T U M

I N S T I T U T F Ü R I N F O R M A T I K

Analysen zu Ergebnissen von Softwareprozess-Assessments

Joerg Gambihler

TUM–I9749
Dezember 97

T E C H N I S C H E U N I V E R S I T Ä T M Ü N C H E N

TUM-INFO-12-I9749-100/1.-FI
Alle Rechte vorbehalten
Nachdruck auch auszugsweise verboten

©1997

Druck: Institut für Informatik der
Technischen Universität München

Analysen zu Ergebnissen von Softwareprozeß-Assessments

Jörg Gambihler

joergg@rational.com

Zusammenfassung

Die Bedeutung der Qualität von Softwareentwicklungsprozessen für die Produktqualität wird zunehmend anerkannt. Als Ausgangspunkt für die Verbesserung von Entwicklungsprozessen werden Bewertungen (Assessments) von Softwareentwicklungsprozessen nach verschiedenen Verfahren durchgeführt. Die meisten der verwendeten Assessment-Verfahren basieren auf dem Capability Maturity Model (CMM), das am Software Engineering Institute entwickelt wurde und sich als de facto-Standard in der Softwareindustrie durchgesetzt hat.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Ergebnisse einer repräsentativen Auswahl von Prozeß-Assessments quantitativ analysiert, um die Stärken und insbesondere die Schwächen in den heute in der Industrie anzutreffenden Prozessen der Softwareentwicklung aufzudecken. Darüber hinaus wurde untersucht, an welchen Stellen im Entwicklungsprozeß vorwiegend Verbesserungsmaßnahmen aufgrund der Assessment-Ergebnisse vorgeschlagen werden.

1 Einleitung 3

1.1 Capability Maturity Model (CMM) ... 3

1.2 Weitere Prozeßbewertungsverfahren ... 4

1.3 Prozeß-Assessment-Verfahren der Siemens AG ... 5

1.4 Vorliegende Assessment-Ergebnisse ... 6

1.5 Verwandte Arbeiten ... 7

2 Stärken und Schwächen im Entwicklungsprozeß 8

2.1 Prozeßumfeld ... 9

2.2 Entwicklungsprozeß ... 11

2.3 Projektmanagement ... 12

2.4 Software-Engineering ... 13

2.5 Zusammenfassende Bewertung der Schwächen und Stärken ... 14

2.5.1 Schwächen ... 14

2.5.2 Stärken ... 15

2.5.3 Abweichungen zwischen Projekt- und Prozeßreife ... 15

3 Analyse der Maßnahmenkataloge 16

3.1 Einordnung in das Assessment-Verfahren ... 16

3.2 Häufigkeitsverteilung der Maßnahmen auf Prozeßkriterien ... 17

4 Zusammenfassung und Ausblick 18

Fragen des Assessment-Verfahrens mit geringem mittleren Erfülltheitsgrad 21

Literatur 24

1 Einleitung

Entwicklung zuverlässiger Software unter Berücksichtigung von Zeit- und Kostenbeschränkungen ist für viele Softwareentwicklungsorganisationen eine Herausforderung mit zunehmender Bedeutung. Mit der wachsenden Komplexität von Softwaresystemen festigt sich die Erkenntnis, daß qualitativ hochwertige Software mit vertretbarem Aufwand nur durch eine hohe Qualität des Entwicklungsprozesses erstellt werden kann. Hinzu kommt, daß insbesondere öffentliche Auftraggeber in zunehmendem Maße eine bestimmte Prozeßreife als Befähigungsnachweis für die Erstellung qualitativ hochwertiger Software fordern. Prozeßreife wird daher zu einem wichtigen Wettbewerbsfaktor für Produzenten von Software.

Aus den genannten Gründen entstand in den letzten Jahren eine Teildisziplin des Software-Engineering, die sich mit der Bewertung und Verbesserung von Entwicklungsprozessen beschäftigt. Diese Disziplin hat es sich jedoch nicht zur Aufgabe gemacht, bestehende Vorgehensmodelle wie das Wasserfallmodell, das Spiralmodell oder iteratives Vorgehen zu bewerten. Vielmehr erfolgt eine Beurteilung anhand vom Vorhandensein allgemein anerkannter und zum Erfolg führender Engineering-Praktiken, wie sie – in anderen Ausprägungen – in Ingenieursdisziplinen heute selbstverständlich sind.

1.1 Capability Maturity Model (CMM)

Um Softwarelieferanten nach ihrer Prozeßqualität auswählen zu können, gab das Department of Defense beim Software Engineering Institute (SEI) der Carnegie Mellon University die Entwicklung eines Bewertungsverfahrens für die Reife von Softwareentwicklungsprozessen in Auftrag. Daraufhin wurde am SEI ein Fragebogen mit etwa 80 Fragen entwickelt, der zu einer Einstufung des untersuchten Prozesses auf einer 5-stufigen Reifegradskala führte [HS87]. Als Fundierung dieses Bewertungsverfahrens entstand 1991 am SEI ein Modell für die Bewertung und Verbesserung von Softwareentwicklungsprozessen: das Capability Maturity Model (CMM) [PCC+93]. In der Softwareindustrie hat sich dieses Bewertungsmodell als de facto-Standard durchgesetzt.

Das CMM ist in 5 Stufen organisiert und fordert für das Erreichen einer Stufe die Erfüllung der Bewertungskriterien (Key Process Areas) dieser Stufe und aller darunterliegenden Stufen (Abbildung 1).

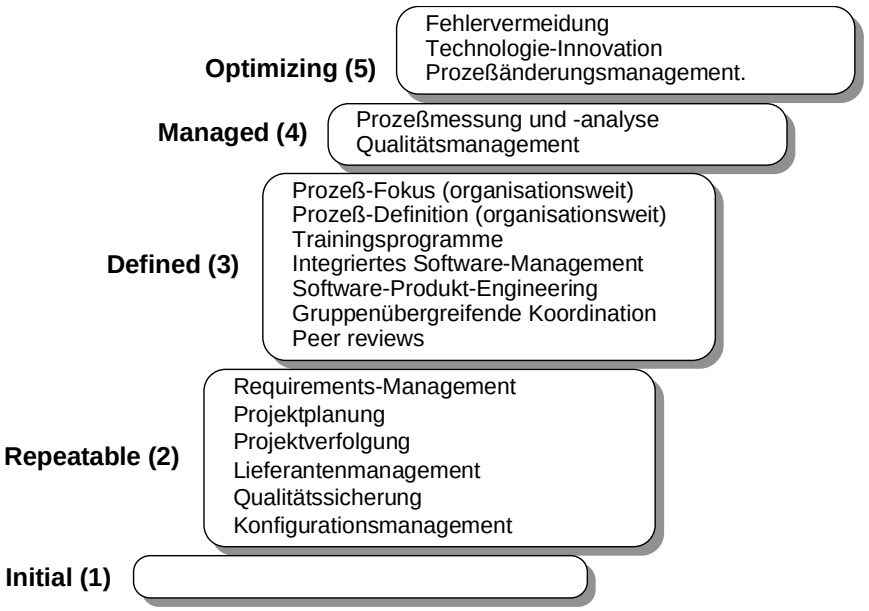

Abbildung 1: Capability Maturity Model (CMM)

Auf Reifegradstufe 1 wird nichts gefordert, weshalb Prozesse auf dieser Stufe als unvorhersehbar charakterisiert werden. Reifegradstufe 2 konzentriert sich auf Managementpraktiken. Durch deren Anwendung basieren Entwicklungsprojekte auf Erfahrungswerten aus früheren Projekten. Auf Reifegrad 3 erfolgt Softwareentwicklung nach einem organisationsweit definiertem Prozeß, womit die Projekterfolge nicht mehr von einzelnen Personen abhängen. Erst auf dieser Stufe kommen Methoden und Werkzeuge für die Lebenszyklusphasen der Softwareentwicklung zum Tragen. Reifegrad 4 fordert die Verwendung von Metriken, um den Prozeß quantitativ steuern zu können. Prozesse mit Reifegrad 5 werden kontinuierlich verbessert. Hierzu sind die Ursachen von Fehlern im Prozeß (und nicht nur im Produkt) sowie neue Technologien zu untersuchen und zu bewerten. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse sind geeignete Verbesserungen in den Prozeß einzuarbeiten.

1.2 Weitere Prozeßbewertungsverfahren

Seit der Veröffentlichung des Assessment-Verfahrens am SEI wurden weitere Prozeßbewertungsmodelle- und verfahren entwickelt, wobei die meisten dieser Verfahren Erweiterungen und Anpassungen des CMM an spezielle Bedürfnisse darstellen. Ein wichtiger Vertreter ist das BOOTSTRAP-Verfahren [Boo93, HMK+94], das im Rahmen eines ESPRIT-Projektes entwickelt wurde. Es enthält insbesondere Anpassungen an die Bedürfnisse der Europäischen Softwareindustrie. Ein Vorteil gegenüber dem CMM ist die Darstellung von Stärken und Schwächen als Profil. In dem laufenden Projekt SPICE [Dor93] soll ein ISO-Standard für die Bewertung von Softwareprozessen erarbeitet werden.

Darüber hinaus erlangte in den letzten Jahren die Zertifizierung von Softwareentwicklungsprozessen nach ISO 9001 eine immer größere Bedeutung, obwohl sie als wenig aussagekräftig und vorwiegend verkaufsfördernd kritisiert wird. Im Gegensatz zu Prozeß-Assessments nach CMM steht nicht die Verbesserung des Prozesses sondern das Zertifikat als Wettbewerbsvorteil im Vordergrund.

1.3 Prozeß-Assessment-Verfahren der Siemens AG

Das dieser Studie zugrundeliegende Prozeß-Assessment-Verfahren zur Bewertung der Reife von Entwicklungsprozessen wurde bei der Siemens AG auf der Basis des CMM entwickelt. Vom BOOTSTRAP-Verfahren wurde der Bewertungsalgorithmus und die Darstellung der Stäken und Schwächen als Profil übernommen.. Das Verfahren wird in [Völ94] und [Mes96] beschrieben.

Entsprechend dem CMM erfolgt die Bewertung der Reife eines Entwicklungsprozesses auf einer Skala mit fünf Reifegraden. Zur Bewertung wurden ein Standardverfahren und Verfahren für kleine Organisationseinheiten eingesetzt. Beim Standardverfahren werden neben der Bewertung des organisationsweit definierten Prozesses (Site Assessment) die „gelebten“ Prozesse in ausgewählten Projekten bewertet (Project Assessments). Hierdurch werden Abweichungen der Projektpraxis von den Vorgaben der Organisation aufgespürt. Assessments für kleinere Organisationseinheiten gehen auf deren speziellen Erfordernisse und verfügbaren Ressourcen ein und sehen im Gegensatz zum Standard-Assessment keine getrennten Projektbewertungen vor.

Die Assessments werden anhand eines Fragenkataloges durchgeführt, der als Grundlage für Interviews mit Entwicklern und Projektleitern dient. Der verwendete Fragenkatalog ist entsprechend der Struktur in Abbildung 2 gegliedert. Jede Frage ist einem der Key Process Areas des CMM zugeordnet. Entsprechend dieser Zuordnung erhält die Frage eine Zuordnung zu einem Reifegrad von 1 bis 5. Neben dem Gesamtreifegrad eines Entwicklungsprozesses wird der Reifegrad für jedes der in Abbildung 2 aufgeführten Bewertungskriterien ermittelt. Somit ergeben sich Profile, die über Stärken und Schwächen des untersuchten Prozesses Aufschluß geben und Ansatzpunkte für Verbesserungsprogramme aufzeigen. Die Berechnung der Reifegrade erfolgt dabei werkzeuggestützt mit dem Bewertungsalgorithmus des BOOTSTRAP-Verfahrens [HMC92].

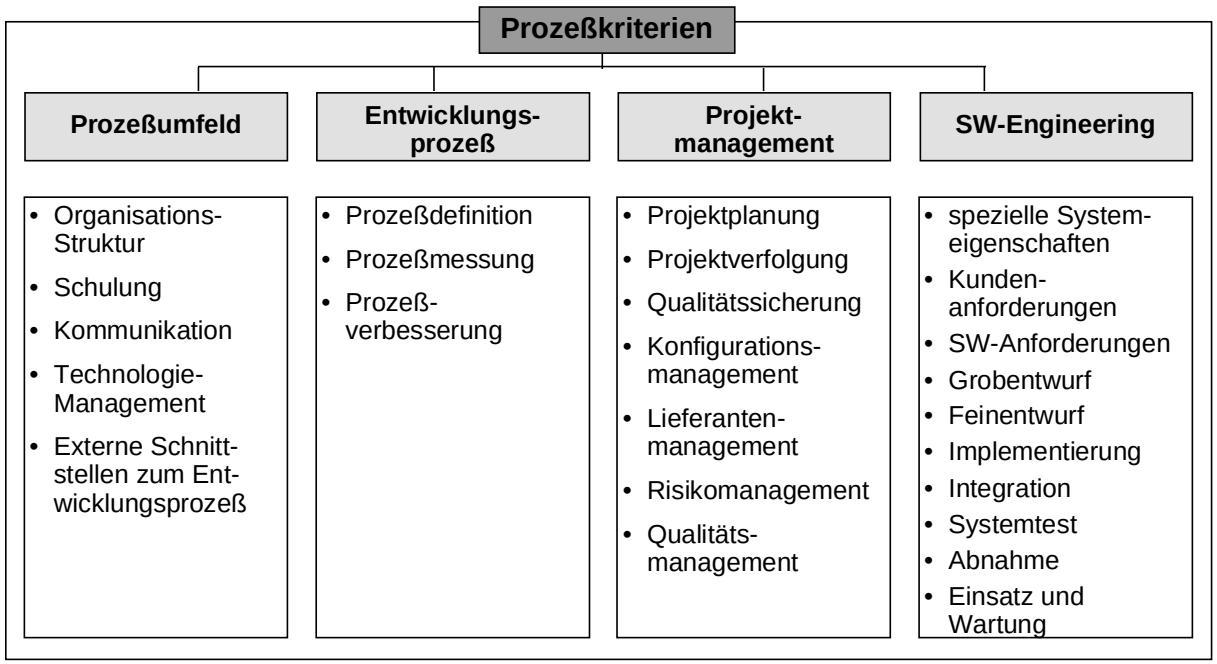

Abbildung 2: Prozeßkriterien des Process Assessments

Prozeßumfeld bewertet organisatorische Rahmenbedingungen für die SW-Entwicklung. Diese umfassen die Organisationsstruktur, die Planung und Durchführung von Schulungen, die Kommunikationsinfrastruktur, die Evaluierung und Einbindung neuer Technologien sowie die Zusammenarbeit mit anderen an der Produktentwicklung beteiligten Gruppen.

Im Prozeßkriterium *Entwicklungsprozeß* wird untersucht, ob Vorgaben für den Entwicklungsprozeß existieren, ob Messungen zur Prozeßperformanz durchgeführt werden und ob hierbei gewonnene Erkenntnisse sich in Verbesserungen der bestehenden Vorgaben niederschlagen.

Kriterien zur Bewertung von *Projektmanagement* umfassen Managementaktivitäten wie etwa Projektplanung und -verfolgung sowie die Planung und Durchführung qualitätssichernder Maßnahmen.

Der Einsatz von SW-Entwicklungsmethoden im Lebenszyklus wird im Kriterium *SW-Engineering* untersucht, angefangen bei der Erfassung der Anforderungen bis hin zur Einführung und Wartung der entwickelten Systeme.

Da neben der Standortbestimmung die Verbesserung des Entwicklungsprozesses ein wichtiges Anliegen bei der Durchführung eines Assessments ist, werden im Rahmen der untersuchten Assessments je ein Katalog von Maßnahmenvorschlägen für Verbesserungen erstellt. Dieser Katalog wird anhand des Stärken-/Schwächen-Profils und den Geschäftszielen und Bedürfnissen der untersuchten Organisation erstellt.

1.4 Vorliegende Assessment-Ergebnisse

Die in dieser Studie untersuchten Assessment-Ergebnisse stammen aus Prozeßuntersuchungen im Zeitraum von 1994 bis 1996 in Geschäftsbereichen der Siemens AG. Da die Ergebnisse von Assessments Aufschluß über die Leistungsfähigkeit von

Softwareproduzenten geben, werden die Ergebnisse stets vertraulich behandelt. Die untersuchten Geschäftsbereiche werden daher in diesem Bericht nicht namentlich genannt. Die Verteilung der analysierten Assessments auf Geschäftsfelder der Siemens AG wird in Abbildung 3 veranschaulicht. Für die Analyse von Assessment-Ergebnissen lagen detaillierte Daten von 9 Site-, 26 Projekt- und 15 kleinen Assessments vor.

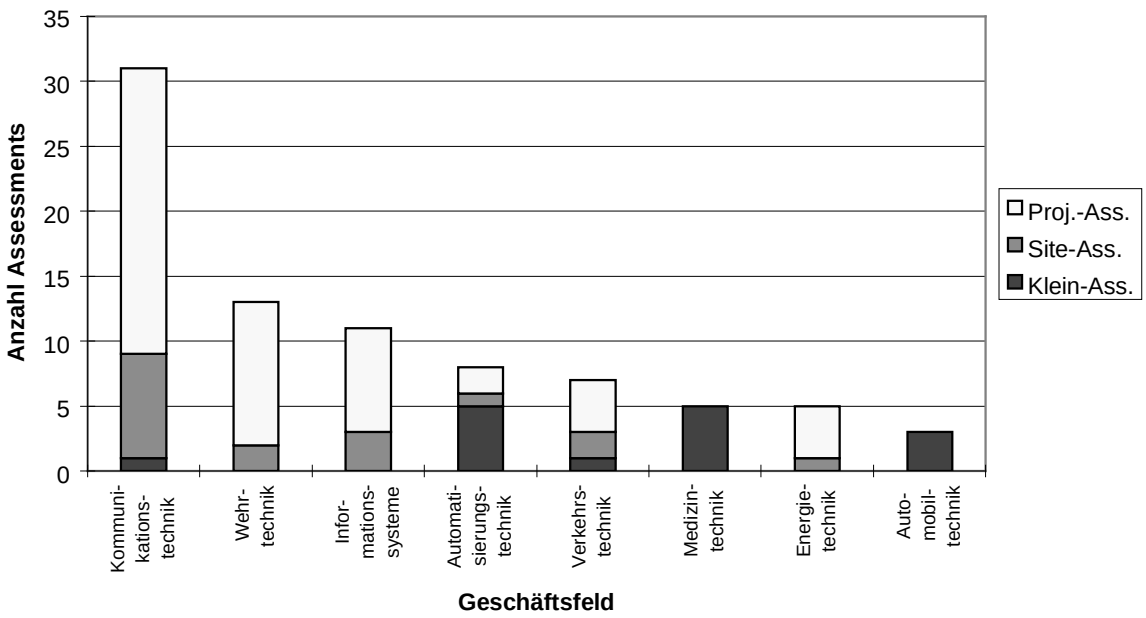

Abbildung 3: Verteilung der untersuchten Assessments auf Geschäftsfelder der Siemens AG

Es sei an dieser Stelle erwähnt, daß es sich bei den untersuchten Organisationen bzw. Projekten nicht um eine Zufallsstichprobe handelt. Das der Untersuchung zugrundeliegende Datenmaterial kann jedoch aufgrund des Umfangs und der Breite der Geschäftsfelder und Organisationen, in denen die Assessments durchgeführt wurden, als einigermaßen repräsentativ für die heutige Softwareentwicklungspraxis betrachtet werden.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich die hier dargestellten Ergebnisse auf die Bewertungskriterien und -maßstäbe des eingesetzten, CMM-basierten Bewertungsverfahrens beziehen. Aufgrund verschiedener Kriterien, Maßstäbe und Gewichtungen in anderen Assessment-Verfahren können sich in den ermittelten Reifegraden Verschiebungen ergeben.

1.5 Verwandte Arbeiten

Analysen von Assessments wurden bislang vor allem am SEI vorgenommen. Die Ergebnisse von SEI-Assessments der Jahre 1987 – 1989 werden in [KM93] aufbereitet. In weiteren Arbeiten des SEI stehen Aufwand und Nutzen von Prozeßverbesserungen im Vordergrund. In [HCR+94] wird anhand von 13 Organisationen analysiert, welcher Return on Investment mit Prozeßver-

besserungsprogrammen erreicht werden kann. Die mittlere Zeit, die Organisationen für das Erreichen der nächsthöheren Reifegradstufe benötigen, wird in [HZ95] untersucht. Die Studie [GH95] analysiert, welche Faktoren über den Erfolg bzw. das Scheitern von Prozeßverbesserungsmaßnahmen entscheiden. Der Nutzen von Prozeßverbesserungen innerhalb der Siemens AG wird in [Völ96] und [Völ97] dargestellt.

Ein Zusammenhang zwischen CMM-Reifegrad und Kosten- sowie Zeitperformanz wird mit Hilfe statistischer Methoden in [LFT95] nachgewiesen. Die Ergebnisdaten der Assessments der ersten SPICE-Versuchsreihe werden in [WH96] analysiert. Eine statistische Auswertung der BOOTSTRAP-Assessment-Daten wird in [Mes94] vorgenommen. Hierbei wird insbesondere der Zusammenhang von Prozeßreife mit Geschäftsdaten untersucht.

Die folgenden Kapitel gliedern sich wie folgt: anhand von mittleren Stärken-/Schwächen-Profilen wird in Kapitel 2 ein Überblick über den Stand der Softwareentwicklungspraxis gegeben. Kapitel 3 enthält eine Auswertung der Maßnahmenkataloge, die im Rahmen der Assessments innerhalb der Siemens AG erstellt wurden. Dies ermöglicht einen Einblick, wo und in welchem Umfang Handlungsbedarf für Prozeßverbesserungen besteht. Schließlich wird in Kapitel 4 eine Zusammenfassung und ein Ausblick gegeben.

2 Stärken und Schwächen im Entwicklungsprozeß

Ein Ergebnis der betrachteten Prozeß-Assessments ist ein Stärken-/Schwächenprofil des Entwicklungsprozesses einer Organisation oder eines Projektes. Ein Stärken-/Schwächenprofil enthält zu jedem Bewertungskriterium gemäß Abbildung 2 einen Reifegrad. Graphisch dargestellt ergeben diese Reifegrade ein Profil über Stärken und Schwächen eines Entwicklungsprozesses. Um einen Überblick über den Stand der industriellen Softwareentwicklung und die Verbreitung von methodischem Vorgehen zu geben, wurden aus den Reifegraden der analysierten Assessments empirische Lage- und Streuungsmaße ermittelt. Diese Maße werden nachfolgend ebenfalls als Profile graphisch dargestellt.

In der vorliegenden Untersuchung wurden Ergebnisse von 9 Site-, 26 Projekt- und 15 kleinen Assessments analysiert. Für die Ermittlung der mittleren Reifegrade wurde der Median herangezogen, da es sich bei Reifegraden um ordinal skalierte Merkmale handelt, d.h. die Grade sind miteinander vergleichbar, nicht jedoch deren Abstände (vgl. z.B. S. 157 in [Sac93]). So ist etwa der Aufwand, ausgehend von Reifegrad 1 den Reifegrad 2 zu erreichen, ungleich höher als der Aufwand für den Übergang von Reifegrad 3 auf Reifegrad 4.

In den Profildiagrammen dieses Kapitels wird der erreichte mittlere Reifegrad durch eine helle Säule dargestellt, die bei der minimal erreichbaren Reife für ein Kriterium beginnt. Die darüberliegende dunkle Säule gibt an, welcher Reifegrad für ein Prozeßkriterium maximal erreichbar ist; sie zeigt somit das Potential für Verbesserungen im jeweiligen Prozeßkriterium. Dabei ist der minimal erreichbare Reifegrade eines Kriteriums um eins kleiner als das Minimum der Reifegradeinstufungen aller Fragen zu diesem Kriterium. Der maximal erreichbare

Reifegrad eines Kriteriums ist gegeben durch das Maximum der Reifegradeinstufungen aller Fragen zu diesem Kriterium.

Die Profile in diesem Bericht zeigen zusätzlich die Streuung der Assessment-Ergebnisse in den einzelnen Bewertungskriterien. Leicht interpretierbare Steuungsmaße für ordinale Merkmale stellen die 1. und 3. Quartile dar. Die 1. Quartile ist dabei der Wert, der von 25% der untersuchten Einheiten unterschritten wird, die 3. Quartile wird von 75% der Einheiten unterschritten. Zwischen 1. und 3. Quartile liegen folglich 50% der Stichproben.

Während das Site Assessment untersucht, welche Prozeßvorgaben für die Abwicklung von Tätigkeiten in einer Organisation existieren, zeigen die Project Assessments (beim Standard-Assessment in der Regel zwei bis vier je Organisation), wie der Prozeß in der täglichen Projektpraxis umgesetzt wird. Diese Abweichung der Praxis von den Prozeßvorgaben der Organisationen wurde durch eine getrennte Betrachtung der Site- und Project Assessments analysiert. Die mittleren Abweichungen werden in diesem Kapitel ebenfalls dargestellt. Da Reifegrade kein metrisches Maß darstellen, sind die angegebenen Abweichungen zwischen definiertem Prozeß und „gelebter“ Praxis jedoch nur als Trend zu sehen.

Um einen tieferen Einblick in die Schwächen im Entwicklungsprozeß zu gewinnen, wurden anhand der Antworten zum verwendeten Assessment-Fragebogen zusätzliche Auswertungen der einzelnen Fragen vorgenommen. Auf dieser Basis werden in den folgenden Abschnitten verbreitete Schwächen innerhalb der Bewertungskriterien angegeben. Die Themen der einzelnen Fragen, die auf größere Schwächen in den Entwicklungsprozessen der untersuchten Organisationen hinweisen, sind nochmals im Anhang zusammengefaßt.

Die nachfolgenden Abschnitte sind gemäß der vier Themenkomplexe gegliedert, die in den analysierten Assessments untersucht werden: Prozeßumfeld, Entwicklungsprozeß, Projektmanagement und SW-Engineering.

2.1 Prozeßumfeld

Prozeßumfeld bewertet organisatorische Rahmenbedingungen für die SW-Entwicklung. Diese umfassen die Organisationsstruktur, die Planung und Durchführung von Schulungen, die Kommunikationsinfrastruktur, die Evaluierung und Einbindung neuer Technologien sowie die Schnittstellen mit anderen an der Produktentwicklung beteiligten Gruppen.

Das mittlere Profil für das Prozeßumfeld zeigt Abbildung 4. Das Bewertungskriterium *Schnittstellen* ist mit 2,0 das schwächste im Prozeßumfeld, wobei der ganze Themenkomplex verglichen mit den anderen eine relativ hohe Reife aufweist.

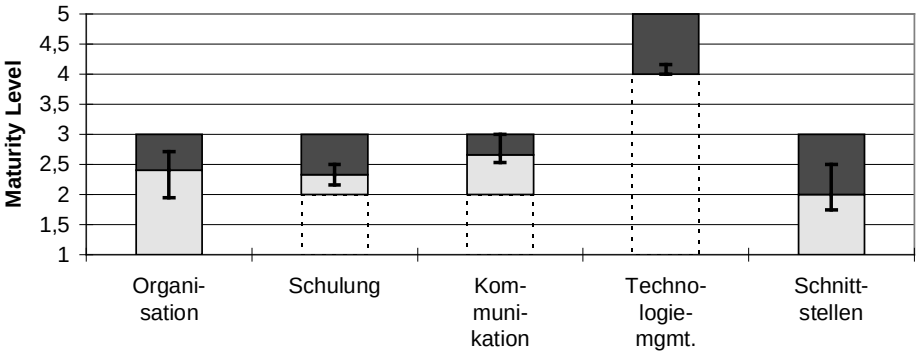

Abbildung 4: Profil für das Prozeßumfeld

Unter *Schnittstellen* wird die Zusammenarbeit und die Aufgabenabgrenzung der Entwicklung mit Marketing, Produktplanung, Vertrieb und Support bewertet. In den untersuchten Organisationen zeigt sich, daß die Produktplanung bzw. der Vertrieb oft nicht genügend spezifizierte Teile in Auftrag gibt. Solche Teile sollten gesondert ausgewiesen und mit Risikozuschlägen versehen werden.

Im Kriterium *Schulung* ist der Bedarf an Kenntnissen der Mitarbeiter entsprechend den auszuführenden Arbeiten festzustellen und mit den vorhandenen Kenntnissen abzugleichen. Schulungsmaßnahmen müssen organisationsweit in Schulungsprogrammen beschrieben werden. In Projekten sollen Schulungsmaßnahmen gemäß eines Schulungsplanes durchgeführt werden. Bei der Analyse der einzelnen Fragen dieses Kriteriums zeigten sich fehlende Schulungspläne in den Projekten als häufigster Kritikpunkt.

Das Bewertungskriterium *Organisation* fordert klare definierte und abgegrenzte Aufgabenbereiche. Die Berichtswege zwischen den Aufgabenbereichen und dem oberen Management müssen festgelegt sein. *Kommunikation* umfaßt die Art und Weise der Zusammenarbeit und die Koordination der Aufgaben, an denen mehrere Gruppen gemeinsam arbeiten müssen. Hierzu gehört auch eine adäquate Ausstattung mit elektronischen Kommunikationsmedien. *Technologiemanagement* ist ein Kriterium, das vorwiegend erst auf Stufe 5 gefordert wird.

Die gesonderte Bewertung einzelner Projekte ergibt die Abweichungen der Reife gegenüber der Organisation gemäß Abbildung 5. Dabei weisen die Projekte in allen vier Kriterien geringere Reife auf, d.h. die Projekte setzten die Vorgaben der Organisationen nur unzureichend um.

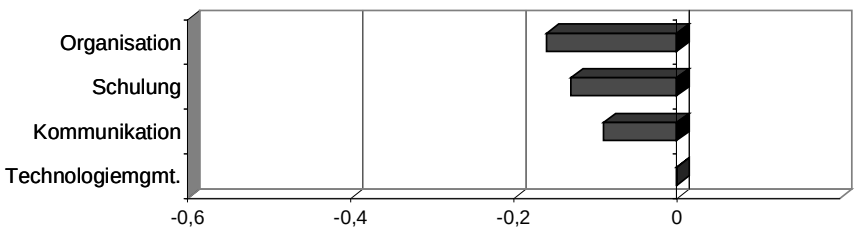

Abbildung 5: Abweichung der Projektpraxis im Projektumfeld

2.2 Entwicklungsprozeß

Im Prozeßkriterium *Entwicklungsprozeß* wird untersucht, ob Vorgaben für den Entwicklungsprozeß existieren, ob Messungen zur Prozeßperformanz durchgeführt werden und ob hierbei gewonnene Erkenntnisse sich in Verbesserungen der bestehenden Vorgaben niederschlagen.

Das mittlere Profil zu prozeßbezogenen Kriterien wird in Abbildung 6 dargestellt. Die Prozeßkriterien *Prozeßdefinition* und *Prozeßmessung* weisen mit 2,44 bzw. 2,45 nahezu gleiche Reife auf. *Prozeßverbesserung* ist wiederum ein Bewertungskriterium auf Reifegrad 5 und spielt in den untersuchten Organisationen keine Rolle.

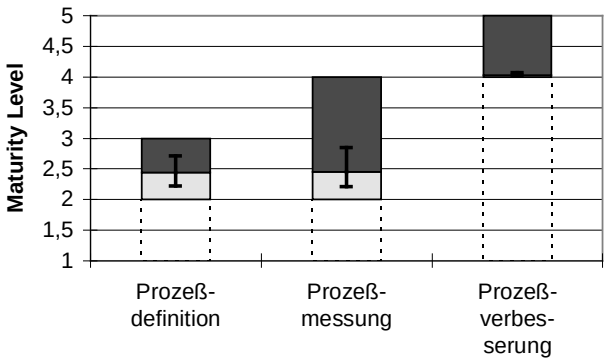

Abbildung 6: Profil für Entwicklungsprozeß

Prozeßmessung umfaßt die Definition, Erfassung, Berechnung und Analyse von Kennzahlen bei Projektdurchführung. Ziel dabei ist eine quantitative Grundlage für die Bewertung und Verbesserung der angewendeten Prozeßmodelle. Lücken lassen sich insbesondere bei Prozeßdatenbanken finden, die zur Erfassung von Kennzahlen für Projektplanung und -verfolgung (Reifegrad 2) bzw. für Prozeßmessungen (Reifegrad 3) zum Einsatz kommen sollten. Auf Reifegradstufe 3 zeigen sich Schwächen bei der Erstellung von Statistiken über Anforderungs-, Entwurfs-, Codier- und Testfehler. Die erfaßten Kennzahlen und erstellten Statistiken sollten als Basis für die Überwachung und Steuerung der Engineering-Aktivitäten verwendet werden.

Unter *Prozeßdefinition* werden Verfahren gefordert, die sowohl zur erstmaligen Erstellung als auch zur Überarbeitung eines Standard-Prozeßmodells angewendet werden. Diese Verfahren umfassen u.a. Dokumentation und Review des Prozeßmodells sowie Information der Betroffenen über Neuerungen und Änderungen. Projekte sollten ein nach Richtlinien angepaßtes Prozeßmodell anwenden.

Die Abweichung der Projektpraxis von dem Ergebnis auf Organisationsebene wird in Abbildung 7 veranschaulicht.

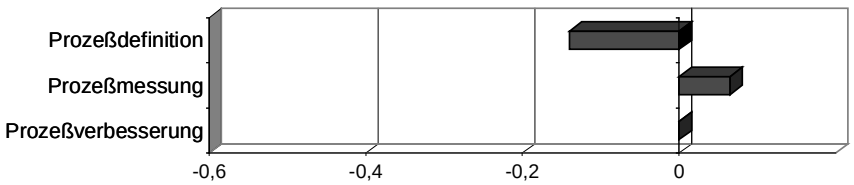

Abbildung 7: Abweichung der Projektpraxis beim Entwicklungsprozeß

2.3 Projektmanagement

Kriterien zur Bewertung von *Projektmanagement* umfassen die Managementaktivitäten im Entwicklungszyklus, angefangen bei der Projektplanung und -verfolgung bis hin zur Planung und Durchführung qualitätssichernder Maßnahmen. Das mittlere Profil für Projektmanagement zeigt Abbildung 8. Projektmanagement beinhaltet im Mittel unter allen Themenkomplexen die größten Defizite.

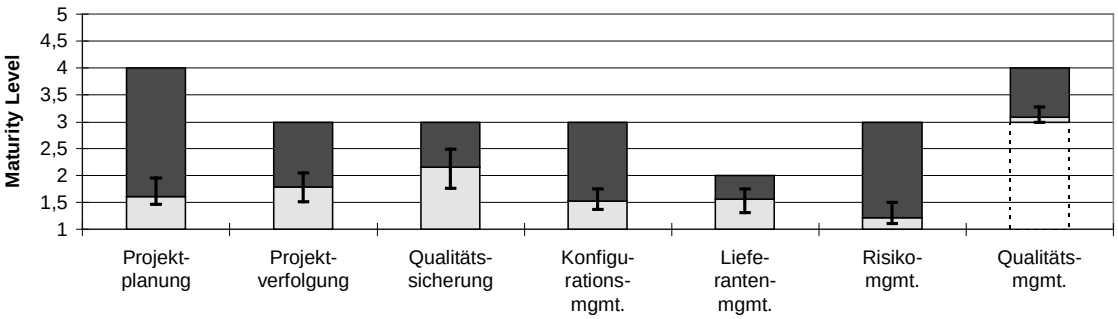

Abbildung 8: Profil für Projektmanagement

Durch *Risikomanagement* (Reifegrad 1,22) sollten mit Projektabwicklungen verbundene technische und wirtschaftliche Risiken ermittelt und entsprechend der Eintrittswahrscheinlichkeit und möglicher Auswirkung bewertet werden. Geeignete Maßnahmen sollten Risiken möglichst früh eliminieren oder deren Auswirkungen abmildern. Risiken sind z.B. sicherheitskritische oder instabile Spezifikationen sowie technisch innovative Entwicklungen. Richtlinien zur Identifikation und zum Umgang mit diesen Risiken existieren in den wenigsten untersuchten Organisationen bzw. werden nicht befolgt. Ebenso ist ein Management der Projektrisiken wie Verfolgung der Risiken und Planung von Alternativen die Ausnahme.

Konfigurationsmanagement (mittlerer Reifegrad 1,53) umfaßt die zentrale Verwaltung aller im Projektverlauf zu erarbeitenden Ergebnisse mit dem Ziel, die Konsistenz dieser Ergebnisse sicherzustellen und auf zurückliegende Stände zugreifen zu können. Dabei ist zu gewährleisten, daß Änderungen nur in kontrollierter Weise vorgenommen werden. Insbesondere bei Testdaten wird dieses Prinzip bei den untersuchten Organisationen nicht eingehalten.

Ebenfalls verbesserungswürdig sind die Prozeßkriterien *Projektplanung* (1,61) und *Projektverfolgung* (1,79), da sie wesentlich zum Projekterfolg beitragen. Die Assessment-Ergebnisse zeigen deutliche Schwächen bei Schätzung als auch bei der

Verfolgung von Umfängen. In der Regel erfolgt eine Aufwandsschätzung und -verfolgung, ohne geschätzte Umfänge der zu erstellenden Ergebnisse als Grundlage zu verwenden.

Bei Vergabe von Leistungen an externe Lieferanten wird in den meisten untersuchten Organisationen *Lieferantenmanagement* (1,56) unzureichend durchgeführt. Hierbei sollte insbesondere die Leistungsfähigkeit des Lieferanten beurteilt werden, um sicherzustellen, daß zugekaufte oder in Auftrag gegebene Leistungen die geforderte Qualität besitzen. Dieses Prozeßkriterium wurde nicht bei allen untersuchten Organisationen bewertet.

Abbildung 9 veranschaulicht die Abweichung der gelebten Projektpraxis vom definiertem Prozeß im Themenkomplex Projektmanagement. *Qualitätssicherung* hebt sich hierbei mit einer Reife, die mehr als einen halben Reifegrad schlechter als die der Organisation ist, besonders hervor. Dies läßt sich darauf zurückführen, daß viele Organisationen aufgrund der hohen Bedeutung von Qualität strenge Vorgaben für Qualitätssicherungsmaßnahmen haben, die jedoch von den Projekten nur unzureichend umgesetzt werden.

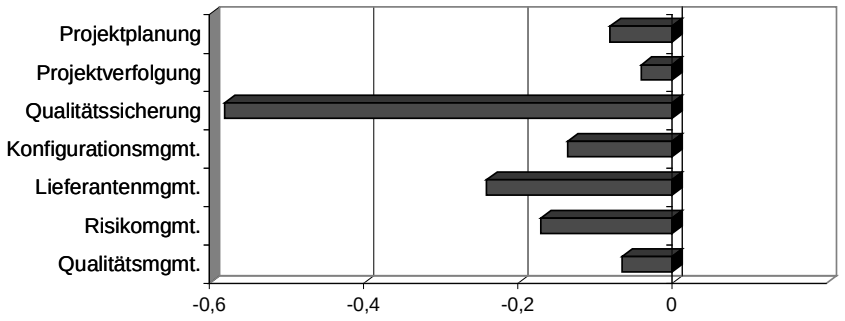

Abbildung 9: Abweichung der Projektpraxis beim Projektmanagement

2.4 Software-Engineering

Das Profil für Software-Engineering wird in Abbildung 10 dargestellt. Hier zeigen besonders die frühen Phasen eine geringe Reife, während die häufig Methoden- und Tool-unterstützten Entwurfs- und Implementierungsphasen größere Reife aufweisen.

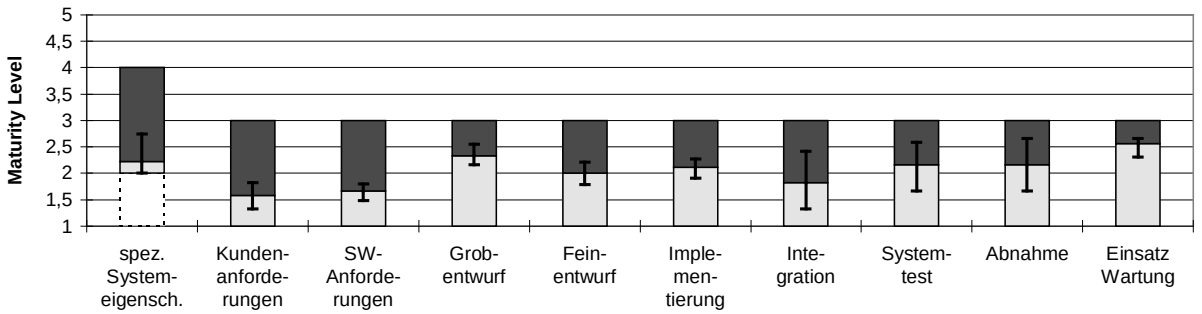

Abbildung 10: Profil für Software-Engineering

Kundenanforderungen und *SW-Anforderungen* bilden hier mit den Reifegraden 1,58 bzw. 1,66 die Bewertungskriterien mit der geringsten Reife. Kundenanforderungen und insbesondere Änderungswünsche müssen systematisch erfaßt und bewertet werden. Ziel bei der Erstellung der SW-Anforderungen muß eine Darstellung der Kundenanforderungen im Hinblick auf die Umsetzung in ein Produkt sein. Häufig erfolgt die Definition von Anforderungen ohne geeignete Beschreibungstechniken und die wenigsten untersuchten Organisationen setzen durchgängige Methoden ein.

Das Kriterium *Integration* (einschl. Integrationstest) weist mit einem Reifegrad von 1,83 Schwächen auf, die sich insbesondere auf fehlende Methoden und Standards für Integration und Test zurückführen lassen. Die Entwurfs- und Implementierungsphasen besitzen hingegen mittlere Reifegrade oberhalb von 2 mit einer geringen Streuung. Die größte Reife im Themenbereich SW-Engineering haben die untersuchten Organisationen im Bewertungskriterium Einsatz und Wartung.

Die Abweichung der Reife zwischen definiertem Prozeß und dem Projektgeschäft zeigt Abbildung 11. Auffallend ist hierbei die tendentiell größere negative Abweichung der Projekte in den frühen und späten Phasen.

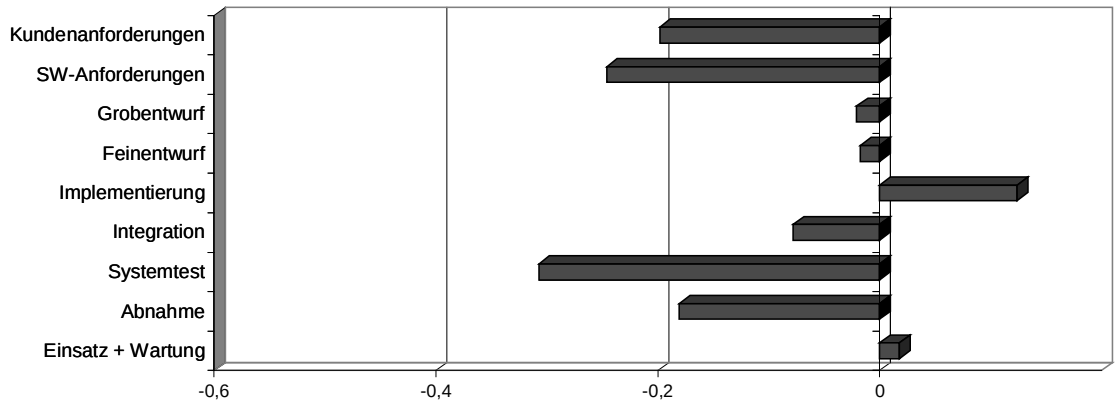

Abbildung 11: Abweichungen der Projekte vom Prozeß für Software-Engineering

2.5 Zusammenfassende Bewertung der Schwächen und Stärken

2.5.1 Schwächen

Unzureichende Prozeßreife ist auf Level 2 insbesondere bei den Prozeßkriterien Risikomanagement, Projektplanung und -verfolgung sowie Requirements-Management zu finden. Bis auf Risikomanagement ist die Erfüllung dieser Kriterien Voraussetzung für das Erlangen der Reifegradstufe 2 des CMM. Managementaktivitäten stellen daher die Basis sowohl für erfolgreiche Projektdurchführung als auch für weitere Verbesserungen im Entwicklungsprozeß dar.

2.5.2 Stärken

Stärken sind vor allem in den Technik- und Methoden-orientierten Lebenszyklusphasen Design und Implementierung zu verzeichnen, auch wenn durchgängige Methoden und Beschreibungstechniken selten eingesetzt werden. Viele Organisationen weisen eine Techniklastigkeit auf und übersehen dabei die Bedeutung adäquater Managementpraktiken. Häufig ist die Tendenz zu beobachten, durch Anschaffung von Werkzeugen alle bestehenden Probleme lösen zu wollen. Das Fehlen z.B. von ausgereiftem Requirements-Management führt dann oft zum ineffizienten Einsatz der vorhanden Techniken und Werkzeuge.

Im CMM werden Design- und Implementierungstechniken in der Key Process Area „Software Produkt Engineering“ behandelt, die auf Reifegradstufe 3 eingestuft ist. Hierdurch wird die Bedeutung der Managementaktivitäten auf Stufe 2 als Voraussetzung für die adäquate Anwendung von Methoden und Techniken betont.

2.5.3 Abweichungen zwischen Projekt- und Prozeßreife

In den Abschnitten 2.1 bis 2.4 wurden die Abweichungen der Projekte von den Vorgaben der Organisation in den Bewertungskriterien des zugrundeliegenden Assessment-Verfahrens angegeben. Im Durchschnitt liegt die Reife der Projekte in den meisten Kriterien unterhalb der Organisationsreife. Neben Zeitdruck in Projekten kommen als Gründe für das Nichterreichen der Organisationsreife in den Projekten folgende Punkte in Betracht:

- die Bedeutung der definierten Prozeßschritte bzgl. Qualität, Kosten und Zeit ist für Projektbeteiligte nicht sichtbar,
- Vorgaben werden aus Zeitgründen nicht befolgt,
- unzureichender Bekanntheitsgrad des Entwicklungsprozesses und
- fehlende Schulung in der Umsetzung der Prozeßschritte.

In wenigen Fällen ist auch die Durchführung nicht definierter Prozeßschritte im Projekt zu beobachten, wodurch das Projekt eine größeren Reife als die der Organisation erlangt. Die hierbei gewonnenen Erfahrungen sollten in Form von Definition und Einführung der „Best Practices“ aller Projekte im organisationsweiten Entwicklungsprozeß genutzt werden.

Obwohl im Mittel die Projekte eine geringere Reife aufweisen, ergibt sich auch ein Zusammenhang zwischen dem Gesamtreifegrad einer Organisation und der Abweichung ihrer Projekte. Abbildung 12 veranschaulicht diesen Zusammenhang. Punkte oberhalb der Winkelhalbierenden markieren Projekte mit größerer Reife verglichen mit dem Prozeß der Organisation, unterhalb liegende Punkte kennzeichnen Projekte mit geringerer Reife als die der Organisation. Projekte positiver Abweichung sind häufig bei geringer Organisationsreife zu finden, während in reiferen Organisationen die Projekte unter der Organisationsreife bleiben. Eine Regressionsgerade gibt den Trend für den Zusammenhang Prozeßreife – Projektreife an.

Die Steigung und der Schnitt der Regressionsgeraden mit der Winkelhalbierenden etwa bei Reifegrad 2 deutet darauf hin, daß größere Reifegrade des definierten Prozesses eine Hürde darstellen, die in der Projektpraxis schwierig zu überwinden ist. Der Unterstützung der Projekte bei der Umsetzung von vorhandenen Vorgaben und Verbesserungsmaßnahmen muß daher besondere Bedeutung beigemessen werden. Wichtig ist hierbei auch, daß die Bedeutung der einzelnen Arbeitsschritte für die Qualität des Endproduktes sowie für Kosten und Zeitbedarf der Entwicklung allen Beteiligten sichtbar gemacht wird.

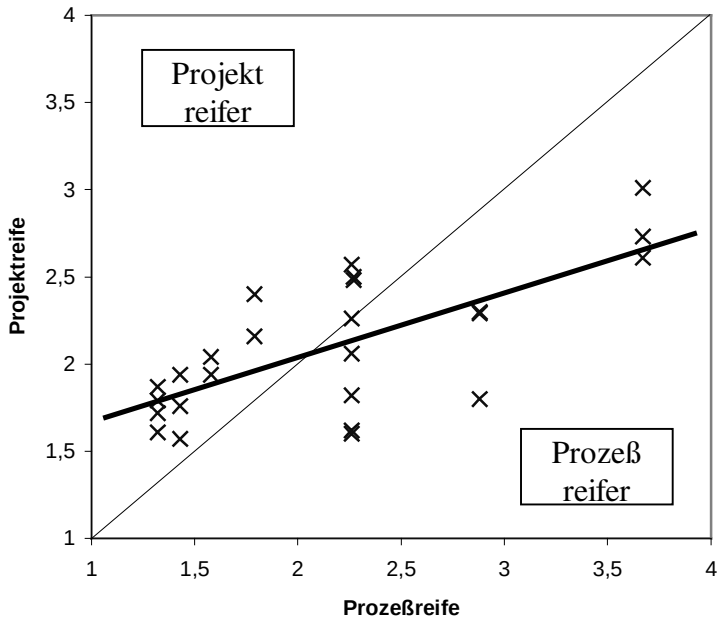

Abbildung 12: Abweichung Prozeßreife – Projektreife

3 Analyse der Maßnahmenkataloge

3.1 Einordnung in das Assessment-Verfahren

Ziel einer Untersuchung des Software-Entwicklungsprozesses ist insbesondere das Aufdecken von Schwachstellen, um Ansatzpunkte für Verbesserungsprogramme zu finden. Im Rahmen des Assessment-Verfahrens der Siemens AG wird ein Katalog von Maßnahmenvorschlägen erarbeitet, mit dessen Hilfe erkannte Schwächen beseitigt werden können. Vorrangig werden dabei Maßnahmen für die Prozeßkriterien vorgeschlagen, die großen Handlungsbedarf bzw. geringe Reife aufweisen und große Bedeutung für die Geschäftsziele der Organisation haben.

Die aufgrund der Assessment-Ergebnisse vorgeschlagenen Maßnahmen werden in drei Stufen priorisiert (siehe Tabelle 1) und durch andere Kriterien wie Aufwand und Zeithorizont klassifiziert. Schließlich werden die Maßnahmen in Aktionsschwerpunkte zusammengefaßt, welche in einer Matrix entsprechend dem Handlungsbedarf und der Bedeutung für das Geschäft graphisch dargestellt werden.

Tabelle 1: Prioritätsklassen für Maßnahmenvorschläge

Priorität	Bedeutung
A	Basischarakter; Verbesserung mit sehr großem Nutzen
B	Verbesserung mit großem Nutzen oder gutem Kosten/Nutzen-Verhältnis
C	Verbesserung

Die Maßnahmenkataloge umfassen je etwa 30 – 100 Einzelmaßnahmen, die den Bewertungskriterien des Assessment-Verfahrens zugeordnet werden. Im nächsten Abschnitt wird eine Analyse der Verteilung der Maßnahmenvorschläge auf die Kriterien dargestellt.

Es ist zu berücksichtigen, daß die Auswahl der Maßnahmenvorschläge im Gegensatz zum Assessment-Ergebnis mehr von Faktoren wie Geschäftsziel der Organisation und Erfahrung des Assessorenteams beeinflußt wird. Hierdurch ergeben sich Abweichungen des Verteilungsbildes verglichen mit den Stärken-/Schwächen-Profilen.

3.2 Häufigkeitsverteilung der Maßnahmen auf Prozeßkriterien

Grundlage für die Verteilung der Verbesserungsmaßnahmen bilden Maßnahmenkataloge aus 23 Standard- bzw. kleinen Assessments. Um bei der Berechnung der Verteilung eine unterschiedliche Gewichtung aufgrund der unterschiedlichen Anzahl von Maßnahmen je Assessment (ca. 30 – 100) auszuschließen, wurde zunächst die Verteilung für jedes einzelne Assessment errechnet und daraus anschließend die mittlere Verteilung über alle Assessments ermittelt.

Die Verteilung der Einzelmaßnahmen auf die vier Themenkomplexe des Prozeß-Assessment-Verfahrens ist aus Abbildung 13 ersichtlich. Hervorzuheben ist, daß die meisten Maßnahmen zu etwa gleichen Teilen in den Themenkomplexen Projektmanagement und SW-Engineering vorgeschlagen wurden.

In Abbildung 14 wird die Aufteilung der Maßnahmen auf die einzelnen Prozeßkriterien veranschaulicht. In beiden Abbildungen ist die Verteilung der Maßnahmen auf die Prioritätsklassen A, B und C ersichtlich (vgl. Tabelle 1).

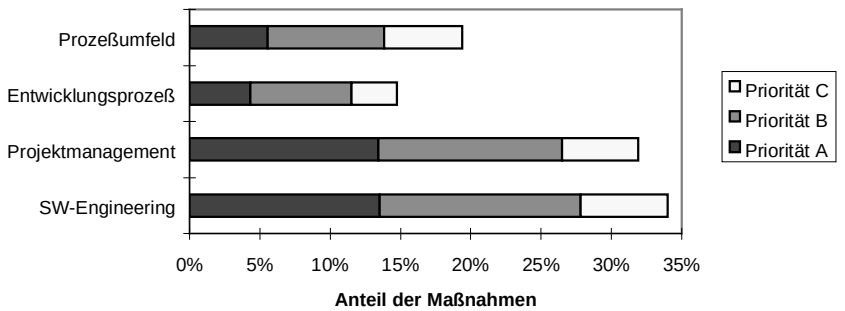

Abbildung 13: Verteilung der Maßnahmen auf Hauptkriterien

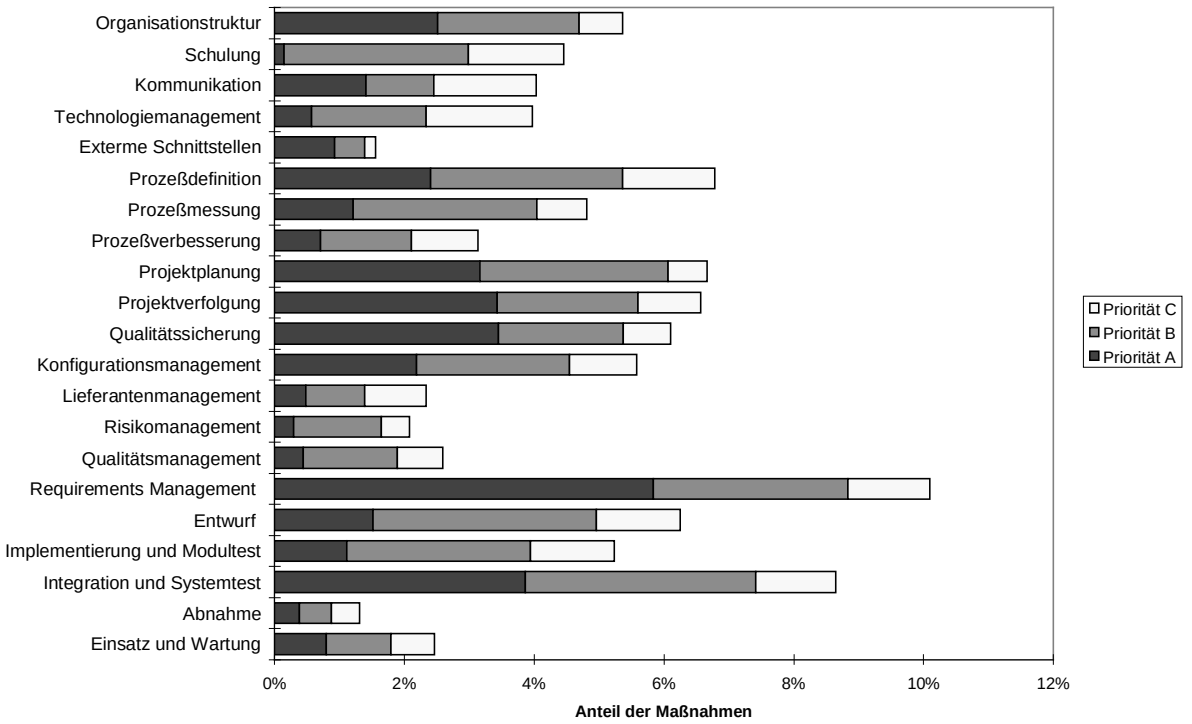

Abbildung 14: Verteilung der Maßnahmen in 23 Assessments

Eine große Anzahl von Maßnahmen betreffen die SW-Engineering-Kriterien Requirements-Management und Systemtest, die beide eine große Bedeutung für die Erstellung von adäquaten und qualitativ hochwertigen Produkten haben und damit letztendlich für die Zufriedenheit der Kunden sorgen.

Weitere Kriterien mit einer großen Anzahl von Verbesserungsvorschlägen sind Projektplanung- und verfolgung. Diese Beobachtung ist konsistent mit den Assessment-Ergebnissen, die hier große Mängel aufdecken, insbesondere im Zusammenhang mit Schätzung von Umfängen und Aufwänden sowie deren Verfolgung. Die Kriterien Qualitätssicherung und Konfigurationsmanagement spielen bei den Maßnahmenvorschlägen eine große Rolle, da sie ebenso wie Projektplanung und -verfolgung vorwiegend für das Erreichen des Reifegrades 2 notwendig sind. Um bewährte bzw. einzuführende Verfahren und Standards in der Organisation dauerhaft zu etablieren, hat darüber hinaus Prozeßdefinition bei den Maßnahmenvorschlägen einen hohen Stellenwert.

Entgegen den festgestellten Schwächen bei Risikomanagement werden Maßnahmen für dieses Kriterium vergleichsweise selten vorgeschlagen. Eine genauere Untersuchung ergab jedoch, daß für Risikomanagement zum Teil sehr pauschale Maßnahmen wie etwa die Einführung eines Verfahrens vorgeschlagen werden, die zahlenmäßig nicht entsprechend ins Gewicht fallen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse von insgesamt 50 Softwareprozeß-Assessments wurden analysiert um die Stärken und insbesondere die Probleme von Softwareentwicklungsorganisationen

aufzudecken. Die Ergebnisse bestätigen im wesentlichen die Erwartungen, die jedoch bislang häufig auf Erfahrungen und nicht auf Untersuchungen einer größeren Anzahl von Softwareentwicklungsorganisationen beruhen. Besonders hervorzuheben sind die Schwächen in dem Themenkomplex Projektmanagement.

Die wichtige Rolle von Projektmanagement wird sowohl im CMM als auch mehrfach in der Literatur unterstrichen. In [Dew88] wird die Bedeutung von Managementaktivitäten im Vergleich zu Methoden und Werkzeugen hervorgehoben:

> *„Though languages and tools are important, the most important software productivity and quality improvements today are management, not technology, driven."*

Nach der Einführung adäquater Managementpraktiken fallen auch der Verwendung einer durchgängigen Beschreibungstechnik und Entwicklungsmethodik eine wichtige Rolle in erfolgreichen Entwicklungsprojekten zu. Viele Probleme heutiger Softwareentwicklungen lassen sich auf Ungenauigkeiten und unterschiedlichen Interpretationen von Spezifikationen zurückführen. Den aktuellen Bemühungen, unterschiedliche graphische Beschreibungstechniken zu einer standardisierten Notation mit breiter Unterstützung zu vereinheitlichen, ist daher große Bedeutung beizumessen [BJR97].

Um die Schwierigkeiten großer Softwareentwicklungsprojekte in allen Einzelheiten zu verstehen, ist noch viel Forschungsarbeit nötig. Anhand der Ergebnisse von Prozeßbewertungen konnten weit verbreitete Schwächen identifiziert werden. Wünschenswert wäre es, aus diesem Material Ursachen und Zusammenhänge von Problemen heutiger Softwareentwicklung mit Hilfe quantitativer Methoden abzuleiten. Dies erweist sich jedoch als ein schwieriges Unterfangen. Hierzu bekannte multivariate Statistische Methoden bewältigen nicht die Vielzahl von Merkmalen und unbekannten Faktoren, die komplexe Entwicklungsprozesse charakterisieren und beeinflussen. Für signifikante Aussagen wäre eine ungleich größere Anzahl an Datenpunkten notwendig, die neben Prozeßmerkmalen auch Geschäfts- und Prozeßdaten der Organisationen enthalten müßten. Außerdem machen multivariate Analysemethoden häufig Annahmen über die Verteilung der Daten (z.B. metrisch, multidimensional standardverteilt), die von den vorliegenden Assessment-Daten nicht erfüllt werden.

Darüber hinaus sollte Reifegradzahlen als Qualitätsmaß für Prozesse nicht überbewertet werden. Reifegrade stellen ein Hilfsmittel dar, um die Komplexität von Entwicklungsprozessen bei der Bewertung und Verbesserung zu bewältigen. Als Datengrundlage für statistische Methoden erweist sich dieses Hilfsmittel als wenig geeignet. Eine weitere gewinnbringende Nutzung von Assessment-Ergebnisdaten ist jedoch durch qualitative und informelle Auswertungen denkbar. Mögliche Fragestellungen hierfür sind:

- Existieren für die typischerweise schwachen Bereiche im Entwicklungsprozeß adäquate Methoden, Verfahren, Werkzeuge und Standards, um Verbesserungen erzielen zu können?
- Für welche Bereiche im Entwicklungsprozeß besteht noch großer Forschungsbedarf?

Um umfangreiche Ergebnisdokumente von Prozeß-Assessments zu bewältigen, können die in dieser Studie aufgedeckten größten Defizite von Entwicklungsprozessen als Einstiegspunkte für ein qualitatives Vorgehen dienen.

Anhang

Fragen des Assessment-Verfahrens mit geringem mittleren Erfülltheitsgrad

Um einen tieferen Einblick in die Schwächen im Entwicklungsprozeß zu gewinnen, wurden anhand der Antworten zum Assessment-Fragebogen zusätzliche Auswertungen auf der Ebene der einzelnen Fragen vorgenommen. Bei der Beurteilung einzelner Fragen wurde deren Erfülltheitsgrad herangezogen. Die Umsetzung der möglichen Antworten ist Tabelle 2 zu entnehmen. Die Themen der Fragen, die in den Assessments geringe mittlere Erfülltheitsgrad aufweisen (unter 30%) werden in Tabellen in diesem Anhang angegeben. Der mittlere Erfülltheitsgrad wurde als empirischer Mittelwert berechnet. Fragen, die nur für das Erreichen der Reifegrade 4 und 5 relevant sind, wurden in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt, da sie bei den analysierten Assessments praktisch keine Rolle spielen.

Tabelle 2: Antworten zu Assessment-Fragen

Mögliche Antworten	Erfülltheitsgrad
nein	0%
teilweise	33%
im wesentlichen	67%
immer	100%

Tabelle 3: Fragen zum Prozeßumfeld mit mittlerem Erfülltheitsgrad < 30%

Thema der Frage	Reife-grad	Er-füllt-heit
Gesonderte Ausweisung nicht genügend spezifizierter Teile und Festlegung von Risikozuschlägen hierfür	2	26%
Definition von quantitativen Qualitätskriterien für Produkte	3	29%
Mechanismus zur Bewertung verwendeter Techniken im Vergleich zu anderen verfügbaren Techniken	3	30%

Tabelle 4: Fragen zum Entwicklungsprozeß mit mittlerem Erfülltheitsgrad < 30%

Thema der Frage	Reife-grad	Er-füllt-heit
Existenz einer Prozeßdatenbank zur Erfassung der Kennzahlen für Projektplanung und –verfolgung	2	25%
Erstellung von Statistiken über Anforderungsfehler	3	9%
Erstellung von Statistiken über Codier- und Testfehler während des Modultests	3	13%
Verwendung von Meßergebnissen zur Überwachung und Stabilisierung von Engineering-Aktivitäten	3	13%
Erstellung von Statistiken über Entwurfsfehler	3	14%
Existenz einer Prozeßdatenbank zur Erfassung der Kennzahlen für Prozeßmessungen	3	18%
Festlegung von Basis-Kennzahlen für Prozeßmessungen	3	25%

Tabelle 5: Fragen zum Projektmanagement mit mittlerem Erfülltheitsgrad < 30%

Thema der Frage	Reife-grad	Er-füllt-heit
Anwendung von Richtlinien für den Umgang mit sicherheitskritischen oder instabilen Spezifikationsteilen in den frühen Entwurfsphasen	2	6%
Anwendung von Vorschriften zur Identifikation von sicherheitskritischen oder instabilen Spezifikationsteilen	2	19%
Umfangsverfolgung	2	21%
Durchführung von Maßnahmen bei Abweichung der Umfänge	2	22%
Umfangsschätzung mit festgelegtem Schätzverfahren	2	24%
Festlegung von Toleranzgrenzen für Abweichungen der Umfänge von den Planwerten, die bei Überschreitung Maßnahmen erforderlich machen	3	0%
Management der Projektrisiken nach festgelegtem Verfahren	3	9%
Verwendung einer Prozeß-DB für Schätzung und Erstellung des Projektplans	3	12%
Bewertung und Dokumentation von Projektrisiken nach festgelegtem	3	14%

Thema der Frage	Reife-grad	Er-füllt-heit
Verfahren		
Ermittlung von Projektrisiken nach festgelegtem Verfahren	3	15%
Festlegung von Toleranzgrenzen für Aufwands- und Kostenabweichungen, die bei Überschreitung Maßnahmen erforderlich machen	3	20%
Festhalten von Daten und Ergebnissen aller Reviews in einer bereichsweiten Datenbasis	3	25%
Formale Aufzeichnungen über den Fertigstellungsgrad der Komponenten und Module	3	29%

Tabelle 6: Fragen zum SW-Engineering mit mittlerem Erfülltheitsgrad < 30%

Thema der Frage	Reife-grad	Er-füllt-heit
Einsatz von Methoden für Modultest	2	28%
Einsatz von Entwurfsmethoden, die Wiederverwendung begünstigen	2	30%
Einsatz von Methoden zur Definition von Kundenanforderungen	2	30%
Einsatz eines formalen Entscheidungsprozesses für den Einsatz von Prototyping in der Entwurfsphase	3	3%
Existenz von Standards für den Modultest	3	11%
Existenz von Kriterien für Modultestende	3	19%
Existenz von Standards zur Definition von Kundenanforderungen	3	20%
Existenz von Standards zur Definition von Requirements	3	19%
Existenz von Standards zur Integration	3	23%
Existenz von Standards zur Erstellung der SW-Architekur	3	28%
Existenz von Standards für den Integrationstest	3	29%

Literatur

[BJR97] G. Booch, I. Jacobson, and J. Rumbaugh. Unified Modeling Language, Version 1.0. Rational Software Corporation, Santa Clara, 1996.

[Boo93] Bootstrap Team. Bootstrap: Europe's Assessment Method. *IEEE Software*, 10(3):93–95, Mai 1993.

[Dew88] R.H. Dewey. Software Engineering Technology and Mangement. SRI International, Business Intelligence Program, Report No. 762, 1988.

[Dor93] A. Dorling. SPICE: Software Process Improvement and Capabilty dEtermination. *Software Quality Journal*, 2(4):209-224, 1993.

[GH95] D.R. Godenson und J.D. Herbsleb. After the Appraisal: A Systematic Survey of Process Improvement, its Benefits, and Factors that Influence Success. Technischer Bericht CMU/SEI-95-TR-9, Software Engineering Institute, 1995.

[GJW96] M. Gloger, S. Jockusch, N. Weber. Analysis of System Architectures based on the method SAA. *Proceedings of the ICDP'96 Conference*, Dresden, 1996.

[GV96] M. Gonauser, A. Völker. Why Maturity Matters. ESEPG '96 Conference, Amsterdam, 1996.

[HCR+95] J. Herbsleb, A. Carleton, J. Rozum, J. Siegel und D. Zubrow. Benefits of CMM-Based Software Process Improvement: Initial Results. Technischer Bericht CMU/SEI-94-TR-13, Software Engineering Institute, 1994.

[HKK89] W.S. Humphrey, D.H. Kitson und T.C. Kasse. The State of Software Engineering Practice: A Preliminary Report. Technischer Bericht CMU/SEI-89-TR-1, Software Engineering Institute, 1989.

[HMC92] V. Haase, R. Messnarz und R. Cachia. Software Process Improvement by Measurement. In R. Mittermeir (Hsgb.), *Shifting Paradigms in Software Engineering*, pp. 32–41, Springer-Verlag, Berlin, 1992.

[HMK+94] V. Haase, R. Messnarz, G. Koch, H.J. Kugler und P. Decrinis. Bootstrap: Fine-tuning process assessment. *IEEE Software*, 11(4):25–35, Juli 1994.

[HS87] W.S. Humphrey, W.L. Sweet. A Method for Assessing the Software Engineering Capability of Contractors. Technischer Bericht CMU/SEI-87-TR-23, Software Engineering Institute, 1987.

[Hum89] W.S. Humphrey. *Managing the Software Process*. Addison-Wesley, 1989.

[HZ95] W. Hayes und D. Zubrow. Moving On Up: Data and Experience Doing CMM-Based Process Improvement. Technischer Bericht CMU/SEI-95-TR-8, Software Engineering Institute, 1995.

[KM93] D.H. Kitson und S.M. Masters. An Analysis of SEI Software Process Assessment results: 1987–1991. In *15th International Conference on*

Software Engineering, S. 68–77, Baltimore, Maryland, IEEE Computer Society Press, Mai 1993.

[Leb97] K. Lebsanft. Executive Metrics at Siemens. Session: Measurement at Siemens - Thinking Multiple, ESCOM'97, Berlin, 1997.

[LFT95] P.K. Lawlis, R.M. Flowe, and J.G. Thordahl. A Correlational Study of the CMM and Software Development Performance. *CrossTalk*, S. 21–25, September 1995.

[Mes94] R. Messnarz. Design of a Quantitative Quality Evaluation System (QUES). Dissertation, Technische Universität Graz, Dezember 1994.

[Mes96] T. Messer. Siemens Process Improvement Approach. *Proceedings of the ISCN '96 Conference*, Brighton, 1996.

[PCC+93] M.C. Paulk, B. Curtis, M.B. Chrissis und C.V. Weber. Capability Maturity Model for Software, Version 1.1. Technischer Bericht CMU/SEI-93-TR-24, Software Engineering Institute, 1993.

[Sac93] L. Sachs. *Statistische Methoden: Planung und Auswertung*. 7. Aufl., Springer-Verlag, 1993.

[Völ94] A. Völker. Software Process Assessments at Siemens as a Basis for Process Improvement in Industry. *Proceedings of the ISCN '94 Conference*, ISCN Ltd., Dublin, 1994.

[Völ96] A. Völker. Business Benefits of SPI - Why Maturity Matters. ESSI-EUROBEST '96, Madrid, 1996.

[Völ97] A. Völker. Business Benefits of SPI – A Successful Experience at Siemens Groups. ESSI g-r-a-m, *Newsletter of the Software Best Practice Community*, 3/97, Brussels, 1997.

[WH96] I. Woodman and R. Hunter. Analysis of Assessment Data from Phase One of the SPICE Trials. *Software Process Newsletter*, 6:5-10, IEEE Computer Society TCSE, Spring 1996.