisation“ eingeführt. Dieser Status kann wie der Status „in Arbeit“ Ausgangszustand eines Freigabeprozesses sein.

Werden beide Zugriffsarten parallel ermöglicht, wird zur Steuerung der Zugriffsrechte der Status „erweitert vorfreigegeben“ erteilt. Dieser Status muß nach der Synchronisation auf „vorfreigegeben ohne Synchronisation“ gesetzt werden um eine nachfolgende Freigabe zu ermöglichen.

Basierend auf den in Abbildung 4.6 und Abbildung 4.7 beschriebenen Workflow-Modellen erfordert FR1114 die Steuerung der Statiprüfungen und der Zugriffe. Es sind die jeweils notwendigen Stati der Informationsobjekte vor dem nächsten Prozessschritt zu prüfen. Zur Unterstützung der Entscheidung, ob ein Informationsobjekt freigegeben werden kann, prüft das EDM zusätzlich die Stati der zugehörigen Sohn-Informationsobjekte (Voraussetzung ist eine hierarchische Strukturierung). Nur wenn alle Sohn-Informationsobjekte den Status „freigegeben“ haben, darf das Informationsobjekt in den Prozeß „Freigabe“ übergehen.

Parallel zu den Statiwechsel sind die Zugriffe wie Lese-, Schreib- und Löschrchte der Kompetenzen bezüglich des Informationsobjekts zu steuern. Tabelle 4.1 zeigt die aus den Workflow-Modellen abgeleitete Zuordnung.

Kompe- tenzen Stati	Eigentümer Kompetenz	Verant- wortliche Kompetenzen	Kompetenzen mit zu synchronisierendem Zugriff	Kompetenzen mit reinem asyn- chronem Zugriff
In Arbeit	rwd	--	--	--
Vorfreygegeben zur Synchronisation	rw	--	rw	--
Vorfreygegeben ohne Synchronisat.	rw	--	--	r
Erweitert vorfreygegeben	rw	--	rw	r
In Prüfung	r	r	--	--
Freygegeben	r	r	r	r
Inaktiv	r	r	--	--

Zugriffsrechte: r = read, w = write, d = delete

Tabelle 4.1: Steuerung der Zugriffe über Stati und Kompetenzen

Die Einflußmatrix für die beschriebenen Workflow-Modelle und ihre Koordination wird in Gleichung 4.8 beschrieben. Die Prozesse der Vorfreygaben zur Unterstützung des Simultaneous Engineering (DP1112 und DP1113) müssen vor der Freigabeprüfung abgeschlossen sein. Die Ergebnisse dieses verteilten Arbeitens münden in das freigegebene Informationsobjekt. Aus dieser zeitlichen und ergebnisorientierten Abhängigkeit ergibt sich die Beeinflussung von FR1112 und FR1113 durch die Definition der Stati und Kompetenzen des DP1111.

Gleichung 4.8:

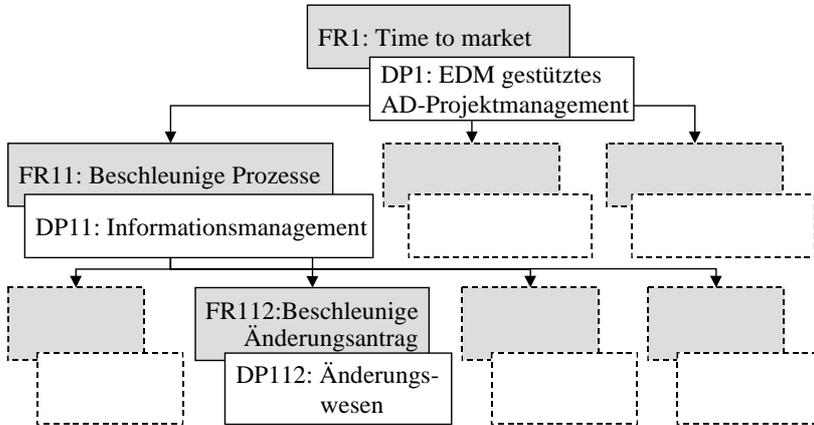
$$\begin{Bmatrix} \text{FR1111} \\ \text{FR1112} \\ \text{FR1113} \\ \text{FR1114} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{X} & 0 & 0 & 0 \\ \text{X} & \text{X} & 0 & 0 \\ \text{X} & 0 & \text{X} & 0 \\ \text{X} & \text{X} & \text{X} & \text{X} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \text{DP1111} \\ \text{DP1112} \\ \text{DP1113} \\ \text{DP1114} \end{Bmatrix}$$

Die Prozesse der Vorfreygaben sind zeitlich und ergebnisorientiert voneinander unabhängig. Sie werden mit voneinander unabhängigen Stati und Kompetenzen bezüglich des Informationsobjekts modelliert.

Die Koordination der Verteilungsprozesse (FR1114) resultiert aus den Restriktionen der Workflow-Modelle (DP1111-1113). Die Steuerung der Statiwechsel und Zugriffe

(DP1114) fungiert somit als Dienstleister und ist bei Änderung der Workflow-Modelle entsprechend anzupassen.

4.2.2 Änderungswesen



Das Änderungswesen beschäftigt sich mit Änderungen bereits geplanter Objekte nach deren Freigabe und den daraus resultierenden Änderungen der Stamm- und Strukturdaten.

Abbildung 4.8 zeigt die grundlegenden Tätigkeiten zur Durchführung einer Änderung. Primäres Ziel einer Änderung ist ein neues Informationsobjekt mit einer verbesserten Anforderungserfüllung.

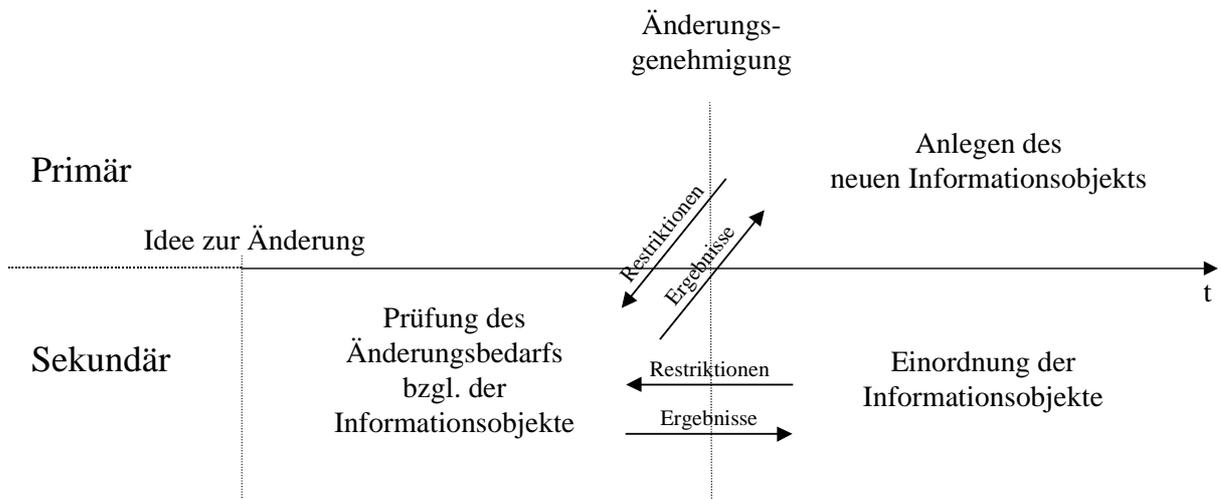


Abbildung 4.8: Tätigkeiten im Änderungswesen

Aus der Zerlegung von FR112 „Reduziere die Ablaufzeit vom Änderungsantrag bis zum Beginn der Änderungsdurchführung“ mit dem DP112 „Änderungswesen“ ergeben sich folgende FR/DP Paare:

FR1121: Initiere die Änderung nach erfolgter Genehmigung	DP1121: Anlegen der Stammdaten des neuen Informationsobjekts
FR1122: Unterstütze Zugriff auf Informationsobjekte nach erfolgter Genehmigung	DP1122: Neudefinition der Strukturdaten der Informationsobjekte

FR1123: Unterstütze die Änderungsprüfung bis zur Entscheidung	DP1123: Definition des Änderungsantrags mit Stati und Kompetenzen
FR1124: Koordiniere die Prozesse des Änderungswesens	DP1124: Steuerung der Statiwechsel, Zugriffe, Version- und Revisionserhöhung

Aus Gründen der Dokumentationspflicht (Produkthaftung) und der unterschiedlichen Auswirkungen einer Änderung auf verschiedene Entwicklungsprojekte ist bei erfolgter Änderungsgenehmigung ein *neues* Informationsobjekt anzulegen (DP1121). Zur Abbildung des Zusammenhangs zwischen „altem“ und „neuem“ Informationsobjekt und zur Charakterisierung der Änderungsart ist die Versionierung bzw. Revisionierung einzuführen¹⁷².

- Die **Version** eines Informationsobjekts erhöht sich, wenn sich die Anforderungen an das Objekt ändern und somit eine neue Lösung zu definieren ist.
- Die **Revision** eines Informationsobjekts erhöht sich, wenn bei gleichbleibenden Anforderungen eine bessere Lösung zur Erfüllung dieser definiert wird.

Im Genehmigungsfall wird ein neues Informationsobjekt mit höherer Version bzw. Revision vom Bearbeiter der Änderung (Eigentümer des neuen Informationsobjekts) erzeugt. Dieses erhält den Status „in Arbeit“.

Um nach erfolgter Genehmigung den Zugriff auf beide Informationsobjekte zu steuern (FR1122), wird in Abbildung 4.9 die Einordnung bezüglich der Strukturauflösung der Informationsobjekte gezeigt.

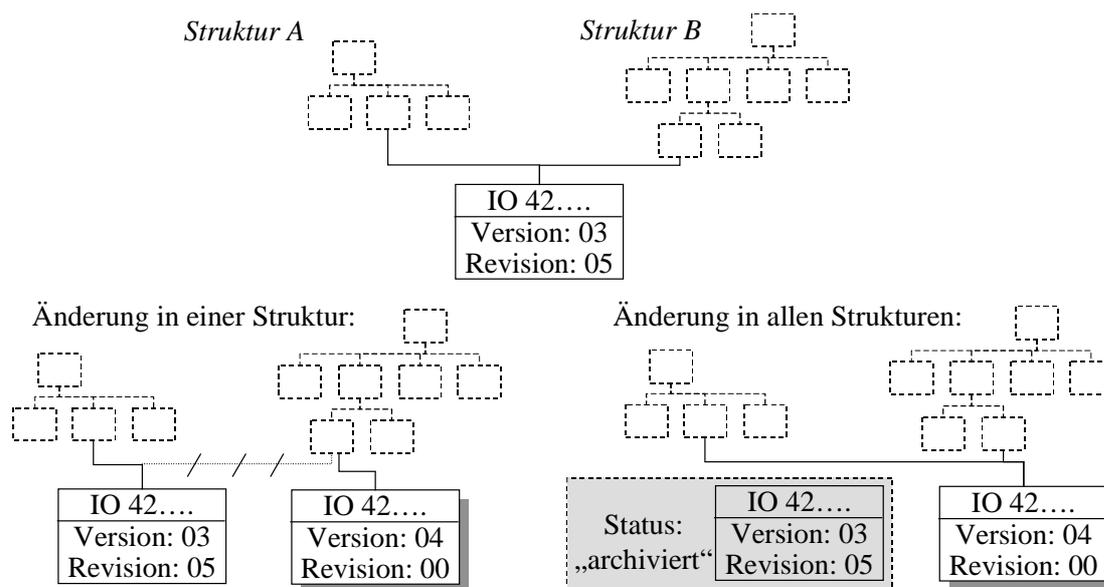


Abbildung 4.9: Änderung aus Sicht der Struktur

¹⁷² vgl. (Eigner+Partner 1998), (Eigner, et al. 1991).

Die Genehmigung einer Änderung muß sich nicht zwangsläufig auf alle Strukturen (z.B. Projektstruktur, Stückliste, etc.) auswirken, die das Informationsobjekt beinhalten. Für von der Änderung unbeeinflusste Strukturen bleibt das „alte“ Informationsobjekt „freigegeben“. Wird das Informationsobjekt in keiner aktiven Struktur mehr eingesetzt, wird es aus Gründen der Dokumentationspflicht „archiviert“.

Bevor eine Genehmigung erteilt werden kann, muß die Notwendigkeit einer Änderung sichergestellt werden. Deshalb ist vom Kompetenzzentrum, welches eine Änderung vorschlägt, ein Änderungsantrag anzulegen (siehe Abbildung 4.10). Daraufhin haben alle betroffenen verantwortlichen Kompetenzen im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens eine Entscheidung zu treffen.

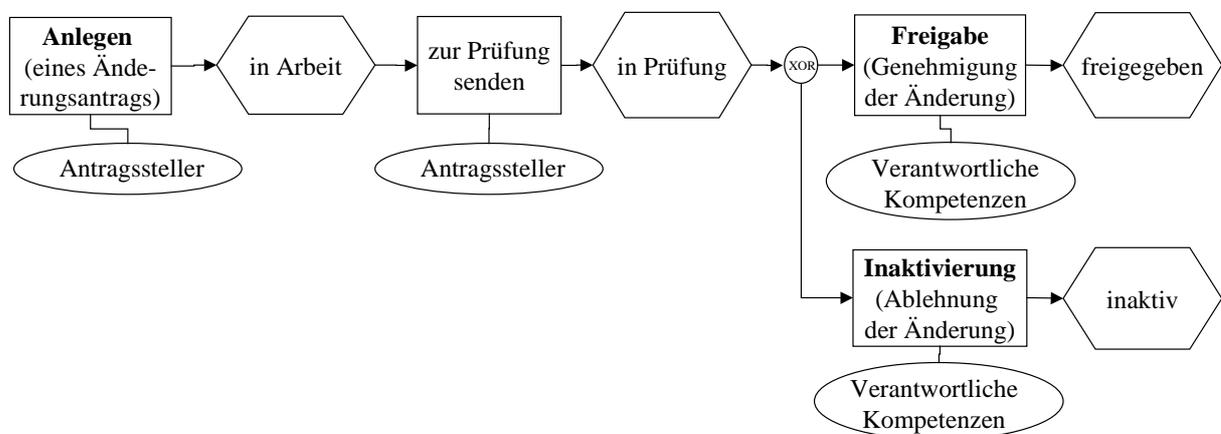


Abbildung 4.10: Änderungswesen aus Sicht des Änderungsantrags (DP1123)

Aus Sicht des EDM muß der Änderungsantrag folgende Mindestinformation beinhalten:

- Verweis auf das betroffene Informationsobjekt;
- Art der Änderung, woraus die Versions- oder Revisionserhöhung resultiert, und Begründung;
- weitere durch die Änderung ersetzte Informationsobjekte.

Der Antragsteller hat bezüglich des Änderungsantrags die Kompetenz des Eigentümers. Daher können die Steuerungsmechanismen des Prüfprozesses der Freigabe auch für die Änderungsprüfung genutzt werden (siehe Tabelle 4.1).

FR1124 fordert die Koordination des Änderungsantrags (Statiwechsel, Kompetenzen) und die daraus folgende Handhabung des betroffenen Informationsobjekts (Neuanlage, Version- und Revisionserhöhung, Strukturdaten).

Im Falle einer Genehmigung wird anhand der Information aus dem Änderungsantrag die Stammdaten eines neues Informationsobjekt mit entsprechender Version bzw. Revision angelegt.

Aus den neudefinierten Strukturen des neuen lassen sich die entsprechenden Strukturdaten des alten Informationsobjekts ableiten. Werden alte Informationsobjekte aus allen Strukturen herausgenommen, erhalten sie den Status „archiviert“. Weiterführende Archivierungsmechanismen werden in dieser Arbeit nicht näher betrachtet.

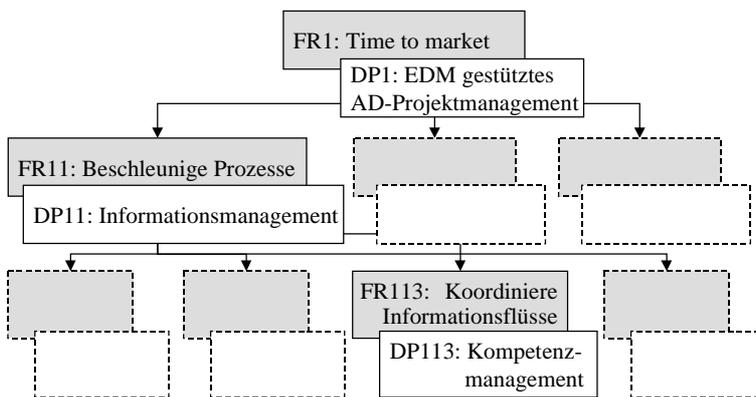
Die Prüfung und Genehmigung des Änderungsantrags muß vor dem Anlegen und Einordnen der Informationsobjekte abgeschlossen sein. Die Inhalte des Änderungsantrags werden aber von letzteren beeinflusst (siehe Gleichung 4.9). Aus dieser zeitlichen und ergebnisorientierten Abhängigkeit ergibt sich die Beeinflussung von FR1123 durch das Anlegen der Stammdaten (DP1121) und durch die Neudefinition der Strukturdaten (DP1122).

Gleichung 4.9:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1121} \\ \text{FR1122} \\ \text{FR1123} \\ \text{FR1124} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{X} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & 0 & 0 \\ \text{X} & \text{X} & \text{X} & 0 \\ \text{X} & \text{X} & \text{X} & \text{X} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \text{DP1121} \\ \text{DP1122} \\ \text{DP1123} \\ \text{DP1124} \end{Bmatrix}$$

Die Koordination der Änderungsprozesse (FR1124) resultiert aus den Restriktionen der Änderungstätigkeiten (DP1121-1123). Die Einflußmatrix ist *decoupled* und stellt somit gemäß des *Independence Axiom* eine mögliche Lösung dar.

4.2.3 Kompetenzmanagement



Zur Informationszustellung im Verteilungsmanagement und Änderungswesen müssen die Quellen und Senken des Informations transports beschrieben sein.

Für Quellen und Senken wird der Begriff „Kompetenzzentrum“ (*Competence Center – CC*) eingeführt (siehe Kapitel 2.2.2.1, Abbildung 2.5).

FR113 „Verwalte die Informationsquellen und Senken zur Koordination,, mit DP113 „Kompetenzmanagement“ ist folgendermaßen zu konkretisieren:

FR1131: Stelle die Zuordnung Informationsobjekt zu Kompetenzzentrum sicher	DP1131: Matrix zur Abbildung: Informationsobjekt - Kompetenzzentrum
--	---

FR1132: Stelle die Zuordnung Person zu Kompetenzzentrum sicher	DP1132: Matrix zur Abbildung: Person - Kompetenzzentrum
--	---

Die Kompetenz stellt die Beziehung zwischen einem Kompetenzzentrum und einem Informationsobjekt dar. Aus dem Verteilungsmanagement resultieren als Restriktion für das Kompetenzmanagement vier Arten von Kompetenzen, über die Informationsobjekte zu Kompetenzzentren zugeordnet werden:

- Kompetenz Eigentümer eines Informationsobjekts (KE)
- Kompetenz Verantwortlicher eines Informationsobjekts (KV)
- Kompetenzen mit zu synchronisierendem Zugriff auf ein Informationsobjekt (KS)
- Kompetenzen mit reinem asynchronem Zugriff auf ein Informationsobjekt (KA)

Abbildung 4.11 zeigt beispielhaft eine Matrix der Rollenzuordnung von Kompetenzzentren (CC) zu Informationsobjekten (IO) (DP1131).

		CC 543 Pilotbauteile	CC 675 Prozess- entwicklung	CC 987 Controlling	CC 985 Betriebs- mittelbau
Artikelfamilie (Output des FS)	IO 4723	KE	KA	KA	
	IO 0023				
	IO 2527				
Rohmaterial (Input des FS)	IO 4378	KS		KA	KA
	IO 0023	KE	KS		
	IO 8997			KA	
Fertigungs- prozeß	IO 6754	KA	KE		KA
	IO 5421		KS	KA	
	IO 0476		KE		KS
Fertigungs- system	IO 9020	KA			KE
	IO 4573			KA	KS
	IO 7845		KA		
		...			

Abbildung 4.11: Rollenzuordnung der Kompetenzzentren (CC) zu Informationsobjekten über Kompetenzen

Sobald ein Informationsobjekt (IO) im Rahmen eines Projekts erzeugt wird, wird ihm das anlegende Kompetenzzentrum (CC) als Eigentümer zugeordnet. Es kann mehrere aktuelle Bearbeiter eines Informationsobjekts geben, die Kompetenz Eigentümer (KE) kann zwar wechseln, aber immer nur ein Kompetenzzentrum ausüben. Somit ist die Verantwortlichkeit bis zur Freigabe geregelt.

Die Verantwortlichkeit zur Freigabe bzw. Änderungsbewilligung (KV) wird über eine hierarchische Vater-Sohn Struktur der Informationsobjekte zugeordnet. Ein Informationsobjekt ist oft Teil verschiedener Strukturen und hat somit unterschiedliche Vater-

Informationsobjekte mit wiederum unterschiedlichen Eigentümern. Diese Eigentümer der Vater-Informationsobjekte nehmen eine gemeinsame Verantwortung wahr bezüglich Freigabe und Änderung des Sohn-Informationsobjekts. Das EDM hat die Aufgabe diese „verteilte“ Verantwortung, die in „verteilten“ Entscheidungen mündet, zu organisieren.

Die Kompetenzen, die den zu synchronisierendem Zugriff (KS) und den reinem asynchronem Zugriff (KA) auf ein Informationsobjekt regeln, müssen je nach Grad der Beeinflussung des Informationsobjekts auf die Aufgabenstellung der Kompetenzzentren zugeordnet werden (siehe Abbildung 4.12). Die Beschreibung der Aufgabenstellung stellt die Summe der Informationsobjekte dar, von denen ein Kompetenzzentrum Eigentümer ist. Somit läßt sich aus der Beeinflussung des zuzuordnenden Informationsobjekts auf die vom Kompetenzzentrum in Eigentum befindlichen Informationsobjekte der *Beeinflussungsgrad* ableiten.

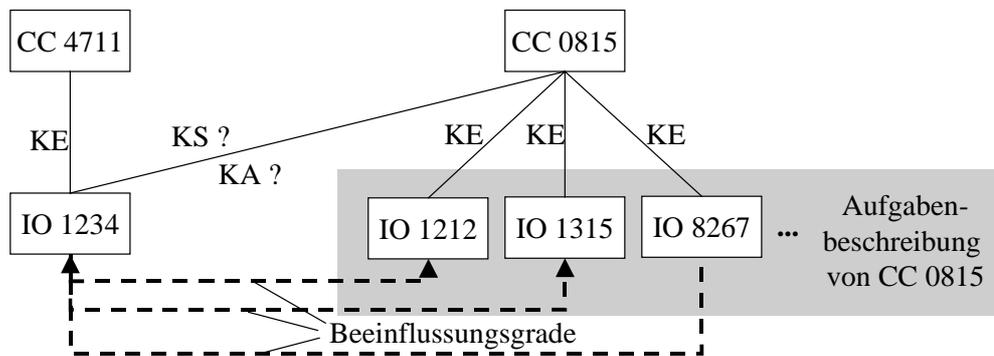


Abbildung 4.12: Ableitung der Kompetenzen KS und KA aus dem Beeinflussungsgrad

Es existieren drei unterschiedliche Beeinflussungsgrade:

- gegenseitige Beeinflussung der Informationsobjekte (*coupled design* nach Axiomatic Design): d.h. die Aufgabenstellungen der zwei CCs beeinflussen sich gegenseitig und es besteht ein Zielkonflikt, der einen zu synchronisierenden Zugriff (KS) erfordert. Bevor das Informationsobjekt freigegeben werden kann, müssen die Aufgabenstellungen „entkoppelt“ werden.
- einseitige Beeinflussung eines Informationsobjekts (*decoupled design*), d.h. der Eigentümer des *beeinflussten* Informationsobjekts benötigt einen asynchronen Zugriff auf das *beeinflussende* Informationsobjekt und erhält die Kompetenz KA.
- keine Beeinflussung der Informationsobjekte (*uncoupled design*), d.h. weder die Kompetenz KS noch KA wird vergeben.

Abbildung 4.13 zeigt die Abbildung der Rollenzuordnung einer Person zu einem Kompetenzzentrum über deren Qualifikation (DP1132). Diese Zuordnung hat alle Per-

sonen einzubeziehen, die an Projekten mitarbeiten und über das EDM verwaltet werden.

Person \ CC	CC 543	CC 675	
Schmidt	CAD		
Müller	Berater	Arbeitsplaner	...
Braun	CC-Leiter		
			...

Abbildung 4.13: Rollenzuordnung der Personen zu Kompetenzzentren (CC) über Qualifikationen

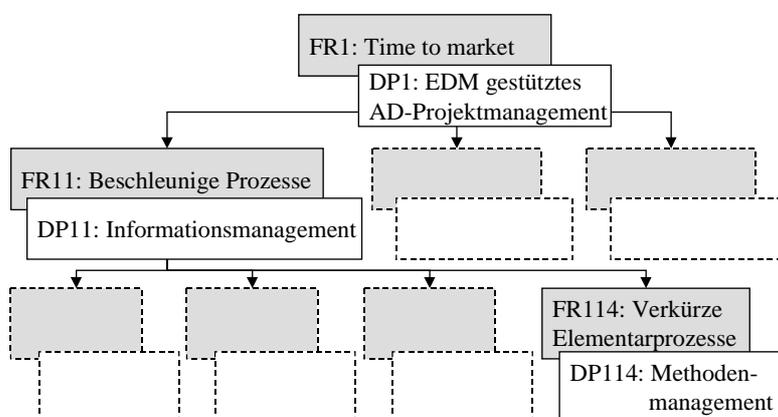
Diese Personen müssen nicht unbedingt einen direkten Zugriff (*user account*) zum System haben. Dadurch kann die Personenverwaltung nicht allein auf der Benutzerverwaltung eines EDM-Systems basieren und somit ist es notwendig zur Abbildung der Matrix Person–Kompetenzzentrum eine gesonderte Personenliste zu führen. Diese wird über das Kompetenzmanagement mit der Benutzerverwaltung des EDM-Systems verknüpft. Die Aktualisierung der Matrix unterliegt der Systemadministration.

Gleichung 4.10:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1131} \\ \text{FR1132} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{X} & 0 \\ \text{X} & \text{X} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \text{DP1131} \\ \text{DP1132} \end{Bmatrix}$$

Die Identifikation der Kompetenzzentren (Ergebnis von DP1131) stellt den Input für die Zuordnung Person zu Kompetenzzentrum (FR1132) dar. Daraus ergibt sich die in Gleichung 4.10 dargestellte Einflußmatrix, welche das *Independence Axiom* erfüllt.

4.2.4 Methodenmanagement



Die Minimierung und Beschleunigung der elementaren Prozessschritte von Entwicklern bzw. Planern wird durch ein geeignetes *Methodenmanagement* im EDM erreicht.

EDM dient der Integration von Methoden und Werkzeugen, wie beispielsweise CAD zur Gestaltung, wissensbasierter Methoden zur Konfiguration oder Simulationswerk-

zeugen zur Analyse. Dafür sind Anwendungsmodule oder angepasste Schnittstellen (on-/offline) zur Verfügung zu stellen.

Im Rahmen von Projekten zur Planung und Realisierung von komplexen Produkten ist für die Projektleitung das *Projektcontrolling* quasi aus der „Vogelperspektive“ online zu gestalten. Dies bedeutet, daß weniger die Detailprobleme einzelner Projektaktivitäten von Interesse sind, sondern die Gesamtsituation der zu koordinierenden Projekte auf einem hohen Abstraktionsgrad mit entsprechender Informationsverdichtung¹⁷³. Dies gilt sinngemäß auch für die nachgelagerten Führungsebenen, allerdings bei angepaßtem Detaillierungsgrad der Projektaktivitäten.

Wie in Kapitel 2 aufgezeigt, deckt insbesondere die *Planungsmethode „Axiomatic Design“* die vielfältigen Anforderungen des Entwicklungs- und Planungsprozesses durchgehend ab. Somit ist diese Methode zur Modellierung der Planungsaufgabe in das EDM vollständig zu integrieren.

Um den Entwicklern den Zugang zu den Informationsobjekten optimal zu ermöglichen, ist diesen die *Klassifikation* der Informationsobjekte als Navigationsmechanismus zur Verfügung zu stellen.

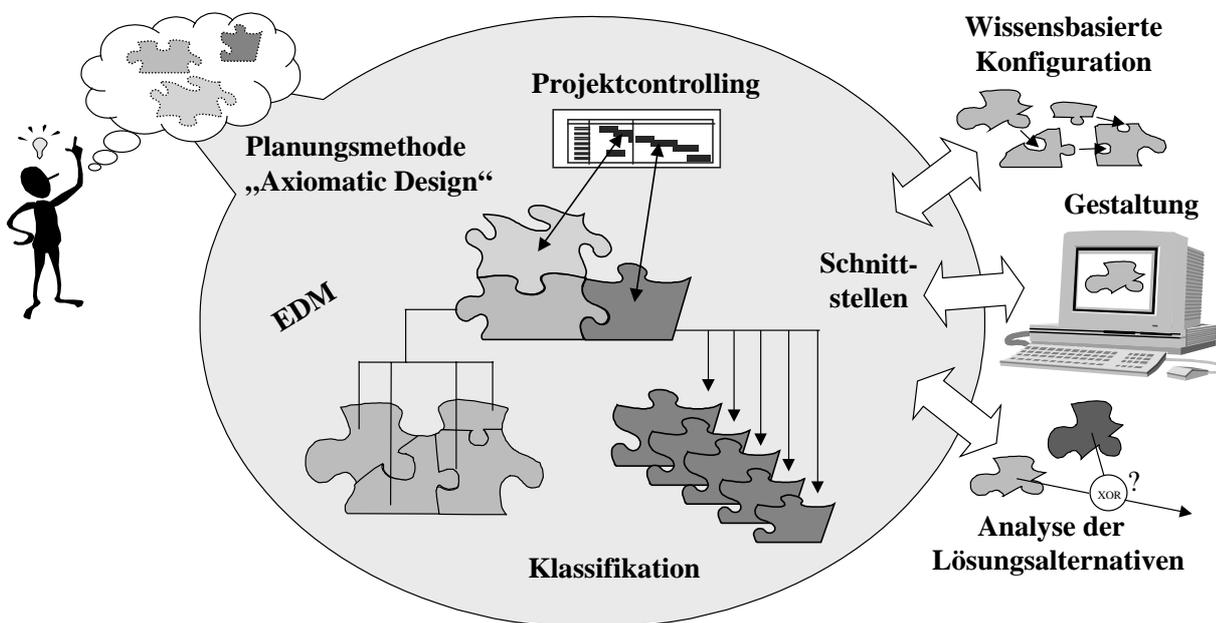


Abbildung 4.14: Grundlegende Elemente des Methodenmanagements

Aus der Zusammenfassung (Abbildung 4.14) der Methoden zur Unterstützung der Einzelaktivitäten der Entwickler bzw. Planer lassen sich folgende FR-DP Paare konkretisieren:

¹⁷³ vgl. (Sternemann 1999).

FR1141: Unterstütze die Integration von Methoden und Softwarewerkzeuge	DP1141: Schnittstellenmanagement
FR1142: Zeige den Projektfortschritt auf	DP1142: Projektcontrolling
FR1143: Bilde die Projektaufgabe ab	DP1143: Integration von Axiomatic Design
FR1144: Unterstütze die schnelle Informationssuche	DP1144: Klassifikation zur Navigation

Schnittstellenmanagement (DP1141)

Für die Integration von Methoden und Software-Werkzeugen mit EDM bestehen prinzipiell drei Niveaus:

- Volle Integration: Die Methoden und Werkzeuge existieren als Module des EDM.
- Online Integration: Die Methoden und Werkzeuge können direkt und jederzeit auf die Daten unter EDM-Verwaltung zugreifen. Dafür ist es notwendig im EDM die notwendigen Datenstrukturen bereitzustellen.
- Offline Integration: Die notwendigen Daten für die Werkzeuge werden über Schnittstellen weitgehendst angepaßt vom EDM den Datenbasen der Werkzeuge zur Verfügung gestellt.

Je nach Anwendungshäufigkeit der Methode bzw. des Werkzeugs, Menge der auszutauschenden Daten und Komplexität der Integrations- bzw. Schnittstellenkonfiguration ist zu entscheiden, welcher Integrationsgrad umzusetzen ist. Standards wie STEP¹⁷⁴ zum Produktdatenaustausch sind besonders zu berücksichtigen, da dadurch langfristig der Konfigurationsaufwand gesenkt werden kann.

Projektcontrolling (DP1142)

Bei der Projektdurchführung steht die Einhaltung der Termine im Zusammenhang mit den beteiligten Kompetenzzentren im Vordergrund. Das Projektcontrolling hat die Aufgabe, auf der Basis vorher definierter Freigabetermine der Projektaufgaben eine Projekt-Fortschrittkontrolle mit Hilfe von Statusvergleichen bereitzustellen und die beteiligten Kompetenzzentren aufzuzeigen.

¹⁷⁴ vgl. Standard for the Exchange of Product Model Data, ISO 10303.

Das *Festlegen der Freigabetermine* von Projektaufgaben ist beim Anlegen der entsprechenden Informationsobjekte durch dessen Eigentümer zu gewährleisten. Bei der weiteren Konkretisierung der Projektaufgaben wird dieser Freigabetermin detailliert, d.h. die Freigabetermine der Teilaufgaben werden durch Rückrechnung vom Freigabetermin für die Gesamtaufgabe vorgegeben. Der Freigabetermin unterstützt den Eigentümer des Informationsobjekts darin, sich in das Terminmanagement des gesamten Engineeringprojekts mit seiner Arbeit einzuordnen.

Die Diskussion des richtigen Zeitpunkts zur Vorfregabe sollte durch das EDM nicht beeinflusst werden. Die Frage, ob die Vorfregabe durch Fortschritt des Inhalts oder des Termins ausgelöst wird, ist Entscheidung der Projektstrategie.

Eine durch EDM unterstützte *Projekt-Fortschrittskontrolle* ermittelt den Projektstatus durch einen Soll-Ist-Vergleich der Stati von Informationsobjekten der „Klasse“ Projektaufgabe. Hiermit wird dem Projektverantwortlichen aufgezeigt, welche Projektaufgaben planmäßig „freigegeben“ und welche sich noch „in Arbeit“ befinden. Zusätzlich können Kennziffern wie z.B. maximale Überschreitung des Freigabetermins oder neu-diagnostizierter Endtermin des Gesamtprojekts angezeigt werden.

Dieser Soll-Ist-Vergleich stellt die Ausgangsbasis für Korrekturmaßnahmen dar. Querverbindungen zu daraus beeinflussten Projektaufgaben müssen mit Hilfe der Strukturierung der Planungsmethode aufgezeigt werden. Erforderliche Änderungen an vernetzten Informationsobjekten, die sich durch die Korrekturmaßnahme ergeben, werden damit gesteuert. Durch eine hierarchische Konkretisierung wird die Information des Projektcontrolling nach oben verdichtet bzw. abstrahiert.

Integration von Axiomatic Design (DP1143)

Der besondere Fokus von Axiomatic Design liegt in der Strukturierung der Planungsaufgabe und gleichzeitigen Bewertung der entstehenden Struktur. Grundlage der Dokumentation mit einem EDM-System ist diese Struktur, wodurch die vollständige Integration der dafür eingesetzte Methode gefordert wird.

Axiomatic Design fordert, daß mit der Definition der zugrundeliegenden *Constraints* (Randbedingungen) jedes Informationsobjekt durch ein *Functional Requirement* (FR) und dem dazugehörigen *Design Parameter* (DP) beschrieben wird.

Um ein neues Informationsobjekt im EDM anzulegen, müssen die Entwickler das *Functional Requirement* mit dem dazugehörigen *Design Parameter* festlegen (FR/DP Paar). Zu Beginn eines neuen Projekts legt der verantwortliche Projektmanager das oberste FR/DP Paar fest.

Anhand des *Independence Axiom* werden die Einflüsse jedes DP's auf die anderen FRs innerhalb einer Konkretisierungsebene mit der Einflußmatrix dargestellt. Somit werden jegliche Abhängigkeiten der Informationsobjekte innerhalb der Gesamtstruktur beschrieben und eine korrekte Strukturierungssequenz gewährleistet.

Erst mit dem Vorhandensein von FR und DP eines Informationsobjekts und dessen Einbindung in eine Einflußmatrix kann eine weitere Konkretisierung erfolgen. Diese Restriktionen gewährleisten die Einhaltung des *Zigzagging*-Prozesses. Der gesamte Planungsprozeß von der obersten Zielsetzung bis zur Detailkomponente einer Resource wird so hierarchisch abhängig vom gewünschten Detaillierungsgrad strukturiert.

Klassifikation (DP1144)

Klassifikation dient dazu, Objekte nach Merkmalen zu gliedern, um das Wiederauffinden gleicher oder ähnlicher Objekte zu ermöglichen. Voraussetzung ist die Zusammenfassung zu Klassen definierter Ähnlichkeit mit entsprechenden Charakteristika¹⁷⁵. Die Identifikation der Hauptklassen ist von der jeweiligen Engineeringaufgabe abhängig. Im folgenden soll eine solche Identifikation am Beispiel der Fertigungssystementwicklung und -planung gezeigt werden.

Ein *Fertigungssystem* ist die Umsetzung von wertschöpfenden *Prozessen*, um eine bestimmte *Teilefamilie* (Halbzeuge bzw. fertige Produkte) aus *Ausgangsmaterial* (Rohmaterial bzw. Halbzeuge) herzustellen¹⁷⁶. Genauso wie Fertigung als Transformation von Material betrachtet wird, ist die Fertigungssystemplanung die Transformation von Information. Abbildung 4.15 zeigt die Fertigungssystemplanung, abgebildet mit der IDEF0 Methode¹⁷⁷.



Abbildung 4.15: Abbildung der Fertigungssystemplanung nach IDEF0

¹⁷⁵ vgl. (Eigner, et al. 1991), S. 26.

¹⁷⁶ vgl. (Wu 1994).

¹⁷⁷ vgl. (Marca und McGowan 1993).

Zur Abbildung der Fertigungssystemplanung lassen sich die Informationsobjekte in die Hauptklassen „Teilefamilie“, „Ausgangsmaterial“, „Fertigungsprozesse“ und „Fertigungssystem“ einteilen.

Die Bildung der Klasse „Kompetenzzentren“ leitet sich aus den Restriktionen des Verteilungs- und Änderungsmanagements ab. Zur besseren Projektübersicht werden Informationsobjekte zu „Projektaufgaben“ zugeordnet und damit abstrahiert, woraus sich die Klasse „Projektaufgaben“ ergibt.

Die Dokumentation der Objekte all dieser Klassen erfordert zur Verwaltung die Klasse „Dokumente“.

Die Einflußmatrix in Gleichung 4.11 verdeutlicht die Zusammenhänge im Methodenmanagement.

Gleichung 4.11:

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1141} \\ \text{FR1142} \\ \text{FR1143} \\ \text{FR1144} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{X} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & \text{X} & 0 \\ \text{X} & \text{X} & \text{X} & \text{X} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \text{DP1141} \\ \text{DP1142} \\ \text{DP1143} \\ \text{DP1144} \end{Bmatrix}$$

Für die Integration weiterer Methoden bzw. das Schnittstellenmanagement zu Software-Werkzeugen ist gegebenenfalls die Abbildung weiterer Klassen notwendig. Daraus ergibt sich eine Beeinflussung der Informationssuche (FR1144) durch das Schnittstellenmanagement (DP1141). Die Abbildung (FR1143) bzw. das Controlling (FR1142) der Projektaufgaben können unabhängig vom Schnittstellenmanagement gestaltet werden.

Das Projektcontrolling liefert durch die Forderung nach Strukturierung und Konkretisierung der Projektaufgaben Restriktionen an die Planungsmethode „Axiomatic Design“ und beeinflusst dadurch die Abbildung der Projektaufgabe (FR1143).

Sowohl das Projektcontrolling als auch die Integration von Axiomatic Design fordern die Bildung der Klasse „Projektaufgaben“ und beeinflussen somit die Informationssuche (FR1144).

4.3 Zusammenfassung und Bewertung

Als wichtigste Schritte der beschriebenen Vorgehensweise nach Axiomatic Design lassen sich folgende auführen:

- Ableitung der obersten Anforderung (FR1) des wichtigsten Kunden
- Definition einer eindeutig zugehörigen Lösung (DP1)

- Hierarchische Konkretisierung der Functional Requirements und Design Parameters durch Zigzagging
- Analyse und Bewertung mit Hilfe des Independence Axiom durch Definition der Einflußmatrix (*Design Matrix*)

Durch die parallele ausführliche Beschreibung der Randbedingungen (*Constraints*) zur Konkretisierung begründen sich die FRs und ihre gegenseitige Beeinflussung. Wobei interne *Constraints* Restriktionen sind, die von den jeweils ausgewählten *Design Parameters* weitergegeben werden, und externe *Constraints* Restriktionen sind, welche unabhängig von den *Design Parameters* gültig sind.

Als Ergebnis der Integration von Anforderungsanalyse und Systementwurf zeigt Abbildung 4.16 den hierarchischen Aufbau des **EDM gestützten Axiomatic Design (AD) Projektmanagements**. Gemäß Axiomatic Design wurde diese Architektur direkt aus der obersten Zielsetzung abgeleitet. Der Fokus lag in der Konkretisierung der Prozeßbeschleunigung.

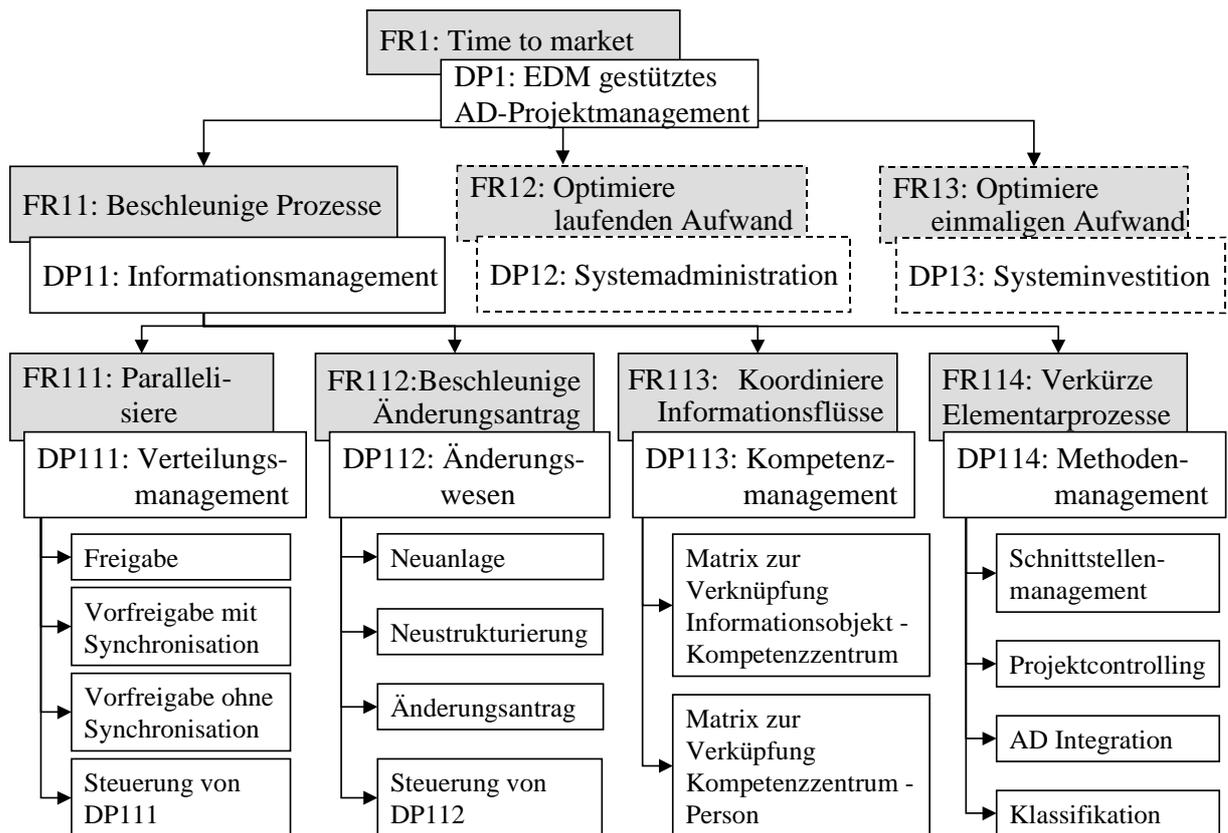


Abbildung 4.16: Architektur des zielorientierten Engineering Data Managements

Axiomatic Design zeigt sich als geeignete Methode zum Systementwurf in der Softwareentwicklung. Die Konkretisierung erfolgt grundsätzlich unter Berücksichtigung von Ziel *und* Umsetzung der jeweiligen Funktionalität. Durch die prioritätengesteuerte, zielorientierte Vorgehensweise werden die einzelnen Teilfunktionalitäten, gestützt

durch das Aufstellen der Einflußmatrix, in den richtigen Kunden/Lieferanten Zusammenhang gestellt. Durch die Gewährleistung der Transparenz von Ziel, Umsetzung und gegenseitiger Abhängigkeiten wurde die Komplexität der Aufgabenstellung wesentlich reduziert.

5 Statischer und dynamisch-funktionaler Objektentwurf

Der in Kapitel 4 beschriebene Systementwurf wird in Teilmodelle umgesetzt, welche unabhängig von der später eingesetzten Standardsoftware gültig sind. Da der überwiegende Anteil der am Markt befindlichen EDM-Systeme auch in nächster Zeit auf relationalen Datenmodellen beruhen wird¹⁷⁸, sind die Objektmodelle relational entworfen. Zur Darstellung der Abläufe und Prozeduren (dynamisch-funktionale Modelle) werden Prozeß-Status- und Flußdiagramme verwendet.

Die Abbildung der Teilmodelle wird durch geeignete Stamm- und Strukturdaten erreicht, wobei Stammdaten die Entitäten und Strukturdaten die Relationen zu anderen Entitäten charakterisieren. Als zentrales Integrationsinstrument soll die **Entität AD-Projekt** dienen, in welcher die Projektaufgaben als Elemente abgelegt werden. Diese Entität integriert weiterer Informationsobjekte (z.B. Dokumente, Artikel). Dadurch bezieht sich die Ablaufsteuerung des Verteilungs-, Änderungs-, Kompetenz- und Methodenmanagements ausschließlich auf diese Entität.

5.1 Teilmodelle für das Verteilungsmanagement

Die Verwaltung der Stati und Kompetenzen, welche im Verteilungsmanagement verlangt wird, basiert zum einen auf dem direkten Attribut **Status** mit definiertem Wertebereich, zum anderen auf der **Relation Kompetenz**, welche die Beziehung zu der **Entität Kompetenzzentrum** (siehe 5.3) darstellt. Die Art der Beziehung wird durch das Relationsattribut **Kompetenzart** definiert. Die entsprechende ER-Notation und die Wertebereiche der Attribute sind in Abbildung 5.1 dargestellt.

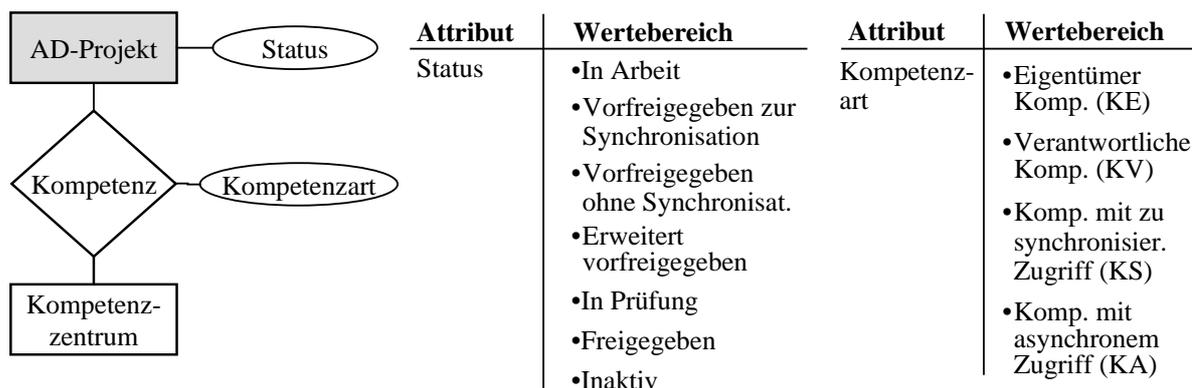


Abbildung 5.1: Stamm- und Strukturdaten des Verteilungsmanagements

¹⁷⁸ vgl. Kapitel 2.4.1.1 Engineering Data Management Systeme.

Das dynamisch-funktionale Modell, welches Statiwechsel und Zugriffe steuert, wird durch Ablaufschritte erreicht. Das folgende Flußdiagramm in Abbildung 5.2 zeigt die Steuerung der einzelnen Ablaufschritte bzgl. des Elements X der Entität AD-Projekt unter Verwendung der zulässigen Eingangsstati und Kompetenzarten aus Tabelle 5.1.

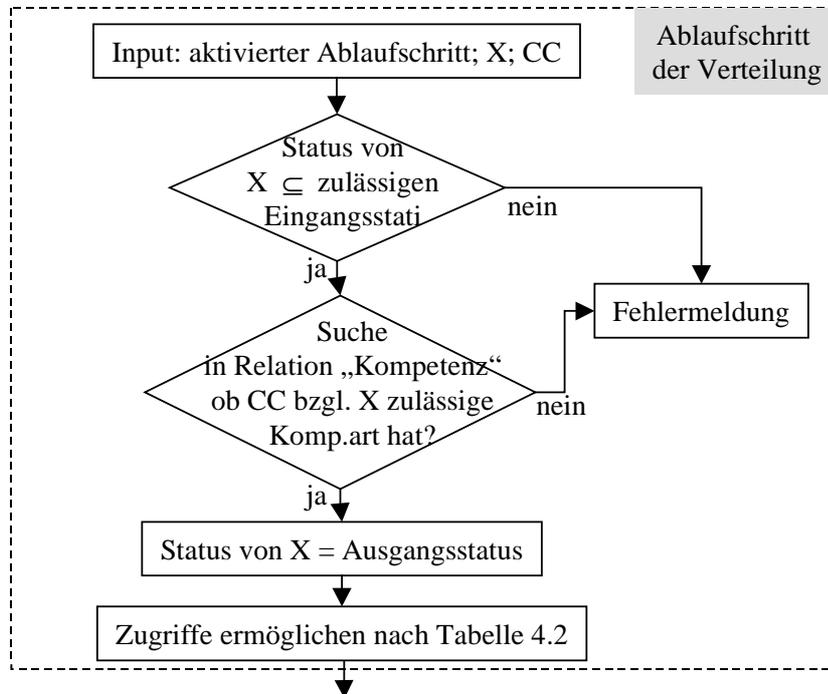


Abbildung 5.2: Flußdiagramm eines Ablaufschrittes des Verteilungsmanagements

Wird von einem Kompetenzzentrum CC ein Ablaufschritt für Element X der Entität AD-Projekt aktiviert, so wird zunächst der aktuelle Status auf Zulässigkeit geprüft. Besitzt zusätzlich das CC bzgl. X die Menge der zulässigen Kompetenzarten, wird der Status von X in den Ausgangsstatus gewechselt. Ausgehend von diesem neuen Status werden den CCs mit den jeweiligen Kompetenzarten die Zugriffsrechte nach Tabelle 4.1 erteilt.

Ablaufschritt	zulässige Eingangsstati	zulässige Komp.arten	Ausgangsstatus
Zur Prüfung senden	<ul style="list-style-type: none"> in Arbeit, vorfreigegeben ohne Synchronisation 	<ul style="list-style-type: none"> Eigentümer Komp. 	<ul style="list-style-type: none"> in Prüfung
Freigabe	<ul style="list-style-type: none"> in Prüfung 	<ul style="list-style-type: none"> Verantwortliche Komp. 	<ul style="list-style-type: none"> freigegeben
Inaktivierung	<ul style="list-style-type: none"> in Prüfung 	<ul style="list-style-type: none"> Verantwortliche Komp. 	<ul style="list-style-type: none"> inaktiv
Zurückweisung	<ul style="list-style-type: none"> in Prüfung 	<ul style="list-style-type: none"> Verantwortliche Komp. 	<ul style="list-style-type: none"> in Arbeit
Aktivierung	<ul style="list-style-type: none"> inaktiv 	<ul style="list-style-type: none"> Verantwortliche Komp. 	<ul style="list-style-type: none"> in Prüfung
Vorfreigabe zur Synchronisation	<ul style="list-style-type: none"> in Arbeit 	<ul style="list-style-type: none"> Eigentümer Komp. 	<ul style="list-style-type: none"> vorfreigegeben zur Synchronisation

Vorfreigabe ohne Synchronisation	<ul style="list-style-type: none"> • in Arbeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigentümer Komp. 	<ul style="list-style-type: none"> • vorfreigegeben ohne Synchronisation
Erweiterung der Vorfreigabe	<ul style="list-style-type: none"> • in Arbeit, • vorfreigegeben zur Synchronisation, • vorfreigegeben ohne Synchronisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigentümer Komp. 	<ul style="list-style-type: none"> • erweitert vorfreigegeben
Synchronisation der erweiterten Vorfreigabe	<ul style="list-style-type: none"> • erweitert vorfreigegeben 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigentümer Komp. UND Komp. mit zu synchron. Zugriff 	<ul style="list-style-type: none"> • vorfreigegeben ohne Synchronisation
Synchronisation der Vorfreigabe	<ul style="list-style-type: none"> • vorfreigegeben zur Synchronisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigentümer Komp. UND Komp. mit zu synchron. Zugriff 	<ul style="list-style-type: none"> • in Arbeit

Tabelle 5.1: Statiwechsel für das Verteilungsmanagement

5.2 Teilmodelle für das Änderungswesen

Jedes Informationsobjekt ist über einen eindeutigen Code zu identifizieren. Im Rahmen der Entität AD-Projekt setzt sich dieses Schlüsselattribut **AD-ID** aus einer „Projektnummer“, der „Version“ und der „Revision“ zusammen.

Beispiel:	Projektnummer	Version	Revision
	Thixotec-01.03.05	05	01

Die **Projektnummer** dient zur Definition der Konkretisierungsebene gemäß Axiomatic Design. Die im Beispiel gezeigte Projektaufgabe „01.03.05“ identifiziert das fünfte FR/DP-Paar auf der vierten Konkretisierungsebene von oben. Die erste Ebene stellt das oberste FR/DP-Paar dar und wird durch den Projektnamen „Thixotec“ identifiziert.

Beim Anlegen einer völlig neuartigen Projektaufgabe (Element der Entität AD-Projekt) wird eine neue Projektnummer vergeben, sowie Version und Revision auf null gesetzt. Im Fall einer Änderung wird ebenfalls ein neues AD-Projekt angelegt, jedoch mit gleichbleibender Projektnummer und je nach Änderungsart einer Version- oder Revisionserhöhung (siehe Kapitel 4.2.2 „Änderungswesen“):

- Die **Version** erhöht sich, wenn sich das *Functional Requirement* der Projektaufgabe ändert. Die Revision wird bei Versionserhöhung automatisch auf „0“ gesetzt.
- Die **Revision** erhöht sich, wenn bei gleichbleibendem FR eine bessere Lösung (*Design Parameter*) definiert wird. Die Version bleibt bei Revisionserhöhung unverändert.

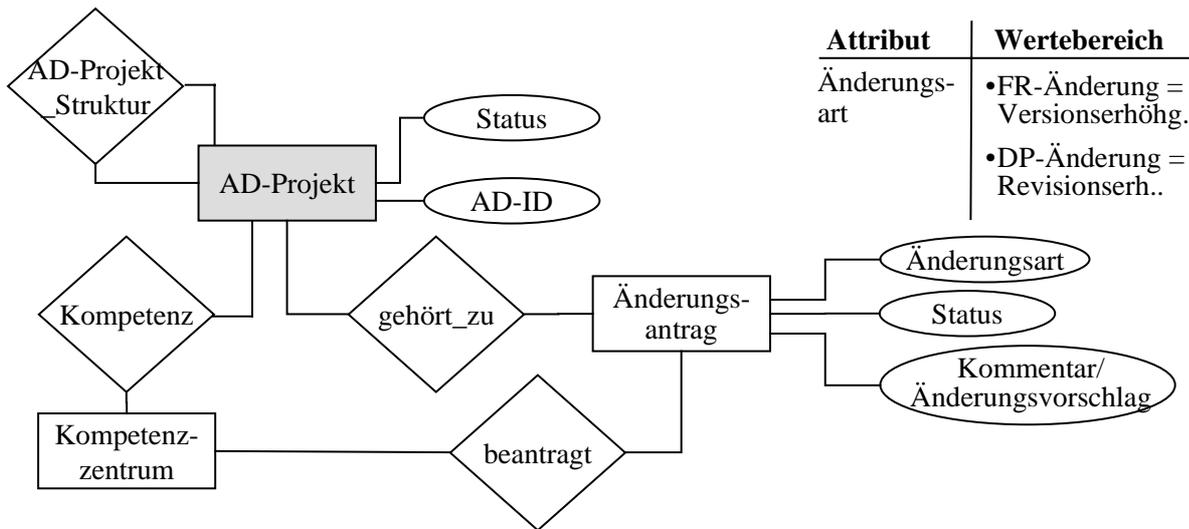


Abbildung 5.3: Stamm- und Strukturdaten des Änderungswesens

Das Formular für den Änderungsantrag setzt sich aus den Attributen der **Entität Änderungsantrag** zusammen und erhält mit der **Relation gehört_zu** die Verbindung zum betreffenden AD-Projekt (siehe Abbildung 5.3).

Wie in Abbildung 5.4 dargestellt, funktioniert die Ablaufsteuerung der Änderungsge-nehmigung ähnlich wie beim Ablaufschritt der Verteilung, wobei der Antragsteller (CC mit der Relation „beantragt“) die Kompetenz des Eigentümers bzgl. der Entität „Änderungsantrag“ erhält.

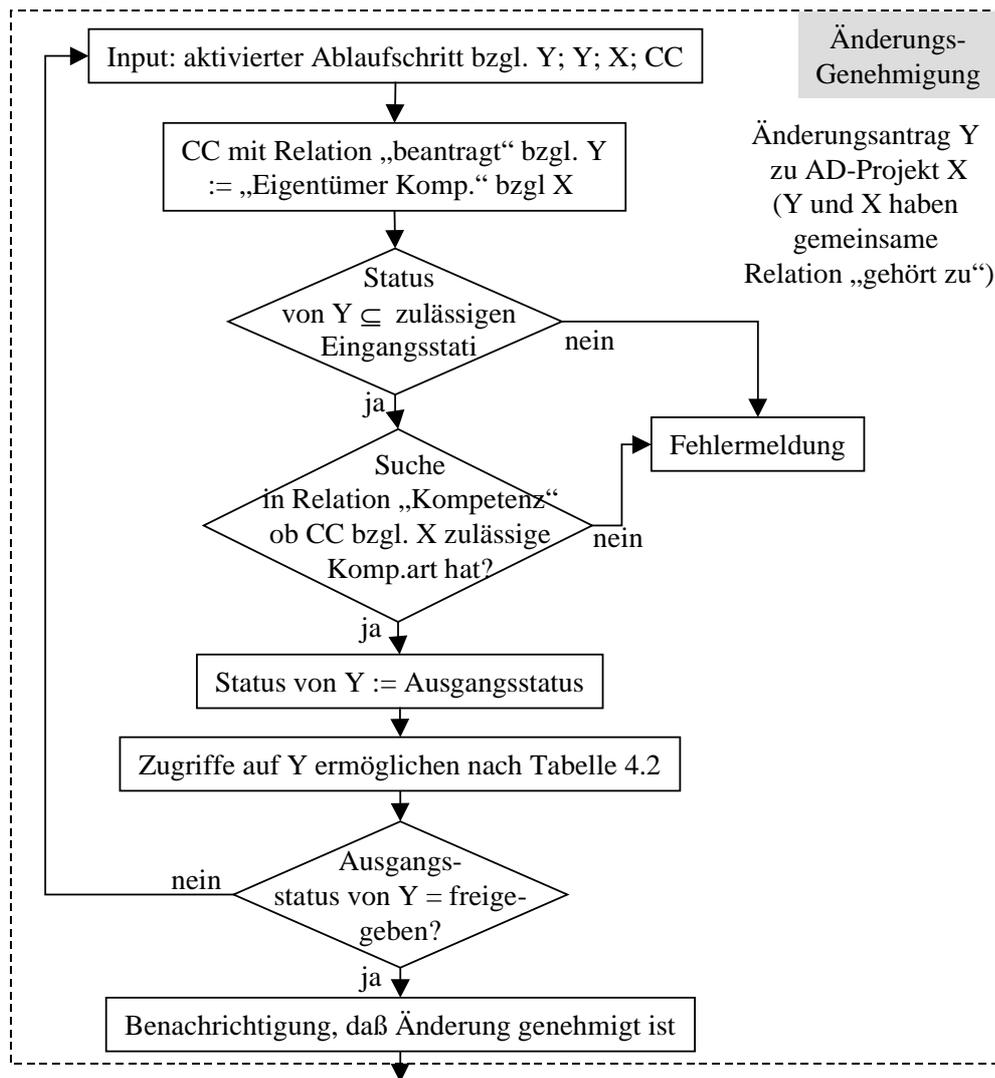


Abbildung 5.4: Flußdiagramm zur Änderungsgenehmigung

Ist die Änderung genehmigt, wird ein neues AD-Projekt mit erhöhter Version oder Revision angelegt. Durch die einmalige Projektnummer hat jedes Element der Entität AD-Projekt nur ein „Vater- AD-Projekt“. Das bedeutet bei einer Änderung wird das „zu ändernde AD-Projekt“ ersetzt und archiviert. Beim Anlegen des neuen AD-Projekts werden zunächst die Stammdaten des zu ändernden AD-Projekts als Vorschlag kopiert und anschließend vom anlegenden Kompetenzzentrum (CC mit Kompetenzart KE) überarbeitet.(vgl. Abbildung 5.5).

Die Strukturdaten der AD-Projekte, welche die hierarchische Struktur von Axiomatic Design abbilden, sind in der **Relation AD-Projekt-Struktur** abgelegt. Der Aufbau einer Relation in einem relationalen Datenbankschema stellt sich wie folgt dar: Es handelt sich um eine Tabelle die Elemente verschiedener Entitäten in Beziehung setzt. In der Relation AD-Projekt-Struktur steht in der 1. Spalte das Schlüsselattribut des Vater-Objekts (AD-ID) und in der 2. Spalte das des Sohn-Objekts.

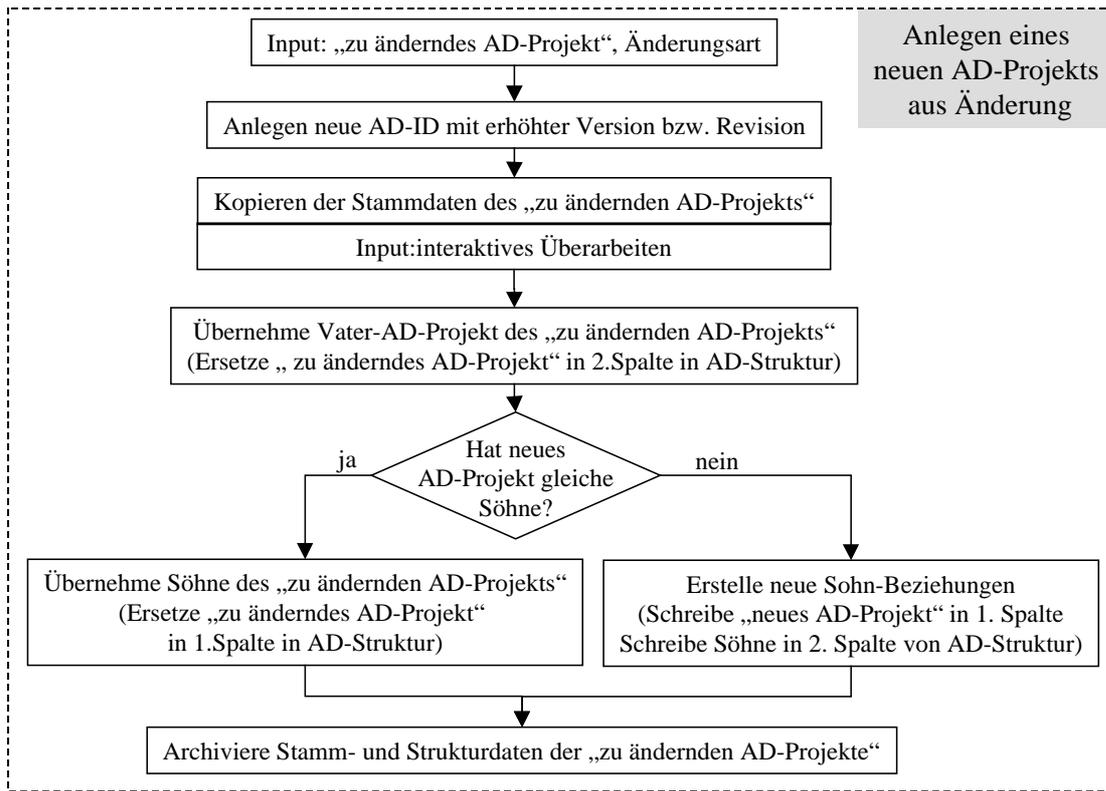


Abbildung 5.5: Flußdiagramm zum Anlegen eines neuen AD-Projekts aus Änderung

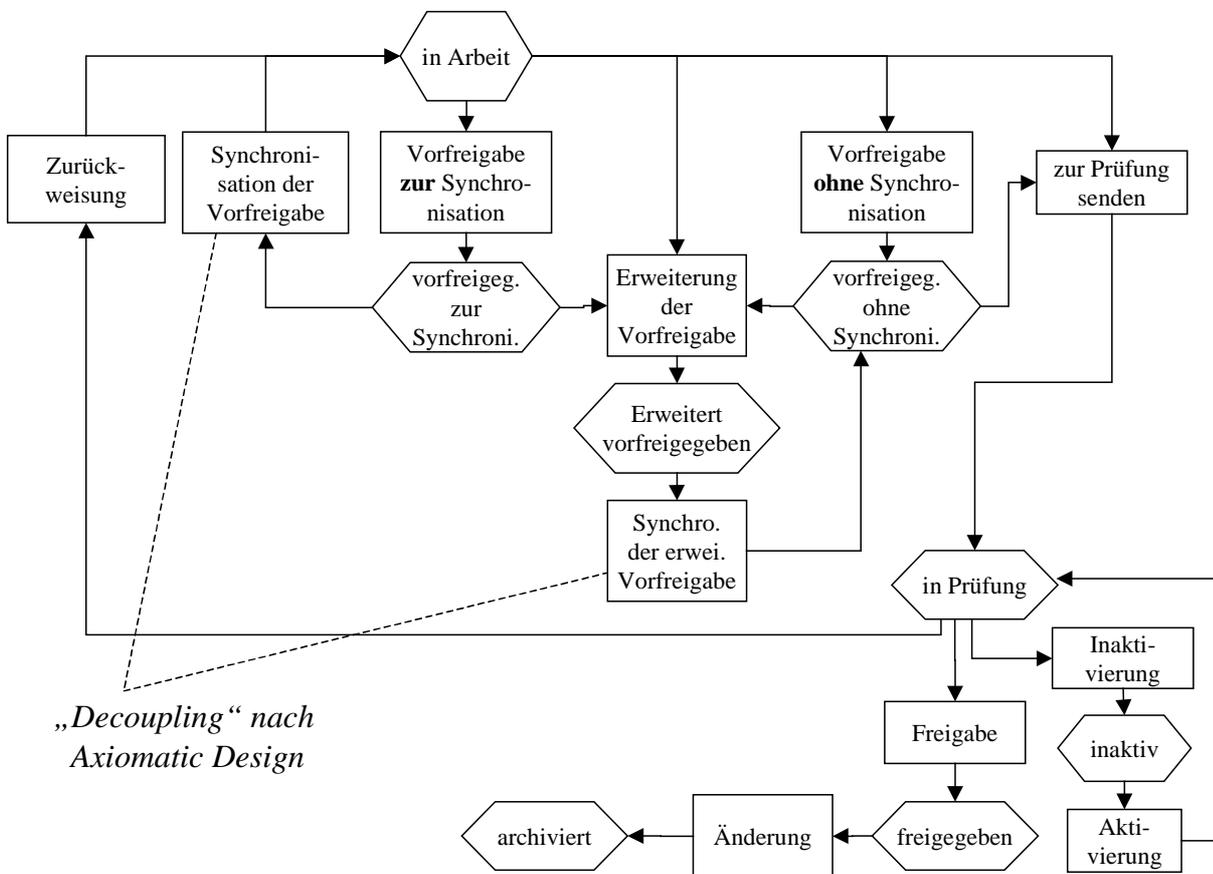


Abbildung 5.6: Dynamisches Objektmodell aus Status – Prozeß Sicht

Abbildung 5.6 zeigt die übersichtliche Visualisierung der umzusetzenden Statiwechsel des Verteilungsmanagement sowie des Änderungswesens. Die Ablaufschritte zur Synchronisation gewährleisten, daß jedes AD-Projekt *decoupled* oder *uncoupled* ist bevor es zur Prüfung gesendet wird. Damit wird die Forderung des Independence Axiom nach Decoupling erfüllt.¹⁷⁹

5.3 Teilmodelle für das Kompetenzmanagement

Die **Entität Kompetenzzentrum** benötigt zur eindeutigen Identifikation **CC-ID** eine Nummer, welche des weiteren auch zur Abbildung der Organisation und Klassifikation genutzt werden kann. Neben dem **Namen** des Kompetenzzentrums, spiegelt die Beschreibung der **Rolle** die allgemeine Zielsetzung oder Aufgabe wider. Zur Unterstützung des Dokumentenaustausches zwischen Kompetenzzentren sollten die lesbare **Formate** wie Native Formate bzw. Standardformate hinterlegt sein. Zur Adressierung der Kompetenzzentren im Intranet dient die **Email** Adresse (z.B. Name@host.com).

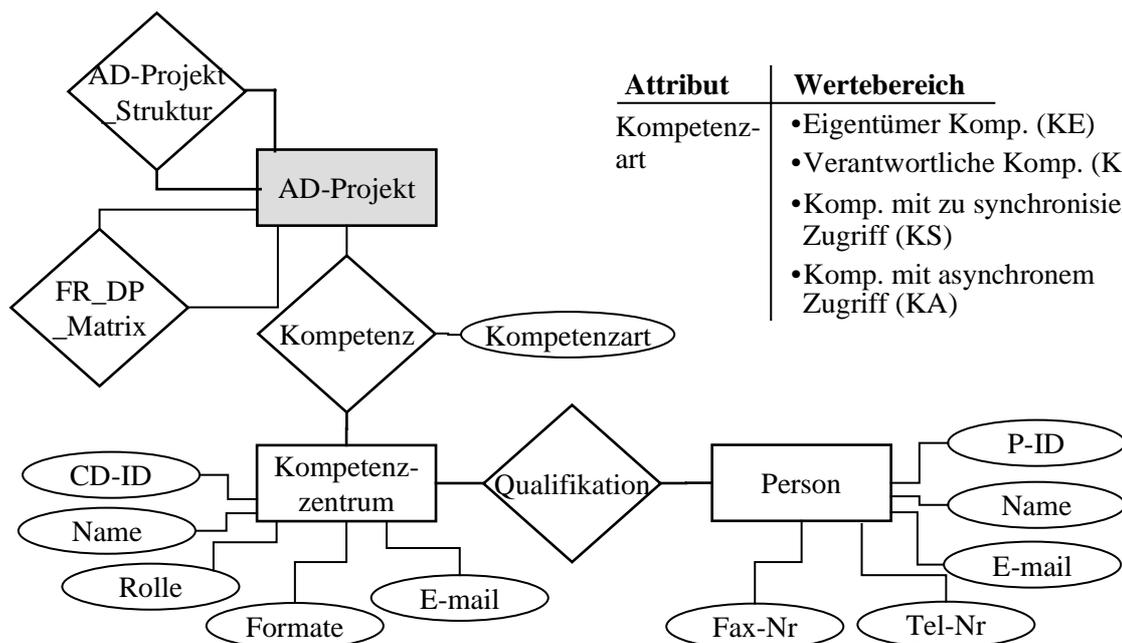


Abbildung 5.7: Stamm- und Strukturdaten des Kompetenzmanagements

Über die **Relation Kompetenz** werden die Zugriffsrechte und Verantwortlichkeiten der Kompetenzzentren bzgl. der Informationsobjekte der Entität AD-Projekt gesteuert. Während dem Anlegen eines neuen Elements der Entität AD-Projekt werden in einer Ablaufroutine die verschiedenen **Kompetenzarten** vergeben. Die gestrichelten Boxen

¹⁷⁹ vgl. Kapitel 8 Anhang: Die Methode "Axiomatic Design".

in Abbildung 5.8 werden in den Objektmodellen zur Integration von Axiomatic Design (vgl. Kapitel 5.4) näher beschrieben.

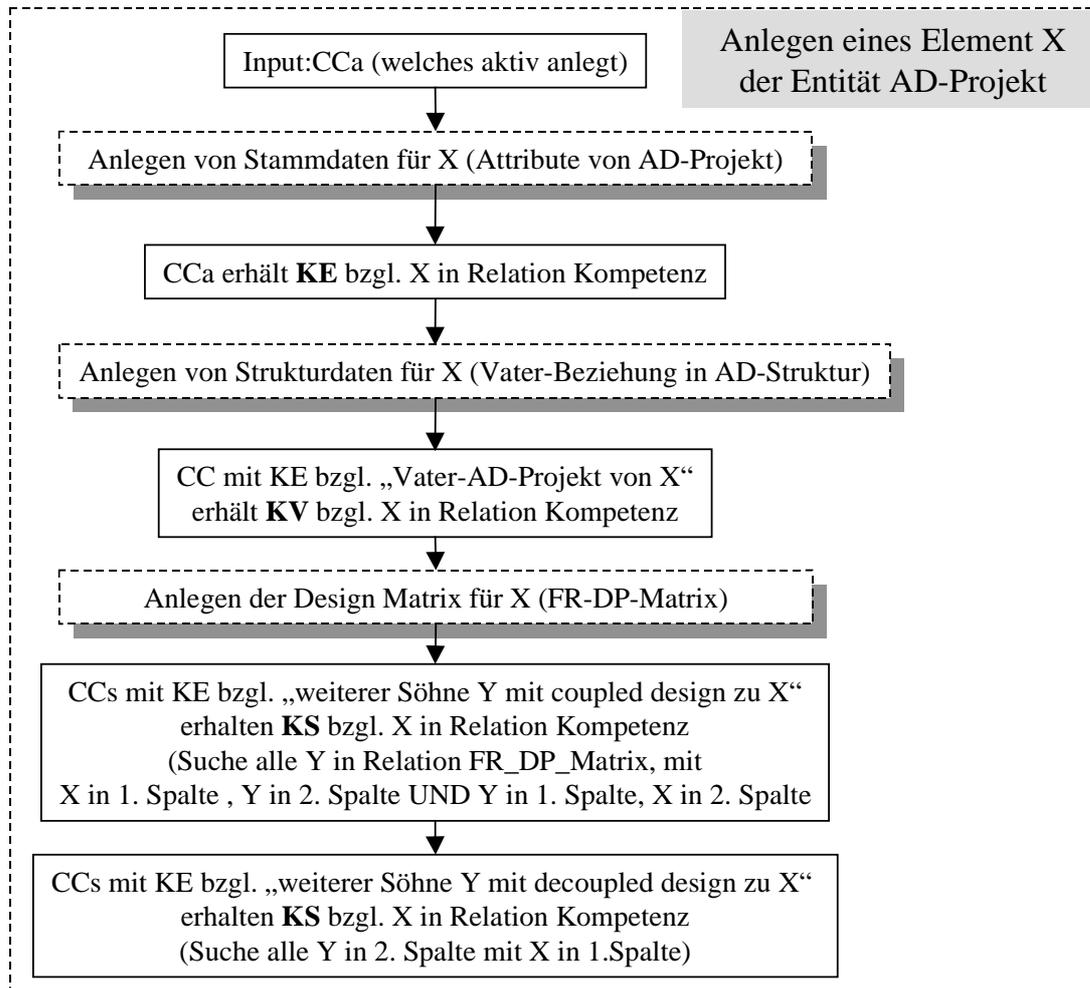


Abbildung 5.8: Flußdiagramm zur Generierung der Relation Kompetenz

Die Abbildung der Design Matrix wird über die **Relation FR_DP_Matrix** realisiert. Es wird der Einfluß eines DP (1.Spalte der Relations-Tabelle) auf die FRs der „weiteren Söhne“ der selben Ebene (2. Spalte) beschrieben. Das Anlegen dieser Relation wird in Abbildung 5.12 beschrieben.

In ähnlicher Weise wird über die **Entität Person** mit ihren Attributen **Identifikation**, **Name**, **Email**, **Telefonnummer** und **Faxnummer** und die **Relation Qualifikation** die Zuordnung der Personen zu den Kompetenzzentren gewährleistet. Die Aktualisierung der Relation Qualifikation erfolgt durch die Systemadministration.

5.4 Teilmodelle für das Methodenmanagement

Schnittstellenmanagement

Das Schnittstellenmanagement beeinflusst nach Gleichung 4.11 die anderen Funktionalitäten des Methodenmanagements nur in sofern, daß zur richtigen Zuordnung der

elektronischen Dokumente diese entsprechend zu klassifizieren sind. Die Qualität des Schnittstellenmanagements hängt im wesentlichen von den Anbindungsmöglichkeiten des EDM-Systems zum einen und zum anderen der zu integrierenden Software ab. Die dadurch vorgegebenen Constraints sind projektspezifisch und daher nicht weiter Gegenstand dieser Arbeit.

Projektcontrolling

Das Festlegen des **Freigabetermins** ist beim Anlegen einer Projektaufgabe durch dessen Eigentümer zu gewährleisten. Gemäß Axiomatic Design könnte der Freigabetermin als *Constraint* definiert werden, durch die besondere Bedeutung für das Projektcontrolling jedoch wird er als Attribut im Stammsatz der Entität AD-Projekt geführt. Die Freigabetermine der Teilaufgaben werden durch Rückrechnung vom Freigabetermin für die Gesamtaufgabe vorgegeben. Somit ist der Freigabetermin eines Objekts immer \leq Freigabetermin vom Vater-Objekt.

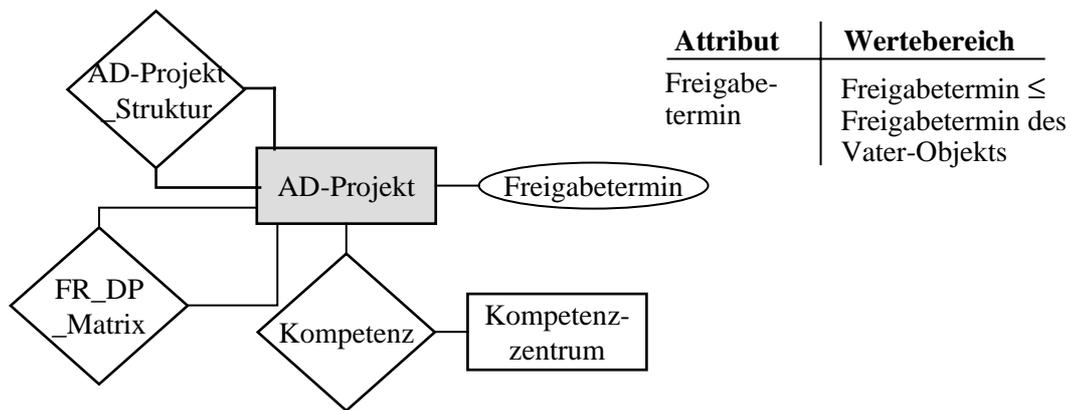


Abbildung 5.9: Stamm- und Strukturdaten des Projektcontrolling

Der aktuelle Projektstatus wird durch einen Soll-Ist-Vergleich der Stati der jeweiligen AD-Projekte ermittelt. Dafür ist eine entsprechende Prozedur für die Projektfortschrittskontrolle aufzurufen, welche für ein AD-Projekt und den dazugehörigen Teilaufgaben bis hin zu Elementar-Projektaufgaben (Blätter der AD-Projekt-Struktur) Terminverzug meldet.

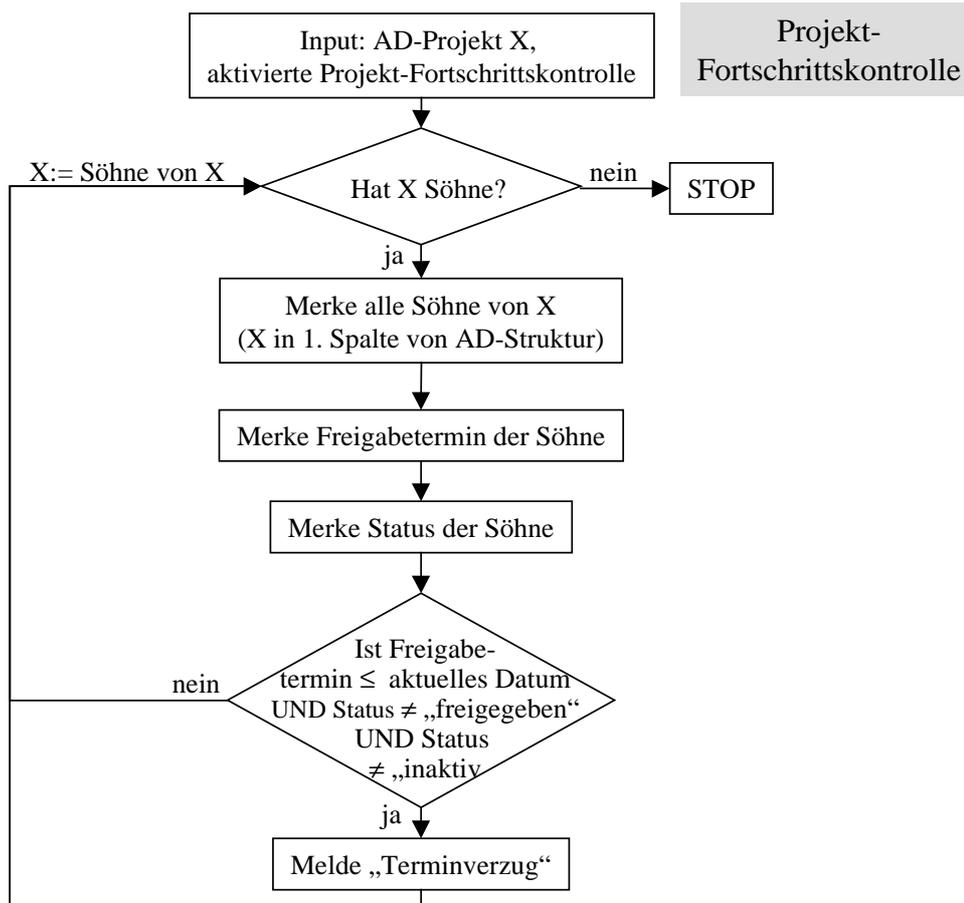


Abbildung 5.10: Flußdiagramm zur Projekt-Fortschrittskontrolle

Um Korrekturmaßnahmen bzgl. eines Elements X der Entität AD-Projekt zu planen, muß die „Menge der beeinflussten Elemente“ bekannt sein, um so Querverbindungen zu erkennen. Diese Abfrage erfolgt ähnlich der Projekt-Fortschrittskontrolle. Zusätzlich zu den dazugehörigen Objekten (Hierarchie-Zweig unterhalb X) gehören die beeinflussten „weiteren Söhne“ auf der selben Konkretisierungsebene dazu (siehe „weitere Söhne Y mit decoupled design zu X“ in Abbildung 5.8).

Integration von Axiomatic Design

Als Pflichtfelder beim Anlegen eines Elements der Entität AD-Projekt werden neben der AD-ID und das **Functional Requirement** und das **Design Parameter** eingeführt. Sie dienen gemäß Axiomatic Design dazu, in Stichworten die Zielsetzung und das Lösungsmerkmal einer Projektaufgabe festzulegen. Die Notwendigkeit der Benennung einer Projektaufgabe entfällt dadurch.

Das **Kommentar**feld dient bspw. zur Begründung der Zurückweisung einer Freigabe oder zur detaillierten Beschreibung eines Einflusses einer anderen Projektaufgabe.

Zur Verwaltung der Constraints wird die **Entität Constraints** angelegt, welche zumindest eine **Nummer** zur eindeutigen Identifikation, eine **Benennung** bzw. ein

Kommentarfeld zur Beschreibung und die Unterscheidung in **Intern** / **Extern** als Attribute vorsieht. Die Zuordnung der Constraints zu den jeweiligen Projektaufgaben (Entität AD-Projekt) erfolgt durch die **Relation Constraints_AD-Projekt**.

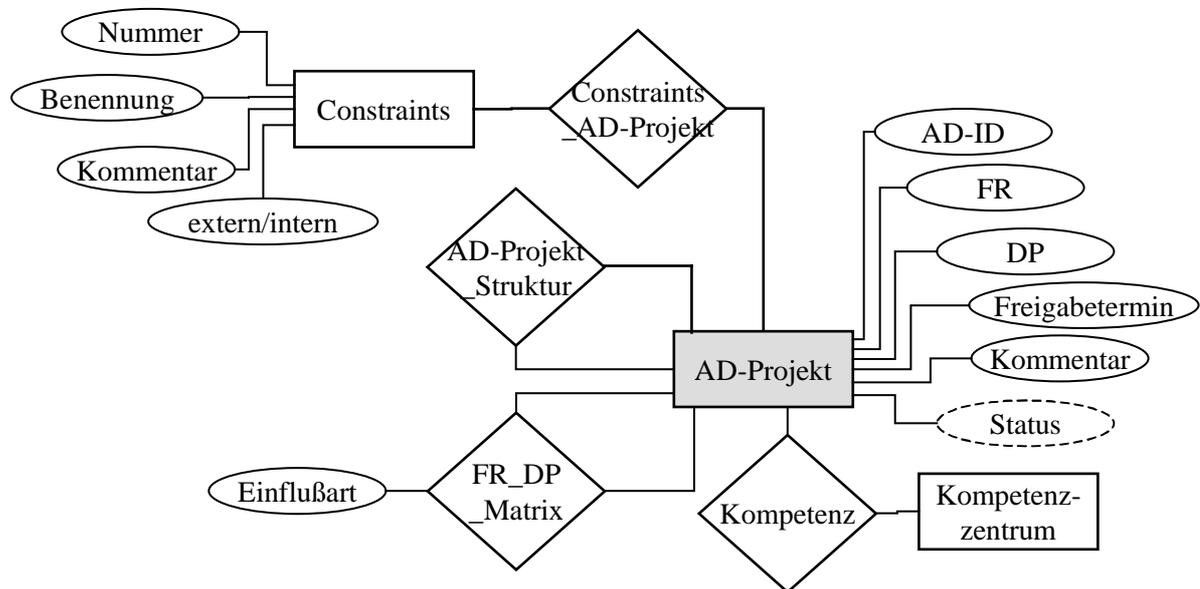


Abbildung 5.11: Stamm- und Strukturdaten zur Integration von Axiomatic Design

Das Anlegen eines neuen Elements der Entität AD-Projekt erfolgt schematisch wie in Abbildung 5.7 bereits gezeigt. Als erstes werden vom anlegenden Kompetenzzentrum die Attributfelder mit Werten belegt. Nur das Attribut Status wird direkt vom System vergeben und erhält den Wert „in Arbeit“. Zusätzlich zu diesen Stammdaten werden Constraints mit entsprechenden Attributwerten über die Relation Constraints_AD-Projekt zugeordnet.

Unter dem Anlegen der Strukturdaten wird das Erstellen der Beziehung des neuen AD-Projekts zum Vater-AD-Projekt verstanden. Diese Beziehung wird in der Relation AD-Projekt-Struktur abgebildet.

Das Anlegen der Design Matrix erfolgt durch die Generierung der Relation **FR_DP_Matrix**, wie sie in Abbildung 5.12 dargestellt ist. Der Anwender muß den Einfluß jedes DP's (2.Spalte der Relations-Tabelle) auf alle anderen FRs der selben Ebene (1. Spalte) definieren. Zur genaueren Spezifizierung dieses Einflusses kann durch das Relationsattribut **Einflußart** eine Funktion, eine Prozentzahl oder wie in dieser Arbeit ein X vermerkt werden, z.B. DP01.02 beeinflusst FR01.03 zu 90%.

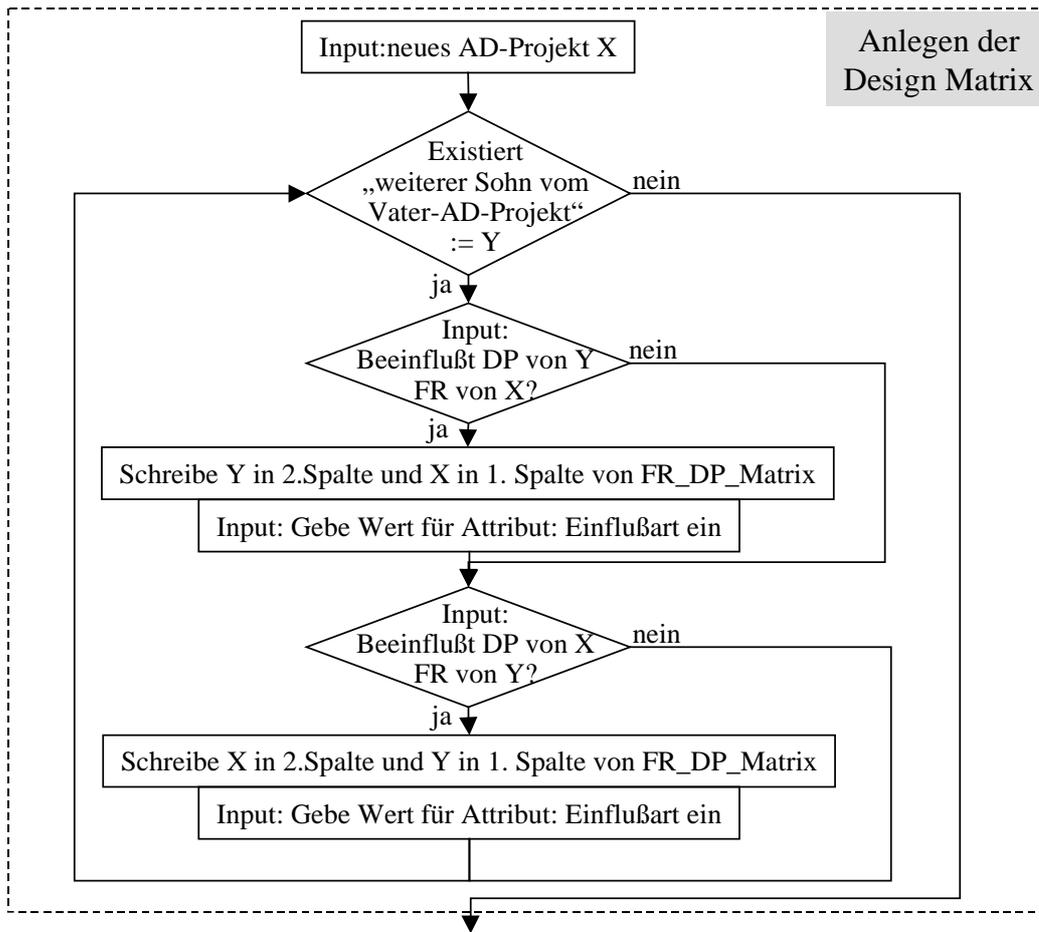


Abbildung 5.12: Flußdiagramm zum Anlegen der Design Matrix

Klassifikation

Strukturen zur Klassifikation bilden im EDM einerseits Zusammenhänge zwischen den Informationsobjekten ab, andererseits zeigen sie den „Weg“ zu den Informationsobjekten. Sie gewährleisten somit einen Baustein zur Orientierung für den Anwender.

Die **Relation AD-Projekt_Struktur** bildet die Konkretisierungsstufen zur integrierten Darstellung von Functional Requirements und Design Parameters ab und stellt somit als Projektstückliste für eine Fertigungssystemplanung einen der wichtigsten Informationsträger dar. Über sie werden die Informationen für Arbeitsplanung, Materialbeschaffung, Fertigung und Montage der Anlagen verdichtet.

Neben der im Mittelpunkt stehenden Klasse der „Projektaufgaben“, die durch die **Entität AD-Projekt** abgebildet werden, wurden in Kapitel 4.2.4 weitere Klassen definiert:

- Klasse der „Kompetenzzentren“ durch **Entität Kompetenzzentrum**.
- Klasse der „Teilefamilie“ sowie die des „Ausgangsmaterials“ durch **Entität Artikel**
- Klasse der „Fertigungsprozesse“ durch **Entität Prozeß**
- Klasse der „Fertigungssysteme“ durch **Entität Anlage**

- Klasse der „Dokumente“ durch **Entität Dokument**

Für jede Entität wird zur Strukturierung eine Relation *Entitätname*_Struktur angelegt.

5.5 Statisches Objektmodell

Abbildung 5.13 zeigt das statische Objektmodell nach der Notation der Entity-Relationship Modellierung mit dem beschriebenen Fokus des „AD-Projektmanagements“.

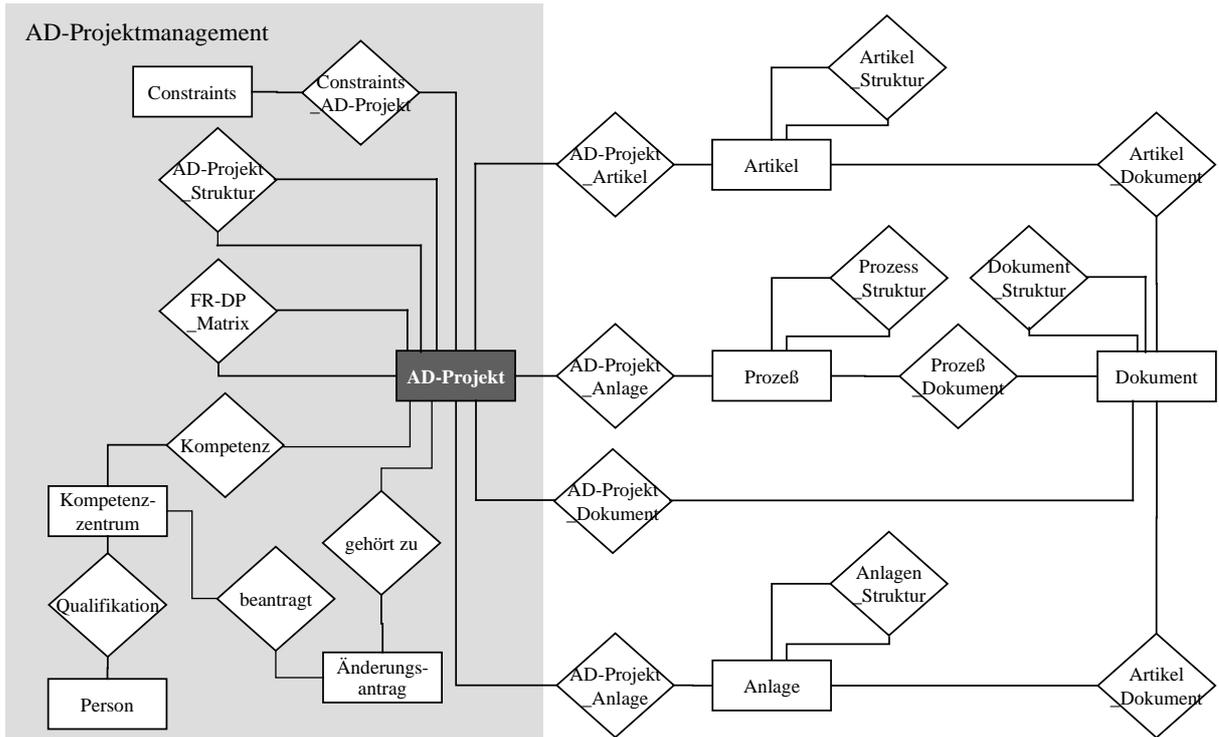


Abbildung 5.13: Das ER-Modell des Gesamtsystems

6 Beispielhafte Anwendung im Projekt „Thixocasting Anlage“

Kapitel 6 dient der Evaluierung hinsichtlich der rechnerischen Umsetzbarkeit und Anwendung des in Kapitel 4 und 5 beschriebenen Systementwurfs. Der erste Abschnitt umfaßt die Beschreibung der Projektaufgabe und –organisation. Im zweiten Abschnitt wird die Systemkonfiguration und der Systemeinsatz des verteilten, Axiomatic Design gestützten Engineering Data Managements behandelt. Diese Beschreibung mündet in die Zusammenfassung der Erfahrungen und Diskussion.

6.1 Vorstellung des Engineeringprojekts

Thixocasting ist eine neuartige Technologie zur Formgebung metallischer Werkstoffe. Die Umformung des verfahrensspezifischen Leichtmetall-Vormaterials erfolgt im teilfesten/teilflüssigen Zustand im Gegensatz zum herkömmlichen Gießen oder Schmieden, bei denen die Formgebung im komplett flüssigen bzw. festen Zustand geschieht. Die Verwendung des Verfahrens ermöglicht die Erhöhung der Qualität und die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der herzustellenden Bauteile. Durch den Einsatz spezieller Aluminium-Legierungen als Vormaterial wird eine erhebliche Reduzierung des Bauteilgewichts erreicht. Somit ergeben sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten der Technologie insbesondere in der Automobilbranche im Bereich hochbeanspruchter Bauteile aufgrund des immer ausgeprägteren Zwangs zum Leichtbau.

Ziel des vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) im Programm "Produktion 2000" geförderten Projekts ist die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung des Thixocasting zu einer Technologie, die zur endabmessungsnahen Herstellung hochbelastbarer Leichtmetallformteile geeignet ist. Unter dem Gesichtspunkt der späteren Wirtschaftlichkeit sind hierbei neben der Entwicklung grundlegender Verfahrens- und Werkstofftechnik insbesondere auch das Engineering einer zur prozeßsicheren Großserienfertigung geeigneten Anlagentechnik und wesentliche Anwendungsaspekte Bestandteil des Projekts.

Die verteilte Kooperation von Vormaterial- und Bauteilherstellern, Anlagenbauern, Endanwendern und Forschungsinstituten soll die gesamte Prozeßkette von der Vormaterialherstellung bis zur Erprobung der Bauteile weiterentwickeln. Dieses Szenario verdeutlicht die Notwendigkeit zum Einsatz eines methodengestützten, verteilten Engineering Data Managements.

Im Rahmen dieser Projektgesamtaufgabe nimmt das Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik (wbk) die Teilaufgabe wahr¹⁸⁰, die für das Projekt notwendig Informationslogistik zu entwickeln und zur Verfügung zu stellen.

Erste Teilaufgabe ist hierbei die methodische Strukturierung der einzelnen Projektaufgaben nach Axiomatic Design. Konkret wird als oberste Zielsetzung (FR) das „Maximieren des *Return on Investments*“ gesetzt, da dessen Definition die wichtigsten an die Planung und den wirtschaftlichen Betrieb eines jeden Fertigungssystems gestellten Anforderungen abbildet. Durch die Festlegung der Thixocasting-Anlage als zum obersten *Functional Requirement* gehörendes *Design Parameter* wird die Grundlage für den Konkretisierungsprozeß mit *Axiomatic Design* geschaffen. Danach wird die Methode systematisch auf die weiteren Detaillierungsebenen angewandt.

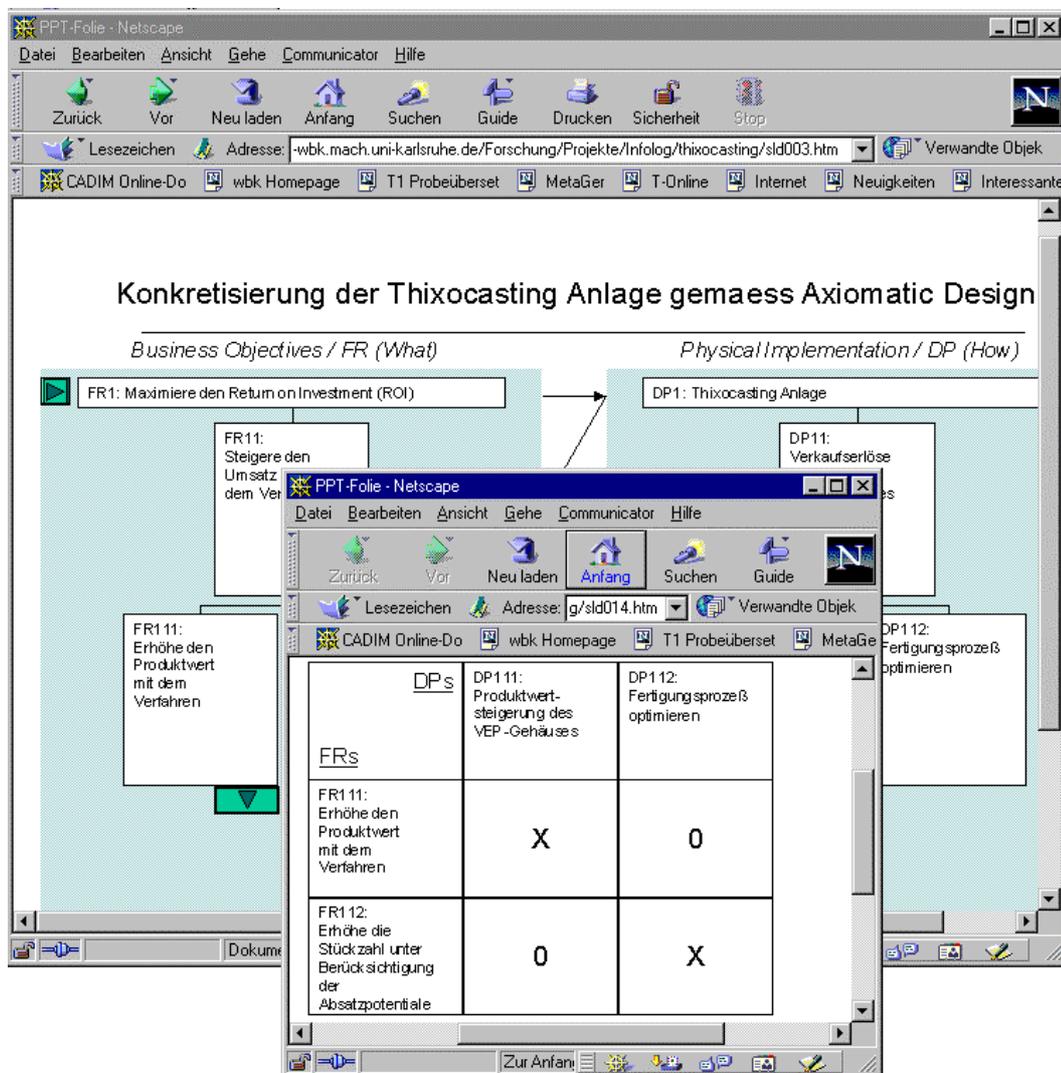


Abbildung 6.1: Erste Projektarchitektur auf der Thixotec Homepage

¹⁸⁰ vgl. (Spath und Lanza 1999/4).

Zur transparenten Darstellung und Diskussion wird die Projektstruktur in MS Powerpoint¹⁸¹ interaktiv mit Hyperlinks abgebildet und nach Transformation in HTML über Intranet den Projektpartnern zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 6.1).

Basierend auf dieser AD-Projektstruktur werden jedem AD-Projekt entsprechende Stammdaten wie Termine, Kosten und Eigentümer zugeordnet. Damit sind die Voraussetzungen zur Konfiguration des Engineering Data Managements erfüllt. Nach Durchlaufen einer Auswahlphase wurde sich im Rahmen des Projekts auf den Einsatz des kommerziellen EDM-Systems CADIM/EDB¹⁸² der Firma Eigner+Partner¹⁸³ geeinigt.

6.2 Einsatz des Modells zum kooperativen Engineering

Auf Basis des in Kapitel 5 entworfenen Modells wird das Objektmodell des Standard EDM-Systems CADIM/EDB erweitert. Des weiteren wird der unternehmensübergreifende Zugriff auf die Daten über Intranet/Extranet sichergestellt. Zur spezifischen Instanziierung des EDM-Systems für das Projekt „Thixocasting“ ist daraufhin die Projektarchitektur gemäß Axiomatic Design mit den dazugehörigen Stammdaten in das System einzugeben.

6.2.1 Konfiguration des Standard EDM-Systems: CADIM/EDB

Zur Umsetzung der mit dem relationalen Objektmodell beschriebenen Funktionen mit CADIM/EDB sind entsprechende Entitäten, Attribute, Relationen und Prozeduren in das System zu konfigurieren. Dabei ist darauf zu achten, daß das Objektmodell des Projektmanagements mit Axiomatic Design als Modul erstellt wird. Somit wird ermöglicht, daß bei einem Axiomatic Design Projekt bereits auf EDM-Funktionalität zugegriffen werden kann, ohne den weiteren EDM Betrieb zu beeinflussen.

Das als zentrales Integrationsinstrument verwendete AD Projektmanagement (Entität AD-Projekt) wird auf die Projektverwaltung von CADIM/EDB (Entität Projekt) aufgesetzt. Dadurch werden die produktbezogenen Bereiche (Entitäten Artikel, Prozeß, Anlage) und deren zugeordnete Dokumente mit den neu hinzugefügten organisations- bzw. ablaufbezogenen Funktionen verbunden.

Zur Erweiterung der Funktionalitäten von CADIM/EDB wird die dazugehörige Entwicklungsumgebung DataView¹⁸⁴ verwendet. Zur optimalen Informationsinfrastruktur auch über Standortgrenzen hinaus wird anschließend auf die notwendige Integration

¹⁸¹ vgl. Office Paket in <http://www.Microsoft.com/>.

¹⁸² vgl. (Eigner+Partner 1997).

¹⁸³ vgl. <http://www.ep-ag.com/>.

¹⁸⁴ vgl. (PISA 1997).

von Internet-Diensten zum Aufbau eines Intranets/Extranets eingegangen. Abbildung 6.2 zeigt diese einzelnen Komponenten im Zusammenhang.

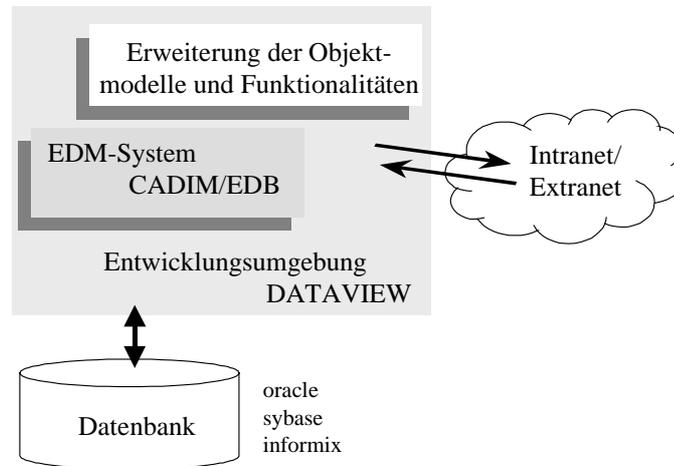


Abbildung 6.2: Standard-Software-Komponenten der Konfiguration

Bei der Umsetzung der geforderten Funktionen wird darauf geachtet, daß soweit möglich schon in CADIM vorhandene Funktionsgruppen genutzt und für die veränderte Anwendungssituation angepaßt werden. So wird verhindert, daß redundante Funktionalitäten geschaffen werden. Die neu aufgenommenen Funktionen werden dabei in die vorhandene Benutzungsoberfläche integriert.

Die Entwicklungsumgebung DataView ist eine Sammlung von Datendefinitionen, Masken, Menüs und Funktionen, die der Endanwender benötigt. Die Struktur der Applikation ist im Objektmodell festgelegt (siehe Kapitel 5.1), Masken stellen Daten in einem festgelegten Layout dar, Menüs und Funktionen (Prozeduren) sorgen für den Dialogfluß in der Applikation. Abbildung 6.3 zeigt die Arbeitsschritte zur Entwicklung einer Applikation und die dafür benötigten, wichtigsten Werkzeuge in DataView.

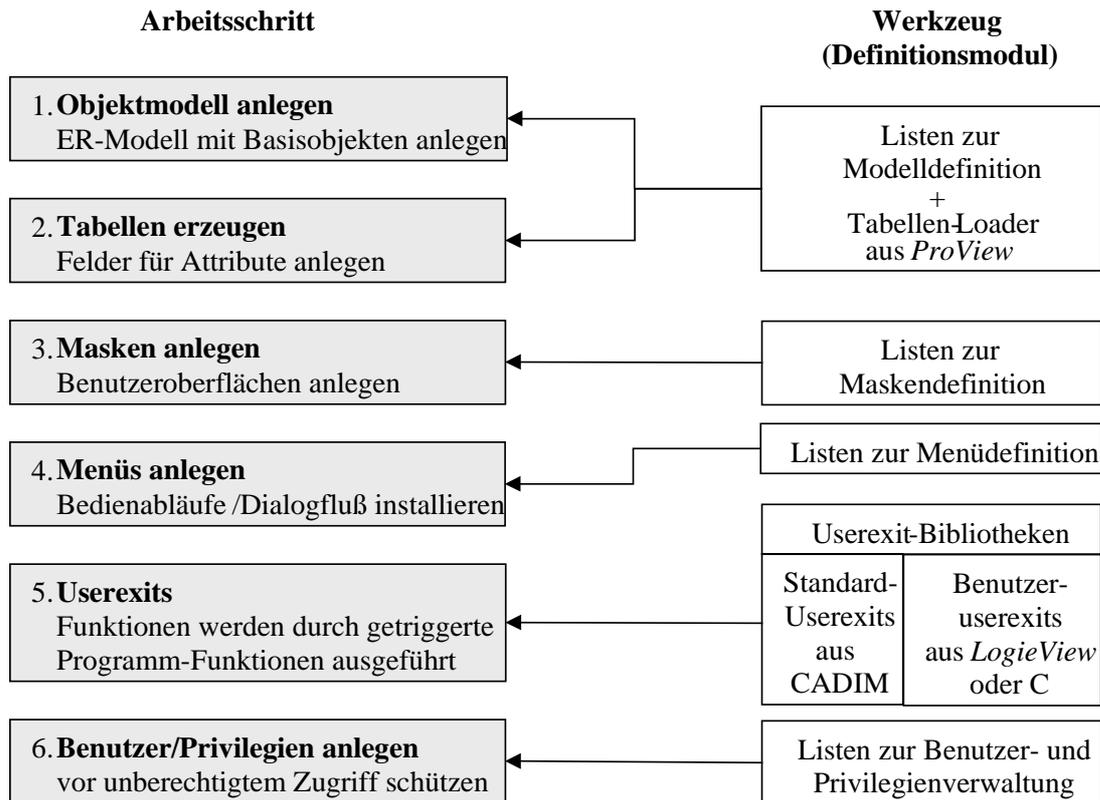


Abbildung 6.3: Ablauf der Applikationsentwicklung¹⁸⁵

Die ersten beide Schritte erzeugen das statische Objektmodell: Entitäten und Beziehungen werden als Tabellen angelegt. Die Menüs erlauben die Bearbeitung dieser Datenobjekte und mit den Userexits werden Prozeduren eingebunden. Applikationsspezifische Prozeduren, die das dynamisch-funktionale Modell realisieren, werden in *Logie View*¹⁸⁶ erstellt. Alle Daten werden im Data Dictionary von *DataView* abgelegt und können normalerweise nur mit Hilfe von Listen und Formularen bearbeitet werden.

6.2.1.1 Konfiguration der Projektverwaltung

Die CADIM/EDB Entität *Projekt* und ihre Umgebung wird zur Abbildung des AD-Projektmanagements angepaßt. Abbildung 6.2 zeigt die Maske zum Anlegen eines AD-Projekts mit Angabe des Functional Requirement, des Design Parameter (Übernommen aus Attribut: Benennung) und der Beeinflussung auf andere Projekte über die Relation FR_DP_Matrix. Weiter wird die Version, Revision und der Status (gesteuert über den Fortschrittskennner FK) angezeigt. Das Feld STR zeigt die Anzahl der Sohn-AD-Projekte und TOP die Anzahl der Projekte in denen ein Element verwendet wird (bei Entität AD-Projekt immer gleich 1).

¹⁸⁵ vgl. (PISA 1997), S. 1-11.

¹⁸⁶ vgl. (Eigner+Partner 1998).

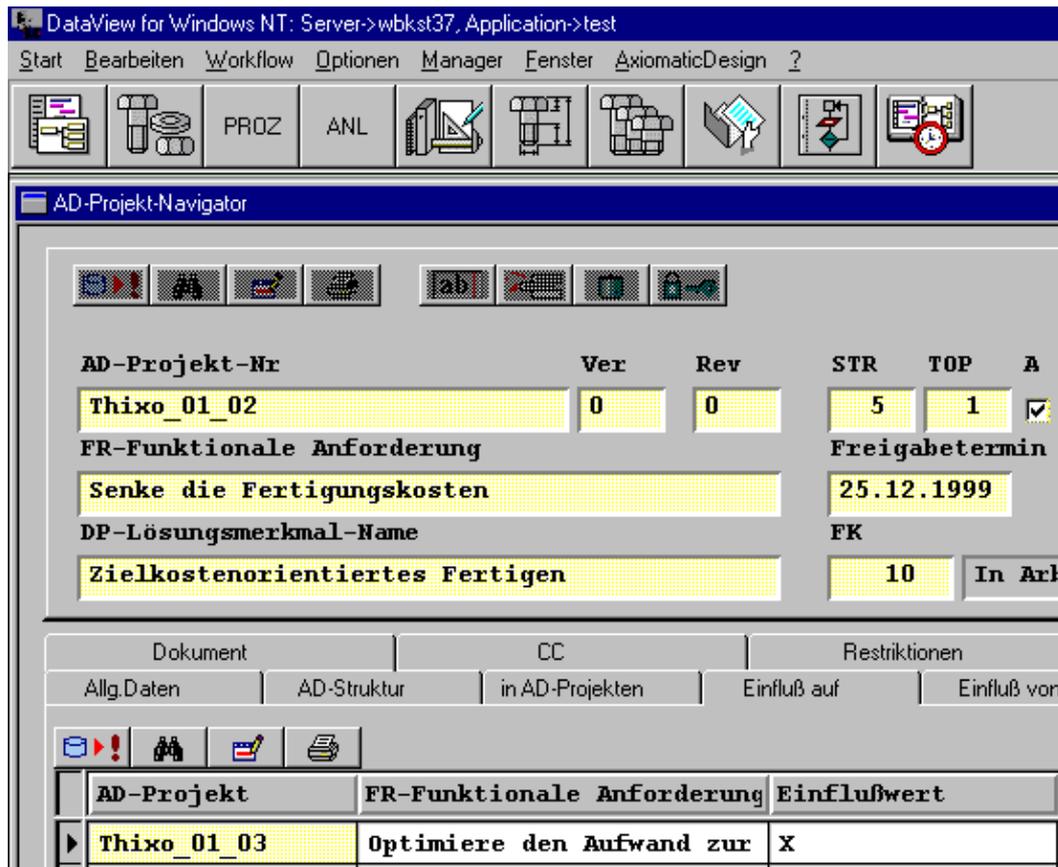


Abbildung 6.4: Maske zum Anlegen eines AD-Projekts

Das vorgegebene CADIM Objektmodell wird weiter um die Entitäten *Restriktionen* (Constraints), *Prozesse* (Fertigungsprozesse), *Anlage* (Fertigungssysteme) erweitert. Der Entität *Artikel* werden Teilefamilien, Halbzeuge und Ausgangsmaterial zugeordnet. Als Zugriffsmöglichkeit auf diese Entitäten werden entsprechende interaktive Masken als Listen (siehe Abbildung 6.5) und Formulare angelegt.

Restriktions-Nr	Restriktion	Wert
c_04	24-Stundenbetrieb	extern

AD-Projekt-Nr	FR-Funktionale Anforderung	DP-Lösung
Thixo_01	Maximiere den Return on Investment	Thixocas

Artikel-Nr	Ver	Rev	Artikel-Name

Prozeß-Nr	Ver	Rev	Prozeß-Name
alu-003	0	0	Alubauteil puffern

Anlagen-Nr	Name
thgss-0001	Druckgußmaschine
anl-001c	Druckgußsystem-System
thgss-0002	Einlegeroboter

Abbildung 6.5: Listen zur Navigation im AD Projektmanagement

6.2.1.2 Konfiguration der Ablaufverwaltung

Die Anforderungen des Verteilungs-, Änderungs- und Kompetenzmanagements werden durch Konfiguration der Ablauf- und Benutzerverwaltung von CADIM/EDB umgesetzt. Dafür ist für jede Hierarchieebene der Axiomatic Design Struktur ein Prüfablauf mit den erarbeiteten Statiwechsel als Ablaufschritte zu definieren (siehe Abbildung 6.6). Diese Prüfabläufe gelten nur für AD-Projekte und sind vom sonstigen Änderungs- und Freigabewesen entkoppelt. Entsprechend der Prüfabläufe werden für jede Hierarchieebene Gruppen mit Berechtigung zum Statiwechsel eingerichtet. Der Reifegrad dient in CADIM/EDB der Kennzeichnung der Entwicklungsstufen eines Produktes z.B. Konstruktion, Fertigung, etc. Allen AD-Projekten wird der Reifegrad „AD-Projekt“ zugeordnet, da diese horizontal zu den vertikalen Entwicklungsstufen zu sehen sind.

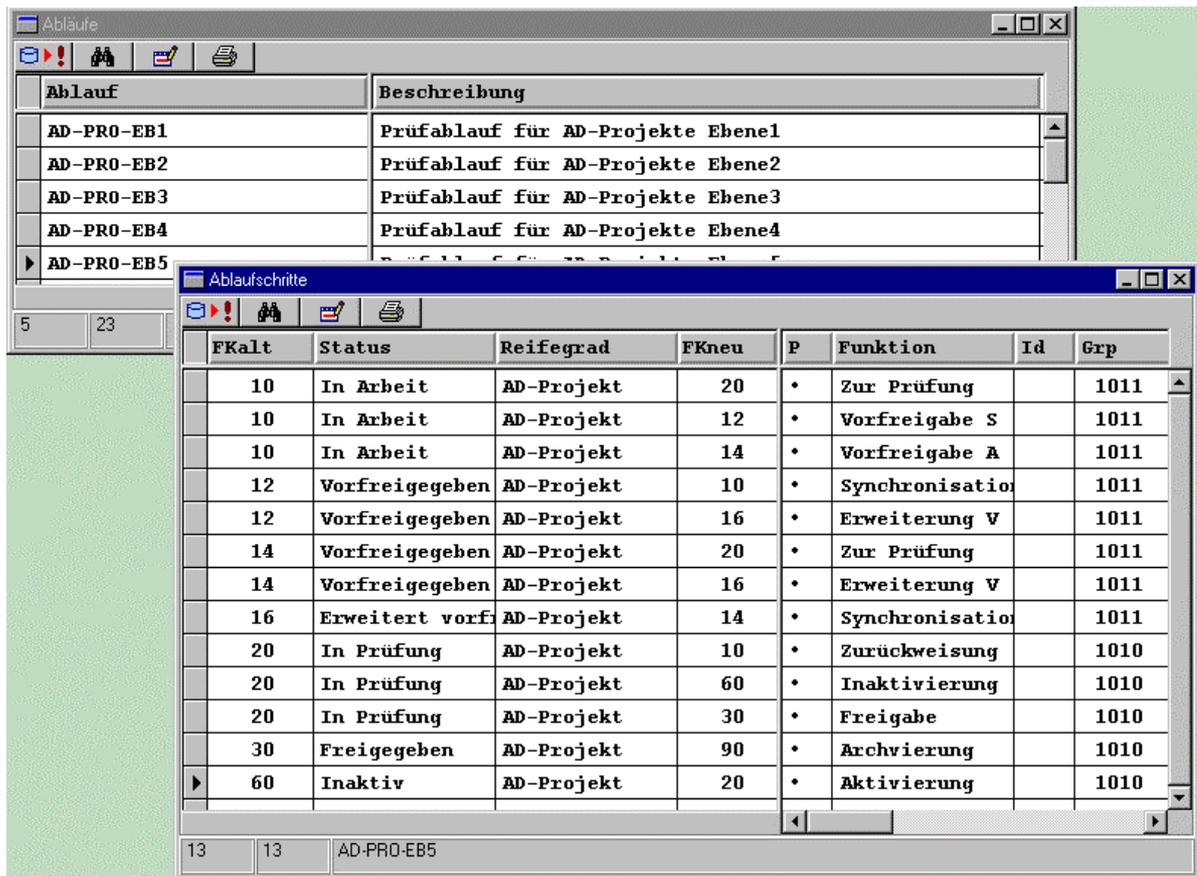


Abbildung 6.6: Abläufe und Ablaufschritte für AD-Projekte in CADIM/EDB

Um die aus der Design Matrix resultierende Zugriffssteuerung umzusetzen, wird das Rollenkonzept der Benutzerverwaltung von CADIM/EDB konfiguriert (Abbildung 6.7). Der Rolle „AD-Entwickler“ werden die zur Bearbeitung des Stammsatzes notwendigen Aufgaben (Berechtigungen) zugeordnet. Über die Position „AD-Projektleiter“ wird der Benutzer (Eigentümer des AD-Projekts) mit der Rolle verknüpft. Beides wird dem entsprechenden AD-Projekt zugeordnet.

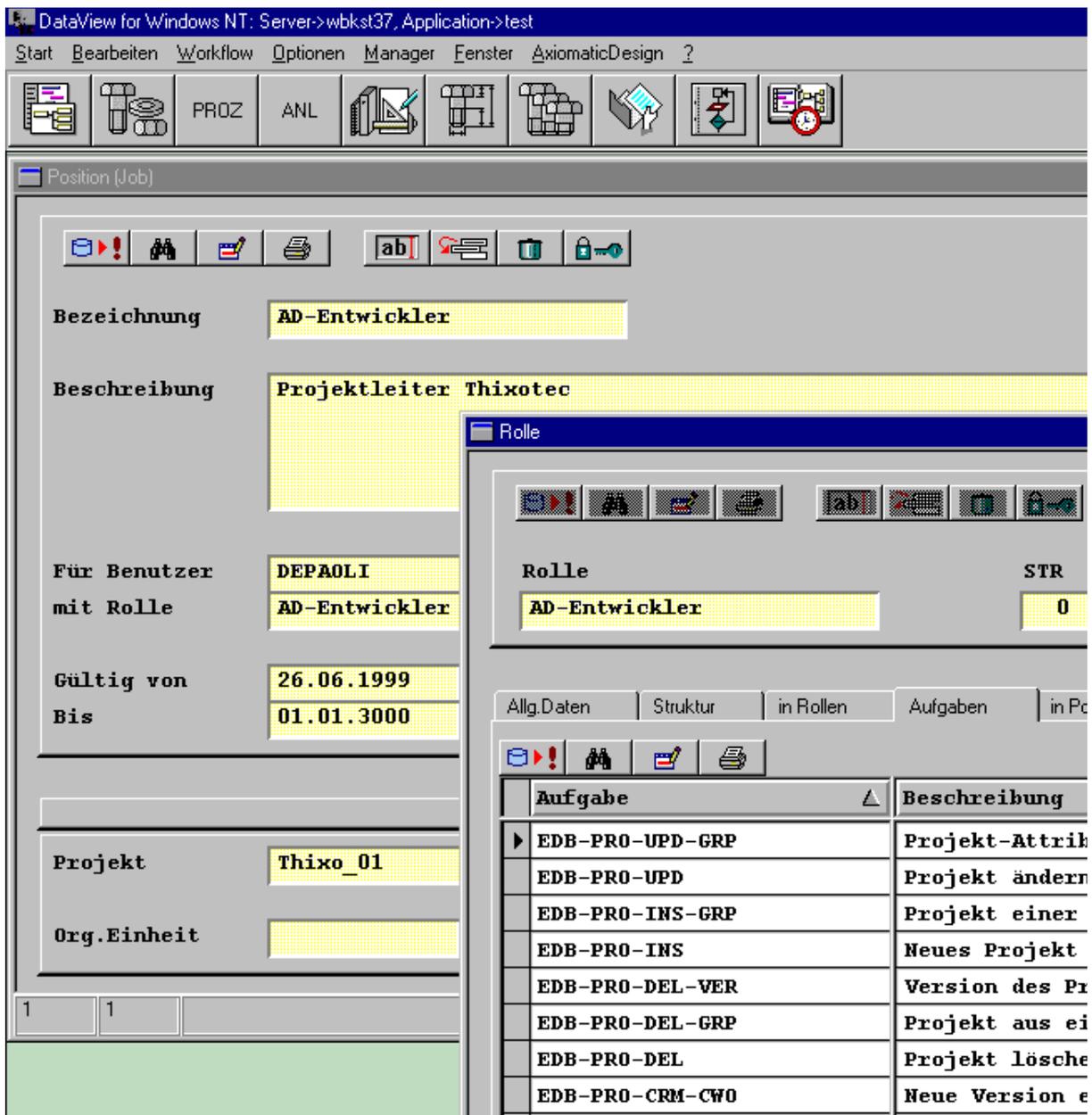


Abbildung 6.7: Zugriffssteuerung über das Rollenkonzept

Die geforderte Verteilung des Zugriffs bei Statuswechsel wird durch Konfiguration des Verteilermanagements in CADIM/EDB erreicht.

Verteiler-Id. Verteilername
 TH1113 Verteilung zur Synchronisation
 Verwendung (Auswahl) Standardverteiler
 ROLE

Allg.Daten Inhalt Struktur Verwendung in Dokumenten

PNr.	Für Gruppe	X	Für Benutzer	aus Gruppe
10		•	JÜRGENS	
20		•	RÖLLIN	
30		•	CARRUPT	
40		•	GRÄF	

Status Reifegrad Id
 In Arbeit AD-Projekt
 Vorfreigegeben Synch AD-Projekt

Gruppe	P	Funktion	Ber. Gruppe	Verteiler
1010	<input type="checkbox"/>	Vorfreigabe S	1010	TH1113

Abbildung 6.8: Konfiguration der Verteiler

Abbildung 6.8 zeigt das Einrichten des Verteilers zur Synchronisation bei entsprechendem Statuswechsel für das AD-Projekt „Thixo_01_01_01_03“. Der automatische Aufbau dieser Verteiler wird mit LogiView¹⁸⁷ Prozeduren umgesetzt.

Die Anforderungen bezüglich des Änderungsantrags werden seitens CADIM/EDB mit dem vorkonfigurierten Änderungsantrag voll erfüllt. Zur Abbildung der verteilten Genehmigung werden die gleichen, bereits beschriebenen Mechanismen für die Verteilung der AD-Projekte verwendet. Das Versionsmanagement von CADIM wird angepaßt, für die Einstellung der Revision ist die dem Objektentwurf entsprechende Prozedur zu erstellen.

6.2.2 Implementierung des Zugriffs über Intranet/Extranet

Zur Sicherstellung des unternehmensübergreifenden Zugriffs auf diese Objekte wird der Standard-Intranet-Zugriff von CADIM/EDB und dessen notwendige Erweiterung dargestellt. Der Zugang auf CADIM/EDB ist über eine mitgelieferte WWW-

¹⁸⁷ vgl. (Eigner+Partner 1998).

Schnittstelle (siehe Abbildung 6.9) möglich. Über die Schnittstelle können einerseits Stamm- und Strukturdaten eingesehen, andererseits Dokumente übertragen werden.

Der Zugriffsschutz auf die Daten wird durch die drei Möglichkeiten: Zugang nur mit User/Passwort, Zugang nur von bestimmten Rechnern oder Domänen und Verschlüsselung der Daten über Secure Socket Layer (SSL) angeboten.¹⁸⁸

AD-Projekt-Nr	Version	Revision	DP-Lösungsmerkmal-Name
<input type="checkbox"/> Thixo_01_01_02_03	0	0	Transportzeiten durch Automatisierung minimiere
<input type="checkbox"/> Thixo_01_03	0	0	Effizienter Planungsprozeß und Einsatz von geeig
<input type="checkbox"/> Thixo_01_01	0	0	Verkaufserlöse des VEP-Gehäuses erhöhen
<input type="checkbox"/> Thixo_01_02	0	0	Zielkostenorientiertes Produzieren
<input type="checkbox"/> Thixo_01_01_01_01	0	0	Auswahl von AlSi7Mg als Vormaterial
<input type="checkbox"/> Thixo_01_02_04_01	0	0	opt.Einstg,sof.Eingrsnagl.u.ständ.Überwg d.Proz
<input type="checkbox"/> Thixo_01_02_03	0	0	Automatisierung der Primär-und Sekundärprozes
<input type="checkbox"/> Thixo_01_02_01	0	0	Minimierung d.benötigten Mat.menge durch kons
<input type="checkbox"/> Thixo_01_02_02	0	0	Verschleißfeste Werkzeuge benutzen und damit S
<input type="checkbox"/> Thixo_01_01_01_01_01	0	0	Anwendung elektromagn.Rührer,Zugabe chem.A
<input type="checkbox"/> Thixo_01_03_02	0	0	Festlegung einer Taktzeit von 60 Fertigteilen pro
<input type="checkbox"/> Thixo_01_01_01_02	0	0	Werkstoffkennlinie T4 und T6 nach dem Festst

Abbildung 6.9: CADIM/EDB WWW-Interface

Die Bedienung der Ablaufsteuerung ist momentan noch nicht Bestandteil der WWW-Schnittstelle. Dies wird entweder durch den Anwender über einen TCP/IP fähigen CADIM Client oder als Dienstleistung von der Systemadministration übernommen.

Ausgehend von der Erkenntnis, daß der Mensch bildliche Eindrücke besonders effizient verarbeitet und konkrete Objekte besser erfassen kann als abstrakte Beschreibungen, ist nach Möglichkeiten zu suchen, die in der Planungsphase „unsichtbaren“ Strukturen der Fertigungsprozesse oder Anlagen sichtbar zu machen. Das Graphical User Interface (GUI) von CADIM/EDB erfüllt einerseits nicht die benötigten Anforderungen (die Strukturen werden ohne Benennung angezeigt), andererseits ist dieser GUI nicht über Intranet zugreifbar.

¹⁸⁸ vgl. (Eigner+Partner 1998).

Zur Visualisierung der Informationen zur Axiomatic Design Projektarchitektur wurde daher ein grafisch interaktiver Web-Browser (siehe Abbildung 6.10) als JAVA-Applet konzipiert und implementiert.

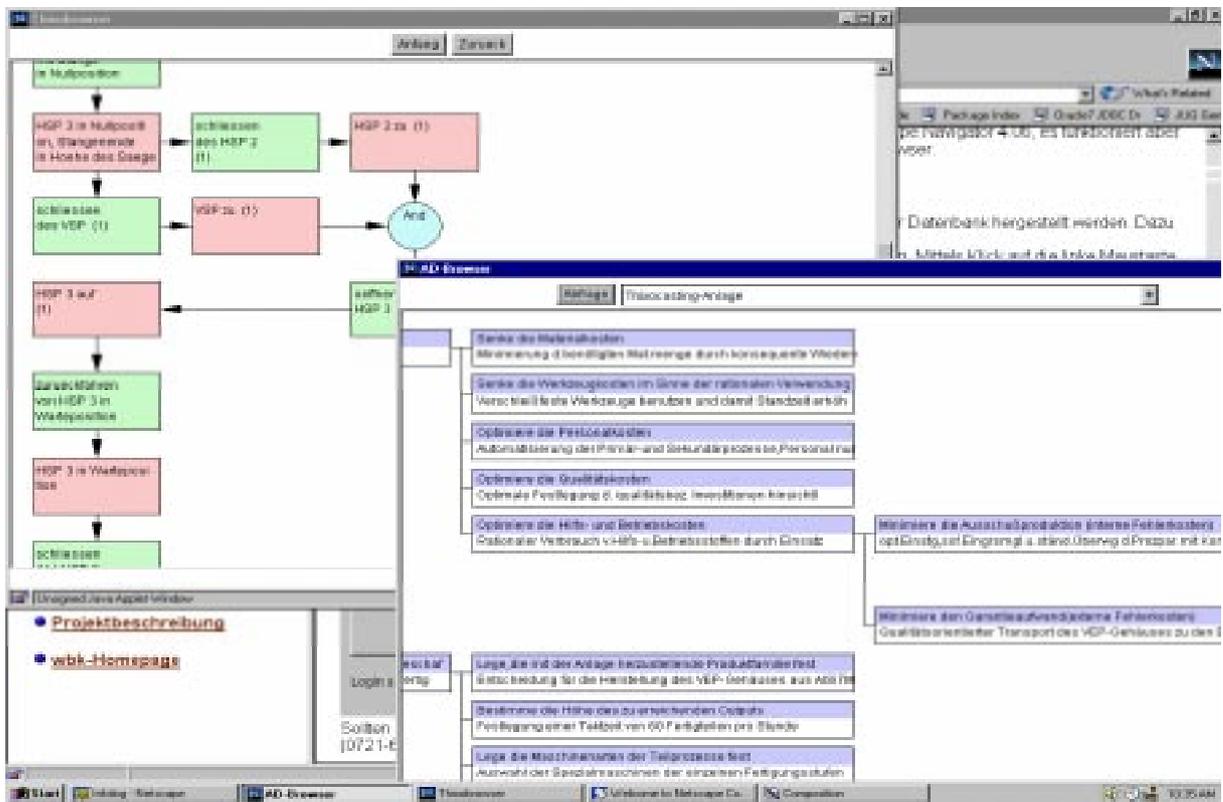


Abbildung 6.10: Grafisches WWW-Interface

Über diesen Browser kann als Erweiterung auch die Ablaufstruktur der Fertigungsprozesse abgefragt werden.

6.3 Erfahrungen und Diskussion

Die Erfahrungen aus dem praktischen Umsetzungsbeispiel lassen sich anhand der in Kapitel 2 gestellten Anforderungskriterien strukturieren (vgl. Abbildung 6.11).

Anforderungskriterien	Aufgabenklärung	Aufg.-strukturierung	Lösungssuche	Lösungsanalyse	Lösungsbewertung und -entscheidung	Kompetenzmanag.	statisches Infomanag.	Modierbarkeit	Zielkostenmanag.	Projektcontrolling	Rechnerabbildung	Informationslogistik
Bewertung	+	++	0	+	+	++	++	++	+	++	+	+

Abbildung 6.11: Bewertung hinsichtlich der gestellten Anforderungen

Die Anwendung des verteilten, Axiomatic Design gestützten Engineering Data Managements zur Aufgabenklärung zeigt, daß zum einen Anforderungen detailliert erfaßt

werden und zum anderen zwischen Anforderungsarten unterschieden wird. In der tatsächlichen Anwendung stellt sich jedoch die genaue Definition und Abgrenzung zwischen Functional Requirements und Constraints als schwierig heraus. Die zusätzliche Konfrontation der Anwender mit der KANO-Methode¹⁸⁹ und dessen Einordnung der Anforderungen in Begeisterungsanforderungen (= FR), Leistungsanforderungen (= FR) und Basisanforderungen (= Constraint), schafft das notwendig Verständnis.

Eine besondere Stärke des Modells liegt in der *Aufgabenstrukturierung*, die gerade in der verteilten Anwendung von Bedeutung ist. Durch die Anwendung des *Independence Axiom* werden zum einen die Unabhängigkeit der Teilprojekte gewährleistet zum anderen werden die Prioritäten zwischen den Teilprojekten klar und eindeutig verteilt.

Die eingeschränkte Anwendbarkeit des Modells in der *Lösungssuche* begründet sich dadurch, daß die Methode Axiomatic Design ausschließlich Planungswissen zur Verfügung stellt. Die Bereitstellung des benötigten Domänenwissen kann im Engineering aber nur innerhalb des jeweiligen Expertenbereiches erfolgen.

Durch die integrierte Darstellung von Functional Requirements - Aufgabenstrukturierung und Design Parameters - *Lösungsanalyse* werden Korrekturschleifen und Änderungsbedarfe vermindert.

Die Qualität der Lösungsstruktur wird über das Independence Axiom sichergestellt. Zur *Lösungsbewertung* in speziellen Teilprojekten können weitere Methoden Verbesserungen erzielen, bspw. bei unscharfer Entscheidungssituation der Analytic Hierarchy Process (AHP) oder bei Vorhandensein der notwendigen Daten entsprechende Simulationswerkzeuge.

Das *Kompetenzmanagement* wurde durch das entsprechende Teilmodell umgesetzt. Durch die Festlegung der Einflüsse der Anforderungen wird der Anwender in die Lage versetzt, trotz unvollständiger Informationen, in seinem „Zweig“ die Planungskette weiter zu verfolgen. Dies geschieht einerseits dadurch, daß Zweige die keinen Einflüssen anderer Teilprojekte ausgesetzt sind, entkoppelt bzw. gekapselt bearbeitet werden können, andererseits dadurch, daß beeinflusste Teilprojekte sich der Einflußquelle und Art des Einflusses stets bewußt sind. Die Projektorganisation nach Axiomatic Design unterstützt daher voll den Gedanken des *Simultaneous Engineering*.

Das *statische Informationsmanagement* wird durch den Einsatz eines Standard-EDM Systems abgedeckt. Der Ansatz zum Axiomatic Design gestützten Management von Informationsobjekten geht darüber hinaus und erzeugt kontinuierlich ein Spannungs-

¹⁸⁹ vgl. Kapitel 2.3.2.2: Kano-Methode.

feld zwischen Ziel und Ausgangssituation. Nach ISO 9000 ff. ist das Ergebnis jeder Konkretisierung zu dokumentieren¹⁹⁰. Daher müßte ein Functional Requirement einer Konkretisierungsebene immer „Dokumentiere die getroffenen Entscheidungen“ heißen. Durch die Dokumentation des *Zigzagging* durch das System wird diese Anforderung automatisiert umgesetzt und kann somit in der eigentlichen Definition vernachlässigt werden.

Als Schwierigkeit bezüglich der *Moderierbarkeit* der Methode erweist sich das Einhalten des *Zigzagging*. Oft werden Design Parameters ohne die dazugehörigen Functional Requirements definiert, was die Neigung der Experten widerspiegelt, sich eher an der Lösung als am Ziel zu orientieren. Durch den Einsatz des Systems als Moderator wird aber strikt auf dessen Einhaltung geachtet.

Die schrittweise Konkretisierung und Visualisierung der *Zielkosten* wird durch deren Betrachtung als *Constraints* unterstützt. Inwieweit die Priorisierung der Teilprojekte die Kostenfindung bzw. -zerlegung unterstützt, ist durch weitere Anwendungsbeispiele zu prüfen.

Durch die hierarchische Strukturierung der Teilprojekte wird bzgl. des *Projektcontrolling* erreicht, daß der Projektleiter einen schnellen Überblick über den tatsächlichen „Status“ einer komplexen Engineeringaufgabe gewinnt. Vor der Freigabe eines Teilprojekts wird geprüft, ob all seine „Sohn-Projekte“ (Konkretisierung des Projekts eine Hierachiestufe tiefer) bereits den Statuswechsel zu „freigegeben“ vollzogen haben. Dadurch werden die Teilprojekte von unten her freigegeben und die Hauptverantwortlichen haben aus Sicht der Vogelperspektive einen Überblick über den Status des gesamten Projekts.

Die Forderungen bzgl. *Rechnerabbildung* und *Informationslogistik* nach einheitlicher Beschreibung der Beiträge in textueller und grafischer Form sowie nach einer Aktivitätensteuerung werden durch die statische und dynamisch-funktionale Abbildung von Axiomatic Design im EDM-System erfüllt. Die Objekte stehen in hierarchisch geordneter Beziehung zur Verfügung. Wie in der objektorientierten Welt ist wesentlicher Bestandteil die Abstraktion, welche jedem Anwender Informationsobjekte in der ihm entsprechenden Sicht zur Verfügung stellt. Die Abstraktion faßt für jedes nicht elementare Teilprojekt die statischen, funktionalen und dynamischen Merkmale zusammen. Dadurch wird die hohe Transparenz über die Projektaufgabe gewährleistet.

¹⁹⁰ vgl. (DIN-ISO-9000-9004 1994).

Durch das Zusammenspiel des Kompetenzmanagements und einer Terminsteuerung findet die Verteilung der Teilprojektbeiträge prozeßbeschleunigend statt.

Es zeigt sich, daß die Einführung zwischenbetrieblicher Kommunikation via Internet in den Unternehmen der Gießereibranche in der Praxis noch erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Hierfür sind das hohe Innovationstempo sowie das Fehlen methodischer Grundlagen zur schnellen, wirtschaftlichen Einführung ursächlich zu nennen. Daher ist zunächst bezüglich des Interneteinsatzes ein hohes Maß an Überzeugungsarbeit in Schulungen zu leisten. Des weiteren wird häufig die mangelnde Performance bei unternehmensübergreifenden Intranetanwendungen beklagt. Über die Themen Internetperformance und Internetanwendung in Unternehmen wird aber nicht mehr lange zu diskutieren sein, da diese bald unabdingbare Voraussetzungen sein werden, um am Markt zu bestehen.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen des verteilten Engineering ist in der durchgehenden Methodenunterstützung hinsichtlich Aufgabenklärung, -strukturierung sowie Lösungsanalyse ein wesentliches Verbesserungspotential zu sehen. Die umfassende Analyse von Methoden bezüglich des erstellten Anforderungskatalogs zeigt, daß sich insbesondere die zielorientierte Methode *Axiomatic Design* zur durchgängigen Unterstützung des Problemlösungsprozesses hervorhebt.

Die Forderungen bezüglich Informationsmanagement und Projektmanagement bleiben jedoch weitgehend unberücksichtigt und verlangen zur verteilten Anwendung der Methode die Integration in vernetzte Standard-Software.

Der identifizierte Handlungsbedarf führt zum Lösungsansatz der Integration der Vorgehensmethode *Axiomatic Design* in ein verteiltes Produkt- und Prozeßdatenmodell sowie die Umsetzung des entstandenen Systementwurfs mit einem netzwerkbasierten Engineering Data Management. Durch die Sicherstellung des Zugriffs über Intranet/Extranet werden alle Anforderungen an eine Unterstützung des verteilten Engineerings erfüllt.

Als oberste abstrakte Anforderung für den Systementwurf und damit als oberstes Functional Requirement wird die „Reduzierung des Time to market“ an die Unterstützung kooperativer Engineeringprojekte definiert. Das *Axiomatic Design* gestützte Engineering Data Management soll dies gewährleisten. Durch die Anwendung von *Axiomatic Design* zur Gestaltung von Systemanforderungen und -entwurf, wird *Axiomatic Design* gleichzeitig als geeignete Methode in der Softwareentwicklung vorgestellt.

Die einzelnen Teilfunktionen des EDM wie Verteilungsmanagement, Änderungsweisen, Kompetenz- und Methodenmanagement werden durch Berücksichtigung des Independence Axiom klar nach den Prioritäten ihrer Anforderungen strukturiert und in weitere Teilfunktionen konkretisiert. Durch die Gewährleistung der Transparenz von Ziel, Umsetzung und gegenseitiger Abhängigkeiten wird die Komplexität der Aufgabenstellung wesentlich reduziert.

Die Teilfunktionen des Systementwurfs werden in entsprechende statische und dynamisch-funktionale Teilmodelle umgesetzt, welche unabhängig von der später eingesetzten Standardsoftware gültig sind. Zur Modellierung der notwendigen Entitäten, Attribute, Relationen und Prozeduren werden die Entity-Relationship-Notation, Prozeß-Status-Diagramme und Flußdiagramme eingesetzt.

Die Anwendbarkeit der konzeptionellen Ergebnisse dieser Arbeit wird durch das Projekt „kooperative Entwicklung einer Thixocasting Anlage“ im Rahmen eines Verbundprojekts gezeigt. Die Projektierung einer Thixocasting Anlage dient als Szenario für den Einsatz des rechnergestützten Axiomatic Design Projektmanagements. Zur prototypischen Realisierung des Objektentwurfs wird das kommerzielle EDM-System CADIM/EDB herangezogen. Es wird insbesondere darauf geachtet, daß das Axiomatic Design Projektmanagement modular zum laufenden EDM-Betrieb „zugeschaltet“ werden kann, ohne diesen weitgehend zu beeinflussen. Zur Sicherstellung des unternehmensübergreifenden Zugriffs wird die notwendige Erweiterung des Standard-Intranet-Zugriffs von CADIM/EDB dargestellt. Als Leistung des entstandenen Gesamtsystems läßt sich zusammenfassen, daß durch

- die Koordination von verteilten Projektteams mit Axiomatic Design,
- die durchgehende Strukturierung der Aufgabenstellung für alle Projektteams und
- die gezielte Informationsbereitstellung

ein Zeitgewinn durch konsequente Methodennutzung im informationslogistischen Netzwerk erreicht wird.

Der vorgestellte Ansatz leistet einen weiteren Beitrag zur Lösung der aufgezeigten Problematik. Aufgrund der Vielschichtigkeit bei Engineeringprojekten, wie beispielsweise der Entwicklung von Fertigungssystemen, bleibt sicherlich noch weiterer Forschungsbedarf. So wäre zum Beispiel im Rahmen zukünftiger Arbeiten die grafisch interaktive Manipulation im Rahmen eines Digital Mock-Up zu optimieren. Die Planung von Prozessen bzw. Systemen sollte im gegenständlichen Sinn möglich sein, daß bedeutet vereinfacht ausgedrückt, die Struktur eines Systementwurfs wie sie die Axiomatic Design Struktur darstellt, sollte durch »Zusammenstecken und Ausprobieren« entstehen. Eine fortgeschrittene Art ist etwa die Verwendung von Animationen, in denen dem Beobachter der Ablauf eines Prozesses visuell dargestellt wird. Man beobachtet den Prozeß sozusagen bei der Arbeit. Eine solche Animation kann unterschiedlichen Zwecken dienen. Sie kann stark abstrahieren und versuchen, die grundlegende Idee des Prozesses zu veranschaulichen, sie kann aber auch sehr nah an der detaillierten maschinennahen Umsetzung bleiben, um etwa zur graphischen Diagnose eingesetzt zu werden. Eine erste Voraussetzung ist die logische (z.B. ablauforientierte) Strukturierung.

8 Anhang: Die Methode "Axiomatic Design"

Ein Vorgehensmodell zur prioritätengesteuerten Integration von Anforderungsanalyse und Systementwurf

Mit eindeutig definierten Planungsmethoden wird die qualitative und produktive Arbeit der Mitarbeiter in der Produktentwicklung zielorientiert ausgerichtet. Solche Anleitungen in der Produktentstehungsphase müssen entsprechend kommuniziert werden. Im folgende wird eine allgemeine Einführung in die Methode *Axiomatic Design* gegeben und die wichtigsten Definitionen bzw. die beiden Axiome beschrieben. Die Anwendung des ersten Axioms – des Independence Axiom – wird wegen seiner Anwendung in dieser Arbeit detaillierter erläutert.

Nam P. Suh¹⁹¹ entwickelte das Vorgehensmodell Axiomatic Design am Massachusetts Institute of Technology (MIT). Die Methode fordert die zielorientierte, hierarchische Strukturierung von Produkt- und Produktionsmodellen mit Hilfe der Definition von *Functional Requirements* (funktionalen Anforderungen) und von eindeutig zugehörigen *Design Parameter* (konstruktiven Auslegungen / Lösungsmerkmale / Effekte).

Ziel von *Axiomatic Design* ist es, den Konstrukteur bzw. Planer darin zu fördern nicht in bestehenden Mustern und Schemata zu denken, sondern für jede konstruktive Lösung die eigentlich dafür ausschlaggebende Anforderung iterativ neu zu überdenken und zuzuordnen.

8.1 Definitionen

Um *Axiomatic Design* richtig und verständlich darstellen zu können, müssen erst einige Schlüsseldefinitionen geklärt werden¹⁹²:

Axiom:

Ein Axiom ist eine sich selbst beweisende oder fundamentale Wahrheit, die nicht mathematisch bzw. statistisch bewiesen ist. Axiome sind weder von Naturgesetzen, noch von anderen grundlegenden Prinzipien abgeleitet.

Functional Requirement - FR (Funktionale Anforderung):

Die kleinste Anzahl unabhängiger Anforderungen, welche vollständig die Bedürfnisse eines Kunden an ein Produkt (eine Software, eine Organisation, ein System, usw.) in der Anforderungsdomäne beschreibt. Per Definition ist jede

¹⁹¹ vgl. (Suh 1990).

¹⁹² vgl. (Suh, et al. 1998).

funktionale Anforderung unabhängig von jeder weiteren zum Zeitpunkt der Festlegung.

Constraint – C (Restriktion):

Restriktionen beschreiben die Grenzen von möglichen Lösungen. Es bestehen zwei Arten von Restriktionen. Eingangsrestriktionen werden als Teil der Spezifikation der Engineeringaufgabe festgelegt. Systemrestriktionen sind Randbedingungen, innerhalb deren die konstruktive bzw. planerische Lösung funktionieren muß.

Design Parameter - DP (Lösungsmerkmal):

Design Parameter sind konstruktive Auslegungen der physikalischen Objekte (entsprechendes bei der Software-Erstellung), welche die spezifizierten funktionalen Anforderungen erfüllen.

Process Variable - PV (Umsetzungsparameter):

Umsetzungsparameter charakterisieren die Prozesse, welche die spezifizierten physikalischen Lösungsmerkmale erzeugen.

8.2 Constraints

Ein wesentlicher Punkt ist das Definieren von *Constraints* (Restriktionen). Suh definiert ein System wie folgt¹⁹³:

"a system may be defined as an assemblage of subsystems, hardware and software components, and people that is designed to perform a set of tasks to satisfy specified functional requirements and constraints."

Constraints werden einerseits durch externe Einflüsse, wie Naturgesetze und Gesetzgebungen erzeugt, andererseits durch Unternehmensstrategien wie die Wahl des Betriebsstandortes oder interner Standards. Auch der Kunde definiert *Constraints*, z.B. durch Zielkosten, erwünschtes Produktionsvolumen oder Mindestqualitätsanforderungen mittels Toleranzen. Eine andere Klassifikationsart von *Constraints* stellt ihre Zuordnung zu den Domänen dar, in welchen sie berücksichtigt werden müssen. Hieraus ergeben sich für jede Zerlegungsstufe spezifisch angewandte *Constraints*, die möglichen Lösungen Grenzen setzen.

Per Definition unterscheidet sich ein *Constraint* von einem *FR* dadurch, daß der *Constraint* nicht unabhängig von anderen *Constraints* und *FRs* sein muß. So stellen z.B. die Kosten in vielen Fällen eher ein *Constraint* als ein *Functional Requirement* dar, da die präzise Kostenhöhe nicht im Vordergrund steht, solange sie ein vorgegebenes Li-

¹⁹³ vgl. (Suh 1990).

mit nicht übersteigt. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist, daß *Constraints* normalerweise nicht innerhalb von Toleranzbereichen angegeben werden, wie das bei *FRs* der Fall ist.

Es ist nicht gestattet, die von Kunden vorgegebenen *Constraints* zu verletzen, also während des Engineeringprozesses zu verändern. Oft werden sie parallel zur Dekomposition vielmehr verfeinert und detailliert.

8.3 Entwicklungsbereiche - *Design Domains*

In *Axiomatic Design* wird der Entwicklungsprozeß in vier Domänen gegliedert. Die *Customer Domain* (Kundendomäne) beschreibt die Bedürfnisse des Marktes bzw. Kunden bezüglich einer Produktidee, eines Prozesses oder eines Systems. Davon abgeleitet enthält das *Functional Domain* (Anforderungsdomäne) alle spezifizierten *Functional Requirements* an das zu entwickelnde Objekt, und stellt somit das Lastenheft dar. In der *Physical Domain* (Lösungsraum) werden die konstruktiven Lösungen bzw. Lösungsmerkmale, welche die funktionalen Anforderungen erfüllen definiert. Sie beschreibt das zur Verwirklichung eines Produktes erforderliche Pflichtenheft. Dieses Pflichtenheft wird durch die in der *Process Domain* (Produktionsdomäne) beschriebenen Prozesse umgesetzt.

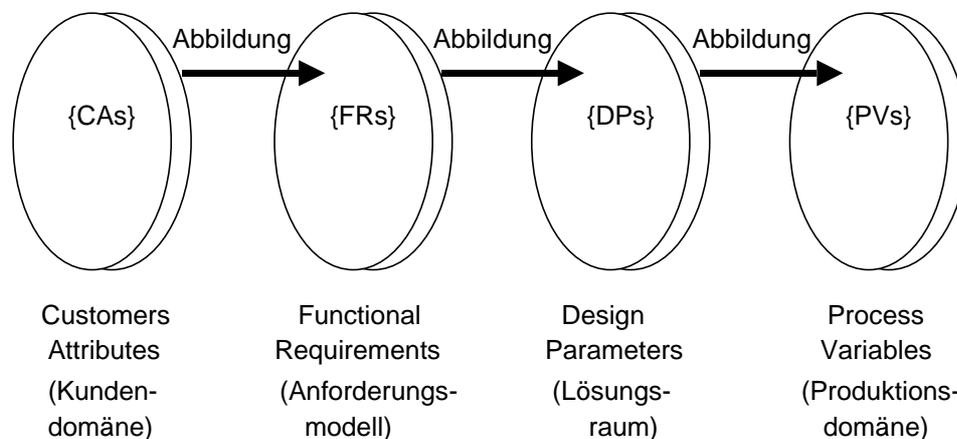


Abbildung 8.1: Domänen in Axiomatic Design

Auf jede Domäne beziehen sich folgende Parametergruppen oder Designelemente¹⁹⁴, die zueinander in Korrelation stehen (siehe Abbildung 8.1).

Als Hauptzielsetzung gilt dabei die Ableitung des obersten *FR* von der wichtigsten Anforderung des wichtigsten Kunden. Anzustreben ist die minimale Anzahl der formulierten *FRs*, wobei nur die absolut wesentlichen Erfordernisse identifiziert werden.

¹⁹⁴ vgl. (Suh 1990).

Alle weiteren *FRs* werden zu einem späteren Zeitpunkt bearbeitet, da sie sonst die Komplexität des Systems erhöhen. Die Komplexität wird andererseits durch die Abhängigkeiten der *FRs* untereinander erzeugt. Eine Analyse und klare Definition der Beziehung zwischen *Functional Requirements* und *Design Parameter* ergibt eine höherwertigere Lösung. Um *FRs* von *DPs* zu unterscheiden, beginnen die Beschreibungen der *FRs* mit Verben und die der *DPs* mit Substantiven.

8.4 Independence Axiom

Die Sicherstellung der Unabhängigkeit von *Functional Requirements* durch das *Independence Axiom* (Unabhängigkeitsaxiom) bedeutet, daß bei einer optimalen Lösung ein Design Parameter den eindeutig zugehörigen *Functional Requirement* erfüllen muß, ohne andere *FRs* zu beeinflussen. Die beste Alternative ist diejenige, deren *Design Parameters* vollkommen unabhängig alle *Functional Requirements* erfüllen.

Innerhalb des *Independence Axioms* wird der Planungsprozeß top-down, ausgehend von einer Gesamtsystemperspektive zu tieferen Konkretisierungsstufen geführt. Das zu planende System wird in Hierarchien im Anforderungs- und Lösungsraum strukturiert. Um zusätzlich zu dieser Strukturierung dem Konstrukteur ein genaues Vorgehensmodell zu präsentieren, entwickelte Suh die Idee des *Zigzagging* (siehe Abbildung 8.2).

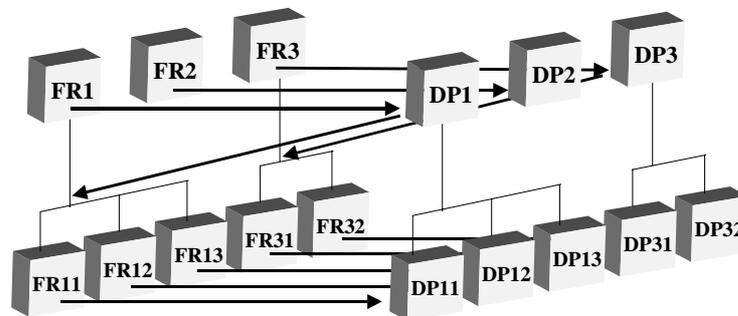


Abbildung 8.2: Problemzerlegung im Zickzack

Innerhalb einer Stufe der Konkretisierung gibt es eine bestimmte Menge von *Functional Requirements* (*FR*) – auch *FR-Set* genannt. Bevor ein *FR* weiterzerlegt wird, muß das eindeutig zugehörige *Design Parameter* formuliert werden. Wird ein *Functional Requirement* durch ein entsprechendes *Design Parameter* erfüllt, wird das *FR* in mehrere *Sub-FRs* (Teilanforderungen) zerlegt. Dieser Prozeß wird solange wiederholt, bis sogenannte elementare *Functional Requirements* mit zugehörigen *Design Parameters* gefunden sind. Das heißt, die Konstrukteure durchlaufen im "Zickzack" den Anforderungs- und Lösungsraum beim Zerlegen der Entwicklungsaufgabe¹⁹⁵.

¹⁹⁵ vgl. (Suh 1990).

Das *Zigzagging* gibt eine klar zielorientierte Vorgehensweise vor, d.h. der Konstrukteur wird während seiner Aufgabenlösung "geführt", was die Anforderung an die Moderierbarkeit einer Engineering-unterstützenden Methode erfüllt.

Sobald ein *FR-Set* formuliert und mögliche *DPs* definiert wurden, wird zur ersten Lösungsanalyse und Lösungsbewertung das *Independence Axiom* angewendet. Die Einflußmatrix zeigt das Verhältnis zwischen *FRs* und *DPs* auf einer Hierarchiestufe. Die Einflußmatrix [A] ist eine $n \times n$ - Matrix und resultiert aus der Abbildungsgleichung der folgenden Form:

Gleichung 8.1

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ \dots \\ FR_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ \dots \\ DP_n \end{Bmatrix}$$

Die a_{ij} ten Elemente (Zeile i, Spalte j) werden erstellt durch die Frage: "Kann das *Design Parameter* DP_j konstruiert werden, ohne FR_i zu beeinflussen?" '0' steht für ein signifikantes JA und 'X' für NEIN. In einer linearen Abbildung sind alle a_{ij} konstant, wobei in einer nichtlinearen Abbildung a_{ij} Funktionen der dazugehörigen *DPs* sind. *Axiomatic Design* unterscheidet zwischen drei grundsätzlichen Ausprägungen, welche die Einflußmatrix A annehmen kann:

- Alle $a_{ij} = 0$ für $i \neq j$ (Diagonalmatrix)
- Entweder sind oberhalb oder unterhalb der Diagonale alle Elemente gleich null (Dreiecksmatrix).
- Sowohl oberhalb als auch unterhalb der Diagonalen sind Elemente ungleich null.

$$\begin{array}{l} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{array} = \begin{array}{c|ccc} X & 0 & 0 & \\ \hline 0 & X & 0 & \\ 0 & 0 & X & \end{array} \begin{array}{l} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{array}$$

1) Uncoupled design

$$\begin{array}{l} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{array} = \begin{array}{c|ccc} X & 0 & 0 & \\ \hline X & X & 0 & \\ X & X & X & \end{array} \begin{array}{l} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{array}$$

2) Decoupled design

$$\begin{array}{l} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{array} = \begin{array}{c|ccc} X & 0 & X & \\ \hline X & X & 0 & \\ X & X & X & \end{array} \begin{array}{l} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{array}$$

3) Coupled design

Abbildung 8.3: Mögliche Ausprägungen der Einflußmatrix

Entsprechend den drei Ausprägungsformen wird zwischen: 1. *uncoupled design* (beste Lösung), 2. *decoupled design* (annehmbare Lösung), und 3. *coupled design* (verletzt das *Independence Axiom*, widersprüchliche Lösung) unterschieden. *Axiomatic Design* gibt so eine klare Entscheidungshilfe eine Lösung zu finden, deren Parameter unabhängig voneinander zu realisieren sind (*uncoupled design*) oder sich wenigstens nur in Richtung einer Zielsetzung beeinflussen (*decoupled design*).

Widersprüchliche Teillösungen wie z.B. die *Design Parameter DP1 "Reduktion des Lagerbestandes"* und *DP2 "Erhöhung der Lieferbereitschaft"* sind aufzudecken und in einem zweiten Schritt zu "entkoppeln"¹⁹⁶. Beispielsweise wird eine Teillösung in Vordergrund gerückt und *DP1* folgend formuliert "*Lagerbestand um 10% reduzieren bei maximaler Lieferbereitschaft*". In diesem *decoupled design* fungiert nun *Design Parameter DP2* als Dienstleister von *DP1*.

Bei der Festlegung der Reihenfolge der FR/DP-Paare innerhalb einer Hierarchiestufe ist an die erster Stelle dasjenige FR/DP-Paar zu setzen, welches die größte Wertschöpfung liefert oder technisch am anspruchsvollsten ist¹⁹⁷. Dessen *DP* darf alle folgenden *FRs* beeinflussen.

Das folgende Beispiel aus dem Fertigungsbereich (siehe Abbildung 8.4) zeigt diese sequentielle Vorgehensweise. Als erstes werden die Fertigungsprozesse plaziert (Primärprozesse, größter Wertschöpfungsanteil), danach die Schnittstellen zwischen den Prozessen (technisch am anspruchsvollsten). Als drittes kommen die Transport- oder Sekundärprozesse (zuerst Werkstück-, dann Werkzeugtransport, usw.). An der letzten Stelle steht die Steuerung aller Prozesse. Sie wird von den anderen Prozessen determiniert, darf aber ihrerseits keinen Einfluß auf andere *FRs* haben. Hieraus wird deutlich, daß der letzte *DP* nur seinen entsprechenden *FR* beeinflussen darf.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{FR1: Fertige Werkstücke} \\ \text{FR2: Verbinde Prozesse} \\ \text{FR3: Transportiere Werkstücke} \\ \text{FR4: Steuere Prozesse} \end{array} \right\} = \begin{pmatrix} \text{X} & 0 & 0 & 0 \\ \text{X} & \text{X} & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & \text{X} & 0 \\ \text{X} & \text{X} & \text{X} & \text{X} \end{pmatrix} \left\{ \begin{array}{l} \text{DP1: Fertigungsmaschine} \\ \text{DP2: Schnittstellen} \\ \text{DP3: Transportsystem} \\ \text{DP4: Steuerungssoftware} \end{array} \right\}$$

Abbildung 8.4: Beispiel für ein "decoupled Design"

Mit der Einführung der Einflußmatrix bietet sich eine erste Kommunikationsplattform zur Diskussion zwischen den Produktentwicklern. Durch die systematische Anwendung des *Independence Axiom* erhält der Konstrukteur eine Möglichkeit zur Überprüfung und Beurteilung seiner, während des Entwicklungsprozesses getroffenen Entscheidungen. Durch Anwendung des *Information Axiom* wird zusätzlich die Auswahl zwischen verschiedenen Lösungsalternativen unterstützt.

¹⁹⁶ vgl. (Suh 1990).

¹⁹⁷ vgl. (Tate 1998).

8.5 Information Axiom

Das zweite Axiom, das *Information Axiom* (Informationsaxiom), dient der Auswahl zwischen alternativen Design Parameters. Die besten *Design Parameters* (Lösungsmerkmale) sind die, mit dem niedrigsten Informationsgehalt, verursacht durch z.B. Komplexität, usw.. Die Devise lautet: "Je einfacher, desto besser!"

Das *Information Axiom* liefert dadurch eine quantitative Bewertung gegebener Lösungen und stellt die theoretische Basis für Optimierungen und Zuverlässigkeitsverbesserungen dar¹⁹⁸.

Suh definiert den Informationsgehalt als Maß für die Komplexität einer Aufgabenstellung (also eines formulierten FR). Wenn die Komplexität zunimmt, sinkt parallel dazu die Wahrscheinlichkeit der erfolgreichen Lösungsfindung. Das *Information Axiom* definiert, daß die beste Lösung diejenige ist, welche die höchste Erfolgswahrscheinlichkeit hat (also am wenigsten komplex ist), oder basierend auf Shannons Nachrichtentheorie¹⁹⁹ den kleinsten Informationsgehalt I besitzt²⁰⁰.

Der Informationsgehalt I wird definiert als negativer Logarithmus der Wahrscheinlichkeit p , daß ein *Design Parameter (DP)* das zugehörige vorgegebene *Functional Requirement (FR)* erfüllt.

$$I = -\log p$$

Der Informationsgehalt wird in Bit-Einheiten angegeben und läßt sich zum besseren Verständnis als *Wissen* definieren, welches erforderlich ist, ein bestimmtes *FR* zu erfüllen. Die logarithmische Funktion wird gewählt, damit der Informationsgehalt zunimmt, wenn die Anzahl der *FRs* innerhalb einer Hierarchieebene steigt, die zur gleichen Zeit erfüllt werden müssen.

Für die Lösung (*DP-Set*) von n *FRs*, die dem *Independence Axiom* genügt (*uncoupled* oder *decoupled design*), wird der Informationsgehalt I als Summe dieser einzelnen Wahrscheinlichkeiten folgend ausgedrückt²⁰¹.

$$I = \sum_{i=1}^n [\log 1/p_i]$$

¹⁹⁸ vgl. Suh (1998), S. 13.

¹⁹⁹ vgl. Shannon (1993).

²⁰⁰ vgl. Suh (1998).

²⁰¹ vgl. Shannon (1993).

Das *Information Axiom* sagt aus, daß die beste Gesamtlösung diejenige mit dem kleinsten I ist, da sie die geringste Informationsmenge zur Zielerreichung benötigt. Wenn alle Einzelwahrscheinlichkeiten „1“ sind, so ist der gesamte Informationsgehalt gleich „0“. Das bedeutet, wenn die Wahrscheinlichkeiten zur Erfüllung der *FRs* gering sind, muß mehr Information bereitgestellt werden, um die *Functional Requirements (FRs)* zu erfüllen.

In der Fertigungssystemplanung wird die Erfolgswahrscheinlichkeit von der Übereinstimmung zweier Toleranzbereiche bestimmt. Erstens handelt es sich um die Zieltoleranz, die vom Kunden festgelegt wird. Diese Toleranz definiert, ob die betrachtete Lösung (*DPs*) die dazugehörigen *FRs* hinreichend erfüllt, also ob die Lösung innerhalb oder außerhalb des Zielbereiches (*design range*) liegt. Zweitens handelt es sich um die Toleranz bzw. die Fähigkeit des Fertigungssystems, die Teile innerhalb eines spezifizierten Systembereiches (*system range*) zu produzieren.

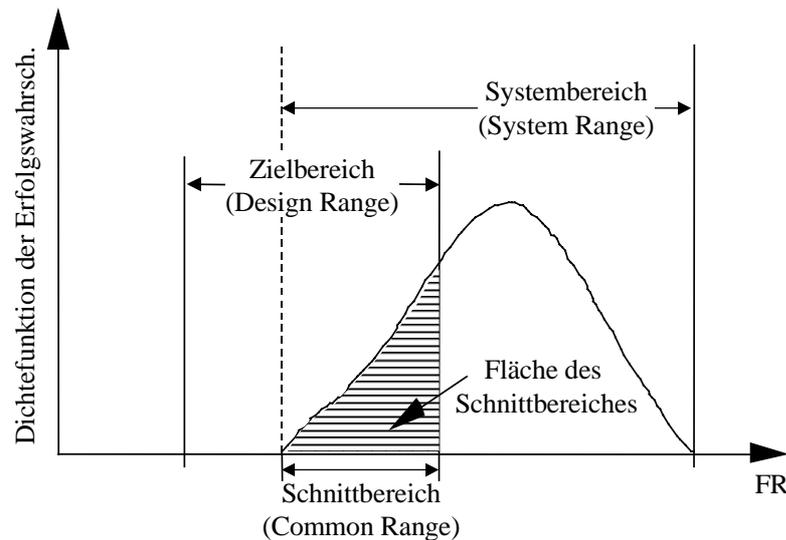


Abbildung 8.5: Ziel-, System- und Schnittbereich einer Lösung²⁰²

Die Erfolgswahrscheinlichkeit läßt sich durch die Spezifizierung dieser beiden Toleranzbereiche berechnen. Abbildung 8.5 stellt die (relative oder absolute) Dichtefunktion der Erfolgswahrscheinlichkeiten einer Lösung zur Erfüllung eines *FRs* dar. Beispielsweise kann in der Ordinate die Oberflächengüte des Fertigungsteiles aufgetragen werden und auf der Abszisse die Wahrscheinlichkeit der Drehmaschine, mit der sie die jeweilige Güte erreicht²⁰³.

Die Überschneidung des eingezeichneten Zielbereiches und des Systembereiches (Bereich der Dichtefunktion) wird als Schnittbereich (*common range*) bezeichnet. Nur in-

²⁰² vgl. Suh (1998), S. 16.

²⁰³ vgl. Suh (1998), S. 16 und Suh (1990), S. 147-188.

nerhalb dieses Schnittbereiches wird die funktionale Anforderung erfüllt. Folglich ist die Fläche des Schnittbereiches (in Abbildung gestreift) geteilt durch die Fläche des Systembereiches (Fläche unter der Dichtefunktion) gleich der Wahrscheinlichkeit, mit welcher der Konstrukteur die gesetzten Ziele erreicht.

$$I = \log \left[\frac{\text{system range}}{\text{common range}} \right] = \text{Information Content}$$

Mit der Annahme, daß die "Fläche unter der Dichtefunktion = 1" ist und die Anzahl der zu erfüllenden *FRs* gleich n ist, kann der Informationsgehalt auch folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$I = \sum_{i=1}^n \log [1/\text{common range}]_i$$

Oft müssen Entscheidungen unter Berücksichtigung vieler *FRs* getroffen werden, die gleichzeitig erfüllt sein müssen. Das Informationsaxiom liefert hierzu eine objektive Entscheidungshilfe, ohne daß willkürliche Gewichtungsfaktoren zum Einsatz kommen.. Allerdings steigt damit auch die Notwendigkeit einer vorherigen Lösungsanalyse. Umfangreiche Daten und Erfahrungswerte müssen vorab zur Verfügung stehen, um das Information Axiom anwenden zu können. Das *Information Axiom* basiert auf der vorherigen Anwendung des *Independence Axiom*.

9 Referenzen

- Abeln, O.: *Innovationspotentiale in der Produktentwicklung*, Teubner Verlag, Stuttgart, 1997.
- Abramovici, M.: *Informationsmanagement und -logistik mit Engineering-Data-Management (EDM)*, Effiziente Anwendung und Weiterentwicklung von CAD/CAM-Technologien, VDI (Hrsg.), VDI-Verlag, München, 1996.
- Akao, Y.: *QFD - Quality Function Deployment: Wie die Japaner Kundenwünsche in Qualitätsprodukte umsetzen*, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1992.
- Akizama, K.: *Funcion Analysis - System Improvement of Quality and Performance*, Productivity Press, Cambridge, MA, 1991.
- Altshuller, G. S.: *Creativity as an Exact Science*, Gordon and Breach, New York, 1988.
- Anderl, R. und Philipp, M.: *Konstruktionswissenschaft und Produktdatentechnologie*, Konstruktion 51 (1999) H.3, 1999, S. 20-24.
- Anderl, R., Polly, A. und Staub, G.: *Produktqualität durch Konstruktionsqualität*, Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1997.
- ASI: *Quality Function Deployment. Kundenorientierte Produktentwicklung und -fertigung, Workshop-Handbuch*, American Supplier Institute (ASI) Quality Systems, Milton Keynes, 1989.
- Aßmann, S.: *Methoden und Hilfsmittel zur abteilungsübergreifenden Projektierung komplexer Maschinen und Anlagen*, Dissertation, WZL, RWTH Aachen, Aachen, 1996.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. und Weiber, R.: *Multivariate Analysemethoden - eine anwendungsorientierte Einführung*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1994.
- Badach, A., Hoffmann, E. und Knauer, O.: *High Speed Internetworking*, Addison-Wesley Verlag, Bonn, 1994.
- Baier, D.: *Marketing und Innovation*, Vorlesungsskript, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 1997.
- Bailom, K., Hinterhuber, H., Matzler, K. und Sauerwein, E.: *Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit*, Marketing Zeitschrift für Planung, 1996, S. 117-126.

- Bechmann, A.: *Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung*, Haupt Verlag, Bern, Suttgart, 1978.
- Beitz, W., Lam, A., Ratfisch, U. und Tegel, O.: *Eine Systemumgebung zur Unterstützung von Simultaneous Engineering*, Datenverarbeitung in der Konstruktion '94: Tagung München, 27.-28.10.94, VDI-Berichte 1148, VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb, Düsseldorf, 1994, S. 439-455.
- Benz, T.: *Funktionsmodellieren als Basis zur Lösungsfindung in CAD-Systemen*, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990.
- Beyer, G. und Beyer, M.: *Innovations- und Ideenmanagement*, Econ-Verlag, Düsseldorf, 1994.
- BGB: *Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (Produkthaftungsgesetz - ProdHaftG)*, Bundesgesetzblatt (BGB), Deutscher Bundestag (Hrsg.), Bonn, 1989.
- Birkhofer, H.: *Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte, VDI Fortschritts-Berichte, Reihe 1, Nr.70*, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1980.
- Blaha, M. und Premerlani, W.: *Object-Oriented Modeling and Design for Database Applications*, Prentice-Hall. Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 1998.
- Brockhaus, F. A.: *dtv Brockhaus Lexikon*, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München, 1982.
- Buggert, W. und Wielpültz, A.: *Target Costing: Grundlagen und Umsetzung des Zielkostenmanagements*, Carl Hanser Verlag, München, 1995/1.
- Buggert, W. und Wielpültz, A.: *Target Costing als Instrument der Qualitätssicherung*, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 90, 1995/2, S. 533-535.
- Bürgel, H. D.: *Lean R&D*, Handbuch Technologiemanagement, E. (Hrsg.) Zahn, Schäffer Poeschel Verlag, Stuttgart, 1995.
- Bytheway, C. W.: *The Creative Aspects of FAST Diagramming*, SAVE Proceedings, 1971.
- Call, G.: *Entstehung und Markteinführung von Produktneuheiten*, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1997.
- Clausius, E. H. J.: *Controlling in Forschung und Entwicklung. Reihe V, Volks- und Betriebswirtschaft, Band 1398*, Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main, Berlin, 1993.

- Danner, S. und Schurr, S.: *QFD-Teambasiertes Entwickeln kundengerechter Produkte*, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 89, 1993, S. 540-543.
- Dänzer, W. F. und Huber, F.: *System Engineering*, 7. Auflage, Industrielle Organisation, Zürich, 1992.
- DIN-6772: *Änderungen von Dokumenten und Gegenständen*, Beuth-Verlag, 1981.
- DIN-6901: *Projektmanagement, Begriffe*, Beuth-Verlag, Berlin, 1987.
- DIN-25419: *Ereignisablaufanalyse*, Beuth Verlag, Berlin, 1985.
- DIN-25424: *Fehlerbaumanalyse*, Teil 1 und 2, Beuth Verlag, Berlin, 1990.
- DIN-69910: *Wertanalyse*, Beuth, Berlin, 1987.
- DIN-ISO-9000-9004: *Qualitätsmanagement - Qualitätsnachweisstufe für Entwicklung und Konstruktion, Produktion, Montage und Kundendienst*, Beuth-Verlag, Berlin, 1994.
- Duden: *Das Fremdwörterbuch*, Dudenverlag, Mannheim, 1982.
- Ebert, G.: *Aktuelle Aufgaben des FuE-Controlling in Industrieunternehmen*, Innovationsmanagement und Wettbewerbsfähigkeit, H.G. Gemünden und F. Pleschak (Hrsg.), Gabler-Verlag, Wiesbaden, 1992.
- Ehrlenspiel, K.: *Überlegungen zur Konstruktionsarbeit am Beispiel eines Turboplanetengetriebes*, VDI-Z, Vol. 113, 1971, S. 106-113.
- Ehrlenspiel, K.: *Kostengünstig Konstruieren*, Springer-Verlag, Berlin, 1985.
- Ehrlenspiel, K.: *Integrierte Produktentwicklung*, Carl Hanser Verlag, München, 1995.
- Ehrlenspiel, K., Kiewert, A. und Lindemann, U.: *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren*, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1998.
- Eigner, M., Hiller, C., Schindewolf, S. und Schmich, M.: *Engineering Database: Strategische Komponente in CIM-Konzepten*, Olav Abeln (Hrsg.), Carl Hanser Verlag, München, 1991.
- Eigner+Partner: *CADIM/EDB Schulungs-Unterlagen, Customizing-Grundlagen*, Eigner+Partner GmbH, Karlsruhe, 1997.
- Eigner+Partner: *Online-Dokumentation zu CADIM/EDB 2.3*, Eigner+Partner GmbH, Karlsruhe, 1998.
- Eschenbach, R.: *Controlling*, Schäffer Poeschel Verlag, Stuttgart, 1994.

- Eversheim, W., Schmidt, R. und Saretz, B.: *Systematische Ableitung von Produktmerkmalen aus Marktbedürfnissen*, *io Management* 63, 1994, S. 66-70.
- Eversheim, W. und Schuh, G.: *Betriebshütte: Produktion und Management (Teil 1)*, Springer Verlag, Berlin, 1996/1.
- Eversheim, W. und Schuh, G.: *Betriebshütte: Taschenbuch für Betriebsingenieure*, 7. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1996/2.
- Franke, H.-J. und Krusche, T.: *Design decisions derived from product requirements*, CIRP Design Seminar "Integration of Process Knowledge into Design Support Systems", H. Kals und F. van Houten, The Laboratory of Production and Design Engineering of the University of Twente, März, 24-26, 1999, 1999, S. 373-385.
- Ganghoff, P.: *Wissensbasierte Unterstützung der Planung technischer Systeme*, Dissertation, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 1993.
- Gerhardt, A. und Schmied, H.: *Externes Simultanes Engineering*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1996.
- Gierse, F. J. und Pauwels, M.: *Funktionenanalyse - Der Schlüssel für erfolgreiche Produkte-Prozesse-Dienstleistungen*, Verlag Moderne Industrie, Landsberg, 1994.
- Grabowski, H.: *Ziele des Sonderforschungsbereiches 346*, Kolloquiumsbericht des SFB 346, Rechnerintegrierte Konstruktion und Fertigung von Bauteilen, Universität Fridericana Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 1992, S.1-8.
- Grabowski, H. und Lossack, R.-S.: *Towards A Universal Design Theory*, CIRP Design Seminar "Integration of Process Knowledge into Design Support Systems", H. Kals (Hrsg.), The Laboratory of Production and Design Engineering of the University of Twente, 1999, S. 47-56.
- Grabowski, H. und Rude, S.: *Informationslogistik - Rechnerunterstützte unternehmensübergreifende Kooperation*, Teubner Verlag, Stuttgart, Leipzig, 1999.
- Grein, G.: *Wissensbasierte Kapazitäts-/ Terminplanung von Konstruktionsprozessen*, Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 1997.
- Hartung, S.: *Methoden des Qualitätsmanagements für die Produktplanung und -entwicklung*, Dissertation, IPT-FhG, TH Aachen, Aachen, 1994.
- Herb, T.: *TRIZ - Erfinden mit System*, Heft 1, QFD-Forum, 1998.

- Honekamp, W.: *Kommunikation und Kooperation in Entwicklungsprojekten aus der Sicht des Projektmanagements*, Fakultät für Informatik Universität der Bundeswehr München, 1996.
- Horváth, P.: *Controlling*, Verlag Franz Vahlen, München, 1990.
- Horváth, P.: *Target Costing: Marktorientierte Zielkosten in der Praxis*, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1993.
- Horváth, P. und Seidenschwarz, W.: *Zielkostenmanagement*, Controlling, 4, 1992, S. 142-150.
- Houy, C.: *Datenmanagement für Workflowprozesse*, Prof. Dr. A.-W. Scheer, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1996.
- Jansen, H.: *Verteilte kooperative Produktentwicklung auf der Basis innovativer Informations- und Kommunikationstechnologien*, Proc. "CAT'97 - Innovative Produktentwicklung durch Einsatz neuer Technologien und Organisationskonzepte", Stuttgarter Messe- und Kongressgesellschaft mbH (Hrsg.), Stuttgart, 1997.
- Kano, N.: *Attractive Quality and Must-be Quality*, Hinshitsu: Journal of the Japanese Society for Quality Control, 1984, S. 39-48.
- Katie, H., Matthew, L. und Kadabra, A.: *Die Geschichte des Internet*, DPUNKT Verlag für Digital, 1997.
- Kauffels, F.-J.: *Moderne Datenkommunikation*, Datacom Verlag, Bergheim, 1994.
- Kemper, F. J.: *Multidimensionale Skalierung*, Universität Bremen, Bremen, 1984.
- Kesselring, F.: *Technische Kompositionslehre*, Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1954.
- King, B.: *Doppelt so schnell wie die Konkurrenz - Quality Function Deployment*, 2. Auflage, gfmt, St. Gallen, 1994.
- Kläger, R.: *Modellierung von Produktionsanforderungen als Basis für Problemlösungsprozesse in intelligenten Konstruktionssystemen*, Verlag Shaker, Aachen, 1993.
- Kniess, M.: *Kreatives Arbeiten*, dtv-Verlag, München, 1995.
- Krause, F.-L. und Doblies, M.: *Verteilte Konstruktion mittels Internet-basierter Informationssysteme*, Effiziente Anwendung und Weiterentwicklung von CAD/CAM-Technologien, VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, München, 22. und 23. Oktober, 1996.

- Krause, F.-L., Kind, C. und Raupach, C.: *Better Product Development Processes Drive the Success of the Enterprise*, CIRP Design Seminar "Integration of Process Knowledge into Design Support Systems", H. Kals (Hrsg.), The Laboratory of Production and Design Engineering of the University of Twente, März, 24-26, 1999.
- Krömker, M., Thoben, K.-D. und Wickner, A.: *Kooperative Produktspezifikation in der Angebotserstellung*, Datenverarbeitung in der Konstruktion '94: Tagung München, 27.-28.10.94, VDI-Berichte 1148, VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb, Düsseldorf, 1994, S. 377-395.
- Kühnle, H. und Spengler, G.: *Wege zur Fraktalen Fabrik*, i o Management Zeitschrift, 1993.
- Küpper, H.-U.: *Controlling, Konzeptionen, Aufgaben und Instrumente*, Schaeffer Poeschel Verlag, Stuttgart, 1995.
- Kurz, A.: *Rechnerunterstütztes Ideen-Management für die innovative Produktplanung*, Dissertation, Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 1998.
- Lanza, M.: *Entscheidungsunterstützung mit AHP*, 1. Zwischenbericht des Forschungsschwerpunktes Infolog, H. Grabowski (Hrsg.), Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 1995.
- Liellich, L.: *Nutzwertverfahren*, Physica-Verlag, Heidelberg, 1992.
- Linde, H. und Hill, B.: *Erfolgreich erfinden*, Darmstadt, 1993.
- Madauss, B. J.: *Handbuch Projektmanagement*, 3. Auflage, C. E. Poeschel Verlag, Stuttgart, 1990.
- Marca, D. A. und McGowan, C. L.: *IDEF0/SADT*, Eclectic Solutions, San Diego, CA, 1993.
- Marcial, F.: *Entwicklung von Datenmodellen für ein objektorientiertes Engineering Data Management System zur Unterstützung von teamorientierten Organisationsformen*, Dissertation, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart, 1997.
- Meerkamm, H.: *Integrierte Produktentwicklung im Spannungsfeld von Kosten-, Zeit- und Qualitätsmanagement*, VDI-Jahrbuch 95, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1995.

- Milberg, J.: *Effizienz- und Qualitätssteigerung bei der Produkt- und Produktionsgestaltung*, Proc. PTK '92 "Markt, Arbeit und Fabrik", G. Spur (Hrsg.), Berlin, 1992, S. 59-66.
- Miles, L. D.: *Techniques of Value Analysis and Engineering*, 2. Auflage, McGraw-Hill, New York, 1972.
- Ochs, B.: *Neue Ansätze für die Verwirklichung von Simultaneous Engineering*, Proc. IMT-Seminar "Verkürzung von Produktentwicklungszeiten", F.-L. Krause (Hrsg.), Berlin, 1992.
- Oestereich, B.: *Objektorientierte Softwareentwicklung*, 4. aktual. Auflage, Verlag R. Oldenbourg, Oldenbourg, 1998.
- Örter, R.: *Moderne Entwicklungspsychologie*, Auer-Verlag, Donauwörth, 1967.
- Pahl, G. und Beitz, W.: *Konstruktionslehre*, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1993.
- Petrovic, O.: *Workgroup Computing - Computergestützte Teamarbeit: Informationstechnologische Unterstützung für teambasierte Organisationsformen*, Physika Verlag, Heidelberg, 1993.
- Pfeifer, T.: *Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken*, 2. vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe, Carl Hanser Verlag, München, 1996.
- Picot, A. und Reichwald, R.: *Auflösung der Unternehmen?*, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994.
- PISA: *Benutzer und Referenzhandbuch*, <http://www.pisa.de>, PISA GmbH, Berlin, 1997.
- Ploenzke: *Produktinformationen*, 8. Internationaler Life Cycle Management Kongreß, CSC Ploenzke AG, CSC Ploenzke AG, Mainz, 1999.
- Pohlmann, N.: *Firewall-Systeme: Sicherheit für Internet und Intranet*, Datacom Verlag, 1997.
- Polly, A.: *Methodische Entwicklung und Integration von Produktmodellen*, Dissertation, Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 1996.
- Pugh, S.: *Concept Selection -- A Method that Works*, Tagesunterlagen I.C.E.D. - WDK 5 Paper M3/16, WDK, Rom, 1981, S. 497-506.
- Pugh, S.: *Total Design*, Addison-Wesley, Wokingham, England, 1991.

- Rauh, O. und Stickel, E.: *Konzeptuelle Datenmodellierung*, Teubner-Verlag, Stuttgart, Leipzig, 1997.
- REFA: *Methodenlehre des Arbeitsstudiums, Teil 3: Kostenrechnung, Arbeitsgestaltung*, 4. Auflage, Hanser, München, 1975.
- Riedl, J. E.: *Projekt-Controlling in Forschung und Entwicklung*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1990.
- Ross, J.: *Produktentwicklung mit Wertanalyse und QFD als integraler Prozess am Beispiel eines Bankendruckers*, VDI Bericht, VDI Verlag, Düsseldorf, 1990.
- Roth, K.: *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1994.
- Rude, S.: *Wissensbasiertes Konstruieren*, Shaker Verlag, Karlsruhe, 1998.
- Rüdebusch, T.: *CSCW: generische Unterstützung von Teamarbeit in verteilten DV-Systemen*, Universitäts-Verlag, 1993.
- Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F. und Lorenzen, W.: *Object-oriented Modeling and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.
- Saaty, T. L.: *How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process*, European Journal of Operational Research, 48, 1990, S. 9-26.
- Sakurai, M.: *Target Costing and how to use it*, Journal of Cost Management for the manufacturing industry, 1989, S. 39-50.
- Schacher, D.: *Kommunikations-, Qualitäts- und Personalmanagement für Simultaneous Engineering*, Vortragsband zum Produktionstechnischen Kolloquium PTK 92, Berlin, 1992.
- Scheer, A.-W.: *Business process engineering : reference models for industrial enterprises*, Springer-Verlag, Berlin ; New York, 1994.
- Scheller, M., Boden, K., Geenen, A. und Kampermann, J.: *Internet: Werkzeuge und Dienste*, Springer Verlag, Karlsruhe, 1994.
- Schlicksupp, H.: *Kreative Ideenfindung in der Unternehmung: Methoden und Modelle*, Walter de Gruyter, Berlin, 1977.
- Schlicksupp, H.: *Ideenfindung*, Vogel-Verlag, Würzburg, 1992.
- Schmelzer, H. J.: *Steigerung der Effektivität und Effizienz durch Verkürzung von Entwicklungszeiten, Durchlaufzeiten in der Entwicklung*, R. Reichwald und H.J. Schmelzer (Hrsg.), Oldenbourg-Verlag, München, Wien, 1990.

- Schmied, R.: *Marktorientierte Konzeptfindung für langlebige Gebrauchsgüter*, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1996.
- Schöler, H.: *Quality Function Deployment - eine Methode zur qualitätsgerechten Produktgestaltung*, VDI Berichte, VDI Verlag, Düsseldorf, 1990.
- Schräder, A.: *Management virtueller Unternehmungen*, Campus Verlag, Frankfurt / New York, 1996.
- Schubert, B.: *Entwicklung von Konzepten für Produktinnovationen mittels Conjoint-Analyse*, Poeschel Verlag, Stuttgart, 1991.
- Seidenschwarz, W.: *Target Costing - Ein japanischer Ansatz für das Kostenmanagement*, Controlling, 1991, S. 198-203.
- Seidenschwarz, W.: *Target Costing*, Verlag Vahlen, München, 1993.
- Simon, H.: *Preismanagement- Analyse-Strategie-Umsetzung*, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1992.
- Siyan, K. und Hare, C.: *Internet firewalls & Netzwerksicherheit, Alle Informationen zur Sicherheit und TCP/IP firewalls und andere Modelle zur Datensicherheit*, SAMS, Haar bei München, 1995.
- Sontow, K. und Clausing, D. P.: *Integration of Quality Function Deployment with Further Methods of Quality Planning*, working paper, MIT Laboratory for Manufacturing and Productivity, Cambridge, MA, 1993.
- Spath, D. und Lanza, M.: *Product Data Management (PDM) for collaborative Manufacturing System Design*, CIRP Design Seminar, H. (Hrsg.) Kals, Twente, Netherlands, 1999/1.
- Spath, D. und Lanza, M.: *Target-oriented Product Data Management for Thixocasting System Design*, International Conference on Technology and Plasticity, Nürnberg, 1999/4.
- Spath, D., Lanza, M. und Sauter, G.: *Zielorientiertes Engineering Data Management durch Axiomatic Design*, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZwF), 3/99, 1999/2.
- Spath, D., Lanza, M. und Sauter, G.: *Target oriented Product Data Management*, Product Data Technology Days, Stavanger, Norway, 1999/3.
- Spur, G. und Krause, F.-L.: *Das virtuelle Produkt - Management der CAD-Technik*, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1997.

- Stark, J.: *Engineering Information Management Systems*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- Steinwasser, P.: *Modulares Informationsmanagement in der integrierten Produkt- und Prozeßplanung*, Dissertation, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen-Nürnberg, 1997.
- Sternemann, K.-H.: *Teaminformationssystem - ein Beitrag zur Informations- und Wissensbereitstellung in dezentralen Strukturen*, Dissertation, Otto-von-Goerecke Universität, Magdeburg, 1999.
- Storvik, J.: *Integrated product Development - PDM and PDM systems*, State of the Art study, SINTEF Industrial Management, Trondheim, 1997.
- Suh, N. P.: *The Principles of Design*, Oxford University Press, New York, 1990.
- Suh, N. P.: *Axiomatic Design as a Basis for Universal Design Theory*, Program paper of the Workshop "Universal Design Theory", H. Grabowski (Hrsg.), Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 1998.
- Suh, N. P., Cochran, D. S. und Lima, P. C.: *Manufacturing System Design*, 48th CIRP General Assembly, CIRP Keynote Paper, Athens, Greece, 1998.
- Taguchi, G. und Clausing, D.: *Robust Quality*, Harvard Business Review, Vol. 90, 1990, S. 65-75.
- Tate, D.: *A Roadmap for Decomposition: Activities, Theorems, and Tools for System Design*, Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, MIT, Cambridge, 1998.
- Teufel, S., Sauter, C., Mühlherr, T. und Bauknecht, K.: *Computerunterstützung für die Gruppenarbeit*, Addison Wesley Verlag, München, 1995.
- Vaughan-Nichols, S.: *Inside the World Wide Web*, NRP New Riders Publisher, Indianapolis, 1997.
- VDI-2222: *Blatt 1: Konstruktionsmethodik - Konzipieren technischer Produkte*, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1977.
- VDI-2800: *Wertanalyse (Richtlinien-Entwurf)*, VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung (Hrsg.), VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997.
- VDI-2803: *Funktionenanalyse, Grundlagen und Methode*, VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung (Hrsg.), VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996.

- VDI-3694: *Lastenheft / Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen*, Beuth-Verlag, Berlin, 1991.
- VDI-Wertanalyse: *Wertanalyse, Idee-Methode-System*, 5.Auflage, Zentrum Wertanalyse der VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung (Hrsg.), VDI-Verlag, Düsseldorf, 1995.
- Weule, H.: *Die Bedeutung der Produktentwicklung für den Industriestandort Deutschland*, Effiziente Anwendung und Weiterentwicklung von CAD/CAM-Technologien, VDI-Gesellschaft, Bericht 1289, VDI Verlag, München, 1996.
- Wiborny, W.: *Datenmodellierung CASE Datenmanagement*, Addison-Wesley, Bonn, München, 1991.
- Wiener, N.: *Kybernetik : Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine*, Econ-Verlag, Düsseldorf, Wien, 1963.
- Wu, B.: *Manufacturing Systems Design and Analysis*, Second edition, Chapman & Hall, London, 1994.
- Zangenmeister, C.: *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik*, Wittemann-Verlag, München, 1976.
- Zwicky, F.: *Morphologisches Denken und Vorgehen*, Die neuen Methoden der Entscheidungsfindung, G.W. Tumm (Hrsg.), München, 1972.
- Zwicky, F.: *Morphologische Forschung*, Zwicky-Stiftung, Bäschlin-Verlag, Glarus, 1989.

Lebenslauf

Persönliches

Name: Marco Lanza
Geburtstag 29. August 1966
Geburtsort Selb / Bayern
Familienstand verheiratet, ein Sohn
Staatsangehörigkeit deutsch

Ausbildung

1973 - 1977 Grundschule Erkersreuth
1977 - 1986 Gymnasium Selb
Abschluß: Allgemeine Hochschulreife
1986 - 1987 Grundwehrdienst, Panzerartillerie, Bayreuth
10/87 - 10/94 Studium Maschinenbau, Fachrichtung Produktionstechnik an der Universität Karlsruhe (TH)
1994 Diplomarbeit bei der AEG Schienenfahrzeuge, Henningsdorf:
„Konzeption der Einführung der rechnerunterstützten Prüfplanung und -datenverwaltung“

Berufstätigkeit

1988 - 1994 Fachpraktika, Werkstudent und Hilfwissenschaftler in verschiedenen Industrieunternehmen und am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe
11/94 – 06/99 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl und Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik (wbk) der Universität Karlsruhe in der Arbeitsgruppe Produktionsinformatik und Qualitätsmanagement (PIQ)
11/96 - 01/98 Gruppensprecher der Gruppe Produktionsinformatik und Qualitätsmanagement (PIQ)
05/98 – 09/98 Forschungsaufenthalt am Massachusetts Institute of Technology, Cambridge: „Concept for collaborative Product Data Management supporting Manufacturing System Design designed by Axiomatic Design“, supervised by Prof. N. P. Suh
seit 01.10.99 Mitarbeiter in der Technischen Planung der IWKA AG (Holding), Karlsruhe