



Abschlußbericht der
Vordringliche Aktion
Entwicklung, Produktion und
Service von Software für
eingebettete Systeme in der
Produktion

**Bernhard Schätz, Michael Fahrmaier, Michael von der
Beeck, Peter Jack, Ali Koç, Benito Liccardi, Sandra
Scheermesser, Albert Zündorf**

1	Einleitung	5
2	Gegenstand der Vordringlichen Aktion.....	6
	2.1 Inhalte und Ziele des Abschlußberichts	7
	2.2 Angrenzende Projekte	8
	2.2.1 FORSOFT-Befragung „Stand der Software-Entwicklung“	9
	2.2.2 Befragung SoftBed	9
	2.2.3 Untersuchung: "Stand des Qualitätsmanagements in der Softwareentwicklung" 10	
	2.2.4 Umfrage: "Prüfen und Testen von Software in Deutschland" .	11
3	Befragung der Unternehmen	11
	3.1 Ziel der Befragung	11
	3.2 Klassifikation der Unternehmen	11
	3.3 Ergebnisse der Befragung	13
	3.3.1 Vorgehensmodell	13
	3.3.2 Anforderungsanalyse	18
	3.3.3 Design	21
	3.3.4 Implementierung	23
	3.3.5 Qualitätssicherung	29
	3.3.6 Service und Wartung	36
	3.3.7 Konfigurationsmanagement	38
	3.3.8 Beschreibungstechniken und Werkzeuge	43
	3.3.9 Interdisziplinäre Zusammenarbeit	51
4	Zukunftsszenarien - Ergebnisse einer Szenario-Analyse	52
	4.1 Einordnung der Zukunftsszenarien in die VA	54
	4.2 Grundlagen des Szenario-Managements	55
	4.2.1 Vernetztes Denken	55
	4.2.2 Multiple Zukunft	56
	4.2.3 Phasen des Szenario-Projektes	56
	4.3 Szenariofeld-Analyse	59
	4.3.1 Bildung von Einflußbereichen	59
	4.3.2 Ermittlung von Einflußfaktoren	60
	4.3.3 Ermittlung von Schlüsselfaktoren	60
	4.3.4 Zuordnung der Schlüsselfaktoren zu den Anwendungsdomänen	63
	4.4 Szenario-Prognostik	64
	4.4.1 Vorgehen	64
	4.5 Szenario-Bildung	65
	4.5.1 Vorgehen	65
	4.5.2 Szenarien des Anlagen- und Maschinenbaus	70
	4.5.3 Szenarien der Automatisierungs- und Produktionstechnik	75
	4.5.4 Szenarien der Verkehrstechnik	78
5	Lösungsansätze.....	81
	5.1 Prozeßmanagement und Vorgehensmodell	82
	5.1.1 Kurz- bis mittelfristige Ansätze	82

5.1.2	Langfristige Ansätze und Forschungsbedarf	84
5.1.3	Übersicht Problemfelder und Lösungsansätze	86
5.2	Qualitätssicherung	87
5.2.1	Kurz- bis mittelfristige Ansätze	87
5.2.2	Langfristige Ansätze und Forschungsbedarf	88
5.2.3	Übersicht Problemfelder und Lösungsansätze	90
5.3	Konfigurationsmanagement	90
5.3.1	Kurz- bis mittelfristige Ansätze	90
5.3.2	Langfristige Ansätze und Forschungsbedarf	92
5.3.3	Übersicht Problemfelder und Lösungsansätze	93
5.4	Werkzeuge und Beschreibungstechniken	94
5.4.1	Kurz- bis mittelfristige Ansätze	94
5.4.2	Langfristige Ansätze und Forschungsbedarf	97
5.4.3	Übersicht Problemfelder und Lösungsansätze	98
5.5	Interdisziplinäre Zusammenarbeit	99
5.5.1	Kurz- bis mittelfristige Lösungsansätze	99
5.5.2	Langfristige Lösungsansätze	100
5.5.3	Übersicht Problemfelder und Lösungsansätze	101
6	Aktionsfelder.....	101
6.1	Adaption und Transfer	102
6.2	Kompetenzzentrum	103
6.3	Koordination Werkzeugentwicklung	104
6.4	Unternehmensübergreifende Standardformen	105
6.5	Integriertes Vorgehensmodell	106
6.6	Neue Ansätze in der Informationsverarbeitung	107
6.7	Projekte	108
7	Fragebögen.....	109
7.1	Vorabfragebogen	109
7.2	Hauptinterview	109
7.3	Auswertungsbogen	109
8	Einfluß -und Schlüsselfaktoren der Szenarien	109
8.1	Einflußfaktoren-Katalog:	109
8.2	Projektionskatalog der Schlüsselfaktoren	112
9	Liste der beteiligten Unternehmen	125

1 Einleitung

Die Softwaretechnik hat sich in vielen Anwendungsgebieten zu einer Schlüsseltechnologie entwickelt. Dies gilt insbesondere für den Maschinen- und Anlagenbau, die Automatisierungs- und Produktionstechnik und die Verkehrstechnik. Hier werden sogenannte "eingebettete Systeme" für komplexe und vielfältige Aufgaben eingesetzt.

Ein eingebettetes System ist eine Software-/Hardware-Einheit, die über Sensoren und Aktuatoren mit einem Gesamtsystem verbunden ist und in diesem Überwachungs-, Steuerungs- oder Regelungsaufgaben wahrnimmt. In der Regel handelt es sich um reaktive, häufig auch um verteilte Systeme mit gemischt analog/digitalen Anteilen und Echtzeitanforderungen. Typischerweise bleiben solche Systeme dem menschlichen Benutzer verborgen, er interagiert mit ihnen, ohne sich der Mitwirkung eines eingebetteten Systems bewußt zu sein. Eingebettete Systeme verfügen meist über keine standardisierte Peripherie. Aufgrund ihrer vielfältigen Anwendungsbereiche stellen sie ein Paradebeispiel für ein interdisziplinäres Forschungs- und Entwicklungsgebiet dar.

Software bestimmt in vielen Bereichen zunehmend den Kundennutzen und macht einen erheb-

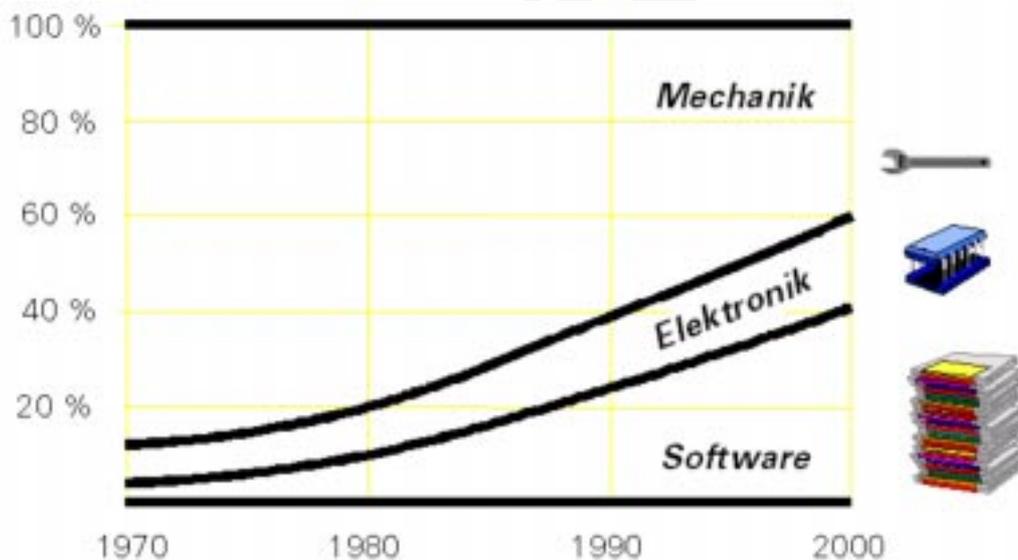


Abbildung 1. Entwicklung der Produktanteile

lichen Teil der Wertschöpfung aus. In den Produkten hat sich der Anteil der Kosten von den traditionellen Elementen Mechanik und Elektrik stark in Richtung der neuen Technologien Mikroelektronik und Software verlagert (siehe Abbildung 1). Beispielsweise liegt der Anteil der Elektronik in der Automobilindustrie heute schon zwischen 25% und 30% – mit steigender Tendenz. Es gibt Aussagen, wonach der Mehrwert am Automobil zukünftig ausschließlich durch Software und Elektronik zu Stande kommt. Eine noch stärkere Verlagerung in Richtung Software ist im Bereich der Kleinserie und der Unikate zu erkennen, wo in erster Linie die Entwicklungskosten dominieren. Von den Entwicklungsaufwendungen für neue Produkte im Bereich des Maschinenbaus fallen bis zu 50 % auf die darin enthaltene Software. In einigen technischen Produkten des Maschinen- und Anlagenbaus erreicht die Software sogar Anteile von 75% bis 80% der Herstellungskosten¹.

1. Software und Services: Markt- und Technologietrends in der Softwareszene, Presse Information zur Swiss Automation Week S. A. W. '96, PRESSLine, 1996.

Darüber hinaus bilden Erzeugnisse mit einem hohen Softwareanteil auch eine gute Plattform für die Ausweitung der Geschäftstätigkeit in Richtung Dienstleistungen. Viele Unternehmen haben unter Berücksichtigung dieser Gegebenheiten bereits heute Software als Kernkompetenz identifiziert.

Zwischen Anspruch und Wirklichkeit klafft jedoch eine erhebliche Lücke. Trotz jahrzehntelanger Tradition in der Softwareentwicklung hat sich bis auf wenige Ausnahmen an der wenig professionellen Art der Softwareentwicklung und -wartung in den Unternehmen nichts maßgebliches geändert. Von einer systematischen Software-Entwicklung sind die meisten Unternehmen noch weit entfernt. Die Folge sind erhebliche Kosten und Risiken im Zusammenhang mit der Entwicklung und dem Service von Software. Kleinere Unternehmen konzentrieren sich auf die Herstellung der maschinenbaulichen Komponenten und überlassen die Entwicklung der Steuerung auf der Basis von LON (Local Operating Network) Dritten.

Aus der rasanten Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologie ergeben sich für den Maschinenbau und artverwandte Branchen erhebliche Chancen, aber auch Risiken. Diese Potentiale gehen häufig über den aktuellen Erfahrungshorizont hinaus. Was wäre beispielsweise möglich, wenn leistungsfähige, voll kommunikationsfähige Mikroprozessoren und Sensoren zum Preis einer Schraube erhältlich wären? Der Umgang mit den sich abzeichnenden Lösungsprinzipien und Lösungselementen der Zukunft wird erhebliche Verfahrensinnovationen (aber auch Verhaltensinnovationen) in den Produktentwicklungsprozessen erfordern. Die Entwicklung und Wartung von eingebetteter Software wird dabei eine Schlüsselstellung einnehmen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen:

Die Entwicklung und der Service eingebetteter Systeme führt auf große Probleme und Herausforderungen - dies gilt vornehmlich für den Softwareanteil dieser Systeme. Jedoch stecken in den Anwendungsmöglichkeiten eingebetteter Systeme prinzipiell erhebliche Erfolgspotentiale für die Industrie. Diese sind um so größer, je besser diese Probleme gelöst werden.

Im Rahmen der Vordringlichen Aktion (VA) "Entwicklung, Produktion und Service von Software für eingebettete Systeme in der Produktion" werden diese Probleme und Erfolgspotentiale herausgearbeitet.

2 Gegenstand der Vordringlichen Aktion

Aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Rahmenkonzept "Produktion 2000" und der Empfehlung des Gesprächskreises "Strategien für die Produktion im 21. Jahrhundert" startete das BMBF Anfang 1997 eine Untersuchung "Produktion 2000plus". Sie hatte zum Ziel, standortbestimmende Faktoren für produzierende Unternehmen in Deutschland zu ermitteln und Handlungsempfehlungen zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit abzuleiten. Repräsentanten aus Industrie und Forschung, Vertreter der Tarifvertragspartner und der Fachverbände haben über aktuelle Trends und Lösungsvorschläge diskutiert und Empfehlungen für den daraus resultierenden Handlungsbedarf ausgesprochen.

Das Gremium hat während der Untersuchung "Produktion 2000plus" Themen identifiziert, die von wesentlicher Bedeutung für eine wettbewerbsfähige Produktion sind. Es sind übergreifende Fragestellungen mit

- einer hohen volkswirtschaftlichen Relevanz,
- die in der Breite wirksam werden,

- die eine Stärkung des Mittelstandes bewirken können,
- die sich durch einen hohen Neuheitsgrad auszeichnen und rasch aufgegriffen werden sollen.

Diese Themen wurden als "Vordringliche Aktionen" gestartet. Sie dienen als Vorprojekte und Impulsgeber zur Spezifikation und Konkretisierung weiterer Handlungsfelder.

Die Vordringliche Aktion „Entwicklung, Produktion und Service von Software für eingebettete Systeme in der Produktion“ beschäftigt sich mit dem Themenfeld der Entwicklung und dem Service von Software für bestimmte Klassen eingebetteter Systeme. Unter besonderer Berücksichtigung der Softwaretechnik ergeben sich die folgenden Teilziele:

Es werden

- der konkrete - aber unternehmensübergreifende - Bedarf der Industrie zu diesem Themenfeld festgestellt,
- aktuelle und zukünftige Probleme innerhalb dieses Themenfeldes erkannt, bewertet und verglichen,
- existierende Lösungsansätze dargestellt und bewertet sowie
- Aktionsfelder abgeleitet werden, deren zukünftige Durchführung zur Lösung der obigen Probleme und dadurch zur Erschließung der Erfolgspotentiale beim Einsatz eingebetteter Systeme beitragen könnten.

Insbesondere das erste Teilziel wurde in enger Interaktion mit einer repräsentativen Auswahl an Industriefirmen durchgeführt. Dazu wurde eine detaillierte Befragung in der Industrie vorgenommen, um ein Vorgehen sicherzustellen, das an konkreten industriellen Belangen mit hoher volkswirtschaftlicher Bedeutung orientiert ist.

Der im letzten Teilziel erwähnte Begriff „Aktionsfelder“ umfaßt erfolgversprechende gezielte Maßnahmen zum Technologietransfer (z.B. Etablierung von Industriearbeitskreisen oder Workshops), zur Aus- und Weiterbildung (z.B. Definition der Rahmenbedingungen eines neuen Studienganges) sowie zur Gewinnung neuer Forschungsergebnisse (z.B. Charakterisierung zukünftiger, evtl. internationaler Forschungsprojekte).

Das Thema „eingebettete Systeme“ dieser VA ist unter anderem durch den Sachverhalt motiviert, daß derartige Systeme viele Bereiche mehr und mehr durchdringen - wichtige Beispiele hierfür sind: Anlagen- und Maschinenbau, Automatisierungs- und Produktionstechnik, Automobiltechnik, Avionik, Bahntechnik, Telekommunikation, Konsumelektronik (Unterhaltungs- und Haushaltsgerätebereich) und Medizintechnik.

Die besondere Berücksichtigung software-technischer Belange in dieser VA trägt der Tatsache Rechnung, daß die Verbreitung eingebetteter Regelsystem und auch ihr Software-Anteil in eingebetteten Systemen sprunghaft angestiegen ist und zukünftig noch weiter wachsen wird. Dabei bereitet aber gerade die Entwicklung des Software-Anteils zunehmend Schwierigkeiten.

2.1 Inhalte und Ziele des Abschlußberichts

Ziel des Abschlußbericht ist es, den Ist-Stand des Softwareentwicklungsprozeß im Bereich der eingebetteten Systeme in der Produktion ausgehend von den im Industriekreis durchgeführten Interviews zu dokumentieren, die identifizierten Problemfelder zu erfassen, sowie den von den Unternehmen selbst festgestellten Handlungsbedarf zu erheben. Die Zielgruppe dieser Erhebung, und die damit im Industriekreis vertretenen Firmen sind klein- und mittelständische Unternehmen sowie einige Großfirmen aus den Bereichen

- Maschinen- und Anlagenbau
- Automatisierungs- und Produktionstechnik
- Verkehrstechnik

Die Schwerpunkte der Erhebung liegen dabei auf den Themenfeldern

- Software-Qualität
- Standardarchitekturen/komponentenbasierte Entwicklung
- Konfigurations-/Versionsmanagement

wobei unter dem Stichwort Software-Qualität die Themenblöcke

- Qualitätsmanagement
- integriertes, werkzeuggestütztes Vorgehensmodell
- Qualitätssicherung

zusammengefaßt sind. Die Ergebnisse der Erhebung sind in Abschnitt 3 beschrieben, die für die Erhebung verwendeten Fragebögen und der Interviewleitfaden finden sich in Abschnitt 7.

Für die nachhaltige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit ist jedoch eine Entwicklung ausschließlich aufgrund von aktuellen Defiziten nicht ausreichend. Für die Identifizierung langfristiger Aufgabenstellungen ist darüber hinaus eine sorgfältige Analyse möglicher Entwicklungen in der Branche, im Branchenumfeld, im technologischen Umfeld sowie innerhalb der Gesellschaft notwendig. Daher wurden im Rahmen der Vordringlichen Aktion mögliche mittelfristige Zukunftsszenarien für die Bereiche Maschinen- und Anlagenbau, Produktions- und Automatisierungstechnik sowie Verkehrstechnik mit einem Zeithorizont von acht Jahren (ca. 2008) entwickelt, um vorausgreifende Maßnahmen rechtzeitig etablieren zu können. Die Ergebnisse der Szenarienerstellung sind in Abschnitt 4 zusammengefaßt.

Ausgehend von den in der Erhebung gewonnenen Informationen über die identifizierten Problemstellungen und dem genannten Handlungsbedarf werden zusammen mit den Erkenntnissen aus den Zukunftsszenarien konkrete Aufgabenstellungen abgeleitet und mögliche kurz-, mittel- und langfristigen Lösungsansätze sowie die sich daraus ergebenden Vorteile für die Unternehmen der Zielgruppe beschrieben. Die Lösungsansätze werden in Abschnitt 5 beschrieben.

Die in Abschnitt Abbildung 3.3 beschriebenen Probleme und Verbesserungspotentiale spiegeln den konzentrierten Bedarf der Industrie unter Berücksichtigung des aktuellen Standes von Technik und Wissenschaft wider. In Zusammenarbeit mit den Unternehmen der Zielgruppe der Vordringlichen Aktion wurden durch Gruppierung dieser Verbesserungspotentiale Aktionsfelder für die Sicherung des Standorts Deutschland in der Produktion definiert. Aus diesen, in Abschnitt 6 beschriebenen Aktionsfeldern lassen sich unterschiedliche Projektkonfigurationen ableiten, von denen einige beispielhaft vorgestellt werden.

2.2 Angrenzende Projekte

Im thematischen Umfeld der Vordringlichen Aktion wurden bereits Arbeiten geleistet, deren Ergebnisse für die Ziele der VA von Bedeutung sind. Im folgenden wird daher auf diese Projekte und die dabei erzielten Ergebnisse kurz eingegangen, soweit sie für die VA von Belang sind.

2.2.1 FORSOFT-Befragung „Stand der Software-Entwicklung“

Im Rahmen des “Bayerischen Forschungsverbunds Software-Engineering” (FORSOFT) wurde bei 14 Unternehmen eine Befragung zur Erhebung des Standes der Software-Entwicklung durchgeführt.¹ Insbesondere wurden in dieser Befragung auch die für die VA wesentlichen Punkte Prozeßmodell, Qualitätssicherung, Beschreibungstechniken und Werkzeuge untersucht. Bei der Gestaltung des VA-Fragebogens konnte daher auf die entsprechenden Themenfelder des FORSOFT-Fragebogens zurückgegriffen werden. Da die FORSOFT-Befragung jedoch allgemein den Stand der Softwareentwicklung untersucht und nicht speziell die Gegebenheiten klein- und mittelständischer Unternehmen im Bereich eingebetteter Systeme berücksichtigt, sind die Ergebnisse nur bedingt im Rahmen der VA anwendbar.

Die Befragungen haben gezeigt, daß die grundsätzliche Situation der Softwareentwicklung sich in den verschiedenen Anwendungsbereichen kaum unterscheidet. So werden beispielsweise allgemein kaum abstraktere Systembeschreibungsformen in der Entwicklung verwendet oder phasenübergreifend geeignete Werkzeuge eingesetzt. Die besonderen Gegebenheiten in Bereichen der VA wie der Automatisierungstechnik stellen jedoch spezifische Anforderungen, beispielsweise die Behandlung von Echtzeitanforderungen, ermöglichen aber auch spezifische Lösungen, beispielsweise die intensive Verwendung von Systembausteinen mit HW- und SW-Anteilen zur effizienten Variantenbildung.

2.2.2 Befragung SoftBed

Gegenstand des Forschungsvorhabens SOFTBED war es, Antworten auf die folgenden Fragen zu geben und diese in Handlungsempfehlungen an das BMBF umzusetzen:

- Inwieweit ist der Prozeß der Entwicklung eingebetteter Systeme - beginnend bei der Funktionsdefinition bis hin zum Serienprodukt - in seinen wissenschaftlichen Grundlagen und der industriellen Praxis beherrscht?
- Besteht Potential und Bedarf zur zielgerichteten, öffentlichen Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich eingebetteter Systeme in der Automobiltechnik?

Ein wesentlicher Teil der Arbeit im Projekt SOFTBED bestand in der Erstellung einer Ist-Analyse des Standes Deutschlands bei Entwicklung und Einsatz eingebetteter Systeme in der Automobiltechnik. Um die Analyse auf eine möglichst breite Basis von Meinungen zu stellen, wurde eine Befragung von Expertinnen und Experten aus Industrie und akademischer Forschung verwendet.

Als Ergebnis der Studie wurden die Behandlung der folgenden Themengebiete als Handlungsbedarf identifiziert:

- Phasenübergreifendes Prozeßmodell
- Modellierungs- und Beschreibungstechniken:
 - + Integration von diskreter und kontinuierlicher Information
 - + Modularisierung mit geeigneten Schnittstellen
 - + Ausführbarkeit von Spezifikationen
 - + generische Beschreibungen auf allen Abstraktionsebenen
 - + semantisches Verfolgbarkeitsmodell zwischen den Beschreibungen in den verschiedenen

1. Siehe Deifel, B. et al. Die Praxis der Softwareentwicklung: Eine Erhebung. Informatik-Spektrum 22(1). Springer, 1999.

Phasen

- Erstellung eines integrierten Qualitätssicherungskonzepts unter Einbeziehung von Rapid-Prototyping
- Behandlung der Zeitaspekte eingebetteter Systeme
- Softwarebausteine:
 - + Beschreibungstechniken
 - + Kompositionskonzepte
 - + angepaßte Verifikationstechniken
 - + generische Bausteinbibliotheken
- Globale Vernetzung
- Hardware-Constraints und HW/SW-Codesign
 - + Targeting-Problematik
 - + DSSA
 - + Verifikation und Validation
- Verteilung
 - + Beschreibungstechniken,
 - + Simulation,
 - + Verifikation und Validation
 - + Systemintegration.
- Kostenoptimierung
 - + Metriken zur Kostenermittlung
 - + Optimierungsverfahren

Grundsätzlich stimmen die dort definierten Themengebiete, zumindest im groben Ansatz, mit den hier festgestellten Verbesserungspotentialen überein, bedingt durch die teilweise vergleichbaren Randbedingungen der befragten Unternehmen. Da im Zuge der Vordringlichen Aktion jedoch - wie in Abschnitt 3.2 beschrieben - unterschiedliche Klassen von Unternehmen berücksichtigt wurden, unterscheiden sich die hier vorgeschlagenen Lösungsansätze vor allem hinsichtlich der kurz- bis mittelfristigen Vorschläge, die stark von der Anwendungsdomäne sowie von der Größe der Unternehmen (KMU) geprägt sind.

2.2.3 Untersuchung: "Stand des Qualitätsmanagements in der Softwareentwicklung"

In einer 1997 durchgeführten schriftlichen Befragung wurde der Stand des Qualitätsmanagements und der kontinuierlichen Verbesserung in den Softwareunternehmen in Deutschland untersucht, die ihr Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001 hatten zertifizieren lassen.¹ Aus den 119 in die Stichprobe einbezogenen Unternehmen wurden 90 gültige Fragebögen zurückgesandt. Mehr als 80 % der Befragungsteilnehmer halten die QM-Systeme für erfolgreich.

1. Dirk Stelzer, Werner Mellis, Frank Taube. Stand des Qualitätsmanagements in der Softwareentwicklung. In: Wilhelm Hummeltenberg (Hrsg.): Information Management for Business and Competitive Intelligence and Excellence. Proceedings der Frühjahrstagung Wirtschaftsinformatik '98. Wiesbaden 1998, S. 313-326