

Matthias Glander

**Offene IT-Architektur für verteilte  
autonome Engineering-Prozesse**

Herausgegeben von

**Prof. Dr.-Ing. Klaus Bender**  
**Technische Universität München**

in der Reihe

**Informationstechnik im Maschinenwesen**



Herbert Utz Verlag · Wissenschaft  
München 2003

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist  
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2003

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2003

ISBN 3-8316-0263-8

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München

Tel.: 089/277791-00 – Fax: 089/277791-01

# ***Inhaltsverzeichnis***

<b>0</b>	<b>Glossar .....</b>	<b>iii</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Motivation und Aufgabenstellung.....</b>	<b>5</b>
2.1	Produktkomplexität .....	6
2.2	Produktentwicklungsprozesse .....	8
2.3	Rolle der IT – Technologie in der Produktentwicklung .....	12
2.4	Der Mensch im Entwicklungsprozess – Integrationsszenarien ...	15
2.5	Bedarf eines Integrationskonzeptes .....	16
2.6	Anforderungen an eine Integrationslösung .....	18
2.7	Lösungsansatz.....	19
<b>3</b>	<b>Stand der Technik.....</b>	<b>21</b>
3.1	Datenintegration.....	22
3.2	Funktionale Integration .....	26
3.3	Entwicklung integrierter Informationsmodelle .....	32
3.4	Prozessorientierte Integration durch Workflows.....	33
3.5	Forschungsprojekte und Integrationskonzepte.....	37
3.5.1	EAI – Enterprise Application Integration .....	37
3.5.2	Advanced Information Technology (AIT) Initiative .....	39
3.5.3	Projekt iViP – integrierte Virtuelle Produktentstehung .....	41
3.6	Zusammenfassung.....	53
<b>4</b>	<b>Offene Integrationsarchitektur .....</b>	<b>57</b>
4.1	Analyse der Problemstellung.....	58
4.1.1	Systeme und Werkzeuge .....	61
4.1.2	Der Mensch im Entwicklungsprozess.....	67
4.1.3	Daten und Informationen in verteilten Prozessen.....	72
4.2	Offene Systemarchitektur – Übersicht über das Lösungskonzept	77
4.2.1	Integrationsarchitektur im Überblick .....	82
4.3	Integrationssysteme und Datenhaltung .....	86
4.4	Basisdienste .....	89
4.5	Beschreibung von Systemparadigmen .....	94
4.6	Integrationsmuster.....	101
4.6.1	Klassenmodell der Integrationsmuster.....	103
4.6.2	Vorgehensmodell – Erstellung und Nutzung von Mustern.....	117
4.7	Zusammenfassung.....	122

---

<b>5</b>	<b>Beispielhafte Anwendung des Konzeptes.....</b>	<b>123</b>
5.1	Paradigma-Spezifikation: Beispiel Design Management.....	123
5.1.1	Referenzmodell „Design Management“.....	133
5.1.2	Exemplarisch: Repräsentanten des Design Managements.....	141
5.2	Paradigma-Spezifikation: Beispiel PDM .....	143
5.2.1	Referenzmodell „Produktdaten Management“.....	143
5.2.2	Exemplarisch: Repräsentanten des Produktdaten Managements .....	147
5.3	Beispiel – Integrationsmuster .....	149
5.3.1	Integrationsprotokoll.....	149
5.3.2	Repräsentanten für Objekte der Integrationssysteme .....	150
5.3.3	Nutzung ohne Anpassungsbedarf.....	152
5.3.4	Flexible Integration des Anwenders .....	154
5.4	Prototypische Implementierung .....	156
5.5	Bewertung der Anwendung .....	161
5.5.1	System und Werkzeuge .....	161
5.5.2	Der Mensch im Entwicklungsprozess .....	162
5.5.3	Daten und Informationen in verteilten Prozessen .....	162
5.5.4	Zusammenfassung .....	164
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>165</b>
6.1	Zusammenfassung .....	165
6.2	Ergebnisse und Ausblick .....	167
<b>7</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>170</b>
7.1	Basisdienste .....	170
7.1.1	Definition „Basisdienste“.....	170
7.1.2	Generischer Datenzugriff.....	172
7.1.3	Definition Integrations-Teilmuster „Design Management“.....	172
7.1.4	Definition Integrationsteilmuster „PDM“.....	174
7.1.5	Definition Integrationsteilmuster „Protokolle“.....	174
7.2	XML-DTD: Physische Speicherung der Integrationsmuster .....	175
7.3	Abbildungsverzeichnis .....	179
7.4	Index .....	181
7.5	Literaturverzeichnis .....	183

# 1 Einleitung

*Ein Geheimnis des Erfolgs ist es, den Standpunkt des anderen zu verstehen.*

*Henry Ford*

Produktentwicklung wird zunehmend nicht mehr nur von den Fähigkeiten bestimmt, *funktionell* optimale Lösungen zu gestalten, also den Blick auf das *Ergebnis* der Produktentwicklung zu richten. Mindestens ebenso wichtig ist die Frage, wie effizient die Entwicklungsprozesse gestaltet sind und wie schnell und flexibel Partner kurzfristig eingebunden werden können. Dabei spielt gerade die Informationstechnik eine entscheidende Rolle. Die Komplexität der Produktentwicklung, die Multidisziplinarität, aber auch der Zwang, *optimale* Produkte in Bezug auf die Anforderungen des Marktes zu schaffen, haben zu einer wesentlich höheren Abhängigkeit von der Informationstechnik geführt. Spezialisierte Berechnungswerkzeuge zur Erstellung sowie komplexe Systeme zur Verwaltung der umfangreichen Produktdaten machen die Entwicklung der heutigen, komplexen Produkte erst möglich. Diese Werkzeuge etablieren aber auch ein eigenes Verständnis, wie die mit ihnen unterstützten Prozesse ablaufen sollen – so dass sich geplante Entwicklungsprozesse und dafür zur Unterstützung ausgewählte Werkzeuge gegenseitig beeinflussen und Abhängigkeiten schaffen. Ein (kurzfristiger) Wechsel zu anderen Werkzeugen ist somit meist ausgeschlossen und sogar die Kooperation mit anderen Werkzeugen und Systemen stellt Probleme dar – fehlende Schnittstellen sind dabei eher eine Konsequenz, das eigentliche Problem ergibt sich aus der unterschiedlichen Art und Weise, wie die informationstechnischen Werkzeuge und Systeme Anwendungsprozesse abbilden und unterstützen.

Als Folge haben sich *Entwicklungsinselfn* gebildet: lokale Bereiche, in denen typischerweise ein System führend ist – und somit auch bezüglich der Integrationsmethodik den Ton angibt – und in denen andere Werkzeuge und Systeme in diesem Umfeld mehr oder weniger eng an das führende System gekoppelt sind. Diese *Methodik*, also eine bestimmte Art und Weise, Problemstellungen und Lösungsansätze zu strukturieren und zu formulieren, wird auch als ein *Paradigma* bezeichnet. Gängige Beispiele sind das *Produktstrukturorientierte* oder das *Prozessorientierte* Paradigma.

Während innerhalb eines Unternehmens ein grundsätzliches Integrationschema, und damit eine gewisse Einheitlichkeit der Vorgehensweise, Werkzeuge und Systeme noch durchgesetzt werden kann, ist dies bei gleichberechtigten Entwicklungspartnerschaften nicht mehr möglich. Unterschiedliche Prozesse, unterschiedliche Ansätze, Produktinformationen zu identifizieren, zu strukturieren und zu bezeichnen, führen dazu, dass die Bildung der Partnerschaft – aber auch die Bearbeitung der gemeinsamen Prozesse – zu großen Herausforderungen führt. Technische Schnittstellen zwischen den Systemen zu schaffen, ist für diese Problematik keine hinreichende Lösung – auch wenn das Vorhandensein von Schnittstellen natürlich Voraussetzung für mögliche Lösungen ist.

Dass diese Problematik in erster Linie kein technisches Problem darstellt, zeigt auch eine Analyse der Fraunhofer-Gesellschaft (Abbildung 1-1): ein Prozessmanagement, also ein aktives Gestalten und Umsetzen von Entwicklungsprozessen, wird oft nicht akzeptiert, weil der Analyseanteil zu viel Aufwand bedeutet und die Umsetzung insgesamt zu kompliziert ist.

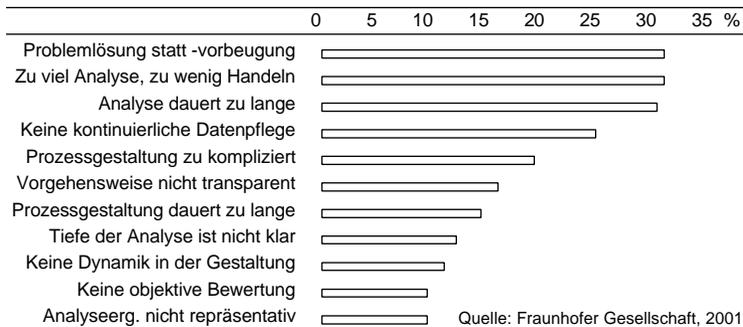


Abbildung 1-1: Umfrage – Akzeptanzprobleme des Prozessmanagements

Eine flexible, also kurzfristig umsetzbare Planung von Entwicklungsprozessen für gleichberechtigte Entwicklungspartnerschaften kann somit nicht ausschließlich auf zentral durch Experten geplanten Prozessen beruhen – die Anwender müssen für ihre spezifischen Anforderungen, wie sie sich aus den Kooperationen ergeben, die Möglichkeit haben, aufwandsarm ihre lokalen Vereinbarungen und Abweichungen von den „Soll-Prozessen“ zu dokumentieren und auf Grundlage

der vorhandenen IT-Infrastruktur auch abbilden und unterstützen zu können. Dies wird in der vorliegenden Arbeit als eine „Kooperationsvereinbarung“ bezeichnet.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Problem, die Anwender in die Abbildung und Umsetzung ihrer spezifischen Kooperationsvereinbarungen einzubeziehen. Die Analyse der Produktentwicklungsprozesse und der heute verfügbaren informationstechnischen Ansätze um diese Prozesse zu unterstützen zeigt, dass eine Inselbildung heute Stand der Technik ist, und aufgrund der Komplexität der Produktinformationen, der Prozesse und der Entwicklungswerkzeuge und Systeme mittelfristig nicht überwunden werden kann.

In dieser Arbeit wird daher der Ansatz verfolgt, auf Basis einer Offenen Integrationsarchitektur ein Konzept zu entwickeln, nach dem die Anwender ihre spezifischen Vereinbarungen als so genannte *Kooperationslösungen* (als Ausprägungen von so genannten *Integrationsmustern*) beschreiben können und diese mit Diensten der hier skizzierten Offenen Integrationsarchitektur auf die vorhandenen Werkzeuge und Systeme abbilden können. Die entworfene Architektur wird als „offen“ bezeichnet, da sie den Rahmen darstellt, in dem Integrationssysteme mit ihrer Funktionalität eingeordnet und genutzt werden können.

## **2 Motivation und Aufgabenstellung**

Produktentwicklung ist ein komplexes Zusammenspiel von kreativen, koordinierenden und administrativen Tätigkeiten. Bei geringer Produktkomplexität steht die kreative Arbeit im Mittelpunkt, der Rest kann „situativ“ entschieden werden – also erst, wenn tatsächlich Entscheidungsbedarf besteht. Mit zunehmender Komplexität wird aber eine explizite Planung und Administration der Entwicklungsprozesse und Produktdaten notwendig – der eigentlich kreative Aspekt der Produktentwicklung hat zunehmend weniger Anteil. Planung und Dokumentation erschließen darüber hinaus auch eine mögliche Wiederverwendung der Ergebnisse („Einzelteile“, „Baugruppen“, „Module“) – und der erprobten Vorgehensweisen („Prozessschritte“, „Prozesse“).

Unterscheidet man im Entwicklungsprozess nach „kreativen“ und „administrativen“ Tätigkeiten und Prozessen, so lassen sich auch die „kreativen“ Prozesse wieder als ein Zusammenspiel von „Ideen“ und „Entscheidungen“ verstehen, die mit Hilfe schematischer Prozesse und Aktivitäten umgesetzt, analysiert und bewertet werden. Technische und vor allem informationstechnische Hilfsmittel können diese schematischen Tätigkeiten übernehmen, und so die Umsetzung und Erprobung von Ideen „im virtuellen“ Raum erleichtern – oder sogar überhaupt erst ermöglichen, wenn man beispielsweise komplexe numerische Simulationen betrachtet.

Auch wenn die Unterstützung einzelner Tätigkeiten durch spezialisierte Werkzeuge beziehungsweise entsprechende Systeme weit fortgeschritten ist, stellt eine übergeordnete Integration nach wie vor eine Herausforderung dar.

Das folgende Kapitel diskutiert die verschiedenen Aspekte einer übergeordneten Integration und kommt zu dem Schluss, dass jede Technologie, jedes Integrationskonzept zwar für sich genommen einen Teilaspekt abdecken kann, dass jedoch insbesondere die Anforderung noch nicht erfüllt werden kann, flexibel auch kurzfristige Integrationen gleichberechtigter, unabhängiger Partner unterstützen zu können.

## **2.1 Produktkomplexität**

Da das maßgebliche Ergebnis der Produktentwicklung die eindeutige Beschreibung des Produktes darstellt, kommt dem Thema „Produktinformation“ oder „Produktmodell“ besondere Bedeutung bei.

Ein Produktmodell ist eine formale Beschreibung eines zu fertigenden Produktes. Im Allgemeinen werden für ein Produkt verschiedene Beschreibungen (Partialmodelle) für die unterschiedlichen Aspekte erstellt: das Geometriemodell beschreibt die Form und Baugruppenstruktur, das Strukturmodell die verwendeten Komponenten und ihre Topologie, das Designmodell die äußere Gestalt und Schaltpläne oder Stromlaufpläne charakterisieren das elektrische und elektronische Verhalten der Baugruppe oder des Produktes. Die formale Notation zur Beschreibung von Produktmodellen ist sehr unterschiedlich. Während beispielsweise die Beschreibung der Produktgeometrie mit (zwei-dimensionalen) Technischen Zeichnungen eine lange Tradition hat und sehr detailliert genormt ist, ist dieser Normungsprozess bezüglich drei-dimensionaler Modelle noch lange nicht abgeschlossen, auch wenn beispielsweise mit dem STEP-Standard [ISO10303-1] schon umfangreiche Konzepte geschaffen und weitgehend normiert sind. Angestrebt wird, dass die heute meist isoliert vorliegenden Partialmodelle in einem universellen Produktmodell zusammengefasst werden, um eine höhere Konsistenz und Redundanzfreiheit zu erhalten. Dies wird meist unter dem Stichwort „integriertes Produktmodell“ [Lin96][Lin00][Spu93] zusammengefasst.

Ziel jeder Produktentwicklung ist letztendlich, eine eindeutige Beschreibung (im Sinne von „Definition“) aller Eigenschaften und Aspekte des Produktes zu erstellen, die für die spätere Fertigung und Montage benötigt werden – wobei heutzutage über reine Fertigungsinformationen hinaus auch Informationen bezüglich Wartung, Recycling und der Einhaltung gesetzlicher Vorschriften ebenso relevant sind. Beschreibungsformen und Strukturierung von Produktinformationen stellen demnach einen zentralen Aspekt der Produktentwicklung dar und sollen hier genauer betrachtet werden. Neben der geometrischen Modellierung stehen die Berechnungsmodelle. Abgebildet werden zum einen funktionale Eigenschaften des Produktes, aber auch strukturelle Eigenschaften, etwa als Grundlage von Haltbarkeitsuntersuchungen.

Im Vordergrund dieser Betrachtung soll nicht die Beziehung zwischen Information und der Verwaltung durch rechnergestützte Werkzeuge stehen, sondern zunächst die Beherrschbarkeit durch den Menschen.

Produktbeschreibungen können prinzipiell zweierlei Charakter haben: sie können „ganzheitlich“ sein, also *alle* relevanten Informationen in *einer* Darstellung, *einem Modell* zusammenfassen, oder sie sind in verschiedene Aspekte gegliedert. Ohne Unterstützung durch rechnergestützte Werkzeuge begrenzt die Komplexität des Produktes die Informationsmenge, die in *einer* Darstellung sinnvollerweise zusammengefasst wird. Ab einer bestimmten Informationsmenge ist es für den Menschen nicht mehr möglich, sowohl die übergeordneten Zusammenhänge als auch Detailinformationen gleichermaßen zu erfassen und gedanklich zu beherrschen. Der Ansatz zur Lösung dieses Problems ist die gedankliche Zerlegung des Produktes in voneinander möglichst unabhängige Komponenten. Für eine Beschreibung des gesamten Produktes werden dann Beschreibungen jeder einzelnen Komponente benötigt sowie eine Beschreibung, die das Zusammenwirken der Komponenten beschreibt. Die Zerlegung hat das Ziel, dass jedes Teil für sich gesehen eine geringere Komplexität hat als das Ganze und damit besser beherrschbar ist. Falls die Teile für sich gesehen immer noch zu komplex für eine gesamtheitliche Bearbeitung sind, kann die Zerlegung rekursiv weitergeführt werden. Die Verwendung des Begriffs „Komponente“ soll dabei nicht bedeuten, dass die Zerlegung ausschließlich an geometrischen und topologischen Eigenschaften orientiert sein muss. Eine Zerlegung kann sich gleichermaßen an funktionalen oder fertigungstechnischen Eigenschaften, wie beispielsweise den verwendeten Materialien, orientieren.

Offensichtlich steigt die Komplexität eines Produktes mit der Anzahl seiner Einzelteile. Mehr noch ist aber die Komplexität durch die unterschiedlichen Fachdisziplinen bestimmt, die an der Entwicklung eines Produkts beteiligt sind. Wesentliche Funktionen eines Produktes werden heute nicht mehr mechanisch erbracht, sondern durch den gezielten Einsatz von Elektrik, Elektronik, Hydraulik und Informationstechnik bis hin zu Mikrosystemtechnik. Jede Fachdisziplin definiert und beschreibt ihre Komponenten des Produkts mit eigenen Beschreibungsformen und Notationen – Beispiele sind Stromlaufpläne, Schaltpläne oder auch Software. Die Komplexität der Produktbeschreibung ergibt sich aus den Beziehungen der unterschiedlichen Teilinformationen zueinander: die Steuerungssoftware in einem Produkt benötigt eine Ablaufumgebung – einen Prozessor – sowie

Sensoren und Aktoren. Diese sind mit der Stromversorgung verbunden und benötigen einen bestimmten Bauraum im Produkt.

Es zeigt sich also, dass heutige, komplexe Produkte erst durch eine Vielzahl unterschiedlicher Dokumente vollständig definiert sind. Jede Fachdisziplin, wie Mechanik, Elektronik oder Hydraulik, erstellt eine eigene, fachspezifische Beschreibung des Produkts – ein Produktmodell.

Die große Herausforderung im Rahmen einer Produktentwicklung besteht darin, all diese Informationen konsistent zu verwalten und über nachvollziehbare, definierte Zugangsmöglichkeiten nutzbar zu machen. Mit Hilfe der Informationstechnik kommen rechnergestützte Systeme zum Einsatz, die diese Verwaltungsaufgaben übernehmen, beispielsweise als Dokumentenverwaltungssysteme (DM – Document Management System) oder als Produktdatenverwaltungssystem (PDM – Product Data Management System).

## **2.2 Produktentwicklungsprozesse**

Produktentwicklung im weiteren Sinn beschränkt sich heute nicht mehr nur auf die Phasen von der ersten Idee bis zur Auslieferung. Da schon bei der Konzeption Eigenschaften wie „Wartbarkeit“ oder „Recyclingfähigkeit“ berücksichtigt werden müssen, spricht man heute vom „Lebenszyklus“ eines Produkts, und bezeichnet damit die Phasen von der ersten Idee („Produktplanung“) bis zum Recycling („Entsorgung“). Gebräuchliche Bezeichnungen für Teilabschnitte des Produktlebenszyklus sind „Produktentwicklung“ und „Produktentstehung“, wie in Abbildung 2-1 verdeutlicht. Ziel der Produktentwicklung ist es, eine eindeutige Beschreibung des zu fertigenden Produkts in Form technischer Zeichnungen (oder anderer geeigneter Dokumente) zu schaffen, die eine Fertigung und Montage des Produkts erlauben.

Der Produktentwicklung kommt dabei besondere Bedeutung bei, da hier die wesentlichen Herstellungskosten festgelegt werden, nach [Ever96] bis zu 80%. Während in der Fertigung und Montage das Ziel, nämlich das zu fertigende bzw. zu montierende Produkt, eindeutig definiert ist, ist dies in der Produktentwicklung noch nicht der Fall. Allgemeine Ziele, Wünsche und Anforderungen an das spätere Produkt müssen erst durch die kreative, schöpferische Arbeit der Ent-