

Nutzung von Felddaten in der qualitätsgetriebenen Produktentwicklung und im Service

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur
Andreas Edler
aus Berlin

Von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
– Dr.-Ing. –

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. H. H. Pucher

Berichter: Prof. Dr.-Ing. F.-L. Krause

Berichter: Prof. Dr.-Ing. R. Woll

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 2. April 2001

Berlin 2001

D 83

*Wenn man als Werkzeug nur einen Hammer hat,
sieht jedes Problem wie ein Nagel aus.*

(Abraham H. Maslow)

Vorwort des Autors

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der Technischen Universität Berlin und am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK). Meine Arbeit hat mich mit vielen Menschen zusammengeführt, denen auf unterschiedliche Weise mein Dank gebührt.

Herrn Prof. Dr.-Ing. F.-L. Krause, dem Leiter des Bereichs Virtuelle Produktentwicklung am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik und des Fachgebiets Industrielle Informationstechnik an der Technischen Universität Berlin, danke ich für seine wohlwollende Unterstützung sowie für die wertvollen Anregungen und kritischen Hinweise während der Anfertigung dieser Arbeit. Weiterhin möchte ich mich für die Jahre der angenehmen und kooperativen Zusammenarbeit bedanken.

Ebenso gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. R. Woll, dem Inhaber des Lehrstuhls für Qualitätsmanagement an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, für das entgegenbrachte Interesse und die Übernahme des Korreferats. Herrn Prof. Dr.-Ing. H.-H. Pucher danke ich für die Übernahme des Vorsitzes im Promotionsausschuss.

Weiterhin danke ich allen Mitarbeitern des IWF und IPK – insbesondere den wissenschaftlichen und studentischen Kollegen meiner ehemaligen Abteilung Technologische Planungssysteme – für ihre stete und vielfältige Hilfsbereitschaft. Mein besonderer Dank für die hervorragende Unterstützung bei der Umsetzung des Software-Prototypen gilt den Herren A. Bluhm, H. Jungk, A. Timm, R. Valdivia und D. Volk. Ebenso danke ich Herrn Dr.-Ing. A. Ulbrich und Herrn Dr.-Ing. P. Zieheil für ihre konstruktiven Anmerkungen bei der sorgfältigen Durchsicht des Manuskripts.

Ganz besonders herzlich bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern für die während meiner gesamten Ausbildung geleistete Fürsorge und Motivation sowie bei meiner Freundin Anja, die mich in vielfältiger Weise unterstützt und mir stets den nötigen Rückhalt bei der Erstellung der Arbeit gegeben hat.

Inhalt

1	Einleitung und Zielsetzung.....	1
2	Ausgangssituation.....	5
2.1	Begriffsbestimmung.....	5
2.2	Quellen von Felddaten	8
2.3	Nutzung von Felddaten in Service- und Produktentwicklungsprozessen.....	9
2.4	Qualitätsmethodeinsatz in der Produktentwicklung.....	11
3	Stand der Technik.....	15
3.1	Datenbanksysteme	15
3.2	Wissensbasierte Systeme	17
3.3	Entwicklungsstand von Konzepten zur Nutzung von Felddaten.....	22
3.3.1	Allgemeine Ansätze.....	22
3.3.2	Serviceinformationskonzepte.....	23
3.3.3	Reklamationsmanagement	24
3.3.4	Verfolgung des Produktlebenslaufs.....	25
3.3.5	Erfassung und Auswertung von Produktzustandsinformationen.....	25
3.3.6	Felddatennutzung im präventiven Qualitätsmanagement.....	26
3.4	Systemtechnische Unterstützung.....	28
3.4.1	EDM-Systeme.....	28
3.4.2	Qualitätsinformationssysteme.....	30
3.4.3	Reklamationsmanagementsysteme.....	31
3.4.4	Systeme zur Methodenunterstützung.....	31
3.5	Defizite im Hinblick auf die Felddatennutzung.....	34
4	Anforderungen an Konzepte zur Nutzung von Felddaten.....	36
4.1	Organisatorische Anforderungen	36
4.2	Funktionale Anforderungen	38
4.3	Systemtechnische Anforderungen.....	39
4.4	Anforderungen an die Datenmodellierung.....	42

5	Konzept für die Nutzung von Felddaten in der Produktentwicklung und im Service.....	44
5.1	Spezifikation eines Datenmodells zur Abbildung von Felddaten.....	44
5.1.1	Grafische Repräsentation des Objektmodells	44
5.1.2	Basismodelle einer felddatenbasierten Fallbasis	46
5.2	Aufbau von Qualitätsregelkreisen auf Basis von Felddaten	56
5.2.1	Fehlermanagement	56
5.2.2	Optimierung des Services	57
5.2.3	Optimierung der Produktentwicklung	59
5.3	Methodenübergreifende Werkzeuge	60
5.3.1	Bausteine zur Erfassung von Felddaten	60
5.3.2	Abfrage von felddatenbasiertem Wissen	70
5.4	Entwicklung von Werkzeugen zur Unterstützung der betrachteten Methoden	74
5.4.1	Erweiterung von Qualitätsmanagementmethoden.....	74
5.4.2	Felddatennutzung im Quality Function Deployment (QFD)	75
5.4.3	Felddatennutzung in der Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA)	76
5.4.4	Felddatennutzung in der Fehlerbaumanalyse (FTA) und der Ereignisablaufanalyse (ETA)	94
6	Prototypische Realisierung	95
7	Anwendungsszenario	100
7.1	Überblick	100
7.2	Einführungsvoraussetzungen.....	100
7.3	Unterstützung von Serviceprozessen	102
7.4	Felddatennutzung in der Produktentwicklung.....	110
7.5	Felddatenbasierte FMEA-Objektivierung.....	113
8	Zusammenfassung.....	117
9	Literatur.....	120

Verzeichnis verwendeter Abkürzungen

AP	Application Protocol (Anwendungsprotokoll)
AR	Augmented Reality
ASCII	American Standard Code for Information Interchange (Standardformat für alphanumerische Informationen)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAD	Computer Aided Design
CAQ	Computer Aided Quality Management
CAX	Allgemeine Bezeichnung für rechnerunterstützte Methoden in der Produktion
CBR	Case-based Reasoning (Fallbasiertes Schließen)
DBMS	Database Management System (Datenbankverwaltungssystem)
DFA	Design for Assembly (Montagegerechte Konstruktion)
DFM	Design for Manufacturing (Fertigungsgerechte Konstruktion)
DGQ	Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V.
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DTC	Design to Cost (Kostengerechte Konstruktion)
EDM	Engineering Data Management
EN	Europäische Norm
ERP	Enterprise Resource Management
ETA	Event Tree Analysis (Ereignisablaufanalyse)
FMEA	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse
FTA	Fault Tree Analysis (Fehlerbaumanalyse)
HoQ	House of Quality (zentrale Matrix der QFD-Methode)
HTML	Hypertext Markup Language (Formatierungssprache für Dokumente im World Wide Web)
IP	Internet Protocol
ISO	International Standardization Organization
JDBC	Java DataBase Connectivity (Java-basierter Standard für Datenbankzugriffe)
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LCU	Life Cycle Unit (Modularer Baukasten zur Erfassung von Informationen über Produktzustandsveränderungen)
ODBC	Open Database Connectivity (Standard für Datenbankzugriffe)

OMG	Object Management Group
OLE	Object Linking and Embedding
OMT	Object Modeling Technique
OODBMS	Objektorientiertes Datenbankverwaltungssystem
OOSE	Object-Oriented Software Engineering
PDM	Produktdatenmanagement
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
QDES	Quality Data Exchange Specification
QFD	Quality Function Deployment
QIM	Qualitäts-Informations-Modell
QM	Qualitätsmanagement
QMS	Quality Message Specification
RAD	Rapid Application Development (Grafische Umgebung zur Unterstützung der schnellen Anwendungsentwicklung)
RDBMS	Relationales Datenbankverwaltungssystem
RPZ	Risikoprioritätszahl (Risikomaß der FMEA)
SPC	Statistical Process Control (Statistische Prozessregelung)
SQL	Structured Query Language (Datenbankabfragesprache)
SSL	Secure Socket Layer (Technik zur verschlüsselten Übertragung von Daten über eine TCP-Verbindung)
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data (Standard für den Austausch von Produktdaten)
TCP	Transmission Control Protocol (gesicherte Duplex-Verbindung zwischen zwei Kommunikationspartnern)
TIFF	Tagged Image File Format (Grafikformat für Bitmaps)
TOPS (8D)	Team Oriented Problem Solving (Teamorientierte Problemlösung in 8 Schritten)
UML	Unified Modeling Language (Notation für objektorientierte Modellierung)
UWB	Ursache-Wirkungs-Beziehung
VDA	Verband der Automobilindustrie e. V.
VRML	Virtual Reality Modelling Language (Sprachstandard zur interaktiven Darstellung von 3D-Grafiken in einem Internetbrowser)
WWW	World Wide Web

1 Einleitung und Zielsetzung

Die zunehmende informationstechnische Durchdringung aller industriellen und vermehrt auch privaten Bereiche – nicht zuletzt durch das Internet – bewirkt eine immer größer werdende Markttransparenz unabhängig regionaler Grenzen, für private Kunden ebenso wie für Unternehmen jeder Größe. Das führt neben einem verstärkten Kosten- und Zeitdruck auf die Hersteller zu einem wachsenden Qualitätsbewusstsein der Kunden [1, 2, 3]. In Verbindung mit den steigenden Produkthanforderungen des Gesetzgebers werden die Industrieunternehmen daher mit immer höheren Erwartungen an die Qualität ihrer Produkte konfrontiert [4]. In einer derart vom Markt geprägten Wirtschaftsordnung sind Unternehmen nur dann auf Dauer in der Lage, erfolgreich zu agieren, wenn sie Waren oder Dienstleistungen mit Gewinn anbieten können, die bei den potenziellen Konsumenten durch Beschaffenheit, Lieferzeit und Preis genügend Kaufanreiz auslösen [5].

Das Erreichen dieser Ziele stellt hohe Anforderungen an die Produktentwicklung eines Unternehmens und die dort einzusetzenden Qualitätstechniken [6]. Dabei setzt sich die Erkenntnis durch, dass Qualität in erster Linie durch die qualitätsgerechte Produkt- und Prozessgestaltung sowie durch fehlerfrei ablaufende Prozesse und weniger durch Qualitätsprüfungen erreicht werden sollte [4, 5]. Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, dass im Rahmen der Produktentwicklung verstärkt diejenigen Informationen genutzt werden, die im Verlauf der Produktnutzung gewonnen werden können, die also das Gebrauchsverhalten und Fehlergeschehen von Produkten wiedergeben. Das ist insbesondere deshalb sinnvoll, da der Schwerpunkt der Entwicklungsaktivitäten eindeutig in der Anpassung und Verbesserung existierender Produkte liegt [7]. All diese Umstände können in der folgenden simplen Erkenntnis zusammengefasst werden:

Eine allseits bekannte Tatsache ist, dass Menschen aus Fehlern lernen, wenn auch unter Umständen schmerzhaft. Gleiches sollte auch für Unternehmen gelten [8].

Die meisten Unternehmen verfügen über gut funktionierende vorwärtsgerichtete Informationsflüsse, d. h. entlang des Produktlebenszyklus von der Planung bis zur Herstellung und Nutzung [9]. Unterstützt werden diese Informationsflüsse

nicht zuletzt durch die intensive Nutzung von rechnerunterstützten Hilfsmitteln, wie beispielsweise CAx-Systemen und Kommunikationstechnologien [10]. Aus Sicht des Qualitätsmanagements, aber auch unter Kosten- und Zeitaspekten betrachtet, ist diese einseitige Ausrichtung der Informationsflüsse sehr problematisch [9]. Insbesondere die Informationen über die Konsequenzen der Entscheidungen aus den planerischen Bereichen, die z. B. als Fehler und Schwachstellen in Produktion und Produktnutzung sichtbar werden, werden nur eingeschränkt nutzbar gemacht. Zur Innovation und kontinuierlichen Verbesserung der Unternehmensleistung ist es notwendig, neben den vorwärtsgerichteten auch die entgegengesetzten Informationsflüsse zu etablieren, die von der Nutzung in die Planung zurückführen. Im Sinne eines Feedbacks können so Qualitätsregelkreise geschlossen werden [11, 12]. Daher müssen Felddaten, die das Gebrauchsverhalten von Produkten repräsentieren, in vorgelagerten Phasen genutzt werden (Abbildung 1-1).

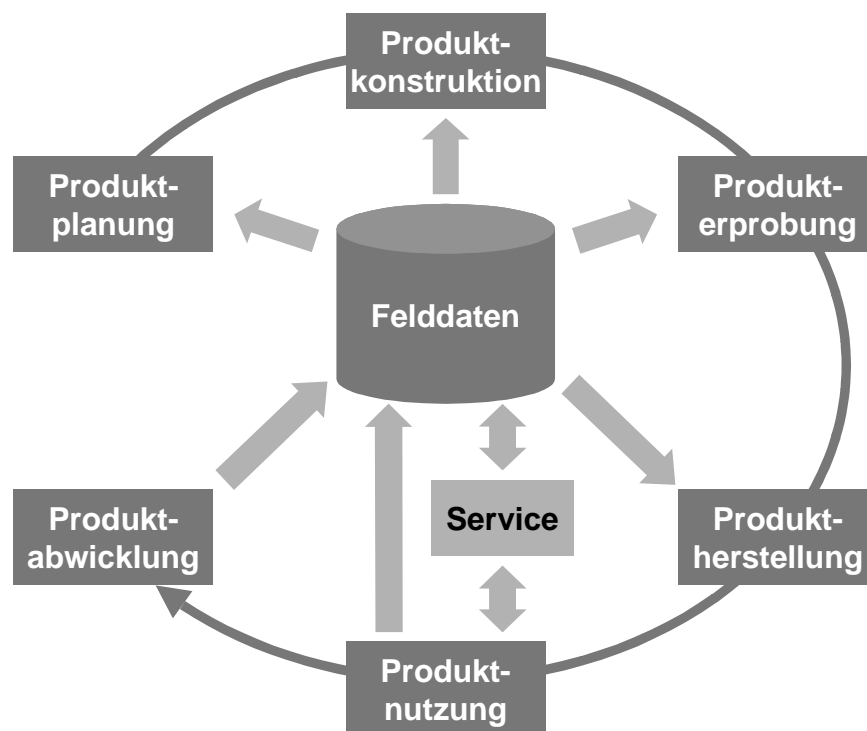


Abbildung 1-1: Nutzung von Felddaten im Produktlebenszyklus

Unternehmen, die komplexe Produkte verkaufen, sehen sich darüber hinaus mit der Aufgabe konfrontiert, einen leistungsfähigen Service anbieten zu müssen, um am Markt bestehen zu können. Angesichts immer kürzerer Innovationszyklen und immer leistungsfähigerer Produkte erfordert auch die Serviceunterstützung

zunehmend mehr Fachwissen. Das gilt insbesondere für die schnelle und kompetente Behebung von Störungen. Die Fehlerursachen liegen häufig nicht nur in technischen Mängeln der Produkte sondern sind oft auch in Bedienungsfehlern, einer falschen Konfiguration oder einer inadäquaten Betriebsweise begründet [13]. Dieser Problematik kann mit der Nutzung von Felddaten im Service begegnet werden. Auf Grundlage zuvor durchgeführter und dokumentierter Reparaturen an vergleichbaren Produkten können für einen konkreten Problemfall Ursachenanalysen optimiert und geeignete Maßnahmen abgeleitet werden. Somit lassen sich Zeit und Kosten sparen und vor allem die Serviceleistungen qualitativ verbessern.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zur Optimierung von Produktentwicklung und Service zu leisten, indem für diese Bereiche Funktionen zur Nutzung der während des Produktgebrauchs gewonnenen Informationen bereitgestellt werden. Hierzu wird ein Datenmodell entwickelt, das die strukturierte Abbildung von Felddaten ermöglicht. Auf dieser Basis wird ein Konzept erarbeitet, das eine systematische Erfassung von Felddaten durch den Service oder den Anwender ermöglicht, um eine spätere Nutzung dieser Daten zu gewährleisten. Darüber hinaus wird dargestellt, wie auf Grundlage der Felddaten eine fallbasierte Wissensbasis aufgebaut werden kann, die Funktionen der Fehlerbehebung und -vermeidung in Service und Produktentwicklung ermöglicht. Zu diesem Zweck werden zu einem konkreten Problem ähnliche Fälle der Fallbasis herangezogen, um im Service die Ursachenanalyse zu unterstützen und geeignete Maßnahmen vorzuschlagen. Für den Bereich der Produktentwicklung werden Felddaten genutzt, um präventive Qualitätsmanagementmaßnahmen zu optimieren. Das bedeutet, dass im Rahmen des Quality Function Deployment Kundenanforderungen und deren Gewichtung aus den Felddaten abgeleitet werden. Schwerpunktartig wird in der vorliegenden Arbeit jedoch die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse betrachtet. Hierbei wird zum einen die Suche nach potenziellen Fehlern unterstützt, indem das Fehlergeschehen vergleichbarer Produkte zur Analyse und Maßnahmenableitung herangezogen wird. Zum anderen erfolgt eine Objektivierung der Risikoanalyse auf Basis von Felddaten durch die Berechnung der Risikokennzahlen durch eine qualitative und quantitative Analyse des Fehlergeschehens existierender Produkte.

Die Vorteile einer Erfassung und Nutzung von Felddaten für ein Unternehmen, das Produkte entwickelt oder Servicedienstleistungen anbietet, ergeben sich daher aus

- einer qualitativen Verbesserung der Ursachenanalyse eines Schadens sowie der verbesserten und beschleunigten Fehlerbehebung durch Ableitung geeigneter Maßnahmen,
- einer verbesserten Berücksichtigung von Kundenanforderungen bei der Entwicklung von Folgeprodukten,
- einer transparenten Darstellung des Fehlergeschehens von im Einsatz befindlichen Produkten im Rahmen der Optimierung von Produkten durch Variation sowie
- einer verbesserten Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse durch die Objektivierung der Risikoanalyse und der Verbesserung der Fehlersuche.

Die Tragfähigkeit der entwickelten Konzepte wird schließlich anhand prototypisch umgesetzter Softwarewerkzeuge nachgewiesen und mit Hilfe beispielhafter Anwendungsszenarien dargestellt.

2 Ausgangssituation

2.1 Begriffsbestimmung

Zur einheitlichen Sprachregelung im weiteren Verlauf der Arbeit und zum besseren Verständnis werden im folgenden Begriffe beschrieben, die im Zusammenhang mit der Erfassung von Felddaten und deren späterer Nutzung im Hinblick auf eine methodische und systemtechnische Unterstützung von Produktentwicklung und Service relevant sind.

Felddaten

Eine recht einschränkende Definition bezeichnet *Felddaten* als *die während der Nutzungsphase auftretenden Ausfälle und die damit verbundenen Daten* [14]. Aufgrund der Tatsache, dass bei der Produktnutzung neben diesen Ausfalldaten weitere Daten anfallen, die für die Produktentwicklung und den Service relevant sind, wird die genannte Definition für den weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit erweitert. Hierbei werden unter *Felddaten alle Daten verstanden, die im Zusammenhang mit der Nutzung eines Produktes im Feld oder der Inanspruchnahme einer Dienstleistung durch den Kunden anfallen*. Hierzu gehören neben Fehlern, Störungen, Mängeln oder Ausfällen auch Nutzungsinformationen wie z. B. Maschinenlaufzeiten, Verbrauch von Betriebsstoffen, Erfahrungen in der Anwendung, Verbesserungsvorschläge sowie positive Rückmeldungen und die vom Anwender geäußerten Anforderungen an die nächste Produktgeneration, wenn die im Einsatz befindlichen Produkte diese Anforderungen nicht ausreichend erfüllen.

Fehler

Eine Schlüsselstellung im Rahmen der Nutzung von Felddaten nimmt der Begriff *Fehler* ein, der nach DIN EN ISO 9000:2000 als *Nichterfüllung einer Anforderung* definiert wird [15]. Anforderungen sind in diesem Zusammenhang alle Erfordernisse oder Erwartungen, die festgelegt, üblicherweise vorausgesetzt oder verpflichtend sind.

Mangel

Unter einem *Mangel* ist die *Nichterfüllung einer Anforderung in bezug auf einen beabsichtigten oder festgelegten Gebrauch* zu verstehen [15].

Störung

Eine *Störung* wird definiert als eine *fehlende, fehlerhafte oder unvollständige Erfüllung einer geforderten Funktion durch eine Einheit* [16]. Unter *Einheit* wird hierbei ein materieller oder immaterieller Gegenstand der Betrachtung verstanden, also z. B. ein Produkt, eine Baugruppe oder ein Prozess.

Ausfall

Ein *Ausfall* bedeutet die *Beendigung der Funktionsfähigkeit einer materiellen Einheit im Rahmen der zugelassenen Beanspruchung* [16].

Instandhaltung

Die *Instandhaltung* wird definiert als *die Gesamtheit aller Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustands sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustands* [17]. Die ereignisorientierte Instandsetzung, die auch als Reparatur bezeichnet wird, ist somit Bestandteil der Instandhaltung [18].

Kundendienst

Unter *Kundendienst* versteht man *die Dienstleistung eines Lieferanten gegenüber seinem Kunden bzw. Auftraggeber mit dem Zweck, dass diesem sein Angebotsprodukt auch nach dem Gefahrenübergang während der ganzen Produktlebensdauer den geforderten oder erwarteten Nutzen bringt* [16]. Der Kundendienst kann in zwei Bereiche unterteilt werden. Während der erste Bereich eher kundenorientierte Elemente wie z. B. Beratung vor dem Kauf, Planung und Projektmanagement beinhaltet, umfasst der zweite Bereich – der *technische Kundendienst* – ausschließlich die produktorientierten Bestandteile wie etwa Montage, Installation, Fehlerbehebung oder Um- und Nachrüstung [18]. Die Begriffe Service und After-Sales-Service werden im allgemeinen synonym zum technischen Kundendienst verwendet [19]. Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang dem mobilen Service zu, der Wartungs- und Instandsetzungsaufgaben beim Kunden mit eigenen oder beauftragten Servicetechnikern wahrnimmt.

Wissen

Der Wissensbegriff wird unter verschiedenen Sichtweisen unterschiedlich definiert und verwendet. Die im Rahmen dieser Arbeit relevante Betrachtung beschränkt sich auf die rechnerinterne Repräsentation von Wissen, für die allerdings auch keine allgemeingültige Definition existiert. Die Wissensrepräsentation lässt sich hierbei definieren als *eine Menge syntaktischer und semantischer Konventionen zur Beschreibung von Dingen und Sachverhalten* [1].

In einer anschaulichen Begriffsverwendung bedeutet Wissen, *Erfahrungen und Einsichten zu besitzen, aus denen Urteile und Schlüsse gezogen werden können, die wiederum sicher genug erscheinen, um selbst als Wissen gelten zu können* [20].

Wichtig für die Zusammenhänge im weiteren Verlauf der Arbeit ist aber die Abgrenzung des Wissensbegriffs zu *Daten* und *Informationen*. Auf der untersten Ebene dieser Begriffshierarchie befinden sich Daten, über die jedoch noch keine Aussage hinsichtlich deren Verwendungszweck getroffen werden kann. Werden die Daten analysiert und interpretiert und somit mit einem Kontext angereichert, werden sie zu Informationen. Von Wissen spricht man erst dann, wenn diese Informationen von einem Anwender genutzt werden und den Anwender zu Handlungen befähigen, die er ohne dieses Wissen nicht hätte ausführen können (Abbildung 2-1).



Abbildung 2-1: Daten/Informationen/Wissen-Abgrenzung [21]

Fehlermanagement

Das *Fehlermanagement*, auch bekannt unter dem Begriff *Verbesserungsmanagement*, ist *eine Strategie zur informationstechnischen Gestaltung lernender Organisationen, die die reaktive Behandlung beobachteter Probleme und die proaktive Problemvermeidung und Chancennutzung im Qualitätsmanagement komplexer Produkte angeht* [6, 8]. In der vorliegenden Arbeit wird das Management produktbezogener Fehler betrachtet.

2.2 Quellen von Felddaten

Im Zusammenhang der Rückführung von Daten aus der Produktnutzung in vorgelagerte Phasen sind vor allem konkrete produktbezogene Informationen relevant. Allgemeine Informationen, wie sie beispielsweise die Marktforschung liefert, werden in der vorliegenden Arbeit nicht näher betrachtet, wenngleich ein Teil davon per Definition auch zu den Felddaten gehört. Die Felddaten, die zur Beurteilung der Produkte und zur Ableitung der entsprechenden Maßnahmen notwendig sind, stammen aus unterschiedlichen Quellen, von denen die wesentlichen im folgenden beschrieben werden.

Kunde

Die vom Kunden gelieferten Felddaten gehen meist einher mit Reklamationen während der Garantiezeit oder Beanstandungen bei Erhalt oder Inbetriebnahme des Produktes. Es handelt sich dann beispielsweise um Prüfberichte der Wareneingangskontrolle, um Reklamationsberichte, um Kundenlogbücher sowie um Garantie- oder Störmeldungen [22]. Darüber hinaus lassen kundenseitige Ersatzteilbestellungen ebenfalls Rückschlüsse auf Ausfälle während der Produktnutzung zu.

Service

Servicebereiche liefern in der Regel detailliertere und in einen bestimmten Kontext eingeordnete Felddaten, die im Rahmen von Inbetriebnahme, Montage-, Wartungs- oder Instandsetzungsarbeiten aufgenommen werden können. Dies gilt für eine zum Herstellerunternehmen gehörende Serviceabteilung und für externe Servicedienstleister gleichermaßen. Die Felddaten werden zunächst meist in Berichtsform dokumentiert, beispielsweise mit Hilfe von Wartungs- und Serviceberichten, Abnahmeprotokollen, Ersatzteilanforderungen oder Diagnoseberichten [23].

Automatische Erfassungseinrichtungen

Die Produkte selbst können ebenfalls eine Quelle für Felddaten sein, sofern sie mit geeigneten Erfassungseinrichtungen wie Sensoren, Fahrtenschreiber oder Messgeräten ausgestattet sind. Die auf diese Weise erfassten Daten sind von un-

terschiedlicher Art und werden in verschiedenen Formaten erzeugt. Die typischen Formen sind hier Kennlinien, Messprotokolle und Zustandsmeldungen wie Fehler oder Warnungen [24]. Konfigurierbare Systeme für die automatische Datenerfassung werden unter anderem für die präventive Instandhaltung in der Luftfahrtindustrie eingesetzt [25].

2.3 Nutzung von Felddaten in Service- und Produktentwicklungsprozessen

Bei der Entwicklung mechanischer Produkte liegt der Schwerpunkt der Aktivitäten eindeutig in der Anpassung und Verbesserung existierender Produkte. Komplette Neukonstruktionen sind eher die Ausnahme [7]. Daher ist es nicht nur naheliegend sondern zwingend notwendig, Erfahrungen aus der Nutzung bereits im Einsatz befindlicher Produkte bei der Entwicklung zu berücksichtigen [4, 12]. Bislang hat diese Erkenntnis in den Unternehmen jedoch nicht zu entsprechenden Maßnahmen geführt, obwohl die Informationsrückführung aus dem Feld sogar in qualitätsbezogenen Normen verankert ist [26, 27]. Hauptgrund dafür ist die in diesem Bereich fehlende Systemunterstützung, ein Defizit, aus dem sich der Hauptansatz der vorliegenden Arbeit ergibt.

In Abbildung 2-2 sind die entscheidenden Qualitätskreise von der Produktnutzung in vorgelagerte Phasen sowie zum Service dargestellt. Eine Verbesserung der Produktentwicklung durch die Nutzung von Felddaten kann in unterschiedlichen Phasen erfolgen. Eine auf Grundlage von Felddaten erstellten Wissensbasis kann Erfahrungswissen für unterschiedliche Phasen anbieten.

In der Produktplanung müssen für Folgeprodukte beispielsweise diejenigen Anforderungen berücksichtigt werden, die vom Kunden aufgrund vermisster Funktionen oder einer umständlichen Handhabung des eingesetzten Produktes geäußert werden. Diese Anforderungen werden entweder im Dialog mit dem Service oder über die Auswertung von Kundenreklamationen erfasst.

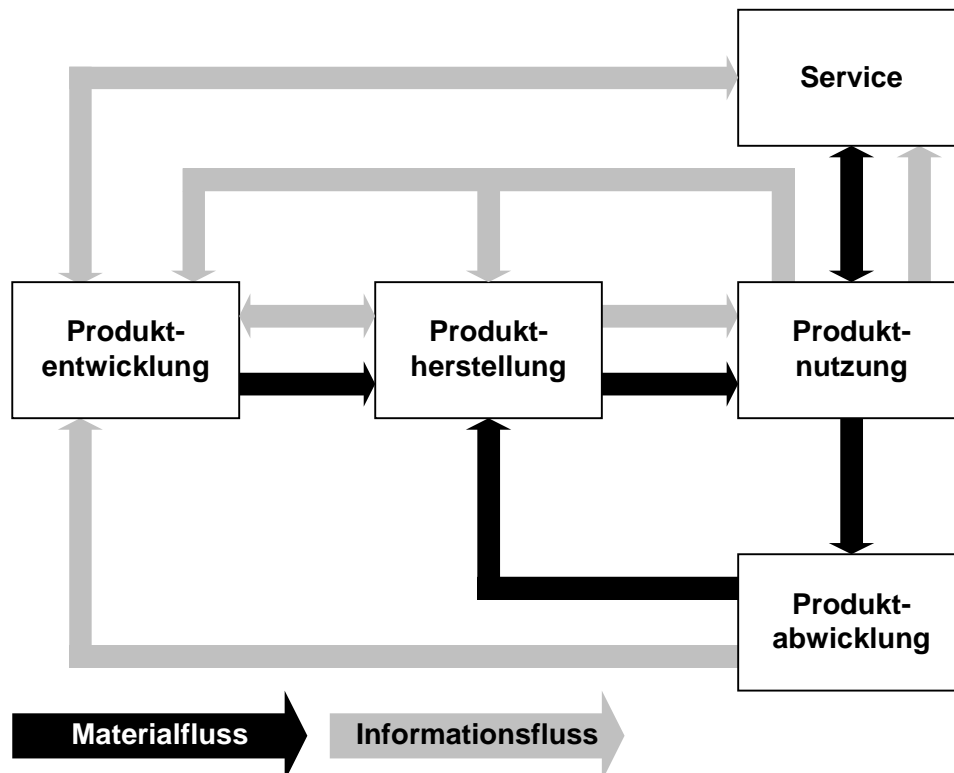


Abbildung 2-2: Qualitätskreise auf Basis von Felddaten

Für die Optimierung der Konstruktionsprozesse lassen sich zahlreiche in der Produktnutzung gewonnenen Informationen verwenden. Hierzu zählen insbesondere Fehler und Schwachstellen bezüglich der Funktionalität, Anwendung, Wartung, Montier- und Demontierbarkeit. Darüber hinaus können in der Nutzungsphase auch direkte Anforderungen an Funktionalität oder Geometrie der Produkte gewonnen werden, die in der Regel im Kundendialog identifiziert und vom Service erfasst werden.

Die Produkterprobung liefert erste Erkenntnisse über die Qualität des Produktes und soll Fehler und Schwachstellen aufdecken, bevor eine Auslieferung an den Kunden erfolgt. Daher liefern die in der Nutzungsphase aufgetretenen Fehler wertvolle Hinweise über Betrachtungsmerkmale und Zielgrößen im Rahmen der Erprobung. Außerdem können für Methoden der Versuchsplanung auch bislang unberücksichtigte Einflussgrößen offensichtlich werden. Die geschilderten Nutzungsmöglichkeiten von Felddaten in den unterschiedlichen Phasen sind in Abbildung 2-3 dargestellt.

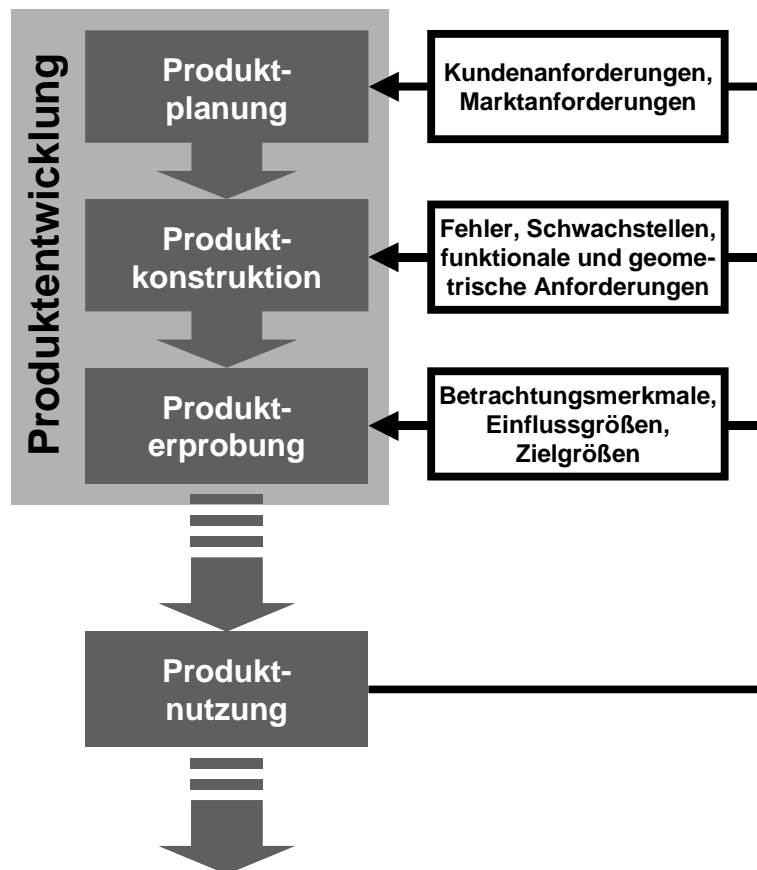


Abbildung 2-3: Nutzung von Felddaten in unterschiedlichen Phasen der Produktentwicklung

Eine Optimierung der Serviceprozesse auf Basis von Felddaten ist ebenfalls möglich. Hierzu werden auf Grundlage einer detaillierten Beschreibung des aktuellen Problems ähnliche Fälle aus der Felddatenbasis herausgesucht. Die mit diesen Fällen dokumentierten kausalen Ketten bieten Unterstützung für die Ursachenanalyse insbesondere bei komplexen Problemen, wenn eine hinreichende Vergleichbarkeit zwischen dem gegenwärtigen Problem und einem Fall der Felddatenbasis besteht. Darüber hinaus erhält der Servicetechniker auf Basis der zu diesen Fällen abgelegten Maßnahmen Vorschläge für die Lösung des akuten Problems.

2.4 Qualitätsmethodeneinsatz in der Produktentwicklung

Felddaten spiegeln das Anwendungsverhalten der im Einsatz befindlichen Produkte realistisch wider, sofern sie richtig erfasst und zweckmäßig aufbereitet werden. Insofern ist die Nutzung von Felddaten durch entwicklungsbegleitend angewendete Qualitätsmethoden sinnvoll und kann einen deutlichen Mehrwert

gegenüber der herkömmlichen Methodenanwendung bieten, wenn sich das zu entwickelnde Produkt nicht vollständig von den Produkten unterscheidet, deren Daten während der Nutzungsphase erfasst wurden.

Für das entwicklungsbegleitende Qualitätsmanagement existiert eine ganze Reihe wirksamer Methoden und Techniken, die im betrieblichen Alltag jedoch nicht konsequent und durchgängig eingesetzt werden [1, 28]. Diesen Sachverhalt unterstreichen auch mehrere Umfragen unter deutschen Unternehmen, die ergaben, dass zwischen der Wertschätzung präventiver Qualitätsmanagementmethoden und deren tatsächlicher Anwendung eine deutliche Lücke klafft (Abbildung 2-4) [29, 30, 31].

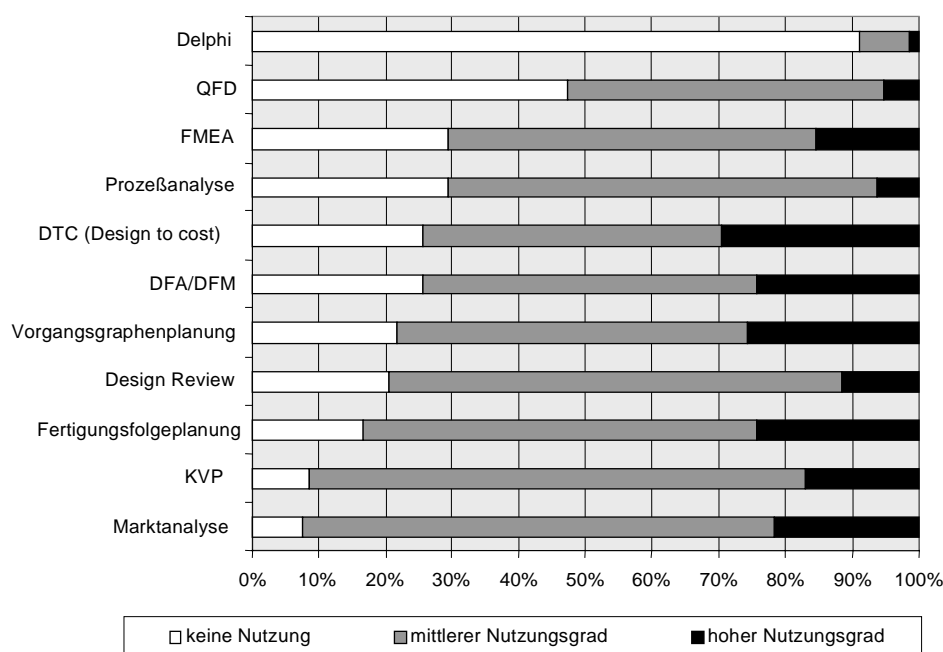


Abbildung 2-4: Nutzungsgrad von Methoden in deutschen Industrieunternehmen¹

Grund dafür ist nicht der Zweifel an der Wirksamkeit, sondern vor allem, dass für den Einsatz dieser Methoden auch ein erhöhter Aufwand erforderlich ist, so z. B. Qualifizierungsmaßnahmen für Mitarbeiter und Anpassungen der Methoden an die unternehmensspezifische Situation. Darüber hinaus existieren auch informationstechnische Hemmnisse, wie die in der Regel ungenügende System-

¹ Die Ergebnisse entstammen einer Studie der Fraunhofer-Institute IPA, IPK und IAO, in dessen Rahmen eine Umfrage unter Industrieunternehmen verschiedener Größe durchgeführt wurde [30]

unterstützung sowie die fehlende Integration angebotener Systeme in die unternehmensspezifischen IT-Landschaften, was dazu führt, dass die für die Methodenanwendung benötigten Daten neu erfasst werden müssen und die von den methodenunterstützenden Systemen erzeugten Ergebnisse nur mit hohem Aufwand weiterverarbeitet werden können.

Die für die unterschiedlichen Produktentstehungsphasen relevanten Qualitätsmanagementmethoden sind beispielhaft in Abbildung 2-5 dargestellt.

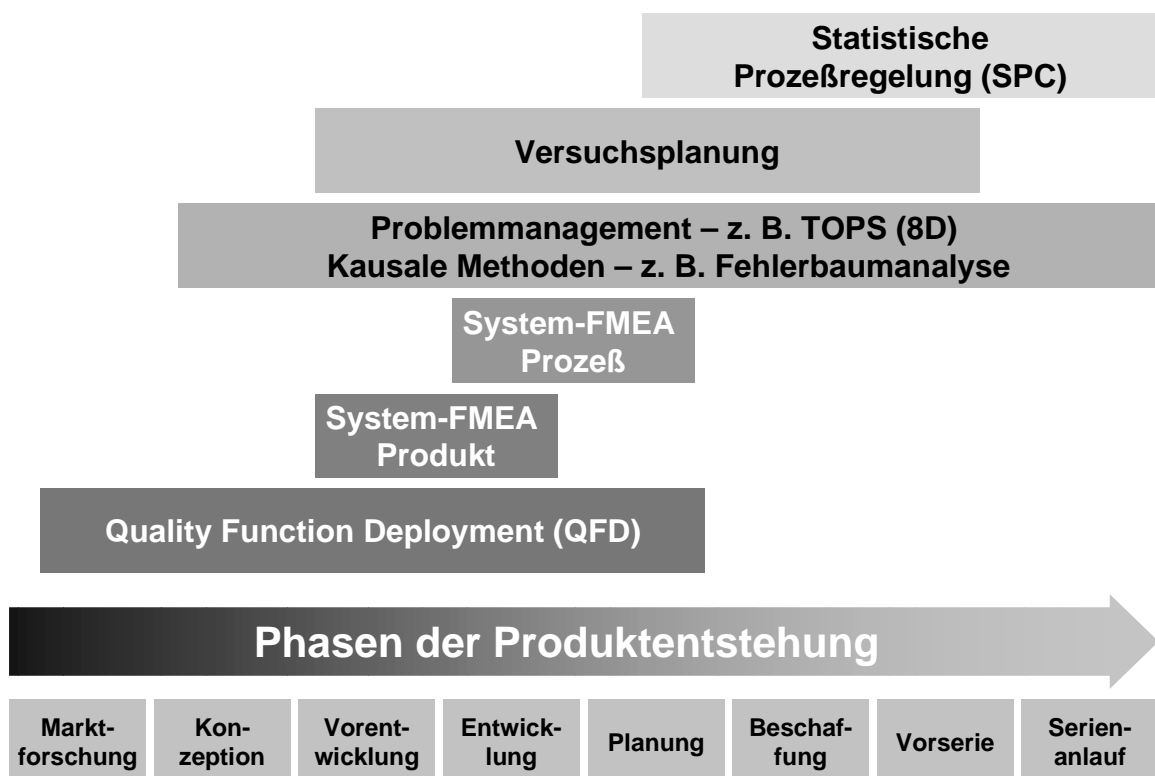


Abbildung 2-5: Einsatz von Qualitätsmanagementmethoden in der Produktentstehung in Anlehnung an VDI Richtlinie 2247 [32]

Aufgrund der Anwendungsbereiche, der Einsatzzeitpunkte und der methodischen Ansätze eignen sich insbesondere

- das Quality Function Deployment (QFD),
- die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) sowie
- die weiteren kausalen Methoden wie z. B. die Fehlerbaumanalyse (FTA)

für eine Nutzung von Felddaten. Grund dafür ist, dass diese Methoden eine kreative Komponente beinhalten, in der der Zugriff auf Erfahrungswissen – also auch

auf Erfahrungen aus der Produktnutzung – notwendig ist. Das gilt für die Ableitung der Produkthanforderungen in der QFD ebenso wie für die Bestimmung potenzieller Fehler oder kausaler Ketten in der FMEA oder der FTA. Darüber hinaus können Felddaten auch zu einer Objektivierung der Risikoanalyse im Rahmen der FMEA beitragen, indem das reale Fehleregeschehen entsprechende Wahrscheinlichkeitswerte bei der Betrachtung ähnlicher Produkte liefert.

3 Stand der Technik

3.1 Datenbanksysteme

In den folgenden beiden Kapiteln werden zunächst Datenbanksysteme und wissensbasierte Systeme erläutert, die die Grundlage für die nachfolgenden Konzepte bilden. Die Kapitel 3.3 und 3.4 widmen sich schließlich dem Stand der Technik bezogen auf die konkrete Problematik der Felddatennutzung.

Ein Datenbanksystem besteht aus einer Datenbasis sowie einem Datenbankverwaltungssystemen (DBMS). Für die Datenverwaltung in Informationssystemen haben sich neben objektorientierten Ansätzen vor allem relationale Datenbankverwaltungssysteme (RDBMS) für die Bewältigung großer Datenmengen durchgesetzt [33, 34]. Objektorientierte Datenbankverwaltungssysteme (OODBMS) integrieren die Repräsentation von Struktur und Verhalten der Anwendungsobjekte und sind somit in ihrer Funktionalität den relationalen Systemen überlegen, sie sind allerdings in Bezug auf Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit den marktgängigen relationalen Systemen bislang nicht ebenbürtig [35, 36]. Die derzeit am häufigsten verwendeten relationalen Datenbanksysteme sind plattformübergreifend einsetzbar, was für eine industrielle Anwendung in heterogenen Strukturen mit teilweise dezentral gewachsenen Datenbeständen eine wichtige Voraussetzung darstellt [37].

Die am häufigsten realisierte Integration eines Informationssystems in einen Rechnerverbund stellt die Client/Server-Architektur dar, für die es unterschiedlichste Ausprägungsformen gibt. Ein typisches Beispiel ist in Abbildung 3-1 dargestellt. Über Netzwerke kann die Kommunikation zwischen Rechnerarbeitsplätzen erfolgen und über Datenbankschnittstellen der Zugriff auf zentrale oder verteilte Datenbestände gewährleistet werden. Die Vorteile einer zentralen Datenbank sind die guten Wartungsmöglichkeiten sowie vor allem die Sicherstellung der Datenintegrität. Nachteilig an derartigen Konzepten ist die Tatsache, dass mit dem Ausfall der zentralen Datenbank oder einer Netzwerkunterbrechung ein Systemstillstand einhergeht. Bei verteilten Datenbanken müssen neben einem erhöhten Wartungsaufwand vor allem Mechanismen bereitgestellt werden, die einen Abgleich dezentral gehaltener Datenbestände ermöglichen und

somit die Konsistenz des gesamten Systems sicherstellen [38]. Der Einsatz von Datenbanksystemen bietet in Bezug auf die Entwicklung komplexer Informationssysteme den Vorteil, dass bereits in der Entwurfsphase abstrakte Datenmodelle spezifiziert werden können, die aufgrund von Restriktionsformulierungen Inkonsistenzen des späteren Datenbestandes verhindern. Diese Datenmodelle können objektorientiert erstellt werden, unabhängig davon, ob bei der Implementierung relationale oder objektorientierte Systeme zum Einsatz kommen. Objektmodelle können unter Einhaltung bestimmter Konventionen und Beachtung einiger Randbedingungen problemlos in relationalen Strukturen abgebildet werden können [39].

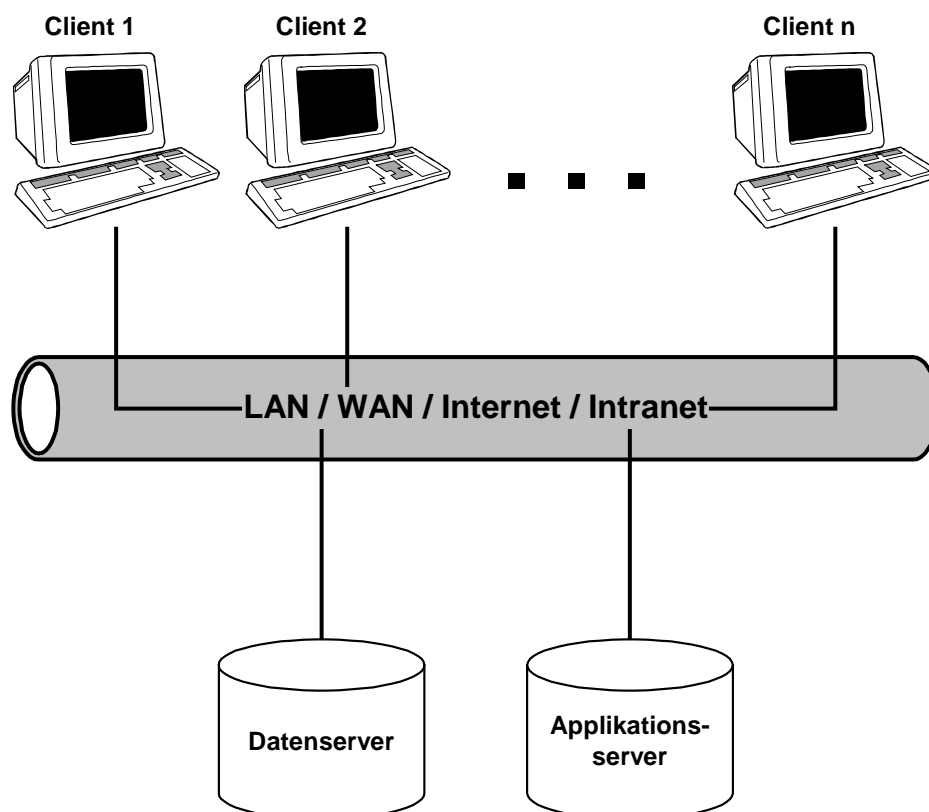


Abbildung 3-1: Client/Server-Architektur

Durch Verwendung der Abfragesprache SQL (Structured Query Language) für den Zugriff auf die Daten werden Inkompatibilitäten einzelner Rechnersysteme weitgehend umgangen [40]. SQL hat sich aufgrund des einfach zu erlernenden Sprachumfangs und -gebrauchs als Standard durchgesetzt und wird von vielen kommerziellen Anwendungsprogrammen sowie für die Einbettung in Entwicklungsumgebungen unterstützt [41].

3.2 Wissensbasierte Systeme

Wissensbasierte Systeme sollen menschliche Experten bei ihrer Arbeit unterstützen oder in Zusammenarbeit mit ihnen einen Teil der Aufgaben übernehmen. Insbesondere bei Aufgabenstellungen, für deren Lösung komplexe Zusammenhänge beherrscht werden müssen, kommen seit Anfang der neunziger Jahre verstärkt wissensbasierte Techniken zum Einsatz [42]. Die Abgrenzung zu konventionellen Informationssystemen ergibt sich aus der Tatsache, dass wissensbasierte Systeme Erfahrungswissen sowie Wissenszusammenhänge repräsentieren und somit aus dem vorhandenen Wissen Schlussfolgerungen ableiten können.

In der Nutzung des Erfahrungswissens aus dem Produkteinsatz für die Produktentwicklung besteht ein gewaltiges Potenzial, das bislang nur unzureichend ausgeschöpft wird [4]. Ähnlich der Vorgehensweise des Menschen, Erfahrungen für neue Produktentwicklungsaufgaben zu nutzen, soll mit Hilfe wissensbasierter Systeme dieses Wissen erfasst, repräsentiert und verfügbar gemacht werden und somit personenunabhängig zur Verfügung stehen.

In Abbildung 3-2 ist der prinzipielle Aufbau eines wissensbasierten Systems dargestellt. Die Wissensbasis enthält das gesamte im System zur Verfügung stehende Wissen in Form von Fakten und Regeln. Die Problemlösungskomponente besteht aus der Ablaufsteuerung und den Inferenzstrategien. Die Inferenz verwendet zur Problemlösungsfindung systematische Ableitungsverfahren, die Ablaufsteuerung bestimmt die Reihenfolge des Schlussfolgerungsprozesses. Darüber hinaus bildet die Problemlösungskomponente die Schnittstelle zwischen der Wissensbasis und der Außenwelt, wobei die Kommunikation mit dem Benutzer indirekt über die Wissensakquisitions-, Erklärungs- und Dialogkomponente erfolgt [1].

Die Funktionalität wissensbasierter Systeme lässt sich in drei Bereiche untergliedern. In Rahmen der sogenannten Wissensrepräsentation ist zunächst das Wissen in einer geeigneten Form abzubilden. Hierfür muss ein entsprechendes Datenmodell spezifiziert werden. Als weitere Aufgabe ist die Unterstützung der Wissensakquisition, also der Wissenseingabe durch den Anwender, zu nennen. Schließlich hat die Wissenskonsultation die Funktion, das Wissen zur Lösung

bestimmter Probleme aufgabengerecht auszugeben und somit nutzbar zu machen [42].

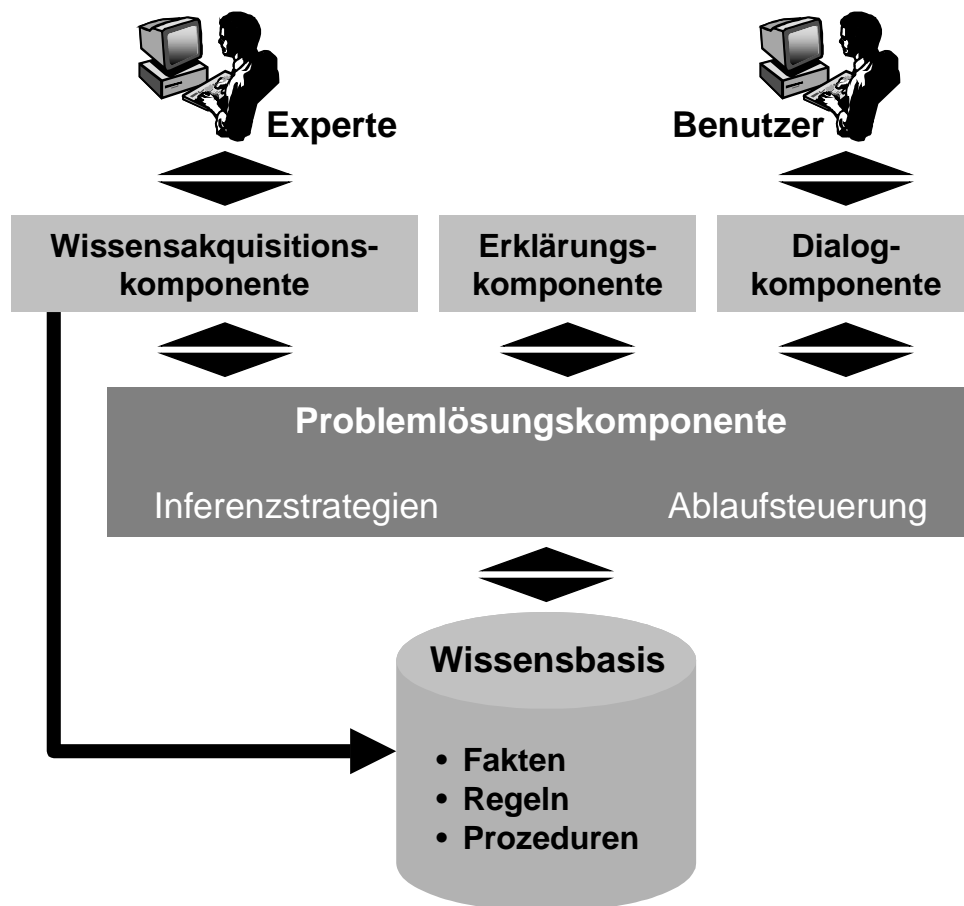


Abbildung 3-2: Aufbau wissensbasierter Systeme nach Spur, Krause [1]

Für die Wissensakquisition stehen indirekte, direkte und automatische Methoden zur Verfügung [43, 44]. Bei der indirekten Methode übernimmt ein Wissensingenieur die Eingabe der Wissensinhalte in das System, die er mittels Befragung von einem Fachexperten erfährt. Diese Vorgehensweise ist mit einem hohen Aufwand verbunden und kann leicht zu Vorbehalten seitens des Fachexperten führen, weil die Wissensrepräsentation im System für ihn nicht transparent ist. Indirekte Verfahren sind erforderlich, wenn für die Bedienung des Systems umfangreiche informationstechnische Kenntnisse benötigt werden, die der Fachexperte für gewöhnlich nicht mitbringt [45].

Bei direkten Methoden der Wissensakquisition ist eine bessere Akzeptanz gegeben, da der Fachexperte im direktem Dialog sein Wissen in das System eingibt. Die direkte Wissensakquisition erfordert allerdings eine geeignete formale Ab-

bildung des Wissens im System sowie eine leistungsfähige und ergonomische Benutzerführung [42].

Im Bereich der automatischen Wissensakquisition wird das benötigte Wissen auf Basis vorhandener Daten „erlernt“. Hierzu dienen beispielsweise Falldaten in ausreichender Menge, die durch Generalisierung und Analogienbildung zur Gewinnung des Wissens beitragen. Dabei werden die neuen Erkenntnisse mit Einträgen der Wissensbasis verglichen, um Redundanzen und Widersprüche zu verhindern. Diese Form der Wissensakquisition hat den Vorteil, dass für den Wissenserwerb eines Systems kein Anwender erforderlich ist. Darüber hinaus werden bei geeigneter Auswahl der Falldaten subjektive Einflüsse weitestgehend ausgeschlossen.

Wissensbasierte Systeme gründen sich – aufgrund der Unterschiedlichkeit der Domänen, in denen sie eingesetzt werden – auf verschiedene Techniken. So existieren als wichtigste Realisierungsformen regelbasierte Systeme, fallbasierte System oder neuronale Netze [46]. Da für die Nutzung von Felddaten aufgrund der Möglichkeit einer Dokumentation zahlreicher Fälle im Zusammenhang der Produktnutzung ein Einsatz der Technik des fallbasierten Schließens² gut geeignet ist, wird sie an dieser Stelle kurz dargestellt.

Grundlagen des fallbasierten Schließens

Beim fallbasierten Schließen erfolgt die Wissensrepräsentation durch eine Falldatenbasis, ein Ähnlichkeitsmodell und durch Heuristiken zur Anpassung von Problemlösungen. Fälle bestehen hierbei aus einer Beschreibung des Problems und aus der dazugehörigen Problemlösung. Die Problembeschreibung erfolgt über die Angabe kennzeichnender Merkmale, die durch numerische Werte, attributive Werte aber auch zusammengesetzte Datentypen, beispielsweise zur Geometrirepräsentation, abgebildet werden [42]. Die verwendeten Merkmale sind dabei weniger objektspezifisch sondern vielmehr problemspezifisch. So wird z. B. das Problem der Einbaufähigkeit eines Bauteils in eine Baugruppe durch die Maße des Bauteils und die des entsprechenden Einbauraums der Baugruppe

² Für fallbasiertes Schließen ist der englische Begriff „Case-Based Reasoning“ (CBR) gebräuchlich.

charakterisiert. Probleme der Standzeit des Bauteils hingegen werden durch Merkmale wie etwa Belastung, Material, Temperatur und Geometrie gekennzeichnet. Die Festlegung geeigneter Merkmale zur Beschreibung von Fällen ist von entscheidender Bedeutung, fällt aber in vielen Domänen sehr schwer.

Das Grundkonzept des fallbasierten Schließens ist die Generalisierung der Problemlösung eines bekannten Falls, um sie auf einen aktuellen Fall zu übertragen. Voraussetzung hierfür ist eine hinreichend große Ähnlichkeit beider Fälle. Erkenntnistheoretisch ist das fallbasierte Schließen somit eine Unterklasse des induktiven Schließens [47]. Bei der Anwendung der Induktion besteht daher stets auch eine Irrtumsmöglichkeit, wenn als ähnlich betrachtete Fälle unterschiedliche Lösungen erfordern. Dafür gibt es mehrere Gründe. So kann beispielsweise die zugrundeliegende Fallbeschreibung ungeeignet sein, da sie nicht die Determinanten des Problems abbildet. Viele reale Probleme sind auch zu komplex, um alle Determinanten und deren Wechselwirkungen abbilden zu können. Ein weiterer möglicher Grund ist das Vorhandensein einer „chaotischen“ Struktur des zugrundeliegenden Problems. Das bedeutet, dass eine kleine Änderung der Ausgangsgrößen – also noch innerhalb der Grenzen einer vorgegebenen Ähnlichkeitstoleranz – eine völlig andere Lösung erfordert, so dass Gesetzmäßigkeiten nicht hergeleitet werden können und damit jeder induktive Schluss versagt.

Aufgrund der Fehlbarkeit derartiger Analogieschlüsse ist bei der Entwicklung und Anwendung fallbasierter Systeme darauf zu achten, dass immer eine Validierung der ermittelten Lösung vorgenommen wird [42].

Ablauf des fallbasierten Schließens

In einem ersten Schritt wird das Problem beschrieben, indem vorgegebenen Merkmalen Werte zugeordnet werden. Bei bisher unbekanntem Wert muss gegebenenfalls eine Ähnlichkeit zu bekannten Werten abgebildet werden. Anschließend werden anhand des hinterlegten Ähnlichkeitsmodells ähnliche Fälle aus der Falldatenbasis ausgewählt. Diese Fälle sind – in der Regel durch den Benutzer – zu bewerten, um den für das aktuelle Problem geeignetsten Fall auszuwählen. Die vorgeschlagene Lösung ist entsprechend an das Problem anzupassen. Schließlich ist der aktuelle Fall mit der Lösung in der Falldatenbasis abzu-

speichern. Der generelle Ablauf des fallbasierten Schließens ist in Abbildung 3-3 dargestellt.

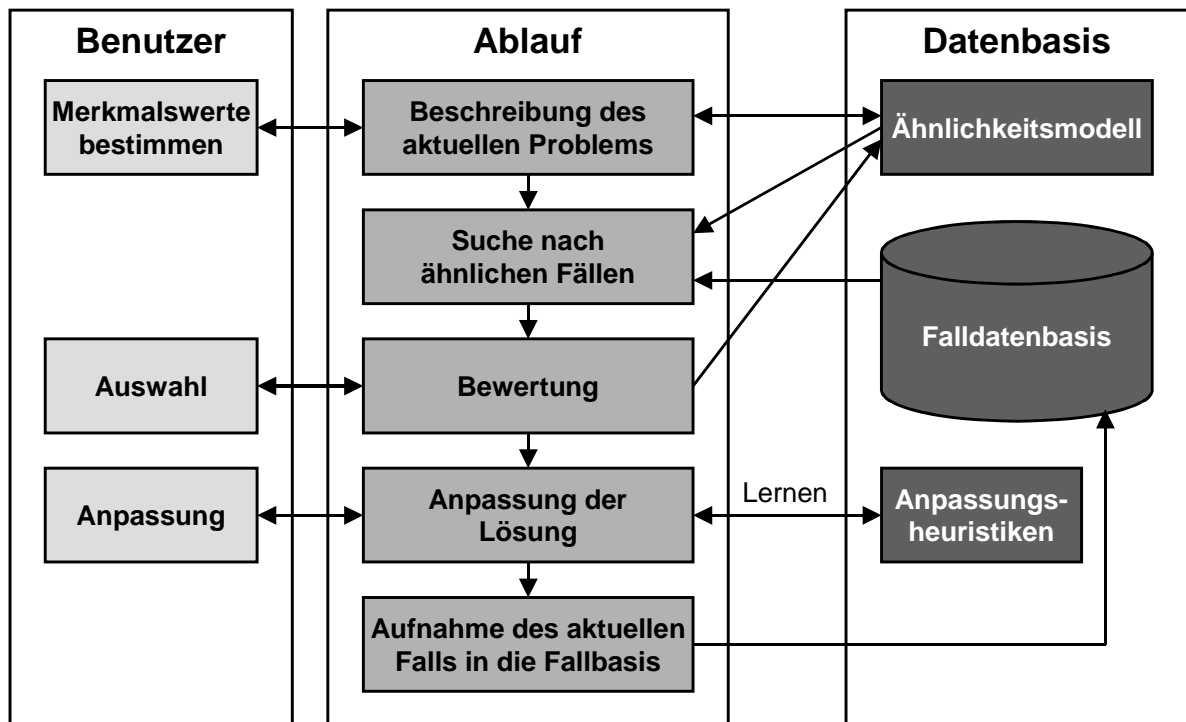


Abbildung 3-3: Ablauf des fallbasierten Schließens nach Frank [48]

Ähnlichkeit

Für die Funktionsweise der beschriebenen Mechanismen im Rahmen des fallbasierten Schließens ist eine formale Repräsentation der Ähnlichkeit erforderlich. Sie wird zur Klassifikation von Fällen eingesetzt und muss vom Rechner verarbeitet werden können. In der Literatur existieren zahlreiche Konzepte für die Ähnlichkeitsrepräsentation [49, 50]. Meist wird ein Ähnlichkeitsmaß zur Darstellung verwendet. Ein binäres Ähnlichkeitsmaß kann durch einfachen Vergleich verschiedener Fälle bestimmt werden. Hierbei wird zwischen Gleichheit oder Ungleichheit der Fälle entschieden, indem die einzelnen Merkmalsausprägungen verglichen werden. Numerische Ähnlichkeitsmaße hingegen erlauben eine graduelle Abstufung der Ähnlichkeit und ermöglichen somit eine detailliertere Analyse vorhandener Fallbasen.

Die Entscheidung für ein bestimmtes Konzept der Repräsentation von Ähnlichkeiten bei der Entwicklung wissensbasierter Systeme hängt in erster Linie vom Anwendungsbereich und von der Struktur der Fallbeschreibung ab.

3.3 Entwicklungsstand von Konzepten zur Nutzung von Felddaten

3.3.1 Allgemeine Ansätze

Wirtschaftswissenschaftliche Disziplinen nutzen den Produktlebenslauf, auch Produktlebenszyklus genannt, bereits seit den sechziger Jahren als operatives Planungs- und Entscheidungsmodell, um mit bestimmten Marktannahmen Strategien für die Produktpolitik abzuleiten [51]. Die technischen Disziplinen haben sich mittlerweile dieser Sichtweise angeschlossen [52]. Der Produktlebenszyklus besteht in diesem Fall aus einem Materialfluss und einem begleitenden Informationsfluss. Während der Materialkreislauf in Teilbereichen – wie z. B. der Kunststoffverwendung in der Automobilindustrie – bereits als geschlossen angesehen werden kann, trifft dieses auf den Informationsfluss noch nicht zu [53, 54].

Zum Aufbau phasenübergreifender Qualitätsregelkreise muss ein Zusammenwirken von Qualitätsmanagementmethoden in allen Lebensphasen eines Produktes erreicht werden. Die in den Unternehmen verwirklichten Regelkreise beschränken sich meist auf die produktionsnahen Bereiche. Eine effektive Rückführung von Informationen in die Produktentwicklung aus nachgelagerten Phasen findet hingegen eher selten statt [4]. Systematische Rückführungskonzepte existieren bisher nur in der Luftfahrt und teilweise in der Automobilindustrie. Diese Ansätze beschränken sich jedoch auf sehr spezielle Anwendungsbereiche [55].

Mit der Erfassung und Aufbereitung von Felddaten werden prinzipiell folgende Ziele verfolgt [22, 23]:

- Erkennung von Fehlern und Schwachstellen, die weder im Produktentstehungsprozess noch bei entsprechenden Qualifikationstests erkannt und beseitigt wurden.
- Gewinnung von Daten über das Produktverhalten wie beispielsweise Zuverlässigkeit, Lebensdauer, Kosten.
- Gewinnung von Informationen über Kunden und Konkurrenten.
- Ermittlung von Kundenanforderungen.

- Erschließung des Erfahrungs- und Kreativitätspotenzials der Servicemitarbeiter.
- Rückmeldungen über die Wirksamkeit getroffener Maßnahmen.
- Dokumentation der Produktqualität zur Abwehr von Haftungsansprüchen.

Ein von *Woll* beschriebener Ansatz zur Informationsrückführung erlaubt die Eingabe von Informationen in der Fertigung und deren gezielte Abfrage in der Planung [12]. Grundlage ist ein Qualitäts-Informations-Modell (QIM), das als gemeinsames Produkt-, Prozess- und Betriebsmittelmodell allen Systemkomponenten zur Verfügung steht. Im Vordergrund steht hierbei wiederum die Betrachtung von Fertigungsprozessen.

3.3.2 Serviceinformationskonzepte

Der Service ist für zahlreiche Unternehmen nicht nur die notwendige Komplettierung ihres Leistungsangebots sondern vielmehr ein entscheidender Teil des Unternehmenserfolgs. Für viele Unternehmen ist er mit mehr als 25% am Gesamtumsatz beteiligt – mit weitaus höheren Gewinnmargen als die eigentlichen Kernprodukte [18].

In diesem Zusammenhang ist die Unterstützung der Servicetätigkeiten durch die Bereitstellung servicerelevanter Informationen zweckmäßig und kann zu Zeitgewinn und somit zu Kostensenkungen beitragen. Derzeit existieren Ansätze, die den Servicetechniker von administrativen Aufgaben weitgehend entlasten sollen. Entsprechende Systeme erlauben eine strukturierte Erfassung der geleisteten Arbeiten und unterstützen die Dokumentation in Berichtsform sowie die Rechnungsstellung [19]. Darüber hinaus wurden für spezielle Aufgabenbereiche Diagnosesysteme entwickelt, die an speziellen Produkten wie beispielsweise Systemen an Anlagen, Flugzeugen oder Fahrzeugen Diagnoseabläufe automatisch durchführen und die Ergebnisse in aufbereiteter Form darstellen [13]. Schließlich existieren noch Lösungsansätze für die Informationsbereitstellung im Service. Hierbei steht im Vordergrund, den Technikern die erforderlichen Produktdaten zur Verfügung zu stellen. Dazu gehören unter anderem Zeichnungen, Montage- und Demontageanleitungen, Checklisten sowie Maßnahmenvorschläge. Eine tatsächliche Unterstützung der Diagnose und Fehlerbehebung in Form einer Ab-

leitung von Maßnahmen aus Zustandsbeschreibungen und kausalen Ketten ist nicht bekannt.

Neuere Forschungen befassen sich mit der Serviceunterstützung durch die sogenannte Augmented Reality (AR) Technologie. Hierbei werden reale Bilder durch zusätzliche Informationen angereichert. Der Anwender trägt zu diesem Zweck eine teildurchsichtige Brille, eine Kamera für die Bildaufnahme und einen mobilen Computer. Somit lassen sich beispielsweise bei Montagearbeiten ergänzende technologische Informationen einblenden, wobei kein System direkt bedient werden muss und dementsprechend die Hände frei bleiben können [56, 57].

Darüber hinaus hat die zunehmende Verbreitung der Internet-Technologie in den Unternehmen dazu beigetragen, dass auch im Bereich der Serviceunterstützung internetbasierte Konzepte und Applikationen entwickelt worden sind. Hier sind vor allem Teleservicekonzepte hervorzuheben, die durch eine Integration internetfähiger Produktionssysteme standortunabhängig Diagnose- und Konfigurationsdienste über das Internet bereitstellen können. Dazu sind Steuerungen und Bedienelemente entsprechend in Web-basierte Anwendungen zu integrieren. Ergänzend dazu können durch eine Fernvisualisierung automatisierter Abläufe, beispielsweise auf Basis von VRML, Anlagenzustände dargestellt werden [58].

3.3.3 Reklamationsmanagement

Unter Reklamationsmanagement wird nach wie vor vorwiegend die Aufnahme und Bearbeitung von Kundenbeschwerden sowie die Verfolgung der eingeleiteten Maßnahmen zur Befriedigung kaufrechtlicher Ansprüche verstanden [59].

Das Reklamationsmanagement beinhaltet in der Regel

- die Erfassung von Reklamationen,
- die Verfolgung von Reklamationen sowie
- die Auswertung und Berichtserstellung [60].

Im Rahmen der Reklamationserfassung erfolgt eine Aufnahme der Reklamationsdaten, bestehend aus Kunde, Produkt, fehlerhafte Komponente, Fehlerbeschreibung, Fehlerort und -zeit sowie evtl. Einsatzbedingungen. Außerdem wird eine erste Ursachenanalyse und damit verbunden eine Zuordnung von Maßnah-

men durchgeführt. Im weiteren Verlauf werden im Zuge der Reklamationsverfolgung Verantwortlichkeiten und Termine zugeordnet sowie Informationen zur Fehlerkostenermittlung erfasst [61].

Über die Unterstützung dieser administrativen Tätigkeiten hinaus werden im Rahmen des Reklamationsmanagements statistische Auswertungen – beispielsweise zur Bestimmung von Fehlerhäufigkeiten oder kundenbezogenen Störfällen – durchgeführt. Auf Basis dieser Auswertungen können standardisierte und individuelle Berichte angefertigt werden [62].

3.3.4 Verfolgung des Produktlebenslaufs

Ausgehend von den Defiziten reiner Reklamationsmanagementsysteme und der mitunter auch gesetzlich vorgeschriebenen Dokumentationspflicht bestimmter Produkte über die gesamte Lebensdauer entstanden im Rahmen von Forschungsarbeiten Konzepte zur Verfolgung des Produktlebenslaufs. Hierbei stand neben der durchgängigen Dokumentation aus haftungsrechtlichen Gründen vor allem der Aufbau einer Lebenslaufdatenbank im Vordergrund, die objektive Eingangsgrößen für Zuverlässigkeitsanalysen und Wartungspläne liefert [63].

Denkbar hierbei ist auch die Nutzung dieser Informationen im Zusammenhang der Durchführung von QFD oder FMEA, was bislang allerdings nicht umgesetzt wurde. Die aktuellen Arbeiten betrachten hier die Anwendung von EDM-Systemen zur lebenslaufbegleitenden Datenhandhabung [51, 64].

3.3.5 Erfassung und Auswertung von Produktzustandsinformationen

Auf Grundlage der Erfassung von Informationen über Abnutzungszustände mit Hilfe von Sensoren, die in Verbindungselementen und Komponenten betrachteter Produkte integriert werden können, ist ein Konzept zur Ableitung geeigneter Maßnahmen aus Produktzustandsinformationen entwickelt worden. Hierzu wurde ein modularer Baukasten – die sogenannte Life Cycle Unit (LCU) – konzipiert, der Produktveränderungen hinsichtlich der Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit identifiziert und analysiert. Auf Basis der durch die LCU bereitgestellten Felddaten lassen sich beispielsweise die Restlebensdauer berechnen, ein bedarfsgerechter Austausch von Verschleißteilen initiieren oder die Instandhaltungskosten

ten durch eine schnelle und genaue Fehleridentifikation senken [65]. Die Einschränkung dieses Ansatzes besteht darin, dass ausschließlich solche Zustandsveränderungen berücksichtigt werden können, die antizipiert wurden und für die ein entsprechender Sensor zur Verfügung steht.

3.3.6 Felddatennutzung im präventiven Qualitätsmanagement

Konzepte zur Unterstützung des präventiven Qualitätsmanagements durch Felddatenrückführung umfassen bislang nur die Gewinnung von Zuverlässigkeitsdaten, eine phasenübergreifende Nutzung von Felddaten über eine gemeinsame Datenbasis oder standardisierte Schnittstellen existiert derzeit jedoch nicht [22, 66]. Durch das bereits seit längerem etablierte Verständnis des Qualitätsmanagements als Querschnittsfunktion im Unternehmen sind in diesem Bereich die Bemühungen um das Schaffen einheitlicher Datenformate weiter fortgeschritten. Zur Darstellung von Qualitätsdaten existieren beispielsweise Anwendungen wie QDES (Quality Data Exchange Specification) oder die genormte Qualitätsnachricht QMS (Quality Message Specification), die allerdings Felddaten nicht hinreichend berücksichtigen [67, 68].

Quality Function Deployment (QFD)

Das Hauptziel der QFD-Methode ist die Transformation von Kundenanforderungen an das Produkt in Produktspezifikationen, aus denen dann die Merkmale der Bearbeitungsprozesse und der Fertigungs- und Prüfmittel abgeleitet werden können. In diesem Zusammenhang können Felddaten insbesondere dazu dienen, den zeit- und kostenaufwendigen Prozess der Erfassung von Kundenanforderungen, der meist über Befragungen und Marktanalysen realisiert wird, zu unterstützen [4, 69]. Hierzu ist es erforderlich, dass Kundenanforderungen, die sich aus der Produktnutzung ergeben, ähnlich strukturiert erfasst werden können wie Fehler. Hierfür bietet sich der Kundendienst an, der Anforderungen direkt vom Kunden genannt bekommt. Darüber hinaus können vom Servicetechniker selbst auch technische Produkthanforderungen erfasst werden, die erst mit der Produktnutzung offensichtlich wurden.

Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA)

Die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) ist eine Methode, um in den frühen Phasen der Produktentwicklung mögliche Fehler aufzudecken und deren Anzahl und Schwere zu minimieren. Durch die gestiegenen Anforderungen an die Qualität von Produkten erfährt die FMEA eine immer größere Verbreitung. Ihre Anwendung ist z. B. in der Automobilzulieferindustrie häufig Bestandteil vertraglicher Vereinbarungen [4, 70].

Im Rahmen einer FMEA werden potenzielle Fehler, ihre Ursachen und Folgen ermittelt und bewertet. Für bedeutsame Fehler werden Abstellmaßnahmen definiert. Anschließend erfolgt eine erneute Bewertung unter Berücksichtigung der geplanten Maßnahmen. Die Methode kann sowohl für Entwicklungsprozesse als auch für Fertigungs- und Montageprozesse angewandt werden. Die unterschiedlichen Ausprägungen werden als System-FMEA Produkt (Konstruktions-FMEA) und System-FMEA Prozess (Prozess-FMEA) bezeichnet [16].

Der Zusammenhang zwischen der Dokumentation und Verarbeitung von Felddaten und der Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse ist deutlich, da im ersten Fall tatsächlich aufgetretene Fehler erfasst, analysiert und bewertet werden, im zweiten Fall Fehler prognostiziert werden, um bereits in der Entwicklung entsprechende vorbeugende Maßnahmen treffen zu können. Alle bestehenden Ansätze zielen darauf ab, diesen Zusammenhang zu nutzen. So ist es denkbar, dass ein erfasster Fehler, wenn er als entsprechend schwerwiegend klassifiziert wurde, eine FMEA in der betreffenden Entwicklungsabteilung initiiert. Hierzu wird auf Basis dieses Fehlers eine FMEA für die betroffene Produktgruppe durchgeführt [6].

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt *Woll*. Hierbei wird die Möglichkeit beschrieben, auf Grundlage eines aufgetretenen Fehlers die dazugehörige FMEA auf Vollständigkeit zu überprüfen. Sollte der Fehler bisher nicht berücksichtigt worden sein, so ist die FMEA entsprechend zu ergänzen [12]. Diese mitunter recht aufwendige Vorgehensweise empfiehlt sich insbesondere dann, wenn im Entwicklungsprozess auf bereits durchgeführte FMEA zurückgegriffen wird.

In die gleiche Richtung geht *Kistner*, indem er im Rahmen der FMEA-Anwendung die Verifizierung der Bewertung auf Basis von Felddaten vorschlägt.

Da die FMEA das zukünftige Fehlergeschehen voraussagen will, lässt sich ihre Qualität zeitversetzt nachweisen, indem tatsächlich aufgetretene Fehler die entsprechende FMEA bestätigten oder in Teilbereichen widerlegen [7]. Hierzu muss das aktuelle Fehlergeschehen auf die in den jeweiligen FMEAs prognostizierten Fehler projiziert und verglichen werden.

Ein weitergehender Ansatz wird von *Ebner* vorgestellt. Hierbei wird eine Qualitätsdatenbasis mittels einer strukturierten Erfassung von Felddaten am Beispiel von Werkzeugmaschinen mit Informationen versorgt, die in vorgelagerten Phasen genutzt werden können [4]. Dabei werden hierarchischen Systemstrukturen Fehler und Maßnahmen zugeordnet und somit eine methodische Nutzung ermöglicht. Das entwickelte Datenmodell sieht Felddaten zwar explizit vor, bildet kausale Zusammenhänge aber nur in Baumstrukturen ab, entgegen den in der Realität auftretenden Netzstrukturen [71, 72]. Darüber hinaus beschränken sich die in diesem Ansatz betrachteten Felddaten auf Fehler und lassen Anforderungen sowie positive Rückmeldungen unberücksichtigt. Die Nutzung der Felddaten in Qualitätsmethoden erfolgt durch Zugriff auf die Fehlerstrukturen in der Qualitätsdatenbasis.

Fehlerbaumanalyse (FTA) / Ereignisablaufanalyse (ETA)

Die Fehlerbaumanalyse stellt eine hierarchisch nach Einflussgruppen geordnete Sammlung möglicher Ursachen eines betrachteten Fehlers dar [73]. In der Ereignisablaufanalyse wird auf Basis eines bekannten Ereignisses der Ablauf zu möglichen Folgen erarbeitet [74]. Für beide kausalen Methoden sind bisher keine Ansätze bekannt, die eine methodenintegrierte Nutzung von Felddaten explizit vorsehen. Allerdings sind in einigen Arbeiten allgemeine Fehlermodelle beschrieben, die eine Felddatennutzung im Rahmen der Anwendung kausaler Methoden ermöglichen [4, 69, 75].

3.4 Systemtechnische Unterstützung

3.4.1 EDM-Systeme

Originäre Aufgabe von Engineering Data Management Systemen (EDM-Systeme) die auch als Produktdaten Management Systeme (PDM-Systeme) be-

zeichnet werden, ist das bereichsübergreifende Informationsmanagement in einem Unternehmen. Sie bilden somit die Grundlage für eine Integration der Informationsflüsse und Abläufe in allen Phasen des Produktlebenszyklus [1, 64]. Die von den derzeit am Markt befindlichen EDM-Systemen schwerpunktmäßig unterstützte Phase des Produktlebenslaufs ist die der Produktentstehung [76]. Hierbei werden von den Systemen anwendungsübergreifende und anwendungsbezogene Funktionen unterstützt (Abbildung 3-4).

Entlang des Produktlebenszyklus werden in unterschiedlichen Systemen Dokumente erstellt und über das EDM-System in Form von Objekten verwaltet. In einigen Systemen können auch einzelne Elemente innerhalb bestimmter Dokumente referenziert und Relationen zwischen den Elementen verwaltet werden.

Strategisches Ziel der EDM-Entwicklung ist heute ein integriertes Produktdatenmanagement entlang des gesamten Produktlebenszyklus, das zur Realisierung eines umfassenden Life Cycle Management Konzepts führt. Hierbei sind die in der Entwicklung entstehenden Produktdaten frühzeitig für alle nachfolgenden Geschäftsprozesse nutzbar zu machen. Darüber hinaus sollen produktbezogene Informationen aus nachgelagerten Phasen der Entwicklung zugänglich gemacht werden [64].

Funktionen von EDM-Systemen	
Anwendungsübergreifend <ul style="list-style-type: none"> • Datenmodellierung • Änderungsmanagement • Varianten- und Versionsmanagement • Kommunikation • Datensicherung • Benutzungsverwaltung • Workflowmanagement • Archivierung 	Anwendungsbezogen <ul style="list-style-type: none"> • Zeichnungsdatenmanagement • Stücklistenmanagement • Klassifizierung • Dokumentenmanagement • Normteilmanagement <li style="text-align: center;">• • Arbeitsplanmanagement • NC-Datenmanagement

Abbildung 3-4: Funktionen von EDM-Systemen [76]

Die Unterstützung der Felddatennutzung seitens der EDM-Systeme beschränkt sich darauf, dass Dokumente wie beispielsweise

- Serviceberichte,

- Wartungs- und Instandsetzungsberichte oder
- Protokolle von Kundengesprächen

verwaltet werden können. Der Konstrukteur kann sich über das EDM-System Zugang zu allen Dokumenten und Produktdaten verschaffen, die entlang der Produktlebenszyklen entstanden sind und bei der Erstellung oder Änderung von Entwürfen und Konstruktionen hilfreich sein können. Über eine entsprechende Anpassung der Systeme an benutzerspezifische Anforderungen – das sogenannte Customising – lässt sich die Menge der für die Entwicklung potenziell nutzbaren Felddaten erweitern, indem etwa zwischen Produkten bestehende Ähnlichkeitsbeziehungen genutzt werden [77].

3.4.2 Qualitätsinformationssysteme

Der Begriff Qualitätsinformation wird in diesem Zusammenhang synonym zum Begriff Qualitätsdaten verwendet. Qualitätsdaten umfassen die Daten über die Qualität eines materiellen oder immateriellen Produktes sowie die Qualitätsforderungen und die Randbedingungen der verwendeten Qualitätsprüfungen [16, 78, 79].

Unter Qualitätsinformationssystemen werden dementsprechend Softwaresysteme verstanden, die in allen Phasen des Produktlebenszyklus den aufgabenorientierten Zugriff auf Qualitätsinformationen gewährleisten [80, 81]. Hierunter fallen somit auch jene Systeme, die bestimmte Bereiche des Qualitätsmanagements unterstützen und unter dem Begriff Computer Aided Quality Management (CAQ) zusammengefasst werden [82, 83, 84, 85]. Die Funktionsweise der für den Betrachtungsrahmen der vorliegenden Arbeit relevanten CAQ-Systeme ist in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

Der Entwicklungsstand von Qualitätsinformationssystemen als Spezialisierung allgemeiner Informationssysteme beinhaltet Funktionen zur anfrage- oder ereignisgesteuerten Bereitstellung von Qualitätsinformationen, wobei die anwendungsunabhängige Verwaltung der Informationsobjekte den Informationszugriff in heterogenen Systemlandschaften aus unterschiedlichen Anwendungen ermöglicht [78]. Grundlagen für die Nutzung von Felddaten als Bestandteil der Qualitätsregelung auf Basis externer Informationen ist im Rahmen des vom BMBF

geförderten Verbundprojektes „Informationssysteme zur Unterstützung der Qualitätssicherung in Unternehmen des produzierenden Gewerbes und des Dienstleistungssektors“ (QS-VP3) erarbeitet worden [86]. Ein Teil der Konzepte, die im weiteren Verlauf der Arbeit beschrieben werden, basiert auf diesen Arbeiten.

3.4.3 Reklamationsmanagementsysteme

Reklamationsmanagementsysteme unterstützen mehr oder weniger komfortabel und vollständig die in Kapitel 3.3.3 beschriebenen Aufgaben. Nahezu alle Reklamationsmanagementsysteme bieten Funktionen zur statistischen Auswertung von Reklamationen und Fehlern sowie zur Erstellung standardisierter oder individueller Berichte an. Für die Überwachung von Terminen und Kosten stehen zahlreiche – teilweise grafisch unterstützte – Tabellen, Diagramme und Benachrichtigungsmechanismen zur Verfügung. Die Auswertungsfunktionen erlauben detaillierte Darstellungen beispielsweise bezüglich Fehlerhäufigkeiten, -kosten, -ursachen und Terminüberschreitungen. Selektionen hinsichtlich unterschiedlicher Produkte, Kunden oder Zeiträumen gestatten differenzierte Betrachtungen. Die Funktionalität der Systeme wird ergänzt durch Möglichkeiten zur Berichterstellung entsprechend den Anforderungen von QS 9000, DIN EN ISO 9000 ff. oder VDA 6.1 [70, 87, 88].

Schwerpunktmäßig unterstützen Reklamationsmanagementsysteme die Bearbeitung von Kundenbeanstandungen mit der Intention einer schnellstmöglichen und kostensparenden Befriedigung der Kunden. Die mitunter existierenden Integrationsmöglichkeiten der Systeme in betriebliche Standardumgebungen wie z. B. PPS- oder ERP-Systeme vermeiden eine redundante Datenhaltung. Funktionen zur Fehleranalyse und Strukturierung von Fehlerwissen sowie Rückmelde-mechanismen an vorgelagerte Phasen hingegen sind nicht oder nur rudimentär vorhanden. Einige wenige Systeme erlauben allerdings die Abbildung der Störungshistorie von Produkten [89].

3.4.4 Systeme zur Methodenunterstützung

Im folgenden wird die aktuelle Situation der verfügbaren Softwarewerkzeuge zur Unterstützung von präventiven Qualitätsmanagementmethoden dargestellt. Die Systeme wurden unter den Kriterien der zugrundeliegenden Methode (QFD,

FMEA oder FTA), der Anwendungsunterstützung und der Integrationsmöglichkeiten in betriebliche Systemlandschaften untersucht.

QFD-Systeme

Aufgrund des geringen Einsatzes der QFD in Unternehmen existieren auch nur wenige kommerzielle Systeme zur Unterstützung dieser Methode. Die meisten Systeme bieten eine grafische Oberfläche an, die sich am „House of Quality“ orientiert und für die einzelnen Bereiche Erfassungsmasken anbietet. Darüber hinaus werden die erforderlichen Berechnungen automatisch durchgeführt und Grafiken erzeugt [90].

Die Datenhaltung erfolgt in fast allen Fällen mittels Datenbanken, so dass eine Integration der Anwendungen in andere Informationssysteme prinzipiell möglich ist. Allerdings sind die zugrundeliegenden Datenmodelle in der Regel ungeeignet für eine weitergehende Nutzung der Informationen, da sich die Strukturen vorwiegend an den Elementen des House of Quality orientieren und weitere Abhängigkeiten zwischen den Daten nicht abgebildet werden.

Aktuelle Forschungsaktivitäten beschäftigen sich mit der Entwicklung wissensbasierter QFD-Systeme, die den Prozess der Transformation von Kundenanforderungen in technische Produkthanforderungen unterstützen sollen [91]. Darüber hinaus existieren methodenintegrierende Ansätze, die die Vorteile unterschiedlicher Methoden wie beispielsweise QFD, Wertanalyse oder Target Costing in einem Softwarewerkzeug zusammenfassen, um ein umfassendes Anforderungsmanagement zu ermöglichen [92].

FMEA-Systeme

Die derzeit kommerziell verfügbaren FMEA-Systeme sind meist als PC-basierte Systeme konzipiert und verfügen über Funktionen zum Ausfüllen und Verwalten von Formularen. Die Leistungsfähigkeit geht hierbei von Textverarbeitungsfunktionen bis hin zu datenbankbasierten Ansätzen [42, 82]. Weitergehende Lösungsansätze wie beispielsweise wissensbasierte Konzepte kommen vorwiegend aus Forschungsbereichen von Hochschulen, Instituten sowie staatlichen Organisationen [42, 93].

Die Systeme lassen sich hinsichtlich des zugrundeliegenden Konzeptes unterscheiden in

- Formblatt-basierte FMEA-Systeme,
- FMEA-Systeme, die ein strukturiertes Vorgehen unterstützen und
- wissensbasierte FMEA-Systeme.

Bei den Formblatt-basierten Systemen handelt es sich ausschließlich um Textverarbeitungssysteme oder einfache Datenbanksysteme, bei denen das FMEA-Formblatt das vorrangige Arbeitsmedium darstellt. Zweck ist primär die Unterstützung der Erstellung und Verwaltung von FMEA-Dokumenten, die Methode an sich wird praktisch nicht unterstützt. Alle Systeme erlauben allerdings Recherchen in bereits erstellten FMEA-Formblättern nach unterschiedlichen Kriterien wie z. B. Funktionen, Fehlerarten, -ursachen, -folgen, Maßnahmen und Produkten. In der Regel werden auch einige Statistikfunktionen angeboten, die Häufigkeitsanalysen sowie Auswertung und Darstellung der Risikobewertungszahlen ermöglichen.

Die Werkzeuge zur Unterstützung einer strukturierten Vorgehensweise orientieren sich stark am Ablauf der Methode und beinhalten Funktionen zur Beschreibung von Systemstrukturen, funktionalen Abhängigkeiten und Fehlerbäumen, teilweise unterstützt durch grafischen Editoren [42, 94].

Die wissensbasierten FMEA-Systeme verfolgen das Ziel einer starken inhaltlichen Unterstützung der Anwender durch die Wiederverwendung von Wissen. Die Grundlage dafür bildet eine geeignete Wissensrepräsentation in einem Datenmodell (vgl. Kapitel 3.2). Die kreativen Prozesse im Rahmen der Durchführung einer FMEA werden durch die Bereitstellung von Wissen beispielsweise über kausale Zusammenhänge oder die Wirksamkeit von Maßnahmen unterstützt [95]. Weitergehende Ansätze verfolgen eine Automatisierung der FMEA-Durchführung [96]. Aufgrund der Tatsache einer nur impliziten Repräsentation von Funktionen sowie umfangreichen erforderlichen Eingaben vor der Fehlerbewertung ist der Anwendungsbereich dieses Ansatzes jedoch stark eingeschränkt.

Die Integration der FMEA-Systeme in Systemlandschaften von Unternehmen erfordert einen entsprechenden Anpassungsaufwand, ist bei den datenbankba-

sierten Systemen, die einen externen Zugriff auf die Datenbank erlauben, aber prinzipiell möglich. Eine weitergehende Integration durch Nutzung von EDM-Systemen zum Austausch von Produktdaten ist mit vertretbarem Aufwand nur über Schnittstellen möglich. Diese werden von FMEA-Systemen jedoch nur einzeln angeboten. In Abbildung 3-5 sind den vorgestellten Kategorien einige kommerzielle FMEA-Systeme und wissenschaftliche Prototypen exemplarisch zugeordnet.

Formblatt-basierte Systeme	Strukturierte Vorgehensweise	Wissensbasierte Systeme
CAQ Compact I, FMEA-M (GFQ)	FMEA SYSTEM III (Plato)	WIFA (FAW Ulm)
QUIPSY (CDE-Software)	IQ-FMEA (APIS GmbH)	FLAME II (Univ. Wales)
RQM (Pickert & Partner)	Inquass FMEA (Inquass)	NASA FMEA System (NASA)
	QUASAR (Bosch)	XFMEA (NASA)

Abbildung 3-5: Überblick FMEA-Systeme

3.5 Defizite im Hinblick auf die Felddatennutzung

Die Defizite des derzeitigen Entwicklungsstandes im Hinblick auf die Erfassung von Felddaten und deren Nutzung in vorgelagerten Phasen, insbesondere in der Produktentwicklung, lassen sich unterscheiden in

- methodische Defizite,
- systemtechnische Defizite und
- Defizite der Integration.

Für die in der Produktentwicklung eingesetzten Qualitätsmethoden wie QFD, FMEA oder FTA ist eine Nutzung von Felddaten nicht explizit vorgesehen. Die Potenziale und Möglichkeiten einer methodischen Nutzung von Felddaten – insbesondere in der FMEA – ist in einigen Ansätzen belegt worden [4, 7]. Hierfür sind die Methoden jedoch zu erweitern und anzupassen und vor allem systemtechnisch zu unterstützen.

Softwarewerkzeuge, die eine detaillierte Felddatenerfassung und -aufbereitung für die Nutzung in der Entwicklungsphase unterstützen, sind am Markt nicht verfügbar. Reklamationsmanagementsysteme beschränken sich auf die Verwal-

tung von Fehlerdaten und den dazugehörigen Maßnahmen. Eine Zuordnung zu Produktdaten erfolgt nur auf einem wenig detaillierten Niveau. Diagnosesysteme, die eine weitergehende Verarbeitung von Felddaten ermöglichen, decken jeweils nur einen sehr speziellen Anwendungsbereich ab und unterstützen keine Informationsrückführung in die Entwicklungsphasen.

Die Integration von Felddaten in die in den Unternehmen eingesetzten Informationssysteme, sofern sie in geeigneter Form erfasst worden sind, ist ebenfalls unzureichend gelöst. Reklamationsmanagementwerkzeuge sind meist in Form eines Moduls in CAQ-Systeme eingebunden und verfügen teilweise über konfigurierbare Schnittstellen zu anderen Systemen wie etwa PPS- oder EDM-Systemen [97]. Eine Integration ist auf diesem Weg aber nur unzureichend realisierbar, da die Felddaten nicht in geeigneter Weise im System repräsentiert sind, um beispielsweise kausale Netzstrukturen aufzubauen und auf dieser Grundlage qualitative oder quantitative Analysen durchzuführen.

4 Anforderungen an Konzepte zur Nutzung von Felddaten

4.1 Organisatorische Anforderungen

Das Hauptproblem der Felddatenerfassung ist der in vielen Fällen nur befristete und somit unvollständige Zugriff auf die erforderlichen Daten, die während der Produktnutzung anfallen. Die Befristung ergibt sich für gewöhnlich durch eine in ihrer Dauer begrenzte Garantiezeit, in der sich der Hersteller verpflichtet, Reparaturen kostenfrei durchzuführen. Wird allerdings das typische Verbrauchsverhalten technischer Produkte betrachtet (vgl. Abbildung 4-1), so ist offensichtlich, dass ausschließlich während der Garantiezeit erfasste Informationen kein repräsentatives Bild über die tatsächlichen Probleme im Laufe des gesamten Lebenslaufs eines Produktes liefern sondern nur die Schwierigkeiten der Anlaufphase repräsentieren [4, 98].

Für bestimmte Produkte existieren für die Anwender oder Betreiber gesetzliche Vorschriften, die eine detaillierte Dokumentation regelmäßiger Inspektionen vorschreiben. Hierzu gehören beispielsweise die in der zivilen Luftfahrt eingesetzten Flugzeuge oder Kernkraftwerke [99, 100]. Die jeweiligen Hersteller haben in diesen Fällen über die gesamte Nutzungsdauer nahezu unbeschränkten Zugriff auf Felddaten wie Störungen, Ausfälle, Verbrauchsdaten oder ausgewechselte Bauteile [63]. Darüber hinaus werden insbesondere beim Recycling von Verkehrsflugzeugen detaillierte Untersuchungen an kritischen Teilen und Baugruppen vorgenommen [101].

Bei den nicht sicherheitsrelevanten Produkten hat der Hersteller kaum noch Möglichkeiten, ausführliche Informationen der Nutzungsphase zu erhalten. Für gewöhnlich werden Instandhaltung und von Maschinen und Anlagen nach Ablauf der Gewährleistungsfrist in Eigenregie durchgeführt, sofern der Betreiber über geeignete Instandhaltungsstrukturen verfügt. In diesen Fällen lassen lediglich die bestellten Ersatzteile Rückschlüsse auf mögliche Schwachstellen zu. Ebenfalls unvollständig sind die Informationsrückflüsse bei der Nutzung von Kraftfahrzeugen. Zum einen werden die Vertragswerkstätten, die in der Regel lückenlos Reparaturberichte an den Hersteller senden, nach Ablauf der Garan-

tiezeit nur noch von einem Teil der PKW-Nutzer aufgesucht. Viele weichen auf meist preiswertere Werkstätten ohne vertragliche Bindung an den Hersteller aus. Außerdem haben Drittanbieter in der Bereitstellung von PKW-Ersatzteilen einen lukrativen Markt entdeckt, so dass auch diese Quelle den Automobilherstellern nur unvollständige Daten liefert.

Die zuvor dargestellten Probleme zeigen, dass eine vollständige Erfassung von Felddaten über die gesamte Nutzungsdauer nur in Ausnahmefällen möglich ist. Allerdings können unterschiedliche Maßnahmen getroffen werden, die den Zeitraum für einen Informationsrücklauf verlängern. So besteht die Möglichkeit der Vereinbarung längerer Garantie- und Gewährleistungsfristen. Ein dadurch erhöhter Anschaffungspreis wird von den Kunden in der Regel auch akzeptiert [102]. Darüber hinaus bietet der Abschluss langfristiger Wartungsverträge neben einer zusätzlichen Einnahmequelle einen hinreichenden Zugriff auf Felddaten.

Diese organisatorischen Möglichkeiten für die langfristige Gewährleistung einer Rückführung von Nutzungsinformationen auf Basis von Garantievereinbarungen und Wartungsverträgen ist in Abbildung 4-1 dargestellt.

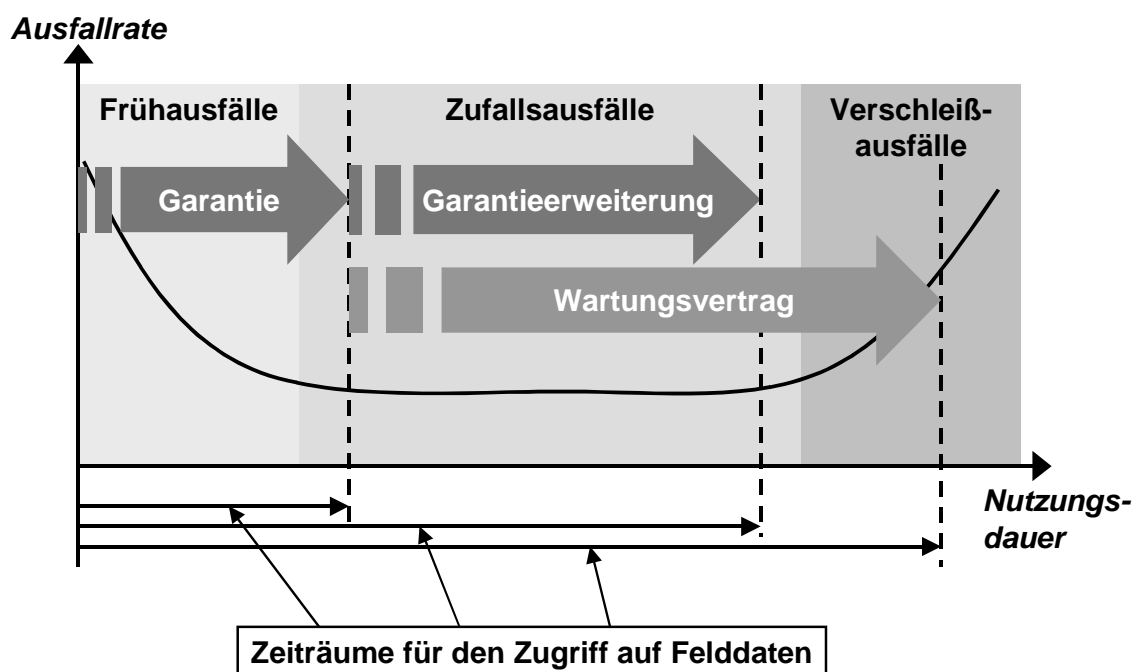


Abbildung 4-1: Wartungsverträge und langfristige Garantievereinbarungen zur dauerhaften Gewährleistung der Felddatenerfassung, in Anlehnung an Birolini [98]

Den gleichen Effekt eines dauerhaften Zugriffs auf Felddaten erzielen Nutzungsmodelle, bei denen der Hersteller nicht mehr das Produkt an sich verkauft sondern die Produktnutzung, etwa über Leasing- oder Mietverträge [103].

Ferner müssen die entsprechenden Erfassungsprozesse in die Aktivitäten des technischen Service und der Reklamationsbearbeitung integriert werden. Darüber hinaus ist die Aktualität der erfassten Daten im Hinblick auf die Bereitstellung für andere Bereiche sicherzustellen. Insbesondere bei einer großen Zahl mobiler Servicetechniker, die nur unregelmäßig in den Herstellerbetrieb kommen, müssen Mechanismen definiert werden, die ein Überspielen der mobil erfassten Daten zur weiteren Verarbeitung auf einen zentralen Server ermöglichen. Diese organisatorischen Anforderungen stehen in einem engen Zusammenhang mit den systemtechnischen Anforderungen (vgl. Kapitel 4.3).

4.2 Funktionale Anforderungen

Die wichtigsten funktionalen Anforderungen an Systembausteine, die eine Nutzung von Felddaten in vorgelagerten Phasen ermöglichen, sind

- die Unterstützung der Felddatenerfassung,
- die Unterstützung einzelner Methoden, die in der Produktentwicklung eingesetzt werden, sowie
- die gezielte Nutzung vorhandenen Wissens.

Im Rahmen der Erfassung ist zu berücksichtigen, dass Felddaten in unterschiedlichen Formen zur Verfügung stehen, so beispielsweise als verbale Aussagen, Berichte, Kennzahlen oder Protokolle aus Diagnosesystemen. Für jede Form muss eine entsprechende Erfassungsfunktion bereitgestellt werden. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Funktionen anwenderspezifisch gestaltet werden, da die Felddatenerfassung sowohl von – mit den jeweiligen Produkten sehr gut vertrauten – Servicetechnikern als auch von der Reklamationsannahme oder den Anwendern selbst erfolgen kann.

Für die strukturiert erfassten Daten müssen weiterhin Funktionen bereitstehen, die eine phasenübergreifende Nutzung ermöglichen. Das können zum einen Funktionen sein, die im Rahmen von Methodenwendungen Informationen be-

reitstellen, die auf Felddaten basieren. Zum anderen kann aus umfangreichen Felddatenbeständen detailliertes Wissen über die betrachteten Produkte generiert werden, das sowohl in Entwicklungsbereichen als auch im Service eine wertvolle Unterstützung bieten kann. Hierzu sind Funktionen der Wissensverarbeitung und der Wissenspräsentation erforderlich.

4.3 Systemtechnische Anforderungen

Das Hauptziel des Einsatzes von Informationssystemen ist die situationsgerechte Bereitstellung von Informationen für unterschiedliche Anwendungsbereiche [78]. Der Anwender soll genau den Informationsumfang erhalten, der für seinen Aufgabenbereich erforderlich ist. Auf entsprechende Anfragen an das System erwartet er die Bereitstellung der angeforderten Informationen in der gewünschten Form. Der Informationszugriff muss für den Anwender einfach und transparent erfolgen, unabhängig von der für die Informationsbereitstellung eingesetzten Technik.

Da in unterschiedlichen Unternehmensbereichen für gewöhnlich auch unterschiedliche Informationen benötigt werden, ist die Definition entsprechender Sichten auf die Datenbestände erforderlich. Diese Sichten orientieren sich an den Benutzergruppen und den jeweils zu bearbeitenden Aufgaben [78]. Für jede Sicht ist eine aufgabenangepasste Präsentation der Informationen vorzusehen, die die eigentlichen Abläufe unterstützt und nicht durch aufwendige Such- oder Interpretationsfunktionen behindert.

Die Erfassung von Felddaten und vor allem die Unterstützung des Services beim Kunden stellt an das Informationssystem insbesondere die Anforderung, Informationen an unterschiedlichen Standorten erfassen und bereitstellen zu können [104]. Das bedeutet, dass entweder mit mehr oder weniger großen lokalen Datenbeständen gearbeitet werden muss oder dass für die Dauer des Zugriffs auf zentral gehaltene Daten eine Verbindung zu dem entsprechenden Server beim Lieferanten oder Servicedienstleister aufgebaut wird, wobei auch eine Kombination beider Möglichkeiten des Datenzugriffs sinnvoll sein kann (Abbildung 4-2).

Wenn im Rahmen des Serviceeinsatzes keine Möglichkeit der – zumindest temporären – Anbindung an einen Datenserver besteht, sind alle erforderlichen Da-

ten von den Servicetechnikern mitzuführen. Dazu gehören beispielsweise die Dokumentation der betreffenden Produkte, die individuelle Produkthistorie oder auch Serviceberichte bereits durchgeführter Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten. Das kann bedeuten, dass für eine Unterstützung der Servicetätigkeiten umfangreiche Datenbankreplikationen auf die mobilen Systeme notwendig sind.

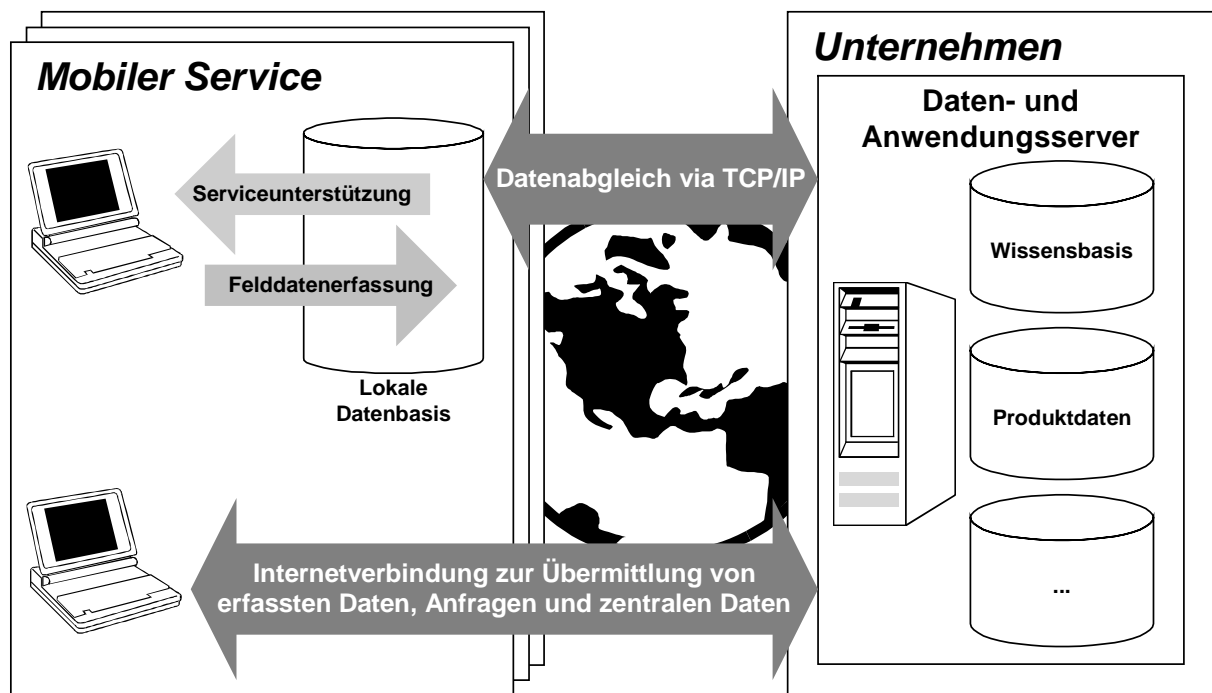


Abbildung 4-2: Möglichkeiten der informationstechnischen Anbindung mobiler Systeme zur Erfassung und Nutzung von Felddaten

Aufgrund der teilweise sehr großen Datenmengen bei statischen Informationen mit grafischen Inhalten, wie Zeichnungsdateien, Montageplänen oder Animationen, empfiehlt es sich, diese Informationen selbst bei vorhandener Serveranbindung lokal auf den Systemen für den mobilen Einsatz zu halten. Eine Informationsbereitstellung über eine Serveranbindung z. B. via Internet kann sonst lange Datenübertragungszeiten zur Folge haben. Das lokale Vorhalten dieser Daten ist im Hinblick auf die Gefahr des Aktualitätsverlustes aufgrund der in der Nutzungsphase eher seltenen Produktänderungen unproblematisch.

Für kundenindividuelle Informationen wie die Produkthistorie sowie für alle vom mobilen Service erfassten Daten hingegen kann die Anbindung an einen zentralen Datenserver deutliche Vorteile bringen. Zum einen stehen dem Servicetechniker nicht immer alle notwendigen Informationen lokal zur Verfügung, etwa

wenn er aufgrund eines plötzlich aufgetretenen Maschinenausfalls zu einem Kunden beordert wird, ohne sich entsprechend vorbereiten und die Daten auf seinen mobilen Rechner überspielen zu können. Darüber hinaus kann es bei komplexen Produkten notwendig sein, eine Anfrage an ein Diagnosesystem oder ein anderes Werkzeug zur Serviceunterstützung zu stellen, das aufgrund der Komplexität oder der Hardwareanforderungen ebenfalls nicht auf dem mobilen System installiert ist. Die zeitnahe Übermittlung der vom Service identifizierten Fehler und gegebenenfalls der Diagnose an den Produkthersteller kann ebenfalls Zeit und Kosten sparen oder sogar Gefahren abwenden, etwa bei der sofortigen Veranlassung von Maßnahmen wie der Fertigung und Bereitstellung von Ersatzteilen für das betreffende Produkt oder bei sicherheitskritischen Fehlern die umgehende Benachrichtigung weiterer Anwender vergleichbarer Produkte.

Im Falle der Veränderung oder Erweiterung lokaler Datenbestände durch mobile Anwender müssen Mechanismen bereitgestellt werden, die den logischen Abgleich der redundant gehaltenen Daten gewährleisten. Das kann insbesondere bei einer sehr hohen Zahl mobil eingesetzter Servicerechner und bei langen Intervallen zwischen den Datenabgleichszeitpunkten einen hohen Aufwand bedeuten [105].

Bei der Bereitstellung und Übertragung vertraulicher Daten über Netzwerke sind Sicherheitsvorkehrungen zu treffen, die Manipulationsmöglichkeiten weitestgehend ausschließen. Hierzu existieren zahlreiche Verfahren und Systeme wie Firewalls und SSL-Verbindungen (Secure Socket Layer Verbindungen) [106].

Ein Großteil der erstellten Auswertungen und Berichte muss aufgrund des Produkthaftungsgesetzes und anderer Gewährleistungsvorschriften über unterschiedlich lange Zeiträume gespeichert und wieder darstellbar sein [107, 108]. Dazu ist es erforderlich, ein Verwaltungssystem einzusetzen und Archivierungsformate festzulegen, für die entsprechende Anwendungen über einen langen Zeitraum verfügbar sind. Für die Verwaltung kommen beispielsweise EDM-Systeme oder Dokumentenverwaltungssysteme in Frage (vgl. Kapitel 3.4.1). Hinsichtlich der Formate bieten sich bei textuellen Dokumenten die bekannten Standards wie z. B. ASCII an. Für Dokumente mit grafischen Inhalten können Grafikstandards wie beispielsweise TIFF verwendet werden.

4.4 Anforderungen an die Datenmodellierung

Ein System zur Rückführung von Felddaten in vorgelagerte Phasen kann als Unterstützungssystem für das phasenübergreifende Qualitätsmanagement verstanden werden. Basis eines solchen Systems ist ein geeignetes Datenmodell, das von den Methoden in der Entwicklungs- und Nutzungsphase gleichermaßen genutzt werden kann (Abbildung 4-3).

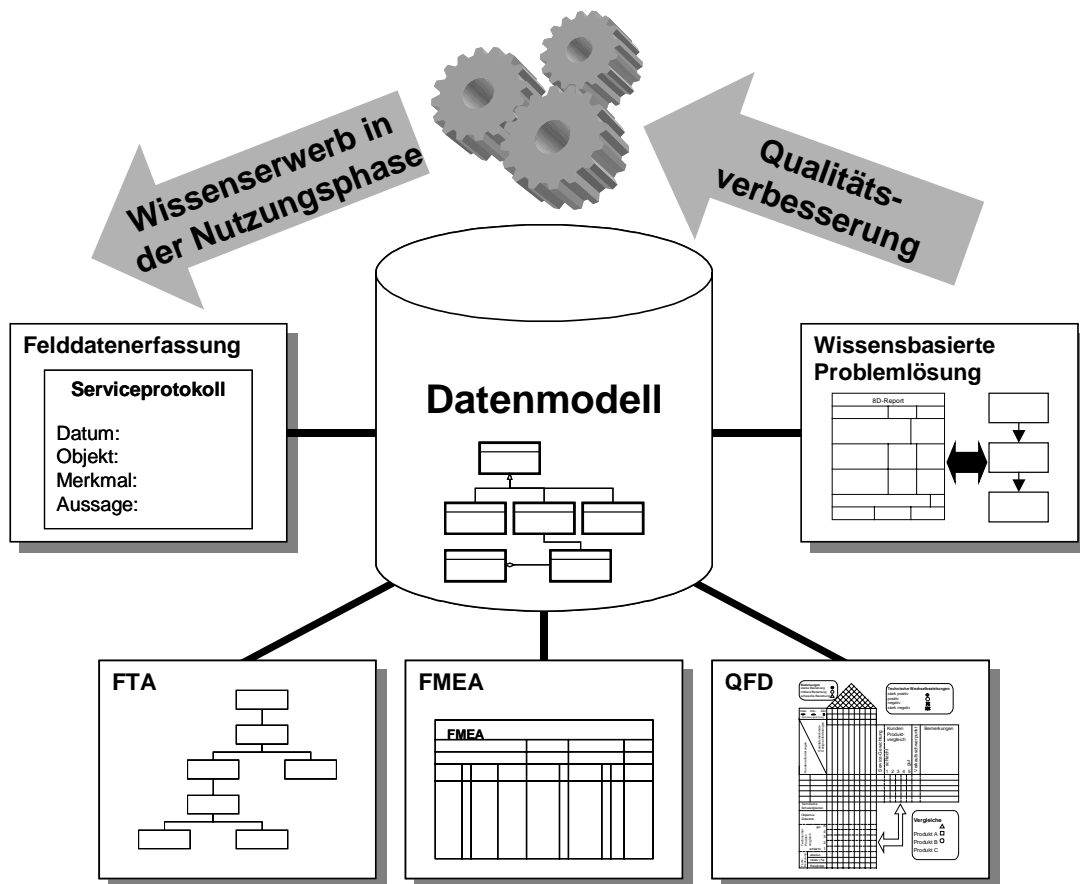


Abbildung 4-3: Integration von Funktionen zur Erfassung und Nutzung von Felddaten über ein gemeinsames Datenmodell

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt die Modellierung für wesentliche Funktionen und Methoden in der Entwicklungs- und Nutzungsphase. Hierbei werden vorrangig

- die Felddatenerfassung,
- die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) sowie
- die Serviceunterstützung durch Zugriff auf Erfahrungswissen

betrachtet. Das Modell enthält darüber hinaus Attribute, die eine Nutzung der Felddaten im Rahmen der Fehlerbaumanalyse (FTA) und des Quality Function Deployment (QFD) ermöglicht. Bei der Modellierung muss aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten in den einzelnen Anwendungsbereichen eine plattform- und systemunabhängige Vorgehensweise gewählt werden. So stehen im Entwicklungsbereich in der Regel leistungsfähige UNIX- und NT-Workstations zur Verfügung, wohingegen der Service allenfalls mit mobilen PCs ausgestattet ist.

Im Rahmen der Entwicklungsaktivitäten von STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) wird versucht, einen allgemeinen Standard für die Repräsentation und den Austausch von Produktdaten zu schaffen [109]. Zur Anpassung der Leistungsfähigkeit von STEP an bestimmte Einsatzgebiete wurden Anwendungsprotokolle, sogenannte „Application Protocols“ (AP) entwickelt, so beispielsweise das AP 214 für die Automobilindustrie [110]. Mit dem AP 208 (Life Cycle Management – Change Process) steht ein Modell zur Repräsentation von Lebenszyklusinformationen zur Verfügung, das vielfach jedoch nicht ausreicht, um alle erforderlichen Zusammenhänge abzubilden [111]. Die dort definierten Strukturen müssen bei der Datenmodellierung allerdings berücksichtigt werden, um eine Integration der erarbeiteten Ansätze in andere Informationssysteme, die sich am STEP-Standard ausrichten, nicht von vornherein auszuschließen.

5 Konzept für die Nutzung von Felddaten in der Produktentwicklung und im Service

5.1 Spezifikation eines Datenmodells zur Abbildung von Felddaten

5.1.1 Grafische Repräsentation des Objektmodells

Die Unified Modeling Language (UML) gilt zunehmend als Standardnotation für Analyse und Design objektorientierter Systeme und wurde für die Repräsentation der Objektmodelle in der vorliegenden Arbeit verwendet. Basierend auf den zuvor definierten Notationen Booch, Object Modeling Technique (OMT) und Object-Oriented Software Engineering (OOSE) bietet UML eine Vielzahl grafischer Modelltypen zur Spezifikation, Visualisierung und Dokumentation objektorientierter Systeme [112, 113, 114, 115]. Diese Typen lassen sich einteilen in Modelle für die Spezifikation der statischen Systemstruktur und in Modelle zur Beschreibung des dynamischen Systemverhaltens. Zu den dynamischen Modellen zählen Interaktionsdiagramme sowie Zustands- und Aktivitätsdiagramme.

Für die UML-Spezifikation, die die grafische Notation und die Sprachelemente festlegt, existiert eine umfangreiche Dokumentation, derzeit in der Version 1.3 [116]. Im folgenden werden ausschließlich die für die grafische Modellierung von Objekten erforderlichen Elemente und Grundprinzipien vorgestellt, die im weiteren Verlauf der Arbeit verwendet werden.

Klassen

Im Rahmen der objektorientierten Analyse und Modellierung sind Klassen und Objekte Hauptbestandteile des zu modellierenden Systems. Eine Klasse ist eine Menge von gleichartigen Objekten – das Objekt ist dementsprechend die Instanz, einer Klasse.

Ein Objekt kann definiert werden als eine Abstraktion von etwas in einem Anwendungsgebiet oder seiner Implementierung, die die Fähigkeit des Systems wiedergibt, darüber Informationen zu halten und damit zu interagieren [117]. Ein Objekt kann demzufolge bestimmte Eigenschaften und ein bestimmtes Ver-

halten aufweisen und bietet Schnittstellen an, um das Objekt zu beeinflussen. Die Werte der Attribute eines Objekts repräsentieren dessen Eigenschaften. Die Operationen eines Objekts stellen sein Verhalten dar. Durch diese Schnittstelle ist das Objekt von außen beeinflussbar. In Abbildung 5-1 ist die UML-Notation von Klassen und Objekten dargestellt [112].

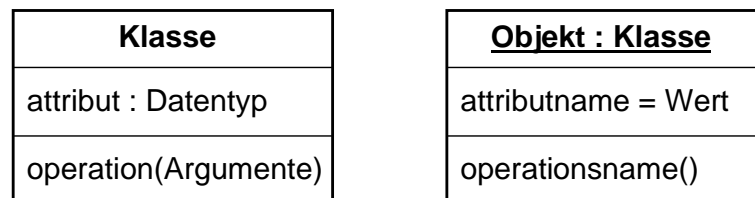


Abbildung 5-1: Darstellung von Klassen und Objekten in UML-Notation

Vererbung

Die Vererbung ist ein Mechanismus, durch den speziellere Elemente die Struktur und das Verhalten allgemeinerer Elemente übernehmen [112]. Durch Vererbung ist es somit sehr leicht möglich, Ähnlichkeiten zwischen Klassen zu definieren. Wenn Klassen in einer Vererbungsbeziehung stehen, erben eine oder mehrere Klassen die Attribute und Operationen einer übergeordneten Klasse. Der Vererbungsmechanismus (Abbildung 5-2) kann daher für die Beschreibung von Gemeinsamkeiten zwischen Klassen verwendet werden.

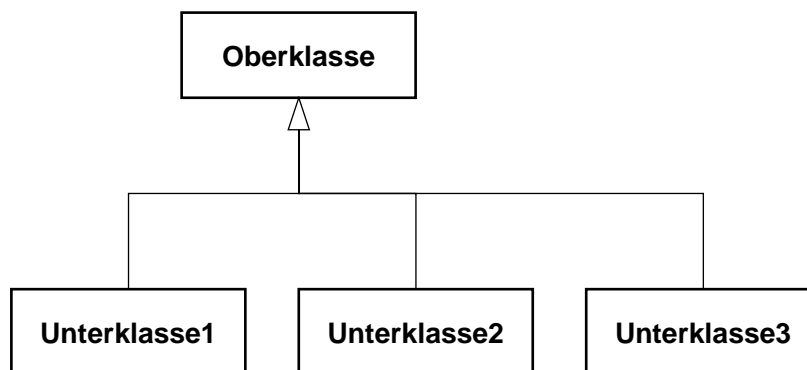


Abbildung 5-2: Darstellung des Vererbungsmechanismus

Assoziationen

Unter Assoziationen werden strukturelle Beziehungen verstanden, die die logischen Zusammenhänge von Objekten beschreiben [112]. Im Hinblick auf die spätere Implementierung ist bei der Modellierung die Angabe erforderlich, wie viele

Objekte in der Instanz einer Assoziation zusammenhängen können. Diese sogenannte Multiplizität der Assoziation wird durch Zahlen oder Zahlenbereiche sowie bei unbestimmten Multiplizitäten durch das *-Symbol gekennzeichnet. Besondere Arten der Assoziation sind die Aggregation für eine „Ganzes/Teil-Beziehung“ sowie die Komposition, die ein Spezialform der Aggregation mit ausgeprägter Eigentümerschaft des Ganzen über die Teile mit übereinstimmender Lebensdauer darstellt (Abbildung 5-3).

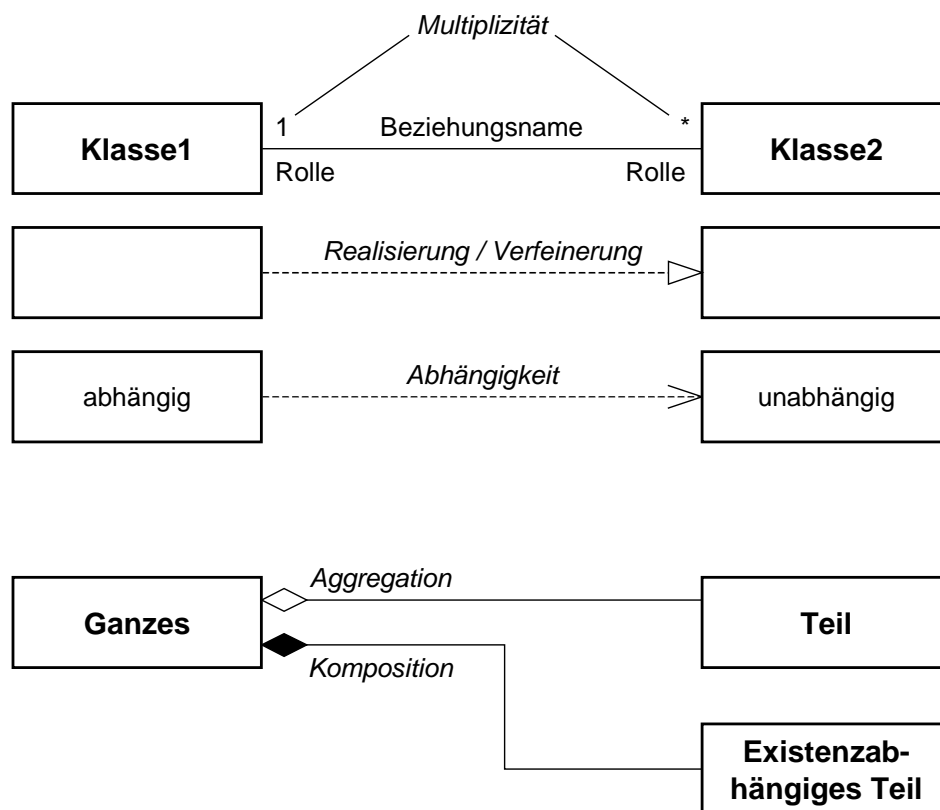


Abbildung 5-3: Assoziationen in UML-Notation

5.1.2 Basismodelle einer felddatenbasierten Fallbasis

Für die Optimierung von Produktentwicklung und Service durch Lösungsvorschläge auf Basis von Felddaten wurde in der vorliegenden Arbeit das Prinzip des fallbasierten Schließens gewählt, da es den Zugriff auf Erfahrungen aus der Produktnutzung am besten ermöglicht (vgl. auch Kapitel 3.2). Die Wissensbasis in der vorliegenden Ausprägung besteht daher aus einer Falldatenbasis, die die relevanten Felddaten, die Maßnahmen sowie die erforderlichen Regeln in Form

von logischen Zusammenhängen der Felddaten zueinander und deren Beziehungen zu einzelnen Maßnahmen beinhaltet (Abbildung 5-4).



Abbildung 5-4: Modell einer felddatenbasierten Wissensbasis

Für Felddaten als Bestandteil des Produktmodells müssen Referenzen zu Produktstrukturelementen aufgebaut und berücksichtigt werden. Bei der Analyse kausaler Ketten in Form von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen macht es keinen Sinn, etwa einen Fehler „Rissbildung“ ohne Referenz zu betrachten, da in einer hinreichend großen Falldatenbasis vermutlich zahlreiche Fehlerfolgen für Risse an unterschiedlichsten Produkten zu finden sind, die losgelöst von einem Betrachtungsobjekt allerdings keine Unterstützung für einen induktiven Schluss bieten können. Bei der erwähnten Referenz kann es sich sowohl um ein gesamtes Produkt handeln als auch um Baugruppen, Einzelteile sowie Funktions- oder Geometriebereiche.

Im folgenden sind die für die Falldatenbasis erforderlichen Basis-Objektklassen mit den dazugehörigen Modellen beschrieben. Methoden- und anwendungsspezifische Klassen werden direkt in den entsprechenden Abschnitten dargestellt. Die Modelle wurden mit dem Modellierungswerkzeug Rational Rose³ erstellt, was neben der Vereinfachung der Modellierung durch vordefinierte Elemente eine sofortige Konsistenzüberprüfung der Modelle ermöglichte. Darüber hinaus bietet die Modellierungsumgebung eine direkte Ableitung von Klassen für C++ oder Java [118].

³ Rational Rose ist ein eingetragenes Warenzeichen der Rational Software Corporation

Produktstrukturen

Die Abbildung von Produktstrukturelementen wird auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus vorgenommen. Das bedeutet, dass jedes Objekt in Komponenten zerlegt werden kann, die ihrerseits wiederum zerlegbare Objekte darstellen können. Das Modell für die Abbildung derartiger hierarchischer Produktstrukturen mit beliebiger Tiefe ist in Abbildung 5-5 dargestellt.

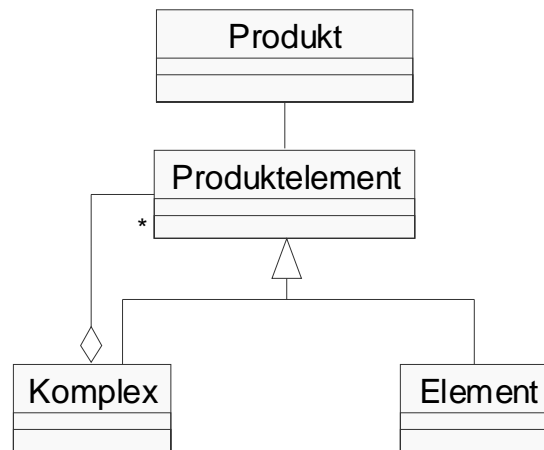


Abbildung 5-5: Allgemeines Modell zur Abbildung von Produktstrukturen

Für die Abstraktion im Zusammenhang des fallbasierten Schließens ist es erforderlich, dass sich die Objekte der Produktstruktur verallgemeinern lassen. Hierbei werden als Spezifikationsebenen

- eine individuelle,
- eine spezifische und
- eine generische

Produktstruktur unterschieden (Abbildung 5-6) [12].

In der generischen Produktstruktur werden die Merkmale und die Struktur festgelegt, die das Produkt aufweisen soll, d. h. die Baugruppenstruktur liegt weitgehend fest und die generischen Produktelemente sind benannt. Diese Detaillierungsebene kann beispielsweise einem Produktkonzept entsprechen. Die spezifische Produktstruktur definiert bereits die konkreten Ausprägungen der einzelnen Produktelemente, etwa durch Referenzierung von Zeichnungen und CAD-Modellen. Die spezifische Produktstruktur kann mit einer Spezifikation gleichge-

setzt werden, auf deren Basis die Fertigungsunterlagen abgeleitet werden können.

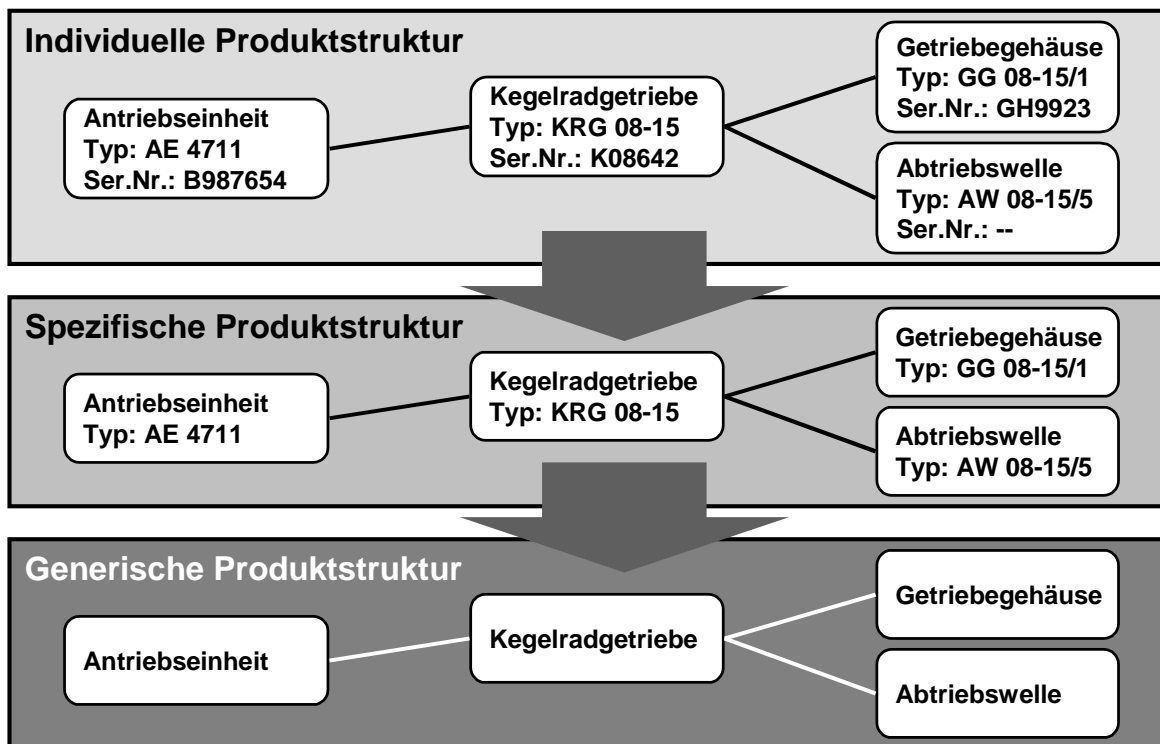


Abbildung 5-6: Generalisierungsprinzip

Die individuelle Produktstruktur schließlich repräsentiert die tatsächlichen Zustände eines – physisch vorhandenen – Produktes. Hierbei erfolgt die Zuordnung z. B. über Serien- oder Chargennummern. Auf dieser Basis lassen sich für alle eindeutig identifizierbaren Produkte individuelle Informationen ablegen. Das korrespondierende Datenmodell für die Spezifikationsebenen von Produkten ist in Abbildung 5-7 dargestellt.

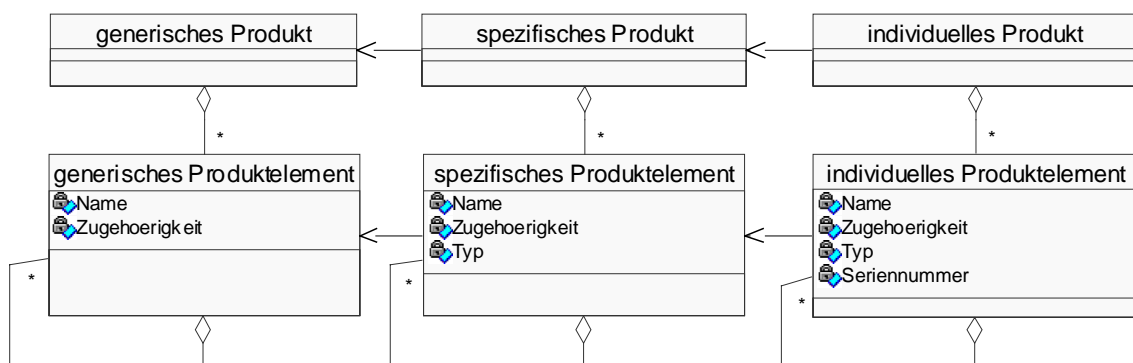


Abbildung 5-7: Abbildung der Spezifikationsebenen eines Produktes

Im Zusammenhang einer Erfassung und Analyse von Felddaten sind allerdings nicht ausschließlich Fehler von Belang. Ebenso müssen positive Sachverhalte berücksichtigt werden, um z. B. eine kausale Kette von einem Fehler über eine Maßnahme hin zu einem positiven Zustand abbilden zu können und somit für informationstechnische Mechanismen handhabbar zu machen. Durch die Abbildung nicht-negativer Produktzustände ist es möglich, geeignete Maßnahmen zu identifizieren, die auf ein konkretes Problem angewendet eine Verbesserung des derzeitigen Zustands bewirken.

Fehler und indifferente oder positive Zustände an Produkten werden daher unter dem Begriff des Sachverhalts zusammengefasst. Wie bereits beschrieben ist im Hinblick auf eine informationstechnische Verarbeitung eine Systematik zur Beschreibung von Sachverhalten erforderlich, die auf Freitexte weitgehend verzichtet oder diese nur als ergänzende Beschreibung zulässt. Um einen Sachverhalt dennoch möglichst detailliert und vollständig zu beschreiben, wird ein Aussagesatz aus mehreren vordefinierten Elementen in der Form *Objekt - Merkmal - Aussage* gebildet. Das entsprechende Modell ist in Abbildung 5-9 dargestellt, wobei Informationsobjekt und Merkmal zu einer Betrachtungseinheit zusammengefasst wurden.

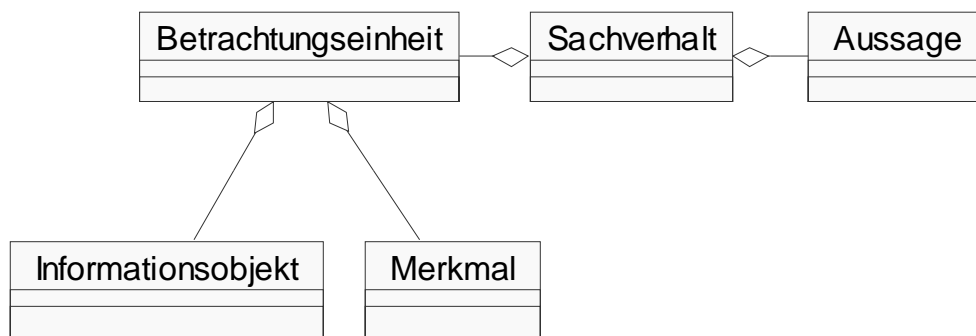


Abbildung 5-9: Modell zur Abbildung von Sachverhalten nach Woll [12]

Ein Fehler wird in diesem Modell als ein negativer Sachverhalt, also ein Sachverhalt mit negativer Aussage gebildet. Das Objekt kann sich hierbei wie bereits erwähnt auf ein komplettes Produkt, eine Baugruppe oder auch auf Einzelteile oder bestimmte Bereichen an Teilen beziehen, je nach Detaillierungsgrad der zugrundeliegenden Produktstruktur und Genauigkeit der Zuordnung des Fehlers oder Sachverhalts.

Kausale Beziehungen

Die Grundlage der Abbildung von Erfahrungswissen auf Basis von Felddaten bilden kausale Beziehungen in Form von Ursache-Wirkungs-Beziehungen (UWB) zwischen einzelnen Sachverhalten. Dadurch wird sowohl der direkte Zugriff auf das gespeicherte Erfahrungswissen in Form systematischer Suchfunktionen als auch die Nutzung von Felddaten in methodischen Ansätzen ermöglicht. Durch die Einführung des UWB-Objektes stehen Möglichkeiten bereit,

- die Relation zwischen zwei Sachverhalten zu quantifizieren, indem entsprechende Attribute hinzugefügt werden und
- zusätzliche Informationen wie beispielsweise Maßnahmen mit der Relation zu verknüpfen.

Darüber hinaus wird somit sichergestellt, dass eine Repräsentation von Netzstrukturen ermöglicht wird und nicht eine Beschränkung auf hierarchische Baumstrukturen erfolgt [75].

Ein allgemeines Modell für Ursache-Wirkungs-Beziehungen ist in Abbildung 5-10 dargestellt. Auf dieser Basis lassen sich beliebig komplexe Sachverhaltsnetzwerke aufbauen. In Verbindung mit verknüpften Maßnahmen und der Abbildung der durch diese Maßnahmen veränderten Wirkungen kann eine entsprechende Felddatenwissensbasis aufgebaut werden. Für die Nutzung des so repräsentierten Erfahrungswissens sind Abstraktions- und Filtermechanismen erforderlich, die aus den gespeicherten Lösungen diejenigen identifizieren, die sich sinnvoll für das aktuelle Problem adaptieren lassen.

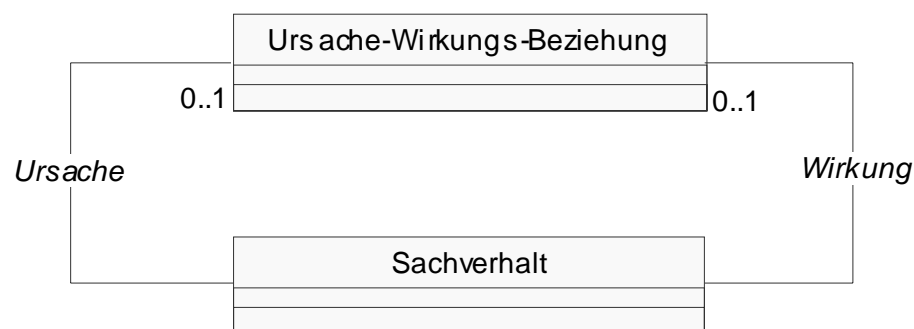


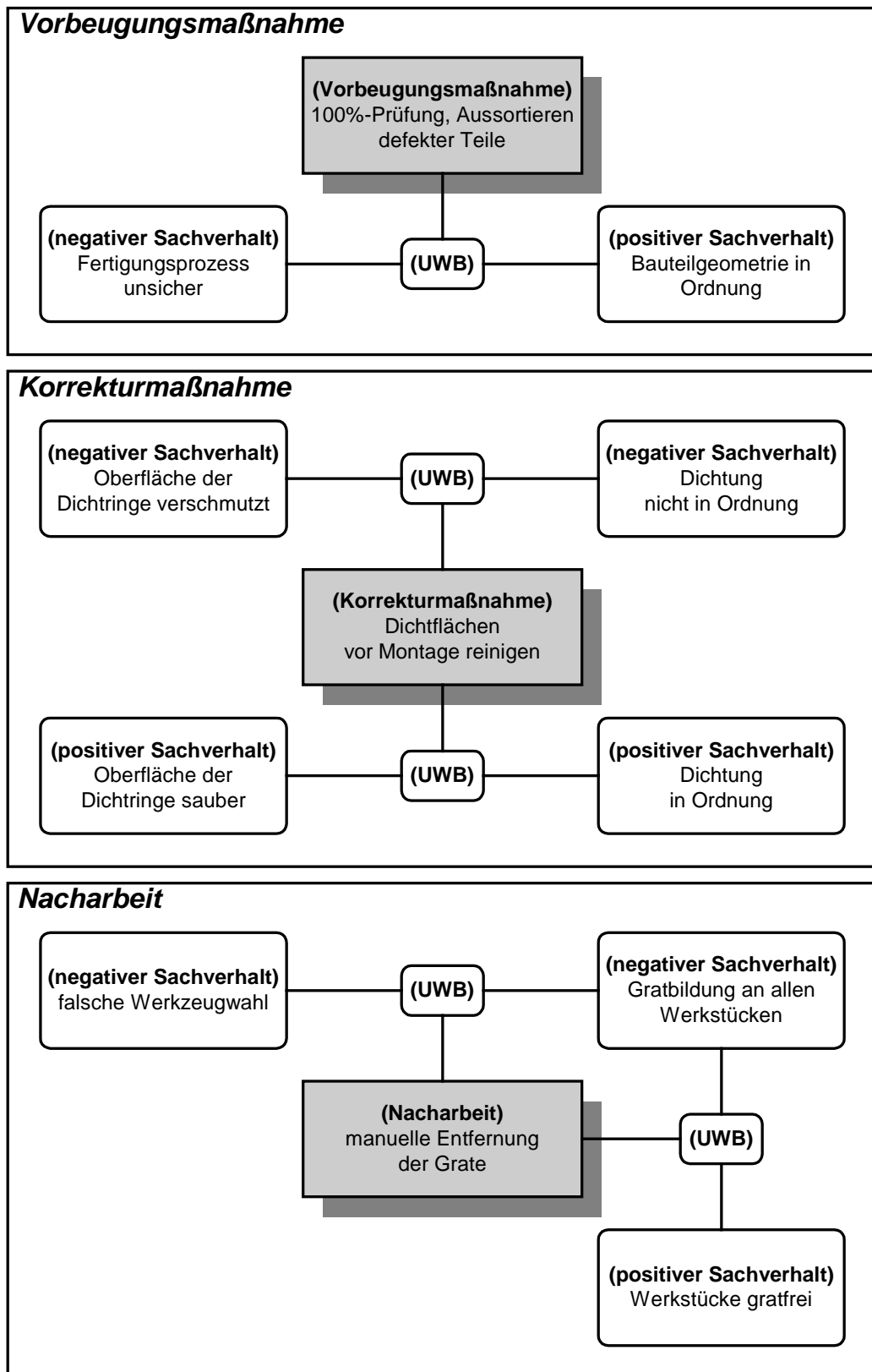
Abbildung 5-10: Modell für Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Qualitätsmanagementmethoden wie FMEA, Fehlerbaum- oder Ereignisablaufanalyse beschreiben ebenfalls kausale Ketten, z. B. als Fehlerursache-Fehler-Fehlerfolge-Kette. Bei der klassischen FMEA beschränkt sich dies auf drei Ebenen, während bei der Fehlerbaum- und Ereignisablaufanalyse beliebig tiefe Ketten gebildet werden können, allerdings immer in Form hierarchischer Baumstrukturen. Das Modell für die Abbildung von Wirkzusammenhängen ist im vorliegenden Ansatz jedoch nicht auf eine bestimmte Methode festgelegt. Es wurde allgemein konzipiert, um eine mögliche Nutzung im Rahmen von Anwendungen mit jeweils unterschiedlicher Ausrichtung zu gewährleisten, also von methodenübergreifenden Werkzeugen ebenso wie von Systemen zur Unterstützung von Qualitätsmanagementmethoden, soweit dabei eine Nutzung von Felddaten sinnvoll ist. Hierzu ist es jedoch erforderlich, das allgemeine Modell um methodenspezifische Attribute zu erweitern. Die entsprechende Modellerweiterung für die felddatenbasierte Unterstützung der FMEA werden im weiteren Verlauf der Arbeit beschrieben (vgl. Kapitel 5.4.3).

Maßnahmen

Im Gegensatz zu den meisten bisherigen Ansätzen, in denen Maßnahmen direkt bestimmten Fehlern zugeordnet sind, wird hier eine andere Herangehensweise verfolgt. In der Regel ist für die Wahl einer Maßnahme nicht unbedingt ein Fehler an sich ausschlaggebend sondern vielmehr die Beziehung zwischen einem Fehler und einer Fehlerfolge. Dadurch lässt sich auch die Wirksamkeit von Maßnahmen abbilden, indem eine ursprüngliche Fehlerfolge durch Ergreifen einer Maßnahme in eine andere Wirkung – mit einem positiveren Zustand – überführt wird.

Die Maßnahmen selbst werden gemäß DIN EN ISO 9000:2000 unterschieden in Vorbeugungsmaßnahmen, Korrekturmaßnahmen und Nacharbeit [15]. Die Modellstruktur ist bei allen drei Maßnahmentypen identisch. Allerdings existieren für Vorbeugungsmaßnahmen, die der Beseitigung der Ursachen eines möglichen Fehlers dienen und nicht aufgrund bereits aufgetretener Fehler ergriffen werden, nur verbesserte Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Eine beispielhafte Abbildung der Maßnahmen in Sachverhaltsnetzen ist in Abbildung 5-11 dargestellt.



UWB: Ursache-Wirkungs-Beziehung

Abbildung 5-11: Abbildung unterschiedlicher Maßnahmenarten in Sachverhaltsnetzen

Das Datenmodell für Maßnahmen ist in Abbildung 5-12 aufgezeigt. Verzichtet wurde in der Darstellung auf die für die Implementierung notwendigen Attribute wie Beschreibung, Starttermin, Endtermin usw. sowie auf die Assoziationen zu den erforderlichen Ressourcen und Verantwortlichkeiten.

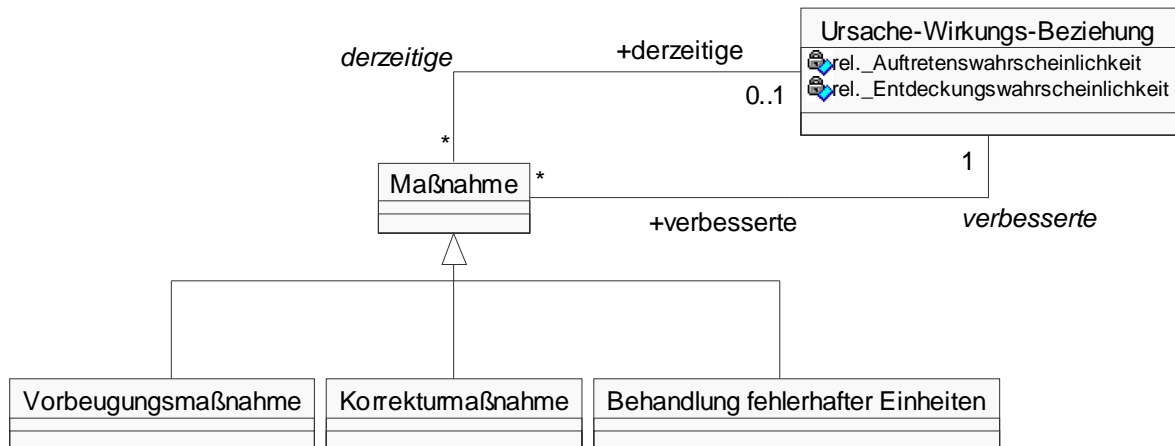


Abbildung 5-12: Maßnahmenmodell

Felddaten

Zur Modellierung der unterschiedlichen Arten von Felddaten wird das Aussageobjekt des Sachverhaltmodells erweitert (Abbildung 5-13). Dieser elementare Aussagetyp setzt sich aus einer Beschreibung und ergänzenden Dokumenten wie z. B. Zeichnungen, Messprotokollen oder auch CAD-Modellen zusammen.

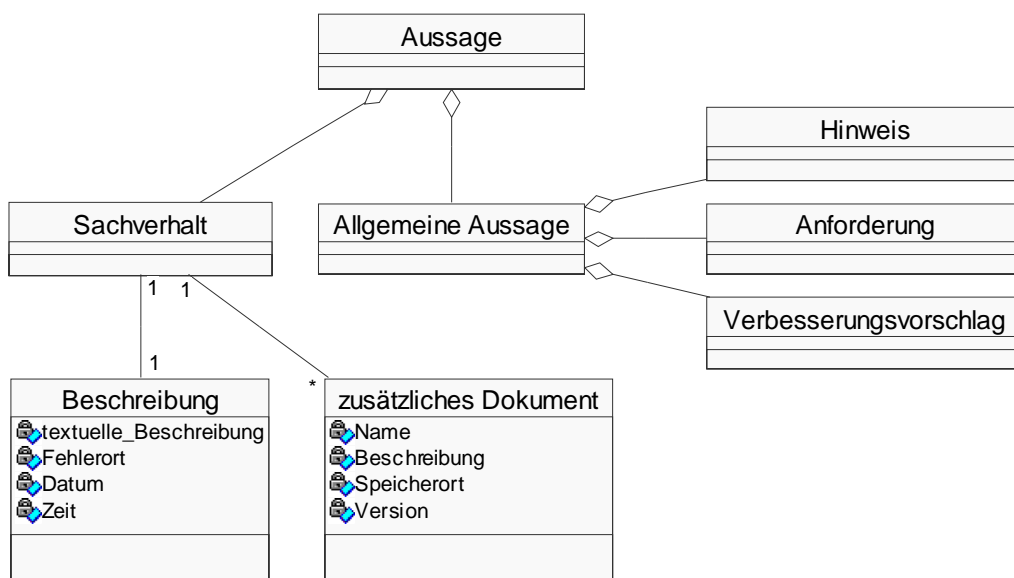


Abbildung 5-13: Objektmodell für Felddaten

Gemäß dem Sachverhaltsmodell ist ein Fehler somit ein Sachverhalt mit einer auf individuelle Produktelemente bezogenen negativen Aussage. Das Produktelement ist über die Betrachtungseinheit des Sachverhalts assoziiert. Die Ursachen und Maßnahmen werden über die Ursache-Wirkungs-Beziehungen des Sachverhalts referenziert.

Andere Arten von Felddaten wie beispielsweise Kundenwünsche oder Hinweise des Servicetechnikers beziehen sich ebenfalls auf eine Betrachtungseinheit, die Aussage ist jedoch üblicherweise frei formuliert und lässt sich im Hinblick auf eine methodische Nutzung nur grob kategorisieren.

5.2 Aufbau von Qualitätsregelkreisen auf Basis von Felddaten

5.2.1 Fehlermanagement

Grundgedanke des Fehlermanagements ist es, das Prinzip der Wiederholfehlervermeidung („Aus Fehlern lernen“) durch geeignete Methoden und Softwarewerkzeuge zu unterstützen. Dabei muss sowohl die Produktherstellung, d. h. die Aktivitäten bis zur Auslieferung an den Kunden (Internes Fehlermanagement), als auch die Produktnutzung beim Kunden (Externes Fehlermanagement) betrachtet werden [23]. Von besonderer Bedeutung bei der Entwicklung eines solchen Lösungsansatzes ist die Einbeziehung der bestehenden informationstechnischen Infrastruktur der jeweiligen Unternehmen und die Verbreitung des Prinzips der Wiederholfehlervermeidung in Workshops und Schulungen [119].

Zum Aufbau von rechnerunterstützten Qualitätsregelkreisen, die den Produktentwicklungsprozess auf Grundlage von Fehleranalysen verbessern, müssen Mechanismen etabliert werden, die Informationen über die im Feldeinsatz aufgetretenen Fehler in vorgelagerte Phasen zurückführen [120]. Nicht quantifizierbare Fehler lassen sich nicht mit Hilfe mathematisch-statistischer Methoden verdichten und aufbereiten, um direkte Stellgrößen für eine Regelung abzuleiten, wie etwa bei Regelkreisen in Fertigungsbereichen, die auf Basis eines Vergleichs von Messergebnissen mit einem Sollwert Maschinenparameter nachregeln. Für qualitativ beschriebene Fehler sind für die Qualitätsregelung der Produkt-

entwicklung daher Qualitätsmanagementmethoden erforderlich, mit deren Hilfe der Optimierungsprozess ermöglicht wird (Abbildung 5-14).

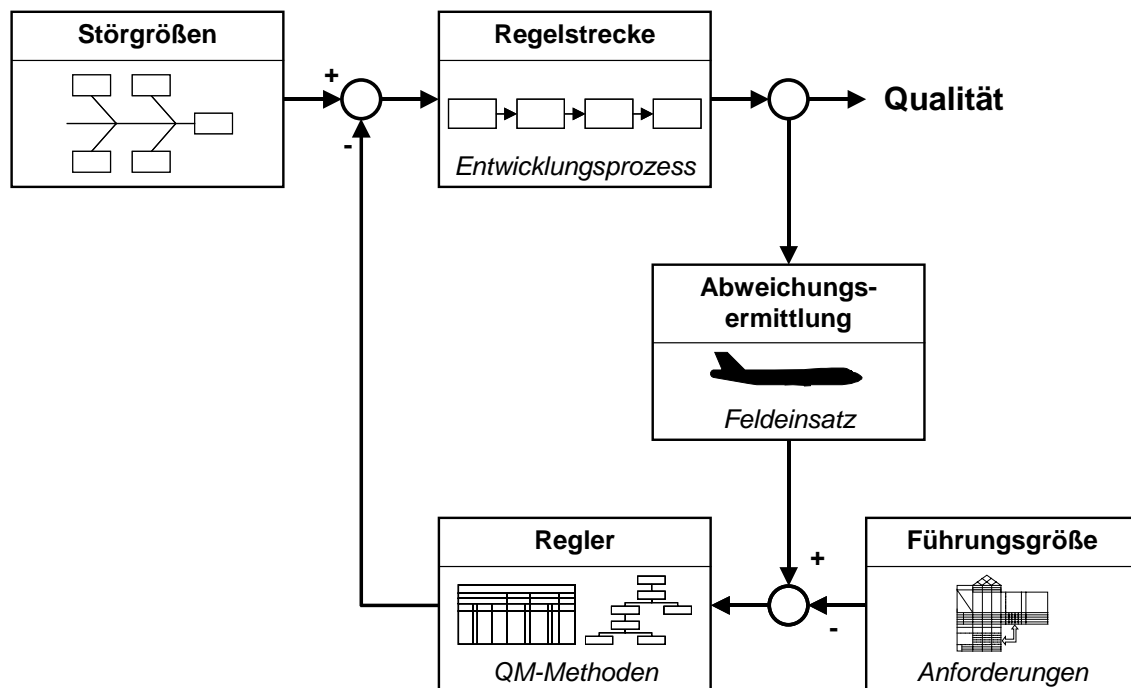


Abbildung 5-14: Qualitätsregelkreis auf Basis von Felddaten

Durch die Recherche in der felddatenbasierten Fallbasis werden dem Anwender im vorliegenden Konzept unterschiedliche Unterstützungsmöglichkeiten angeboten, womit eine Nutzung für verschiedene Unternehmensaufgaben möglich wird.

5.2.2 Optimierung des Services

Der Service, in der Betrachtungsweise der vorliegenden Arbeit typischerweise in Form eines technischen Kundendienstes insbesondere für Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben zuständig, ist ein wichtiger Lieferant von Felddaten. Nicht zuletzt deshalb liegt es nahe, dass im Rahmen der wissensbasierten Aufbereitung von Felddaten interne Regelkreise aufgebaut werden, die auch eine Optimierung der eigentlichen Serviceprozesse ermöglichen.

In diesem Zusammenhang sind vor allem die auf Basis von Felddaten aufgebauten kausalen Ketten zu betrachten, die im Rahmen der Instandsetzung eine wirklichkeitsnahe Ursachenanalyse gestatten. So können – im Hinblick auf eine Fehlervermeidung – direkt die Grundursachen der jeweils aufgetretenen Prob-

leme bekämpft werden, anstatt dass beispielsweise durch das alleinige Auswechseln defekter Bauteile Fehler nur vorübergehend behoben werden.

Hierzu in enger Verbindung steht die Abbildung der Wirksamkeit eingeleiteter Maßnahmen mit Hilfe einer wissensbasierten Felddatenverarbeitung, die bei den teilweise sehr komplexen Serviceprozessen Hilfestellung bieten kann. Die Repräsentation des Servicewissens der Techniker muss hierbei im Vordergrund stehen, um eine hohe Servicequalität weitgehend personenunabhängig zu gewährleisten.

Die informationstechnische Unterstützung der Serviceprozesse kann auf mehrere Arten erfolgen. Die offensichtlichste Aufgabe eines „Serviceinformationssystems“ ist die Bereitstellung aller erforderlichen kunden- und produktbezogenen Informationen für die administrativen und technischen Aufgaben des Servicetechnikers. Zu diesen Informationen gehören beispielsweise

- Produktstrukturen,
- Zeichnungen,
- Montage- und Demontageanleitungen sowie
- Checklisten (vgl. Kapitel 3.3.2).

Darüber hinaus ist die Bereitstellung der gesamten Produkthistorie für die Fehler- und Ursachenanalyse sowie für die Ableitung geeigneter Maßnahmen hilfreich. Die Produkthistorie muss insbesondere bei komplexen Produkten wie beispielsweise Maschinen oder Anlagen

- die Liste sämtlicher Störungen und Ausfälle,
- die Dokumentation aller Instandhaltungsaktivitäten inkl. der Liste aller ausgetauschten Bauteile mit Angaben über den Austauschzeitpunkt sowie
- insbesondere bei mobilen Produkten eine Beschreibung der – eventuell sehr unterschiedlichen – Einsatzbedingungen des Produktes

umfassen. In der vorliegenden Arbeit wird dieser Aspekt, der in der Literatur als „Verfolgung des Produktlebenslaufs“ bezeichnet wird, nicht schwerpunktmäßig betrachtet. Aktuelle Forschungsarbeiten zu diesem Themenfeld wurden bereits in Kapitel 3.3.4 beschrieben.

Als weiterer wichtiger Punkt im Hinblick auf eine systemtechnische Serviceunterstützung ist die Bereitstellung von Mechanismen für die Ursachenanalyse und die Identifikation geeigneter Maßnahmen. Hierfür wird im folgenden ein Konzept vorgestellt, das auf dem Prinzip des fallbasierten Schließens beruht. Die Basis dafür bildet eine detaillierte Fehler- und Zustandsbeschreibung des defekten Produktes. Über eine schrittweise Generalisierung dieser Beschreibung kann eine Aussage mit einem größeren Gültigkeitsbereich bestimmt werden. Auf dieser Grundlage können aus einer Falldatenbasis ähnlich gelagerte Fälle abgerufen werden, für die bereits erfolgreiche Maßnahmen dokumentiert sind. Die auf diese Art und Weise gewonnenen Maßnahmen sind zu bewerten und auf die aktuelle Problemlage anzupassen.

5.2.3 Optimierung der Produktentwicklung

Zum Aufbau phasenübergreifender Qualitätsregelkreise muss ein Zusammenwirken von Qualitätsmanagementmethoden in allen Lebensphasen eines Produktes erreicht werden [121]. Die in den Unternehmen verwirklichten Regelkreise beschränken sich jedoch meist auf die produktionsnahen Bereiche. Eine effektive Rückführung von Informationen in die Produktentwicklung aus nachgelagerten Phasen findet praktisch nicht statt, sieht man von wenigen – sehr problemspezifischen – Ansätzen in der Luftfahrtindustrie einmal ab [55].

Eine Rückführung der Felddaten in die Produktentwicklung ist jedoch aus mehreren Gründen sinnvoll. Zum einen kann das zugrundeliegende Datenmaterial als weitestgehend realistisch betrachtet werden. Hierbei sind allerdings Mechanismen zu etablieren, die entweder dafür Sorge tragen, dass den einzelnen für die Felddatenerfassung zuständigen Stellen keine Manipulationsmöglichkeiten zur Verfügung stehen oder dass eine Manipulation keinen persönlichen oder bereichsbezogenen Vorteil bringt und somit obsolet wird. Zum anderen kommen die aus dem Feld gewonnenen Informationen direkt aus den für die jeweiligen Produkte relevanten Märkten und spiegeln daher die „Stimme des Kunden“ wider.

Darüber hinaus lässt sich bei der Einrichtung eines entsprechenden Berichtswesens auf Basis von Felddaten eine weitere Quelle für Kundenanforderungen erschließen, die eine andere Aussagequalität besitzt als beispielsweise Marktfor-

sungen oder kosten- und zeitintensive Kundenbefragungen, da sie auf konkreten Erfahrungen in der Anwendung bestehender Produkte basieren.

All diese Möglichkeiten setzen allerdings voraus, dass neben einer zweckgerechten Felddatenerfassung – nicht alle Informationen, die aus dem Feld gewonnen werden können, sind im Hinblick auf eine Nutzung in Planung und Entwicklung sinnvoll – eine aufgabenangepasste Aufbereitung und Verarbeitung gegeben ist. Diese Anforderungen legen den Einsatz wissensbasierter Techniken nahe, da hierdurch Erfahrungswissen repräsentiert und der Anwender bei seinen Problemlösungsprozessen situationsgerecht unterstützt wird. Insbesondere die Nutzung von Felddaten im Rahmen von in der Produktentwicklung angewendeten Qualitätsmanagementmethoden (z. B. QFD, FMEA, FTA) ist entsprechend zu unterstützen [23]. Der Schwerpunkt der im weiteren Verlauf beschriebenen Konzepte liegt auf einer felddatenbasierten Unterstützung der Konstruktions-FMEA, die zum einen Hilfestellung für die Erstellung der kausalen Strukturen bietet, zum anderen eine Objektivierung der Risikoanalyse ermöglicht.

5.3 Methodenübergreifende Werkzeuge

5.3.1 Bausteine zur Erfassung von Felddaten

5.3.1.1 Erfassung durch den Service

Die Realisierung der Felddatenerfassung durch den Service ist vorrangig zu unterstützen, da ein direkter Kontakt zu den Produkten und häufig auch zu den Kunden besteht. Dabei werden durch den Service – häufig aufbauend auf den durch die Reklamationsannahme dokumentierten Informationen (vgl. Kapitel 3.3.3) – zahlreiche wichtige Informationen zusammengetragen, die neben der Dokumentation des Wartungs- oder Instandsetzungsaufwands für den Leistungsnachweis und die Rechnungsstellung ohnehin erforderlich sind. Hierzu gehören beispielsweise

- Fehler und Fehlerursachen,
- potenzielle Fehlerquellen,
- geplante und durchgeführte Maßnahmen,
- ausgetauschte Ersatzteile sowie

- Einsatzinformationen und Maschinendaten.

Durch den direkten Kundenkontakt fallen darüber hinaus noch weitere Informationen an, die für gewöhnlich nicht in Serviceberichten dokumentiert werden, aufgrund des Potenzials aber für eine spätere Nutzung unbedingt erfasst werden sollten. Hierbei handelt es sich meist um Informationen, die der Anwender des Produktes im Dialog mit dem Servicetechniker nennt, so z. B.

- produktbezogene Anmerkungen wie Handhabungsprobleme, positive und negative Besonderheiten – insbesondere im Vergleich zu ebenfalls im Einsatz befindlichen Konkurrenzprodukten, oder auch
- Produktanforderungen, die der Anwender beispielsweise durch das Nachfolgemodell erfüllt haben will.

In Ergänzung zum Servicebericht wird hierzu ein sogenannter Feedbackbericht eingeführt [6]. Über diese Berichtsform ist es möglich, alle auffälligen Merkmale oder Besonderheiten des im Einsatz befindlichen Produktes zu dokumentieren, ohne dass sie direkt mit einer Störung verknüpft werden muss. Auf diese Art und Weise lassen sich beispielsweise auch explizit oder implizit vom Kunden geäußerte Anforderungen dokumentieren und mit dem entsprechenden Produkt verknüpfen.

Der Zugriff auf die vom Service erfassten Daten hängt insbesondere davon ab, ob es sich dabei um einen Bereich des Herstellerunternehmens handelt, oder um einen externen Servicedienstleister. Im letzteren Fall sind entsprechende Verträge abzuschließen, die den Dienstleister zur Datenerfassung und -weitergabe verpflichten. Gegebenenfalls werden dem externen Service vom Hersteller auch Hard- und Softwarewerkzeuge zur Verfügung gestellt, die eine Datenerfassung in der gewünschten Form ermöglichen und den Datenaustausch einfach gestalten. Eine Auflistung der Vor- und Nachteile, die die Felddatenerfassung durch den Service mit sich bringt, ist in Abbildung 5-15 dargestellt.

Die Subjektivität der Datenerfassung, die grundsätzlich vorhanden ist, wenn qualitative Daten durch Menschen erfasst werden und im Rahmen der Erfassung gegebenenfalls auch interpretiert werden müssen, lässt sich auch durch den Einsatz intelligenter Erfassungssysteme nicht vollständig ausschließen. Allerdings

wird durch kontextsensitive Eingabefelder sowie den weitgehenden Verzicht auf Bemerkungen in Form von Freitext dieses Problem deutlich reduziert.

Felddatenerfassung durch den Service	
Vorteile <ul style="list-style-type: none"> • Direkter Kontakt zu Kunden und Produkten • Detailliertes Produktwissen • Kostenzuordnung als Motivation der Nachweisführung 	Nachteile <ul style="list-style-type: none"> • Subjektivität nicht vollkommen auszuschliessen • personenabhängige Terminologieunterschiede • Manipulationsmöglichkeiten

Abbildung 5-15: Vor- und Nachteile der Felddatenerfassung durch den Service

Der Nachteil von personenabhängigen Unterschieden in der Begriffsverwendung kann weitestgehend dadurch vermieden werden, indem das eingesetzte Erfassungssystem jedem Anwender gestattet, sein persönliches Vokabular zu pflegen. Es muss lediglich ein Mechanismus bereitgestellt werden, der die logisch eindeutige Zuordnung der unterschiedlichen Begriffe zu der jeweiligen Bedeutung gewährleistet. Das kann über Referenztabelle, sogenannte „Mapping Tables“, erfolgen, d. h. Datenbanken, die jedem logischen Objekt beliebig viele Begriffe zuordnen, die dann synonym verwendet werden. Derartige Mapping Tables werden auch eingesetzt, um die Mehrsprachigkeit von Informationssystemen zu gewährleisten. Sie können von jedem Anwender erweitert werden, indem er einem Objekt den von ihm favorisierten Begriff zuordnet. Allerdings müssen die Tabellen von einer Kontrollinstanz regelmäßig auf Mehrdeutigkeiten hin überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden.

Die Manipulationsmöglichkeiten im Zusammenhang mit der personengebundenen Felddatenerfassung hingegen sind durch rein informationstechnische Maßnahmen nur schwer in den Griff zu bekommen. Bei diesen Problemen muss eher darauf geachtet werden, dass durch Falschangaben keine Vorteile für den Erfasser entstehen können und somit keine Motivation für Manipulationen besteht.

5.3.1.2 Erfassung durch den Kunden

Die Erfassung von Felddaten durch die Anwender der jeweiligen Produkte ist zwar sinnvoll, da nur der Anwender eine dauerhafte Beobachtung des Produktverhaltens gewährleisten kann. Allerdings gilt es, für die Etablierung dieser Erfassungsmöglichkeit zunächst einige Hindernisse auszuräumen. So ist die wichtigste Voraussetzung für eine Etablierung der Erfassung durch den Kunden die Schaffung von Anreizen für diesen. Das kann sich z. B. in einer besseren Unterstützung im Schadensfall widerspiegeln, etwa durch Einsatz eines rechnerunterstützten Diagnosesystems, sofern die Art des Produktes das zulässt. Ein weitergehender Ansatz in diesem Zusammenhang ist die Schaffung von Möglichkeiten der Behebung kleinerer Schäden durch den Anwender in Eigenregie, z. B. durch Online-Unterstützung über ein intelligentes Servicesystem. Hierbei kämen sofort Kostenvorteile zum Tragen, da keine Servicekosten für Anfahrt und Instandsetzung durch den Hersteller oder einen externen Dienstleister entstehen. Wichtige Voraussetzungen für derartige informationstechnische Lösungen sind

- die Bereitstellung einfacher Erfassungsmöglichkeiten sowie
- die direkte Integration des Erfassungsbausteins in das (Diagnose-)System des Herstellers, beispielsweise über eine Internet-basierte Verbindung.

Die jeweiligen Vor- und Nachteile einer kundenseitigen Felddatenerfassung sind in Abbildung 5-16 dargestellt.

Der per se begrenzte Zeitraum, in dem der Hersteller über das von ihm gelieferte Produkt Rückmeldungen vom Kunden erhält, lässt sich durch geeignete Maßnahmen wie beispielsweise verlängerte Garantiezeiträume oder Wartungsverträge verlängern (vgl. Kapitel 4.1). Hierbei ist allerdings durch eine Kosten-Nutzen-Abschätzung zu entscheiden, welche Garantiemodelle jeweils vereinbart werden.

Die Probleme der Subjektivität und der personenabhängigen Terminologieunterschiede gelten für die kundenseitige Felddatenerfassung gleichermaßen wie für die Erfassung durch den Service, allerdings ist die Pflege der beschriebenen Mapping Tables im Falle der kundenseitigen Felddatenerfassung ungleich aufwendiger. Darüber hinaus ist der Kunde schwieriger zu einem disziplinierten Umgang mit Begriffen zu bewegen, als ein vertraglich gebundener Servicetechniker.

Felddatenerfassung durch den Kunden	
<p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> • exakte Kenntnisse über die Einsatzbedingungen des Produktes • dauerhafte Produktbeobachtungen als Basis 	<p>Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> • in der Regel begrenzter Zeitraum der Rückmeldungen an den Hersteller • meist kein detailliertes Produktwissen vorhanden • Subjektivität, personenabhängige Terminologieunterschiede • Manipulationsmöglichkeiten und -interessen evtl. vorhanden

Abbildung 5-16: Vor- und Nachteile der Felddatenerfassung durch den Kunden

Das beim Anwender häufig fehlende detaillierte Produktwissen hat zur Folge, dass die Beschreibungen aufgetretener Fehler oder Zustände auf einem relativ allgemeinen Niveau erfolgt und somit eine Diagnose erschwert. Außerdem kann die Qualität der erfassten Daten darunter leiden, insbesondere bei der Erfassung nicht quantifizierbarer Daten.

Im Gegensatz zu einer Felddatenerfassung durch den Service bestehen bei der kundenseitigen Erfassung nicht nur Möglichkeiten der Datenmanipulation sondern auch entsprechende Interessen. Insbesondere bei Fehlbedienungen, bei falschem Einsatz des Produktes oder bei sonstigem Tun oder Unterlassen, das den Garantieverlust zur Folge hat, kann der Kunde versucht sein, dem Hersteller durch Datenmanipulation Produktfehler zu suggerieren. Die Möglichkeiten, derartige Manipulationen zu verhindern oder auf ein Minimum zu reduzieren, hängen sehr stark von der Art des Produktes und von den Beziehungen zwischen Kunde und Hersteller ab und werden in der vorliegenden Arbeit nicht weiter ausgeführt.

5.3.1.3 Erfassung beim Recycling

Die Möglichkeit der Felddatenerfassung im Rahmen des Produktrecycling bietet gegenüber den anderen Erfassungsmöglichkeiten den Vorteil, dass vor allem sol-

che Daten gewonnen werden können, die die Zerstörung eines Produktes oder bestimmter Teile erfordern.

Falls es sich bei den Produkten nicht um solche handelt, für die eine Rücknahmepflicht durch den Hersteller besteht oder sonstige Entsorgungsbestimmungen existieren, ist die Untersuchung einer repräsentativen Menge von Produkten nicht gewährleistet, da der Anwender in der Regel die kostengünstigste Entsorgungsvariante wählt. Eine Möglichkeit zur Verbesserung dieses Zustandes ist der Rückkauf gebrauchter Produkte durch den Hersteller.

Im Falle einer Entsorgung oder Verwertung der Produkte durch externe Recyclingunternehmen gilt es, seitens des Herstellers entsprechende Rahmenvereinbarungen mit diesen Unternehmen zu schließen, die beispielsweise die Produktdiagnose als kostenpflichtige Dienstleistung der Recyclingunternehmen vorsehen. Hierbei kann in Abhängigkeit der benötigten Daten

- die kostenpflichtige Rücknahme von Material, Teilen und Baugruppen durch den Hersteller,
- die Dokumentation der Diagnose und Demontage durch das Recyclingunternehmen sowie
- die Rücklieferung kritischer Teile an den Hersteller

vereinbart werden.

Zur Gewährleistung einer zweckgerechten Datenerfassung und eines reibungslosen und zeitnahen Datenaustausches ist die Bereitstellung eines Erfassungssystems für das Recyclingunternehmen vorteilhaft.

5.3.1.4 Automatische Erfassung

Die Hauptvorteile der automatischen Erfassung von Felddaten sind die Objektivität und die geringen Manipulationsmöglichkeiten sowie der meist geringe Aufwand für die eigentliche Erfassung. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass geeignete Einrichtungen zur Datenaufnahme zur Verfügung stehen und zielgerichtet eingesetzt werden. Typische Beispiele hierfür sind

- Sensoren für Temperatur, Feuchtigkeit, Geräusche, etc., sowie

- Messeinrichtungen zur Aufnahme von Maßen, Stromstärken, Geschwindigkeiten, Gewichten, etc.

In bestimmten Anwendungsfällen ist eine laufende Datenerfassungen zur Dokumentation des Betriebsverhaltens auch gesetzlich vorgeschrieben, so etwa in der Luftfahrt oder beim Betrieb sicherheitsgefährdender Anlagen wie Chemie- und Kernkraftwerke [122].

Die Ausstattung der Produkte und Anlagen mit entsprechenden Sensoren und Messeinrichtungen ist im Gegensatz zur eigentlichen Datenaufnahme relativ aufwendig. So muss beispielsweise für die Prozessdatenerfassung verfahrenstechnischer Anlagen entschieden werden, welche Daten wo mit welchen Einrichtungen in welcher Form aufgenommen werden sollen. Die Einrichtungen müssen anschließend installiert und kalibriert und über geeignete Schnittstellen mit den Rechnern oder sonstigen Speichergeräten verbunden werden. Auf Basis derartiger Systeme lassen sich im Betrieb nahezu beliebig viele Daten erfassen, wenn die Zeitspanne zwischen der Abnahme zweier aufeinanderfolgender Werte eines Messelementes nur hinreichend kurz gewählt wird. Die so gewonnene große Datenmenge muss anschließend entsprechend verdichtet und aufbereitet werden, um eine weitere Verarbeitung zu ermöglichen.

Die automatische Datenerfassung wird meist für die Prozessregelung verwendet, die Daten werden eher selten in die der Fertigung vorgelagerten Phasen zurückgeführt [123]. Nachteilig ist vor allem die Tatsache, dass nur die Daten aufgenommen werden können, deren Erfassung geplant wurde. Darüber hinaus ist die Erfassung von nicht quantifizierbaren oder nicht messbaren Daten schwer zu realisieren, sieht man einmal von Ausnahmen wie der Sprachaufzeichnung mittels Voice Recorder in der zivilen Luftfahrt ab. In diesem Fall ist die rechnerunterstützte Interpretation der Daten allerdings kaum möglich. Aus diesen Gründen wird die automatisch Felddatenerfassung im weiteren Verlauf der Arbeit nicht schwerpunktmäßig behandelt. Allerdings erstreckt sich die informationstechnische Unterstützung bei der Verarbeitung von Felddaten auch auf automatisch erfasste Daten.

5.3.1.5 Eingrenzung der zu erfassenden Felddaten

In vielen Anwendungsbereichen ist es das Ziel, die Felddaten nicht in ihrer Gesamtheit zu erfassen sondern eine sinnvolle Teilmenge auszuwählen. Die Datenmenge wäre sonst zu groß und die Art der erfassbaren Daten ist zu unterschiedlich, so dass ein sehr hoher Erfassungs- und Verarbeitungsaufwand damit verbunden ist. Eine Auswahl der für die Produktentwicklung relevanten Daten – insbesondere im Hinblick auf eine methodische Nutzung – steht daher im Vordergrund. Wie das Ergebnis einer solchen Selektion ausfällt, hängt von der konkreten Problemstellung ab. Hierbei sind vor allem

- die Produktgruppen, für die primär die Produktentwicklung auf Basis einer Felddatennutzung verbessert werden soll,
- die Möglichkeit der Erfassung bestimmter Felddaten, sowie
- die Methoden und Prozesse, in denen Felddaten genutzt werden sollen,

relevant. Daraus ergibt sich, ob die erforderlichen Daten laufend, ereignisinitialisiert, speziell angefordert oder ohne Anforderung erfasst werden müssen [12]. Bei der laufenden Erfassung werden häufig umfangreiche Datenbestände mit festgelegtem Ablauf und Ergebnisformat verarbeitet. Typische Beispiele dafür sind Prozessdatenerfassungen in Fertigungsbereichen oder Messdaten bei einer automatischen Werkstückprüfung. Die ereignisinitialisierte Erfassung betrifft in erster Linie Daten über unerwünschte Ereignisse, so beispielsweise Meldungen über Maschinenausfälle oder aufgetretene Fehler. Eine speziell angeforderte Erfassung wird aufgrund eines bestimmten Informationsbedarfs von Fachabteilungen eines Unternehmens durchgeführt. So ist es denkbar, dass die Konstruktionsabteilung im Zusammenhang mit der Entwicklung des Nachfolgemodells eines Produktes Verschleißzustände bestimmter Bauteile des derzeit eingesetzten Produktes anfordert, um entsprechende Verbesserungen vornehmen zu können. Bei der nicht angeforderten Erfassung wird einem Bearbeiter, z. B. einem Servicetechniker vor Ort, die Möglichkeit gegeben, direkt und ohne explizite Anforderung von sich aus Informationen und Anmerkungen zu bestimmten Sachverhalten aufzunehmen. Hierbei kann es sich um Verbesserungsvorschläge oder um vom Kunden beiläufig erwähnte Produktanforderungen handeln. Zur Nutzung derartiger Informationen muss der Erfassungsbaustein entsprechende Erfassungs- und Zuordnungsmöglichkeiten vorsehen. Dies kann dazu beitragen, die

Erfahrungs- und Kreativitätspotenziale der Mitarbeiter besser zu erschließen [23].

Die zuvor dargestellten Erfassungsarten müssen – im Hinblick auf eine Felddatennutzung in vorgelagerten Phasen – bei der Systemkonzeption in geeigneter Weise berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass die Daten im Datenmodell entsprechend repräsentiert werden und dass sinnvolle Funktionen für die Verarbeitung und Visualisierung zur Verfügung stehen müssen. Der Betrachtungsschwerpunkt im Rahmen dieser Arbeit liegt auf der ereignisinitialisierten und der nicht angeforderten Erfassung, also bei Erfassungsarten, die für den Anwender und vor allem den Servicetechniker relevant sind, wie in den Kapiteln 5.3.1.1 und 5.3.1.2 dargestellt. Hierbei werden die zuvor beschriebenen Anforderungen berücksichtigt.

5.3.1.6 Entwurf eines Erfassungsbausteines

Die in der vorliegenden Arbeit erläuterten Konzepte verfolgen die Nutzung detaillierter produktspezifischer Felddaten, daher werden allgemeine Informationen aus Kundenbefragungen und Marktanalysen nicht betrachtet. Für die Erfassung und Verarbeitung berücksichtigt werden vor allem Produkthanforderungen sowie produktbezogene Sachverhalte wie Fehler oder positive Zustände sowie deren kausale Zusammenhänge in Form von Ursache-Wirkungs-Ketten.

Diese Felddaten können durch den externen oder internen Service und den Kunden sowie – mit Einschränkungen – durch Recyclingunternehmen erfasst werden. Exemplarisch wird hier der Servicebereich als Lieferant für Felddaten schwerpunktmäßig betrachtet, wobei die reine Fehlererfassung durch den Anwender selbst in vielen Fällen auf nahezu identische Weise mit gleichartigen Erfassungsbausteinen erfolgen kann.

Aufbau eines Berichtswesens

Bereits bei der Felddatenerfassung ist es erforderlich, die Daten derart zu strukturieren und in Zusammenhänge einzuordnen, dass eine spätere Nutzung im Service oder in vorgelagerten Bereichen gewährleistet ist. Das bedeutet, dass eine Falldatenbasis kontinuierlich um Felddaten erweitert werden muss. Außerdem sind die auf Basis der Felddaten eingeleiteten Maßnahmen zur Schadensbe-

hebung oder -vorbeugung und Problemlösung mit deren jeweiliger Wirksamkeit abzubilden, um später bei ähnlich gelagerten Fällen Vorschläge anbieten zu können. Zu diesen Maßnahmen gehören nicht nur die vom Service vorgenommenen Reparaturen sondern auch sämtliche Maßnahmen aus den Planungs-, Entwicklungs- und Herstellungsphasen, die direkt oder indirekt mit den im Feld aufgetretenen Fehlern zusammenhängen. Diese Informationen sind in der Falldatenbasis mit den Informationen der Serviceberichte zu verknüpfen.

Die Serviceberichte selbst werden von einem Informationssystem zur Serviceunterstützung auf Basis der erfassten Daten automatisch erstellt. Hierbei sind beliebige Berichtsformate definierbar, wie z. B. interne Reklamationsberichte oder auch standardisierte Berichtsformate wie der 8D-Report [124]. Die Feedbackberichte lassen sich auch in vordefinierte Formate überführen, da sie ebenfalls auf strukturiert erfassten Daten basieren. Ein Ansatz für die Etablierung eines Berichtswesens im Rahmen der kunden- und servicegebundenen Felddatenerfassung ist in Abbildung 5-17 dargestellt.

Die Berichte werden je nach Anbindung an einen Server des Herstellerunternehmens zunächst lokal auf dem mobilen Rechner des Servicetechnikers abgelegt oder sofort auf den Datenserver überspielt. Die für die Falldatenbasis relevanten Informationen sind entsprechend zu extrahieren oder direkt in eine Datenbank zu schreiben. Eine Falldatenbasis zur Unterstützung der Serviceprozesse kann in reduzierter Form oder auch vollständig – falls der Umfang der Datenbasis und die Leistungsfähigkeit des mobilen Rechners es zulassen – lokal verfügbar gemacht werden, um die Funktionsfähigkeit des Systems nicht von Netzwerk- und Serveranbindung abhängig zu machen.

Erfolgt die Fehlererfassung durch den Kunden, so werden keine Berichte erstellt. Die strukturierten Fehlerinformationen müssen allerdings ebenso in die Falldatenbasis übertragen werden wie die vom Service erfassten Fehler. Um den Eintrag fehlerhafter Informationen – etwa durch Fehlbedienung des Erfassungsbausteines seitens des Kunden – zu verhindern, ist jedoch ein entsprechender Kontrollmechanismus vorzuschalten, bevor die Information in der Datenbank abgelegt wird. Das kann automatisch erfolgen, soweit es sich um formale Eingabefehler handelt. Der Softwarebaustein für die Felddatenerfassung durch den Kunden

entspricht der Erfassungsmaske für den Servicebereich, jedoch mit eingeschränkten Funktionen und Zugriffsrechten.

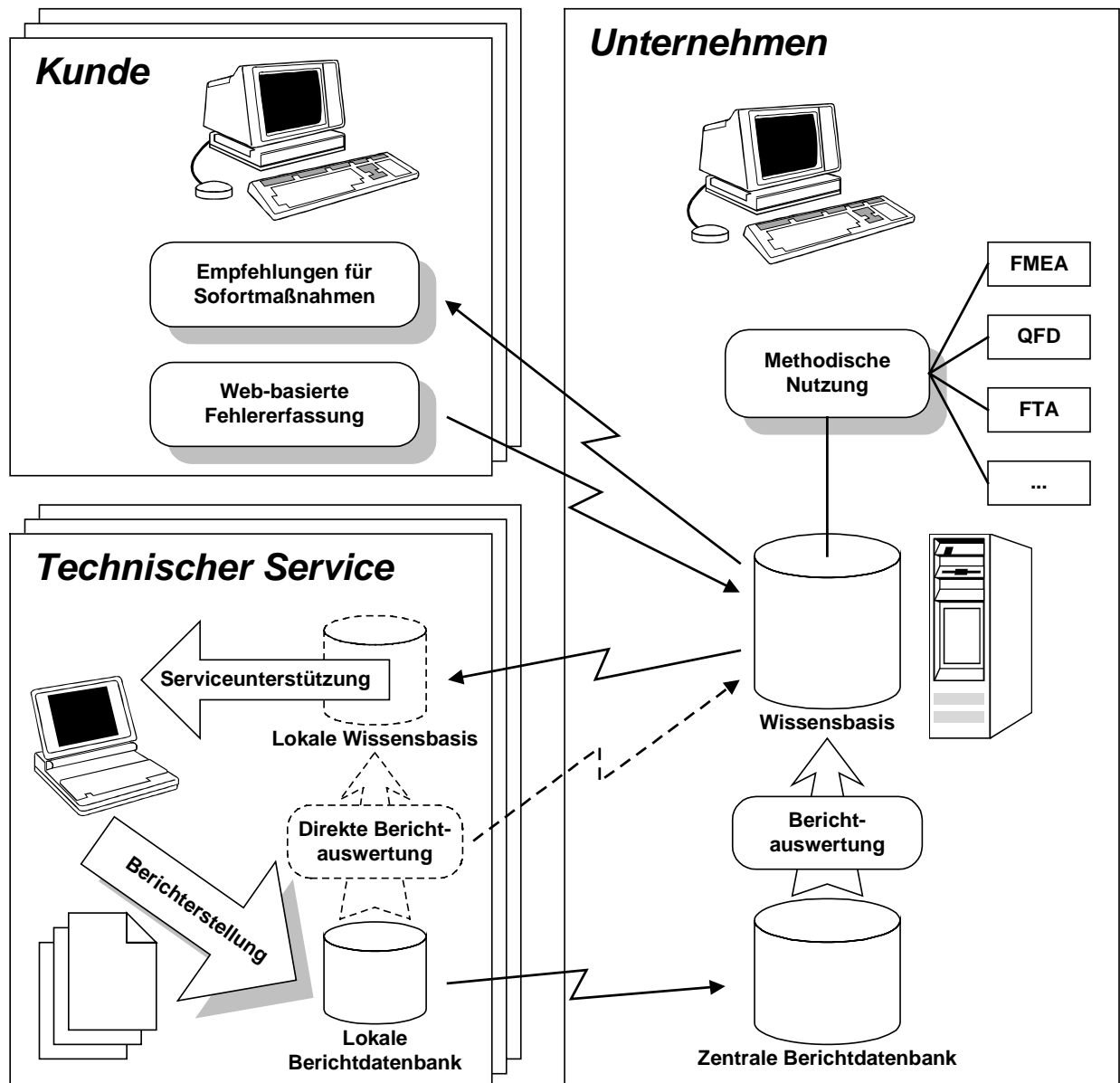


Abbildung 5-17: Berichtswesen zur Felddatenerfassung und -dokumentation

5.3.2 Abfrage von felddatenbasiertem Wissen

Die Abfrage von felddatenbasiertem Wissen hat für verschiedene Anwendungsbereiche unterschiedliche Ausprägungen, basiert aber jeweils auf dem gleichen Prinzip. So ist es für den Service wichtig, auf Basis einer konkreten Fehlerbeschreibung Empfehlungen für Sofort- und Abstellmaßnahmen zu erhalten, indem in der Wissensbasis nach ähnlichen oder gleichen Fehlern vergleichbarer Pro-

dukte gesucht wird und die passenden Aktionen vorgeschlagen werden. Die vorgeschlagenen Maßnahmen mit einer detaillierten Beschreibung sowie einem Hinweis auf die tatsächliche Wirksamkeit einzelner oder kombinierter Maßnahmen entstammen den in der Berichtsdatenbank abgelegten Serviceberichten. Die Wahrscheinlichkeit, für den konkreten Fehler ein entsprechendes Pendant zu finden, steigt mit zunehmender Zahl gespeicherter Serviceberichte naturgemäß.

Darüber hinaus ist es im Rahmen einer Systemunterstützung der Wartungs- und Instandsetzungstätigkeiten auch sinnvoll, wenn eine Navigation in der Produktstruktur und der Anzeige der mit einzelnen Elementen verknüpften Dokumente und Objekte ermöglicht wird. Somit ist der Zugriff auf die Informationen des konkreten Kundenproduktes gewährleistet, zu denen beispielsweise Serviceberichte, Wartungsprotokolle mit Daten über ausgetauschte Teile, Verschleißzustände sowie weitere im Produkteinsatz gewonnene Daten gehören. Diese Systemunterstützung ist sowohl für die Vorbereitung eines Serviceeinsatzes, wofür eventuell bestimmte Ersatzteile mitgeführt werden müssen, als auch für den tatsächlichen Serviceeinsatz sinnvoll, bei dem auf dieser Basis viele Informationen über das Produkt ohne dessen Demontage verfügbar sind, wie etwa das Austauschdatum bestimmter Verschleißteile. Der unterschiedliche Informationsgehalt der verschiedenen Produktstrukturebenen ist in Abbildung 5-18 dargestellt.

Im Gegensatz zum Service kommt es für den Entwicklungsbereich darauf an, bereits frühzeitig das Gebrauchsverhalten eines Produktes abschätzen zu können. Hierzu ist vor allem die Recherche und Navigation in den Sachverhaltsnetzwerken vergleichbarer Produkte hilfreich, die eine frühzeitige Fehlerantizipation ermöglicht und somit bereits in der Konstruktionsphase das Einleiten fehlervermeidender Maßnahmen gestattet. Insbesondere bei Änderungen oder Anpassungen bestehender Produkte bietet der Felddatenbestand eine sinnvolle Unterstützung, indem den in den kausalen Ketten abgebildeten Fehlern auch konstruktive Maßnahmen zugeordnet werden können und somit als Prinziplösungen abrufbar sind. Hierfür ist allerdings ein hohes Ähnlichkeitsmaß zwischen dem zu entwickelnden Produkt und den betrachteten Produkten im Feld erforderlich, um eine Übertragbarkeit der Lösungen auf das aktuelle Problem zu gewährleisten.

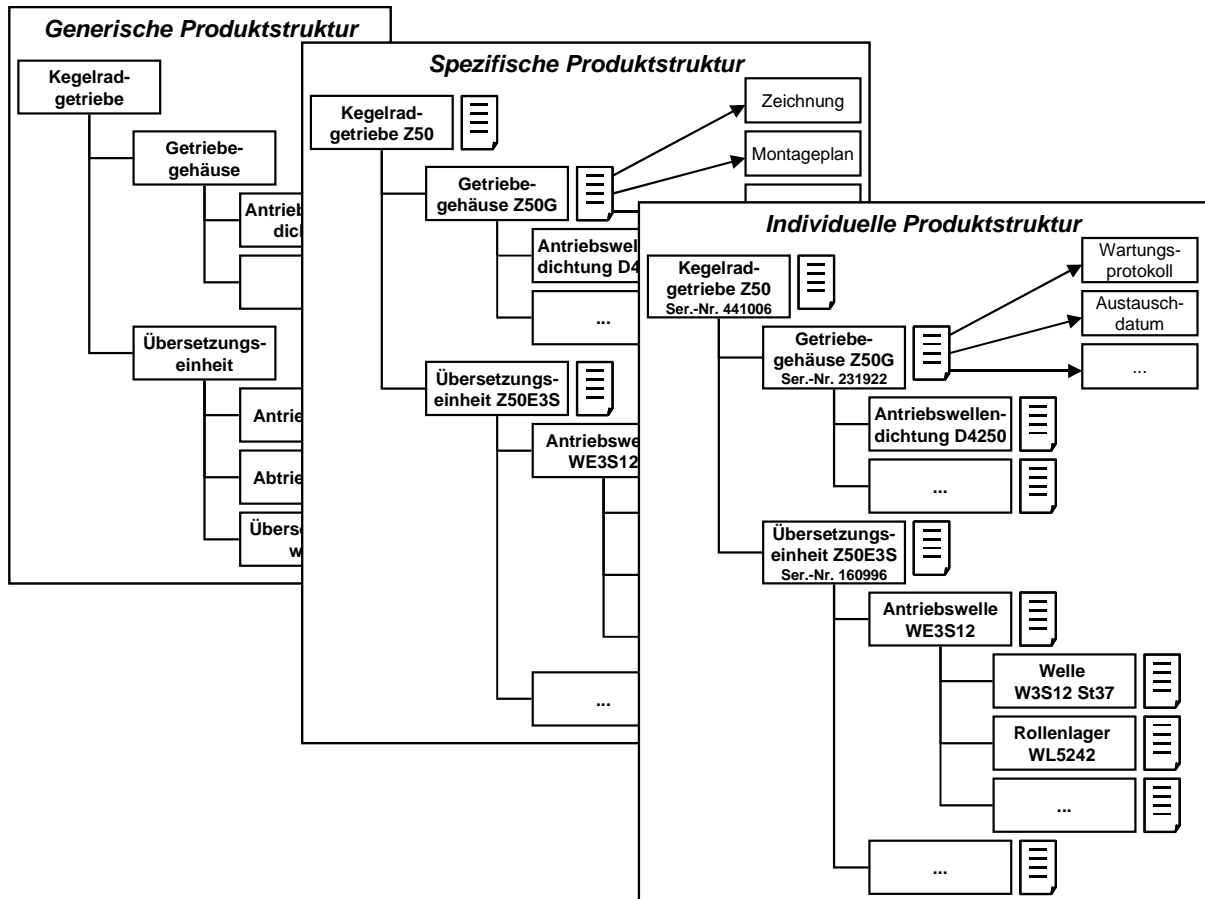


Abbildung 5-18: Informationsgehalt in den unterschiedlichen Produktstrukturebenen

Die felddatenbasierte Unterstützung basiert für die beiden dargestellten Anwendungsbereiche auf der Grundidee, dass – bezogen auf eine aktuelle Problembeschreibung, die sowohl einen tatsächlich aufgetretenen als auch einen potenziellen Fehler repräsentieren kann – in der Falldatenbasis nur ein hinreichend ähnlicher Fall gefunden werden muss, dessen dokumentierte Lösungen direkt oder gegebenenfalls in abgeänderter Form für das aktuelle Problem herangezogen werden können. Die Suche erfolgt hierbei nach dem Prinzip des fallbasierten Schließens (vgl. Kapitel 3.2). Auf Basis eines strukturiert beschriebenen Problems werden in der Falldatenbasis ähnlich gelagerte Fälle identifiziert. Das Ähnlichkeitsmodell erstreckt die Suche dabei auf alle Fälle, deren generisches oder spezifisches Objekt zwingend und deren betrachtetes Merkmal oder die dazugehörige Aussage optional mit den Werten des aktuellen Problems übereinstimmen. Der Anwender kann die Suche entsprechend einschränken, indem auf der generischen Objektebene die vollständige Übereinstimmung des aktuellen Sachverhaltes mit Fällen der Falldatenbasis gefordert wird. Das ist im Hinblick auf die Auswahl eines korrespondierenden Falles insbesondere dann zu empfehlen,

wenn ohne eine derartige Einschränkung eine hohe Zahl ähnlicher Fälle angeboten wird. Der Anwender kann dementsprechend eine Anpassung des Ähnlichkeitsmodells in den folgenden acht Variationen vornehmen:

1. $\forall S \in S^{\text{gesamt}} \mid (O_S^A \in S^A = O_S \in S \wedge M_S^A \in S^A = M_S \in S \wedge A_S^A \in S^A = A_S \in S)$
2. $\forall S \in S^{\text{gesamt}} \mid (O_S^A \in S^A = O_S \in S \wedge M_S^A \in S^A = M_S \in S)$
3. $\forall S \in S^{\text{gesamt}} \mid (O_S^A \in S^A = O_S \in S \wedge A_S^A \in S^A = A_S \in S)$
4. $\forall S \in S^{\text{gesamt}} \mid (O_S^A \in S^A = O_S \in S)$
5. $\forall S \in S^{\text{gesamt}} \mid (O_G^A \in S^A = O_G \in S \wedge M_G^A \in S^A = M_G \in S \wedge A_S^A \in S^A = A_S \in S)$
6. $\forall S \in S^{\text{gesamt}} \mid (O_G^A \in S^A = O_G \in S \wedge M_G^A \in S^A = M_G \in S)$
7. $\forall S \in S^{\text{gesamt}} \mid (O_G^A \in S^A = O_G \in S \wedge A_S^A \in S^A = A_S \in S)$
8. $\forall S \in S^{\text{gesamt}} \mid (O_G^A \in S^A = O_G \in S)$

S : Sachverhalt

S^{gesamt} : alle Sachverhalte der Falldatenbasis

S^A : Sachverhalt der aktuellen Fehlerbeschreibung

O_G : generisches Objekt

O_S : spezifisches Objekt

O_G^A : generisches Objekt der aktuellen Fehlerbeschreibung

O_S^A : spezifisches Objekt der aktuellen Fehlerbeschreibung

M_G : Merkmal auf generischer Ebene

M_S : Merkmal auf spezifischer Ebene (Ausprägung)

M_G^A : Merkmal der aktuellen Fehlerbeschreibung

M_S^A : Ausprägung der aktuellen Fehlerbeschreibung

A_S : Aussage eines Sachverhalts der Falldatenbasis

A_S^A : Aussage der aktuellen Fehlerbeschreibung

Aus den vorgeschlagenen Fällen kann vom Anwender ein für das konkrete Problem passender Fall aus der Falldatenbasis herausgesucht werden. Die auf dieser Grundlage angebotenen Unterstützungsmöglichkeiten lassen sich aus allen mit dem Fall verknüpften Informationen ableiten. Dazu gehört neben der Ableitung geeigneter Maßnahmen insbesondere die Ursachenanalyse auf Basis der kausalen Kette des Musterfalls (Abbildung 5-19).

Auch im Rahmen der Anwendung von Qualitätsmanagementmethoden ist eine Nutzung der felddatenbasierten Informationen möglich. So sind die in der Falldatenbasis repräsentierten kausalen Zusammenhänge zwischen einzelnen Sachverhalten für die FMEA, FTA und ETA hilfreich, da sie auf realen Daten basieren. Wenn es sich bei dem zu entwickelnden Produkt um eine Anpassung eines bereits existierenden Produktes handelt, lassen sich aus der Falldatenbasis auf Grundlage der generischen Objekte realistische Kausalketten ableiten, die in die Methodenanwendung einfließen können. Darüber hinaus kann durch die felddatenbasierte Bestimmung der Risikokennzahlen eine Objektivierung der FMEA erfolgen, was neben der Verbesserung der Akzeptanz der Methode auch noch eine Verringerung der Durchführungszeit mit sich bringt.

Der aktuell betrachtete Fall wird schließlich in die Falldatenbasis übernommen, indem eine kausale Integration über die Verknüpfung zu bereits existierenden Sachverhalten und Maßnahmen erfolgt.

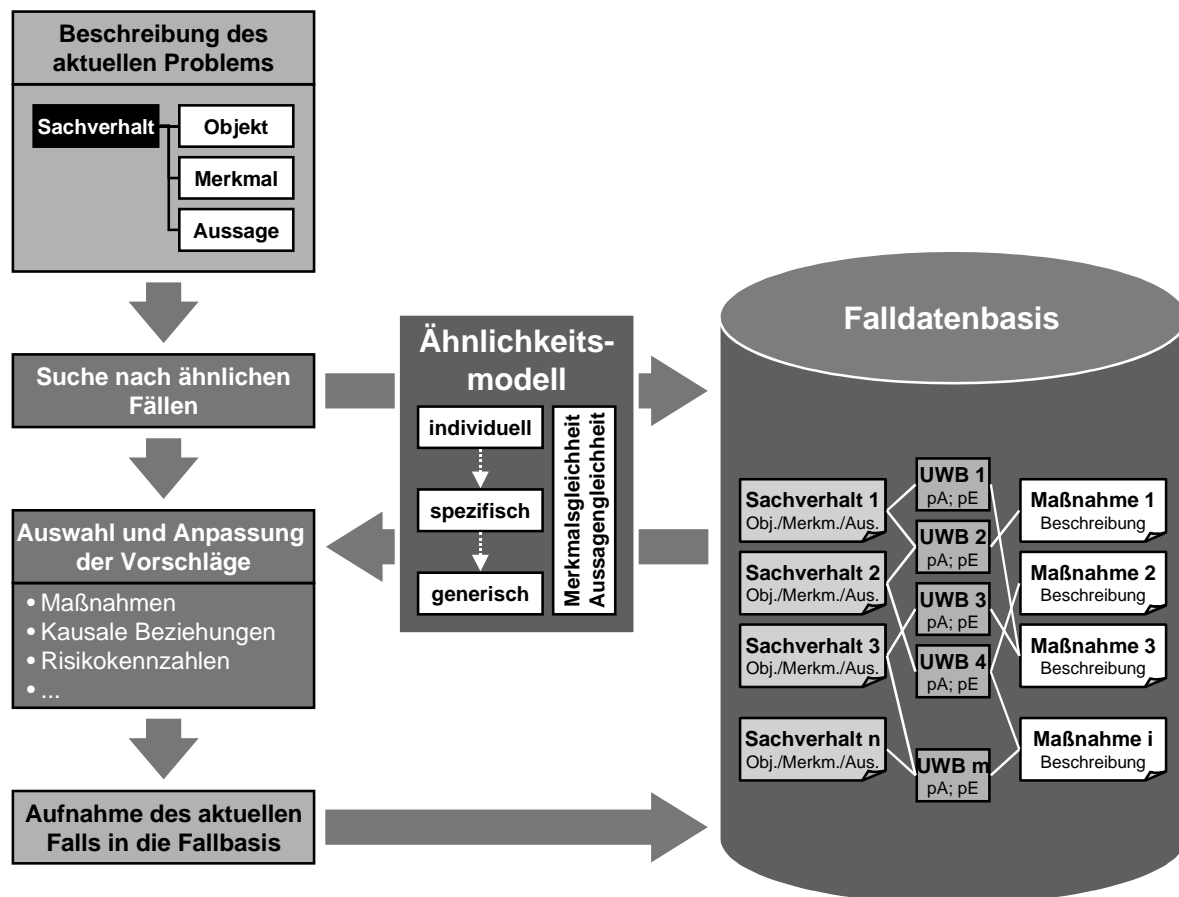


Abbildung 5-19: Felddatenbasierte Unterstützungsmöglichkeiten durch Identifikation ähnlicher Fälle

5.4 Entwicklung von Werkzeugen zur Unterstützung der betrachteten Methoden

5.4.1 Erweiterung von Qualitätsmanagementmethoden

Den folgenden Betrachtungen ist voranzustellen, dass die im Rahmen der Produktentwicklung eingesetzten Qualitätsmanagementmethoden eine Integration und Nutzung von Felddaten zunächst nicht direkt erlauben. Das hat vor allem methodische Gründe, die in den meisten Fällen allerdings nicht unüberwindbar sind. Die hierzu im Rahmen dieser Arbeit erfolgten Anpassungen und Erweiterungen der Methoden sind in den folgenden Abschnitten detailliert dargestellt.

Auf die informationstechnischen Defizite von Softwarewerkzeugen zur Methodenunterstützung im Hinblick auf die Felddatennutzung wurde in Kapitel 3.4 eingegangen. Die sich daraus ergebenden erforderlichen Anpassungen der Werkzeuge betreffen sowohl funktionale Aspekte als auch Erweiterungen oder Veränderungen der Datenmodelle. Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt auf der felddatenbasierten Objektivierung der Risikoanalyse bei der FMEA und der Bereitstellung entsprechender Softwarewerkzeuge.

5.4.2 Felddatennutzung im Quality Function Deployment (QFD)

Die in Japan entwickelte QFD-Methode basiert auf dem Grundgedanken, dass die direkt vom Kunden geäußerten Produkthanforderungen zentrale Kriterien für den gesamten Produktentstehungsprozess darstellen. Im sogenannten House of Quality (HoQ), der zentralen Matrix der Methode, erfolgt die Gegenüberstellung und Bewertung von Anforderungen und Funktionen sowie die Bestimmung der Wechselwirkungen zwischen einzelnen Funktionen.

Der vollständige QFD-Prozess besteht aus vier Phasen, die in unterschiedlichen Abschnitten der Produktentwicklung eingesetzt werden.

- In der Produktplanung werden Kundenanforderungen in technische Funktionsmerkmale (Qualitätsmerkmale) des Produkts umgesetzt.
- In der Komponentenplanung werden aus den Funktionsmerkmalen des Produktes die Merkmale der einzelnen Komponenten und Baugruppen abgeleitet.
- In der Prozessplanung werden die Bearbeitungsprozesse auf Basis der Spezifikation der Komponenten bestimmt.
- In der Betriebsmittelplanung erfolgt die Auslegung der Fertigungs- und Prüfmittel auf Grundlage der festgelegten Bearbeitungsprozesse.

Im Rahmen der Methodenanwendung kann eine sinnvolle Integration von Felddaten erfolgen, indem der aufwendige Prozess der Erfassung und Bewertung von Kundenanforderungen durch die Nutzung von Felddaten unterstützt wird. Hierzu erfolgt eine strukturierte Erfassung der dem Service gegenüber genannten Anforderungen, die auf Erfahrungen der Anwendung von beim Kunden eingesetzten Produkten basieren. Diese Anforderungen lassen sich direkt für die Entwicklung von Folgeprodukten nutzen lassen. Hierfür kann der Servicetechniker

durch die Erstellung eines Feedbackberichts die Kundenanforderungen aufnehmen und gegebenenfalls bereits eine Zuordnung zu Qualitätsmerkmalen vornehmen. Darüber hinaus kann die Gewichtung der Anforderung ermittelt werden, indem der Kunde seine Wertschätzung im Hinblick auf die Erfüllung mitteilt. Eine aussagekräftige Gewichtung einer Anforderung kann allerdings nur ermittelt werden, wenn die Meinungen mehrerer Kunden berücksichtigt werden, sofern es sich um Serienprodukte handelt.

In Abbildung 5-20 ist das Datenmodell dargestellt, das die Nutzung der im Feld erfassten Anforderungen im House of Quality ermöglicht.

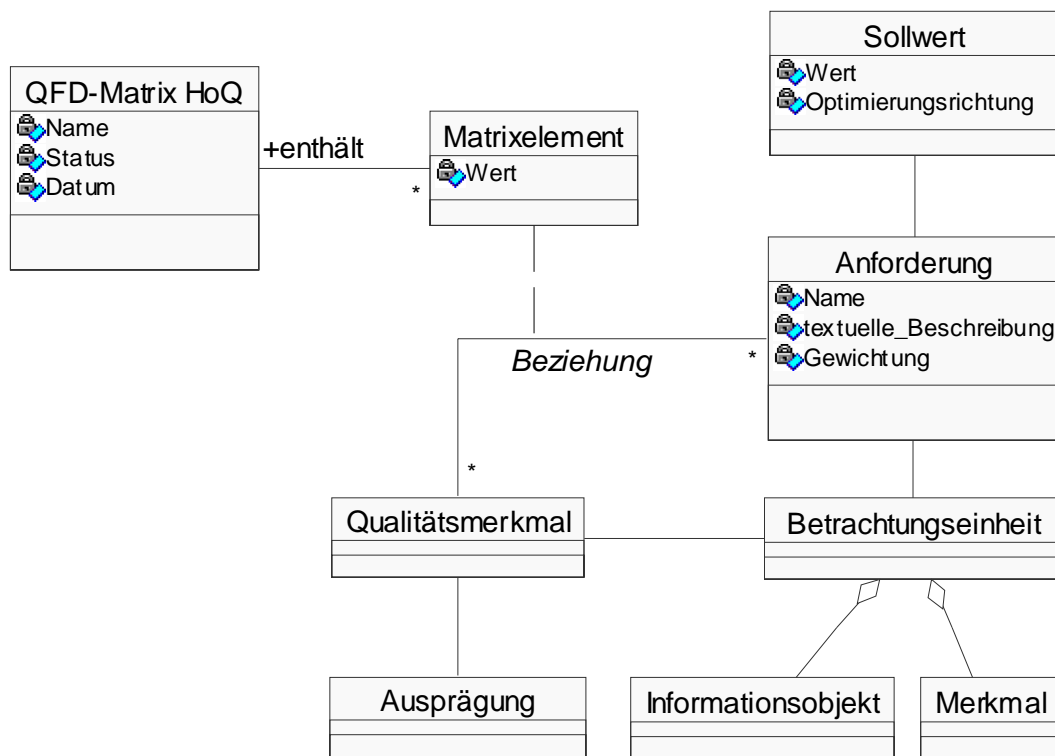


Abbildung 5-20: Modell zur Nutzung von im Feld erfassten Anforderungen im Produktplanungs-HoQ

5.4.3 Felddatennutzung in der Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA)

5.4.3.1 Einordnung der methodischen Voraussetzungen

Die Anwendung der FMEA lässt sich in drei Phasen gliedern, die Risikoanalyse, die Risikobewertung und die Konzeptoptimierung. In der Risikoanalyse werden

zunächst alle möglichen Fehler von Bauteilen des betrachteten Systems aufgelistet und die Ursachen ermittelt, die die Fehler verursachen könnten. Bei der Bestimmung der Folgen werden sowohl die Auswirkungen der Bauteilfehler auf das betrachtete Teilsystem als auch die auf das Gesamtsystem berücksichtigt. Im Rahmen der Risikobewertung wird versucht, das mit der Ursache-Fehler-Folge-Kette verbundene Risiko zu bewerten. Hierzu werden drei verschiedene Risikofaktoren untersucht und vom FMEA-Team jeweils mit Werten von 1 bis 10 belegt. Bei den Faktoren handelt es sich um

- die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Fehlers (A),
- die Bedeutung der Fehlerfolge für den Kunden (B) und
- die Entdeckungswahrscheinlichkeit, mit der ein Fehler vor der Produktauslieferung entdeckt wird (E).

Durch Multiplikation der drei Faktoren wird die sogenannte Risikoprioritätszahl (RPZ) gebildet, die folglich Werte zwischen 1 und 1000 annehmen kann. Überschreitet die RPZ einen vorgegebenen Schwellwert oder ist einer der Einzelwerte besonders hoch, dann sind in der Phase der Konzeptoptimierung geeignete Maßnahmen für eine Risikominimierung zu bestimmen. Bei dieser Vorgehensweise ist es offensichtlich, dass die vom FMEA-Team durchgeführte Risikobewertung sehr subjektiv ist und stark von der Erfahrung der Teammitglieder abhängt. Daher ist es durchaus möglich, dass bei zu stark gewichteten Fehlern kostenintensive Maßnahmen ergriffen werden, die nicht notwendig gewesen wären. Ebenso ist der umgekehrte Fall denkbar, dass ein schwerwiegender Fehler nicht als solcher erkannt wird und infolge unterlassener Maßnahmen dann beim Kunden auftritt. Darüber hinaus ist es auch möglich, dass die Fehlerursachen oder -folgen nicht richtig erkannt werden, was ebenfalls zu falschen Maßnahmen führen kann.

Aufgrund dieser Defizite ist eine Objektivierung der Risikobewertung sowie eine Unterstützung in der Bestimmung der Ursache-Fehler-Folge-Kette wünschenswert. Da die meisten Produkte keine kompletten Neuentwicklungen darstellen sondern auf bereits existierenden Produktkonzepten basieren, können Felddaten in beiden Fällen insbesondere für die Anwendung der Konstruktions-FMEA Hilfestellung leisten.

Durch die Nutzung von Felddaten verlieren die für die FMEA-Anwendung typischen Informationsquellen nicht an Bedeutung. Das gesammelte Erfahrungswissen des FMEA-Teams und das Hervorbringen kreativer Ideen von den Mitarbeitern sind nach wie vor die entscheidenden Faktoren für eine erfolgreiche FMEA-Durchführung (Abbildung 5-21). Die systematische Auswertung von Daten aus der Nutzungsphase bietet jedoch den Vorteil, dass bisherige Unsicherheiten verringert und unnötiger Diskussionsbedarf vermieden werden können. Das FMEA-Team kann sich daher stärker auf wesentliche Fragestellungen konzentrieren.

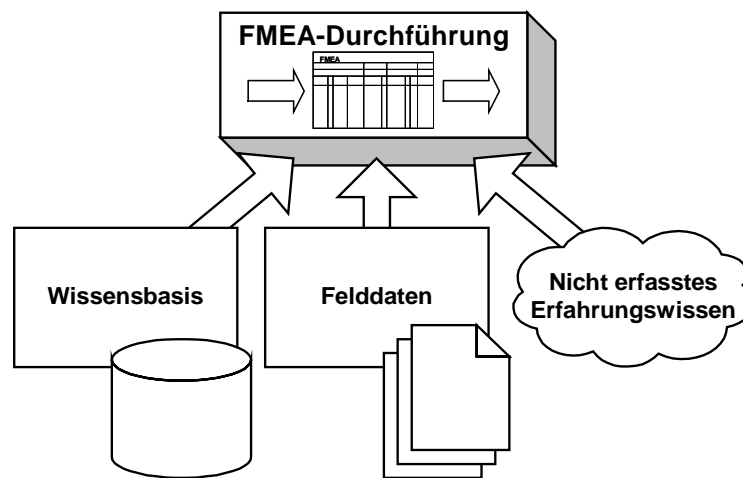


Abbildung 5-21: Datenquellen für die Durchführung einer FMEA

Die Wissensbasis enthält Produktwissen aus unterschiedlichen Quellen in aufbereiteter Form, also idealerweise auch das in früheren FMEA-Sitzungen zusammengetragene Wissen. Über die Auswertung der Felddaten wird das tatsächliche Fehlergeschehen miteinbezogen. Der Bereich des nicht erfassten Erfahrungswissens, also das personengebundene Wissen der Mitglieder des FMEA-Teams, wird im vorliegenden Konzept dadurch berücksichtigt, dass die vom Rechner hergeleiteten Vorschläge und Maßnahmen jederzeit durch eigene Angaben ersetzt werden können.

5.4.3.2 Berechnung eines Fehlernetzes

Die Risikoprioritätszahl der FMEA wird jeweils für eine Kombination aus Fehler, Fehlerursache und Fehlerfolge berechnet. Der grundlegende Gedanke für eine Fehlernetzberechnung liegt darin, dass jedem einzelnen Sachverhalt eine Kennzahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit (A), für die Entdeckungswahrschein-

lichkeit (E) und die Bedeutung (B) zugeordnet werden kann und dadurch für jeden einzelnen Sachverhalt eine RPZ ermittelbar ist. Der Fehlernetzberechnung liegt das in Kapitel 5.1.2 beschriebene Modell der kausalen Zusammenhänge zugrunde. Handelt es sich bei einem Sachverhalt um eine Grundursache, also einen Sachverhalt, für den keine weiteren Ursachen existieren, sind die Kennzahlen vorgegeben. Ansonsten werden sie immer durch andere Ursachen bestimmt. Hierbei lassen sich die Kennzahlen über die Ursache-Wirkungs-Beziehungen der einzelnen Ursachen eines Sachverhalts berechnen. Dabei kommen zwei Berechnungsvorschriften zur Anwendung:

Ereignisfortpflanzung: Die Wahrscheinlichkeit eines Ausgangszustands $H(Z_i)$ ergibt sich durch fortlaufende Multiplikation der Anfangswahrscheinlichkeiten $H(Z_0)$ mit den bedingten Wahrscheinlichkeiten $W(Z_i/Z_{i-1})$ der Kanten [125].

$$H(Z_i) = H(Z_0) \cdot \prod_{k=1}^i W(Z_k / Z_{k-1})$$

Verknüpfung: Wenn n disjunkte Ereignisse E_i gemeinsam eine Folge A bewirken, ist die Wahrscheinlichkeit der Folge F gleich der Summe der Einzelwahrscheinlichkeiten [74].

$$W(F) = \sum_{i=1}^n W(E_i)$$

Für den in Abbildung 5-22 dargestellten Ausschnitt eines Fehlernetzes werden die Risikokennzahlen A und E eines betrachteten Sachverhalts wie folgt berechnet:

$$A = p_1^A \cdot A_1 + p_2^A \cdot A_2 + p_3^A \cdot A_3$$

$$E = p_1^E \cdot E_1 + p_2^E \cdot E_2 + p_3^E \cdot E_3$$

Die Faktoren p vor den Risikokennzahlen geben die relativen Wahrscheinlichkeiten an und sind wie folgt zu interpretieren:

- *Relative Auftretenswahrscheinlichkeit* p_i^A : Auftretenswahrscheinlichkeit der Wirkung, wenn die Ursache i eingetreten ist.
- *Relative Entdeckungswahrscheinlichkeit* p_i^E : Entdeckungswahrscheinlichkeit der Wirkung, wenn die Ursache i nicht entdeckt wurde.

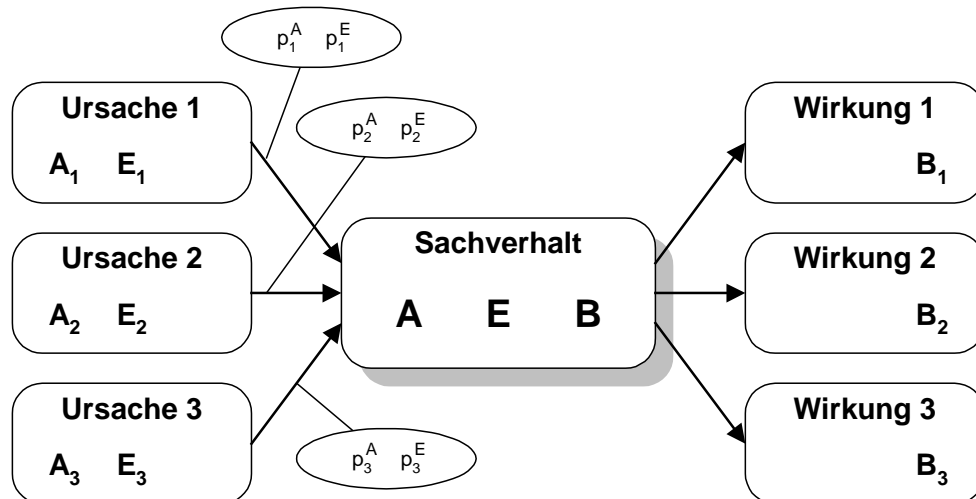


Abbildung 5-22: Systematik der Berechnung von Risikokennzahlen nach Stephan [75]

Die Anwendung der Berechnungsvorschriften impliziert, dass die Kennzahlen A und E eines Sachverhalts als gewichtete Kumulation aller seiner Ursachen betreffenden Wahrscheinlichkeiten interpretiert werden. Analog dazu wird die Bedeutung eines Sachverhalts als Summe der Einzelbedeutungen seiner Wirkungen interpretiert werden. Als Konsequenz daraus kann daher auch eine Berechnungsvorschrift für die Risikokennzahl B als Maßzahl der Bedeutung entwickelt werden. Dazu ist eine Rückwärtsrechnung im Fehlernetz erforderlich. Die Bedeutung eines Fehler für einen bestimmten Kunden ist jedoch stark mit subjektiven Anteilen behaftet. Das bedeutet, dass dem gleichen Fehler am gleichen Produkt kundenindividuell eine ganz unterschiedliche Bedeutung beigemessen werden kann. Die Bedeutungskennzahlen werden daher im vorgestellten Ansatz für jeden Sachverhalt einzeln vergeben, für die methodische Nutzung jedoch immer als „Gesamtbedeutung“ aller Wirkungen des Sachverhalts verstanden.

5.4.3.3 Objektivierung der Fehlernetzberechnung

Die Nutzung der Felddaten trägt zu einer – verglichen mit der herkömmlichen Vorgehensweise – verbesserten Anwendung der FMEA bei, indem neben einer Unterstützung der Analyse kausaler Zusammenhänge objektivere Risikokennzahlen ermittelt werden können, d. h. Kennzahlen, in denen sich das tatsächliche Fehlergeschehen existierender Produkte und damit auch das zu erwartende Fehlergeschehen vergleichbarer, in der Entwicklung befindlicher Produkte besser widerspiegelt.

Für die Berücksichtigung von Felddaten im Rahmen der FMEA-Methode gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- Zum einen kann die Auswertung der Felddaten dahingehend erfolgen, dass bereits in der Wissensbasis möglichst objektive Werte A, E und B für die Grundursachen und realistische relative Wahrscheinlichkeiten in den Ursache-Wirkungs-Beziehungen eingetragen werden. Diese Methode impliziert jedoch den Nachteil, dass die Wissensbasis ständig überarbeitet werden muss, um den aktuellen Felddatenbestand zu berücksichtigen. Auch wenn es bei der Auswertung der Berichte nur zu einer „Wissensbestätigung“ kommt, d. h. ein eingehender Servicebericht deckt sich mit einem bereits erfassten Sachverhalt, müssten die Risikokennzahlen der Wissensbasis aktualisiert werden.
- Die effektivere und daher im vorliegenden Konzept verfolgte Möglichkeit besteht darin, Risikozahlen aus dem Feld nur bei der problembezogenen Abfrage für bestimmte Sachverhalte zu ermitteln.

Werden die Felddaten erst bei der Abfrage zur Bestimmung der Werte für Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit sowie Bedeutung berücksichtigt, handelt es sich bei den in der Falldatenbasis angegebenen Zahlen zunächst um Schätzwerte. Diese Werte werden immer dann für eine Risikoberechnung herangezogen, wenn es zu bestimmten Sachverhalten keine Felddaten gibt. Das Fehlen verknüpfter Felddaten wird als bisher nicht aufgetretener Fehler interpretiert. Im Interesse einer robusten Risikobewertung wird in diesen Fällen auf die Schätzwerte der Wissensbasis zurückgegriffen. Erst wenn mindestens eine Felddatenverknüpfung zu einem Sachverhalt vorliegt, kann sichergestellt werden, dass das entsprechende Produkt überhaupt schon im Einsatz ist und der Fehler vom Servicetechniker oder Anwender so beschrieben wird, wie der Sachverhalt in der Falldatenbasis abgebildet ist. In die Berechnung des Fehlernetzes fließen daher geschätzte und aus Felddaten ermittelte Werte ein, wobei die Priorität bei den Felddaten liegt. Sobald für einen Sachverhalt absolute Risikozahlen aus Felddaten ermittelt werden können, bleiben seine Ursachen unberücksichtigt.

Berechnung der Auftretenswahrscheinlichkeit von Fehlern

Zur Berechnung der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Fehlers aus Felddaten muss ein Verteilungsmodell für die Lebensdauer von Produkten herangezogen

werden. Eine im Rahmen von Zuverlässigkeitsbetrachtungen häufig verwendete Lebensdauerverteilung ist die Exponentialverteilung [4, 126]. Die Berechnungsmodelle im weiteren Verlauf der Arbeit basieren auf diesem Verteilungsmodell. Dementsprechend gilt für die Wahrscheinlichkeit, dass ein betrachtetes Produkt im Zeitintervall $[0; t]$ ausfällt, folgende Ausfallfunktion:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Hierbei ist λ die sogenannte Ausfallrate, sie stellt ein Maß für das bedingte Ausfallverhalten einer Betrachtungseinheit dar, die zum Zeitpunkt t funktioniert. Für eine einzelne Betrachtungseinheit ist $\lambda(t)\Delta t$ für $\Delta t \rightarrow 0$ die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls im Zeitraum $[t; t+\Delta t]$, wenn die Einheit zum Zeitpunkt t noch intakt war. Bezogen auf ein Kollektiv von Teilen und somit relevant für die Felddatenauswertung gibt $\lambda(t)\Delta t$ für $\Delta t \rightarrow 0$ die Anzahl der Ausfälle im Zeitraum $[t; t+\Delta t]$ bezogen auf die Zahl der zum Zeitpunkt t noch intakten Einheiten an [66]:

$$\lambda(t) = \frac{\text{Ausfälle zum Zeitpunkt } t}{\text{Intakte Einheiten zum Zeitpunkt } t}$$

Bei kleinen Werten von λ ist die Ausfallwahrscheinlichkeit ungefähr gleich der Ausfallrate [66]:

$$F(t) \cong \lambda(t) \quad \text{für } \lambda < 0,1$$

Die Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs der Ausfallrate (vgl. Abbildung 4-1) ist nur dann erforderlich, wenn sich die betrachteten Produkte im Feld alle in der gleichen Lebensdauerphase befinden und der Erfassungszeitraum kleiner ist als die Gebrauchsdauer der Produkte. Die über einen Zeitraum ermittelte Ausfallrate bezieht sich in diesem Fall nur auf bestimmte Phasen. Eine Prognose, wie sich die Produkte in späteren Phasen verhalten, kann dann über die Verlaufsfunktion erfolgen. Fehler, die während der Anfangsphase auftreten, wirken sich beispielsweise weniger stark auf das ermittelte Ausfallrisiko eines Produkts aus als Fehler, die im eingeschwungenen Zustand auftreten.

Im allgemeinen sind die Produkte im Feld jedoch zu verschiedenen Zeitpunkten in Betrieb genommen worden und werden unterschiedlich häufig genutzt. In jedem beliebigen Zeitintervall schließt die quantitative Analyse dadurch automatisch alle Produktlebensphasen ein. Bei einer großen Anzahl von Produkten kann

daher auch für kleine Betrachtungszeiträume von einer konstanten Ausfallrate ausgegangen werden.

Unter den genannten Voraussetzungen ist die Ausfallrate also unabhängig von dem Zeitpunkt der Analyse. Wichtig ist jedoch eine geeignete Eingrenzung, welche individuellen Produkte tatsächlich in der Analyse berücksichtigt werden. Die Kriterien müssen entsprechend der Untersuchungsintention der Analyse festgelegt werden. Beispielsweise können zeitliche Eingrenzungen des Herstelldatums Informationen über die Qualität einer bestimmten Charge liefern oder regionale Kriterien zur Beurteilung unterschiedlicher Instandhaltungsleistungen der Servicezentren herangezogen werden. Erfolgt eine Analyse im Rahmen einer FMEA, dann ist in der Regel ein neu zu entwickelndes spezifisches Produkt zu betrachten. Das neue oder verbesserte Produkt entsteht erst nach der FMEA-Durchführung, so dass darüber noch keine direkten Aussagen aus dem Feld gewonnen werden können. Als Ähnlichkeitskriterium für das fallbasierte Schließen wird daher der generische Produkttyp verwendet, das heißt, zur Risikoanalyse eines neuen Produktes werden alle bereits in der Gebrauchsphase befindlichen individuellen Produkte des gleichen generischen Typs betrachtet.

Für die Bewertung der Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit sowie des Folgerisikos im Rahmen der Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse sind die drei Faktoren in reinen Ordinalskalen dargestellt (vgl. Abbildung 5-23, Abbildung 5-26, Abbildung 5-28). Eine mathematische Operation wie die Multiplikation zur Bestimmung der Risikoprioritätszahl ist mit Daten dieses Skalentyps eigentlich nicht zulässig [127]. Aus Gründen der Einfachheit hat sich diese Form der Quantifizierung des Risikos im Rahmen der FMEA allerdings durchgesetzt und wird vom Anwender akzeptiert.

Dieser mathematische Konflikt wird im hier vorgestellten Ansatz dadurch entkräftet, dass eine Spiegelung der Ausfall- und Entdeckungsraten an den Ordnungsskalen erfolgt und die Multiplikation somit indirekt mit Werten aus Kardinalskalen durchgeführt wird. Die errechnete Ausfallrate oder Ausfallwahrscheinlichkeit wird mit Hilfe einer geeigneten Transformation auf einer Ordnungsskala von 1 bis 10 dargestellt werden (Abbildung 5-23). Die Transformation kann je nach Unternehmen, aber auch nach Produktgruppen oder sogar einzelnen Fehlern oder Produktmerkmalen verschieden sein.

10 9	<i>Sehr hoch</i>	Sehr häufiges Auftreten der Fehlerursache, Design sehr unsicher, unbrauchbarer Prozess
8 7	<i>Hoch</i>	Fehlerursache tritt wiederholt auf, Design ist problematisch, ungenauer Prozess
6 5 4	<i>Mäßig</i>	Fehlerursache tritt gelegentlich auf, Design mit geringen Schwachstellen, weniger genauer Prozess
3 2	<i>Gering</i>	Seltenes Auftreten der Fehlerursache, bewährtes Design, genauer Prozess
1	<i>Sehr gering</i>	Auftreten der Fehlerursache ist unwahrscheinlich, robustes Design

Abbildung 5-23: Bewertungsskala für die Auftretenswahrscheinlichkeit [128]

Um eine eindeutige Zuordnung der Ausfallraten zu den Risikokennzahlen zu gewährleisten, ist lediglich eine stetig steigende Transformationsfunktion Voraussetzung (Abbildung 5-24).

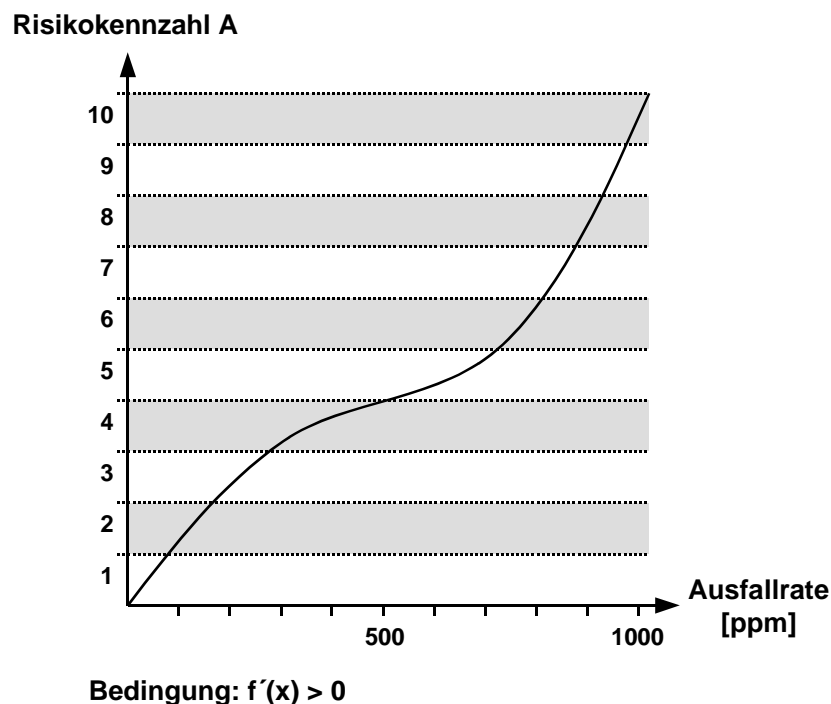


Abbildung 5-24: Beispielhafte Transformationsfunktion für die Ausfallwahrscheinlichkeit

Für die Berechnung werden neben den Serviceberichten zur Quantifizierung der Fehlerhäufigkeit noch Angaben über die Anzahl der ausgelieferten Einheiten der generischen Typen benötigt. Diese Daten lassen sich beispielsweise durch Anbin-

derung an das ERP-System des Unternehmens laufend aktualisieren. Die Risikozahl A für die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Sachverhalts im Fehlernetz wird nach der in Abbildung 5-25 dargestellten Vorgehensweise ermittelt.

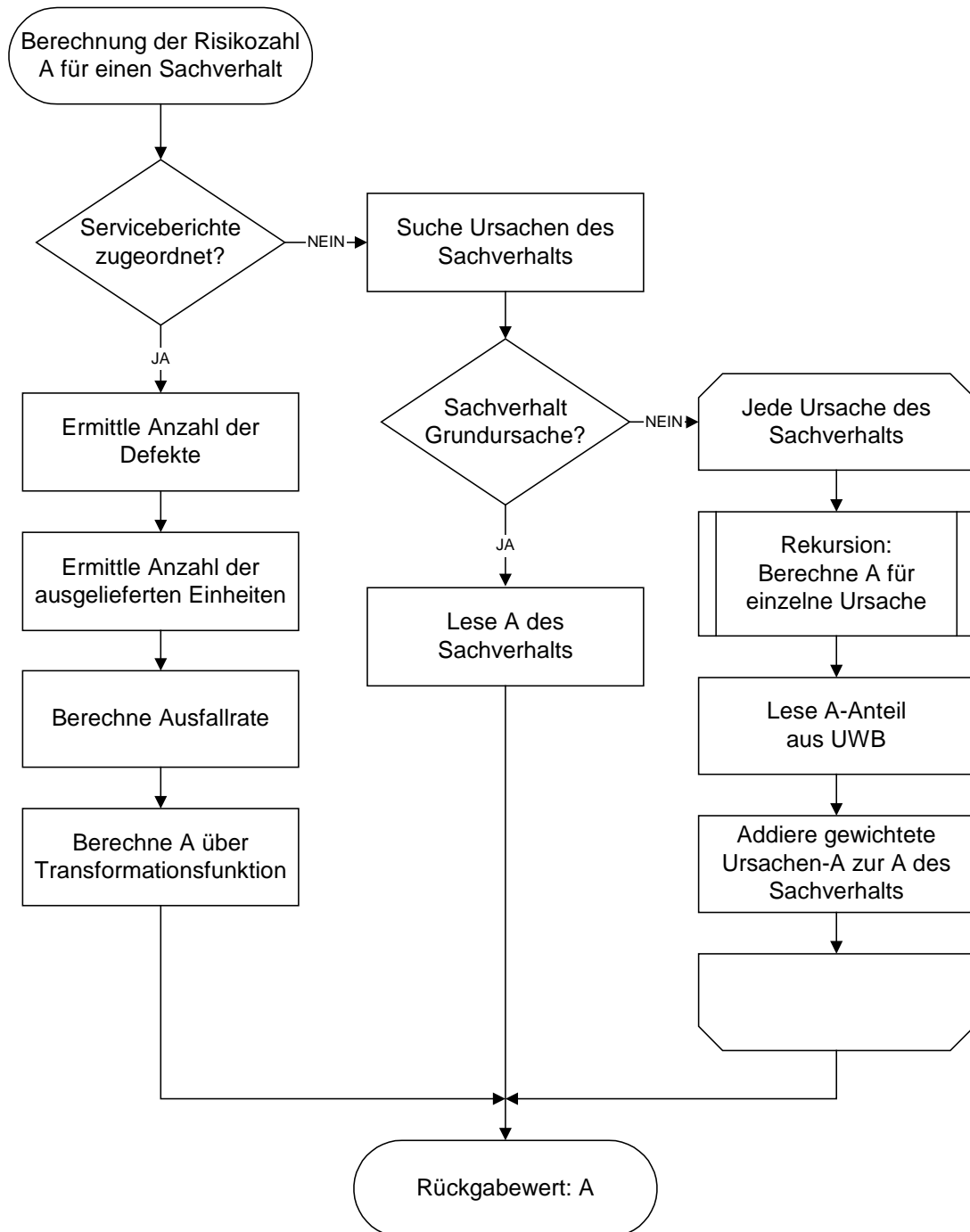


Abbildung 5-25: Berechnung der Auftretenswahrscheinlichkeit

Da entsprechend der oben beschriebenen Annahme zwischen der Ausfallrate und der Risikokennzahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit ein exponentieller Zu-

sammenhang zugrunde gelegt wird, ergibt sich für die Transformationsfunktionen folgender Typ:

$$f(x) = c \cdot x^k$$

Ein derartiger Zusammenhang, der entsprechend der Wahl des Exponenten proportional, unter- oder überproportional gestaltet werden kann, ist vom Anwender gedanklich leicht nachvollziehbar. Durch die zusätzliche Variation des Faktors kann die Funktion an individuelle Gegebenheiten angepasst werden.

Berechnung der Entdeckungswahrscheinlichkeit

Die Entdeckungsrate wird durch den Anteil der intern durch Prüfmaßnahmen entdeckten Fehler oder Fehlerursachen bezüglich der Gesamtzahl aller aufgetretenen Fehler bestimmt.

$$\text{Entdeckungsrate} = \frac{\text{Intern entdeckte Fehler}}{\text{Gesamtzahl der Fehler}}$$

Je größer die Entdeckungsrate, um so kleiner ist die Risikokennzahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit (Abbildung 5-26).

10 9	<i>Sehr gering</i>	Entdecken der aufgetretenen Fehlerursache ist unwahrscheinlich, das Merkmal wird nicht geprüft bzw. kann nicht geprüft werden
8 7	<i>Gering</i>	Entdecken der aufgetretenen Fehlerursache ist weniger wahrscheinlich, kaum zu erkennendes Merkmal, unsichere Prüfungen
6 5 4	<i>Mäßig</i>	Entdecken der aufgetretenen Fehlerursache ist wahrscheinlich, leicht zu erkennendes Merkmal, relativ sichere Prüfungen
3 2	<i>Hoch</i>	Entdecken der aufgetretenen Fehlerursache ist sehr wahrscheinlich, augenscheinliches Merkmal, sichere Prüfungen
1	<i>Sehr hoch</i>	Aufgetretene Fehlerursache wird sicher entdeckt, Merkmal wird zwangsläufig erkannt

Abbildung 5-26: Bewertungsskala für die Entdeckungswahrscheinlichkeit [128]

Als Eingangsgröße der Transformation wird deshalb der Komplementärwert der Entdeckungsrate verwendet, was dem Anteil der extern entdeckten Fehler entspricht. Für die Transformation der Entdeckungsrate auf die Risikokennzahl für

die Entdeckungswahrscheinlichkeit gilt analog zur Transformation der Auftretenswahrscheinlichkeit, dass jede stetig steigende Transformationsfunktion zulässig ist. Im Rahmen der prototypischen Realisierung wurde auch hierfür die eine Exponentialfunktion gewählt. Die Berechnung der Risikozahl E für die Entdeckungswahrscheinlichkeit eines beliebigen Sachverhalts im Fehlernetz ist in Abbildung 5-27 dargestellt.

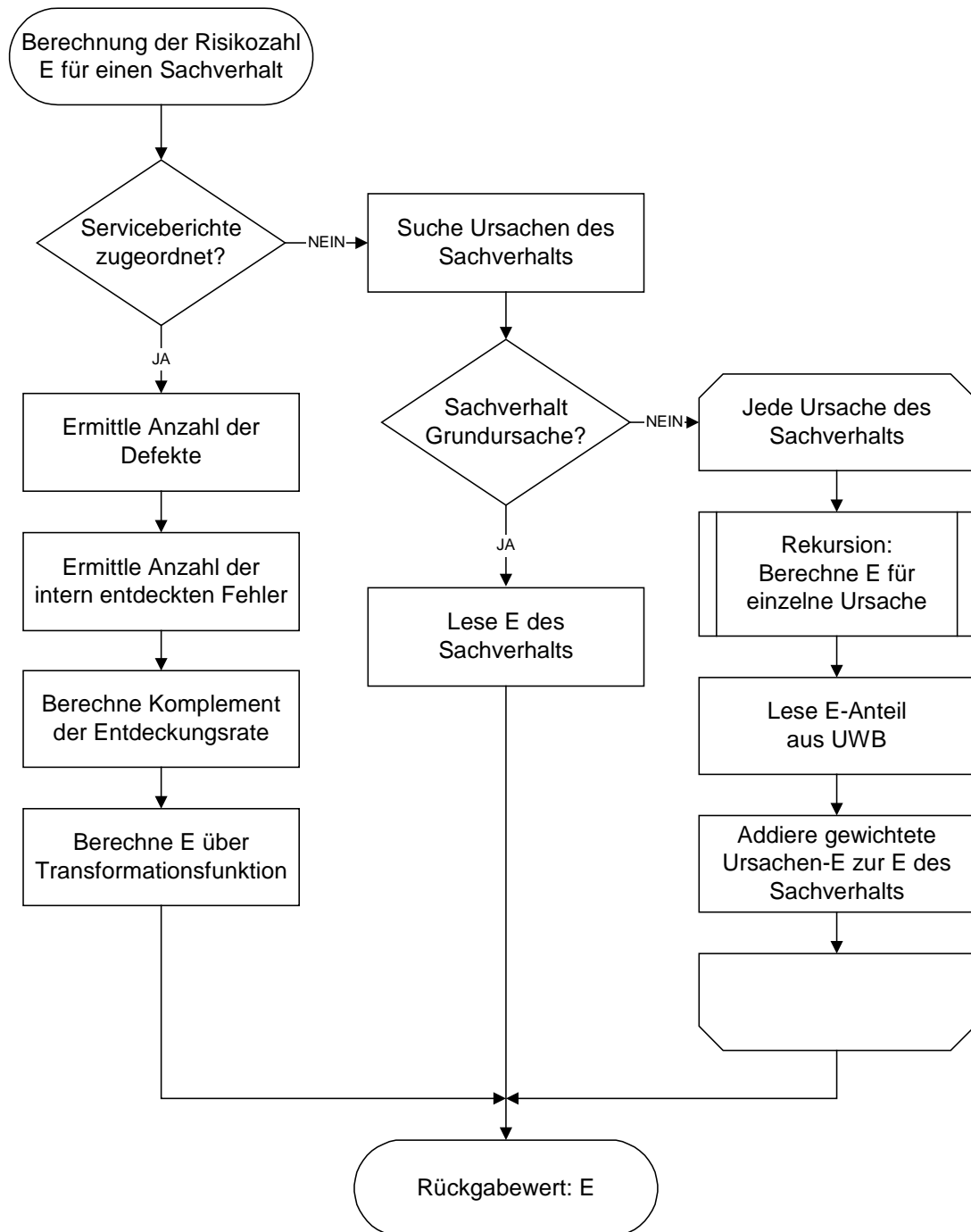


Abbildung 5-27: Berechnung der Entdeckungswahrscheinlichkeit

Berechnung der Bedeutung

Die Maßzahl der Bedeutung eines Fehlers für den Kunden (Abbildung 5-28) ist ein Attribut im Objektmodell der Sachverhalte und dadurch unmittelbar für jeden Sachverhalt in der Wissensbasis angegeben. Eine Fehlernetzberechnung und Transformation analog zur Ermittlung der Risikokennzahlen für die Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit ist daher nicht erforderlich.

10 9	<i>Sehr hoch</i>	Äußerst schwerwiegende Fehlerauswirkung, führt zum Betriebsausfall, Sicherheitsrisiko, Nichterfüllung gesetzlicher Vorschriften
8 7	<i>Hoch</i>	Schwere Fehlerauswirkung, die Verärgerung beim Kunden auslöst, starke Funktionsbeeinträchtigung
6 5 4	<i>Mäßig</i>	Mittelschwere Fehlerauswirkung, die Unzufriedenheit beim Kunden auslöst, eingeschränkte Funktionsfähigkeit, Ausfall von Komfort-Funktionen
3 2	<i>Gering</i>	Unbedeutende Fehlerauswirkung, die den Kunden nur geringfügig belästigt, geringe Funktionsbeeinträchtigung
1	<i>Sehr gering</i>	Keine oder kaum wahrnehmbare Fehlerauswirkung, sehr geringe Funktionsbeeinträchtigung

Abbildung 5-28: Bewertungsskala für die Bedeutung [128]

Anders verhält es sich mit der felddatenbasierten Ermittlung der Bedeutung eines Fehlers. Im ursprünglichen Sinn, dem Risiko für den Kunden, kann das Fehlergeschehen an sich keine Daten liefern. Denkbar ist allerdings, die Fehlerkosten des betrachteten Kunden als Maßzahl der Bedeutung heranzuziehen. Da zum einen die Beschaffung dieser Informationen als schwierig anzusehen ist und andererseits die Bedeutung eines Fehlers durch ausschließliche Berücksichtigung der Fehlerkosten nicht vollständig wiedergeben kann, wird die so ermittelte Risikokennzahl nur zur Unterstützung des Bearbeiters eingesetzt.

Um dennoch auch die Bestimmung der Bedeutung auf Basis von Felddaten objektivieren zu können, muss der Servicetechniker zunächst für jeden Fehler bei dessen Erfassung aus seiner Sicht eine Einschätzung der Bedeutung vornehmen oder im Rahmen eines Serviceeinsatzes beim Kunden diesen direkt befragen. Zur Berechnung der Bedeutung eines in der Wissensbasis abgelegten Sachverhalts wird das arithmetrische Mittel aus den einzelnen Bedeutungswerten der verknüpften Serviceberichte gebildet (Abbildung 5-29). Grundsätzlich werden Fehl-

einschätzungen dadurch zwar nicht ausgeschlossen, dennoch liefert das Verfahren realistischere Werte. Zum einen kann der Servicetechniker die Fehlerbedeutung am besten beurteilen, da er den direkten Kontakt mit dem Kunden hat. Zum anderen wird die Bedeutungszahl nur für den individuell aufgetretenen Fehler und nicht über den Sachverhalt für alle Fehler dieser Art vergeben.

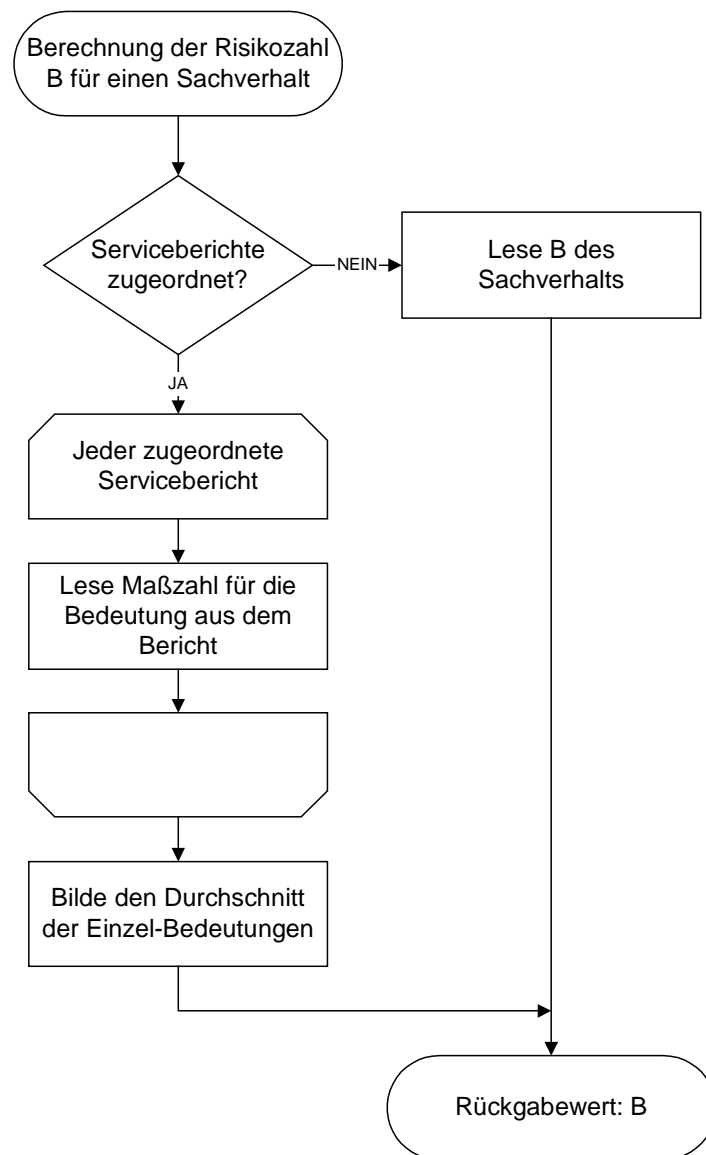


Abbildung 5-29: Berechnung der Maßzahl für die Bedeutung

5.4.3.4 Datenmodelle der FMEA

In Anlehnung an ein FMEA-Formblatt besteht eine FMEA aus einer Auflistung potenzieller Fehler, deren Folgen und Ursachen, jeweils zusammengefasst in einer Zeile. Der Fehler bezieht sich bei der Konstruktions-FMEA dabei auf ein

Funktionselement, das als Einzelteil oder Baugruppe einem Produkt zugeordnet ist. In Abbildung 5-30 ist das allgemeine Modell für die formblattbasierte FMEA dargestellt. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist hierbei mit der Fehlerursache verknüpft, was eine andere Betrachtungsweise als die oftmals in der Literatur vertretene darstellt. Die konsequente Anwendung präventiver Mechanismen erfordert aber bereits das Entdecken der Ursachen eines potenziellen Fehlers, so dass dieser vermieden werden kann, bevor eine Folge zum Tragen kommt [66, 75].

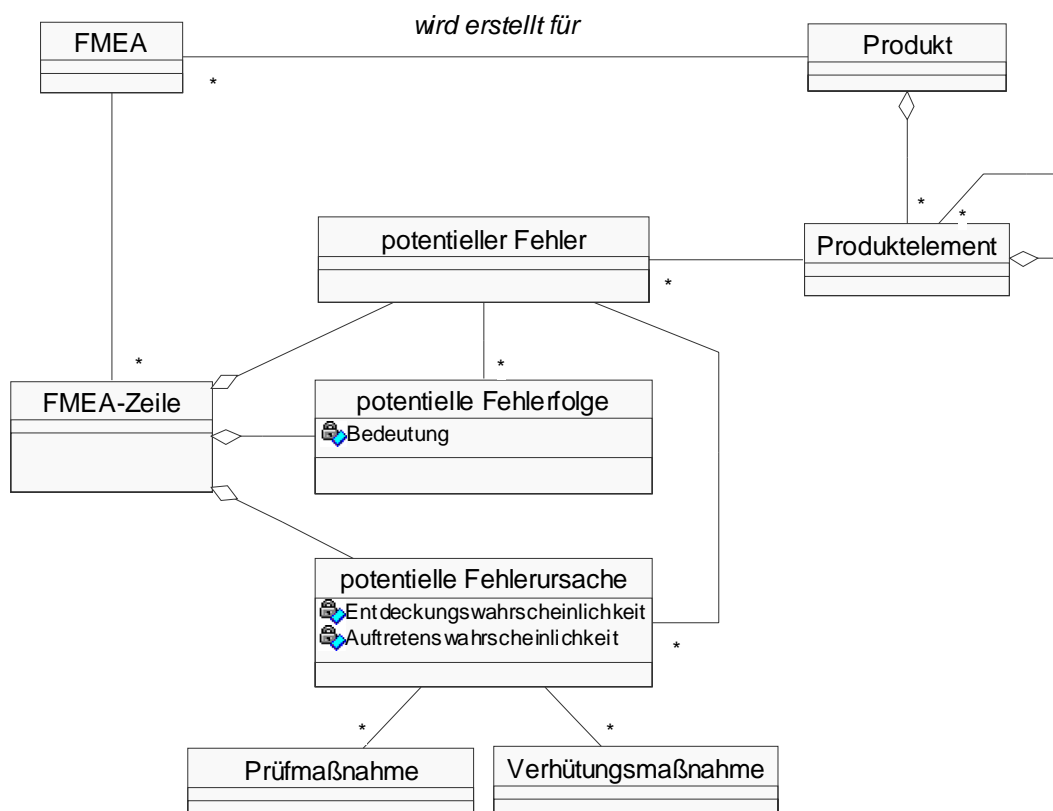


Abbildung 5-30: Datenmodell der formblattbasierten FMEA

Die Erweiterung des FMEA-Modells im Hinblick auf die integrierte Felddatennutzung lässt sich aus den bereits modellierten Klassen ableiten (Abbildung 5-31). Der potenzielle Fehler, die Fehlerfolge und die Fehlerursache sind Unterklassen eines Sachverhalts. Die Prüf- und Verhütungsmaßnahmen können aus dem allgemeinen Maßnahmenmodell abgeleitet werden. Eine Referenz auf das betrachtete Produkt ist in dem erweiterten FMEA-Modell durch die Betrachtungseinheit des Fehler-Sachverhalts gegeben. Ebenso sind die Wahrscheinlich-

keiten des Auftretens und der Entdeckung eines Fehlers sowie die Bedeutung in der Sachverhaltsklasse definiert.

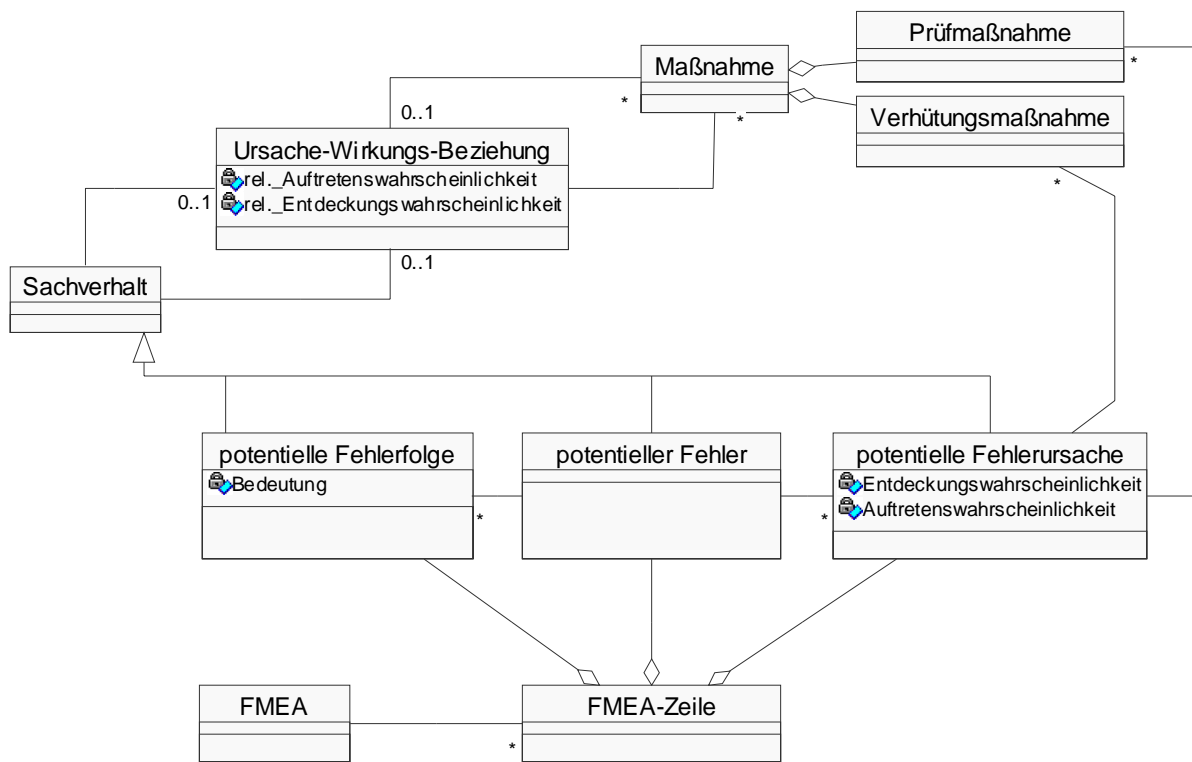


Abbildung 5-31: Erweiterung des FMEA-Modells für die Integration von Felddaten

In dem dargestellten Modell werden nur die Sachverhalte abgeleitet, nicht aber die Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Das bedeutet, dass zwischen einem betrachteten potenziellen Fehler und einer potenziellen Ursache nicht notwendigerweise eine Ursache-Wirkungs-Beziehung definiert sein muss. Dennoch können die kausalen Zusammenhänge der Fallbasis dazu genutzt werden, in einem rechnerunterstützten FMEA-Werkzeug geeignete Ursachen und Folgen vorzuschlagen.

5.4.3.5 FMEA-Risikoberechnung

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Methoden zur Ermittlung der einzelnen Risikokennzahlen für beliebige Sachverhalte des Fehlernetzes beschrieben. Damit stehen die wesentlichen Bausteine für die Entwicklung einer Methode zur Nutzung von Felddaten bei der FMEA zur Verfügung. Der in Abbildung 5-32 dargestellte Ablauf ist dadurch gekennzeichnet, dass die Wissensbasis nur unterstützend eingreift. Sobald vom Anwender eigene Angaben über potenzielle Sachverhalte gemacht werden, haben diese Priorität.

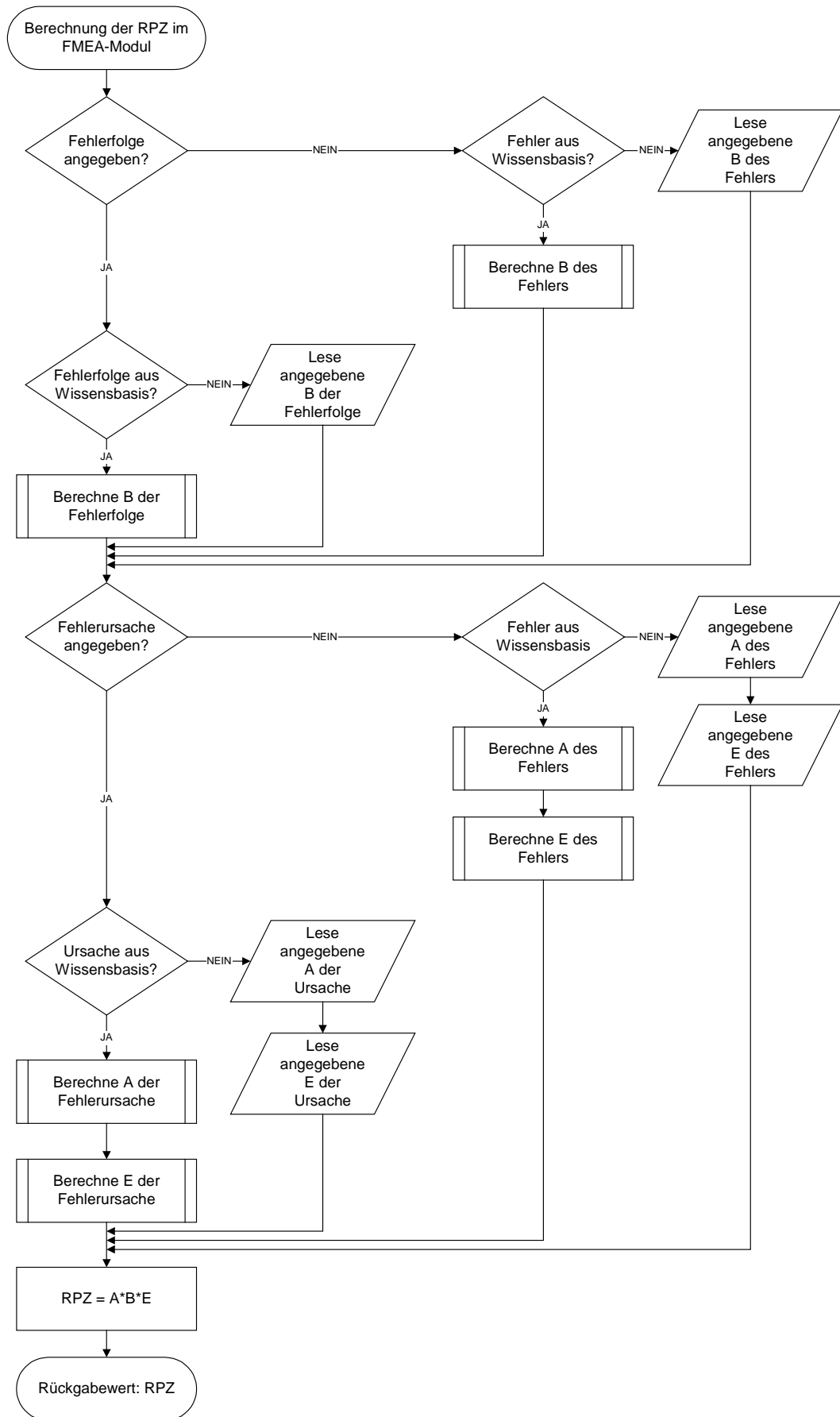


Abbildung 5-32: Ablauf der FMEA-Risikoberechnung

Die Berechnung erfolgt jeweils für den potenziellen Fehler, die Fehlerfolge und Ursache getrennt, so dass die resultierende Risikoprioritätszahl aus einer gemeinsamen Betrachtung eigener Angaben und Felddaten entsteht. Dadurch wird der erzielte „Objektivierungseffekt“ maximiert, ohne die Kreativität des Anwenders einzuschränken. Die Methode bietet außerdem die Möglichkeit, alle Ursachen oder alle Folgen eines potenziellen Fehlers zusammengefasst zu analysieren. Damit können zunächst grobe Betrachtungen vorgenommen werden, um besonders kritische Schwachstellen aufzudecken, die anschließend weiter detailliert werden, um gezielt erforderliche Maßnahmen abzuleiten.

Insgesamt wird die Beurteilung der Ist-Situation optimiert und Handlungsbedarf an den entscheidenden Stellen aufgedeckt. Die Verbesserung des derzeitigen Zustands durch Einleitung von Maßnahmen liegt weiterhin im Verantwortungsbereich des FMEA-Teams oder anderer verantwortlicher Personen.

5.4.3.6 Modellerweiterung der Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Um die zuvor beschriebenen Berechnungen durchführen zu können, ist die Erweiterung des Modells der kausalen Beziehungen entsprechend Abbildung 5-33 erforderlich.

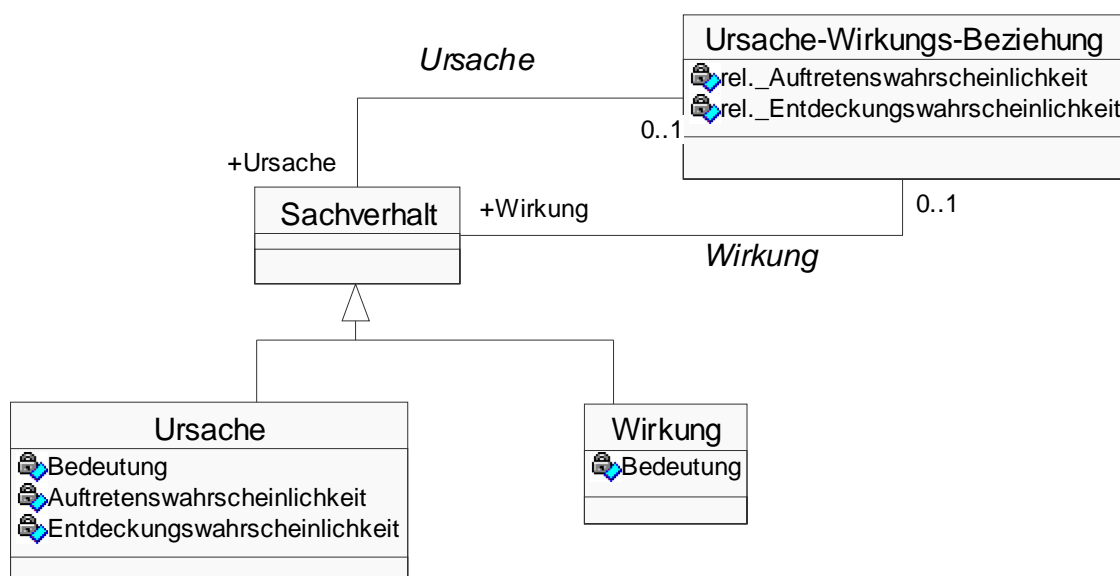


Abbildung 5-33: Erweitertes Modell der Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Dazu muss jedem Sachverhalt eine Auftretenswahrscheinlichkeit, eine Entdeckungswahrscheinlichkeit und eine Kennzahl für die Bedeutung zugeordnet werden können. Die Auftretenswahrscheinlichkeit und die Entdeckungswahrscheinlichkeit dürfen jedoch im allgemeinen nicht isoliert einem Sachverhalt zugeordnet werden, sondern müssen im Zusammenhang mit den Ursachen analysiert werden. Das Auftreten eines Fehlers ist dann um so wahrscheinlicher, je wahrscheinlicher auch seine Ursachen sind. Für die Entdeckungswahrscheinlichkeit gilt, dass sie um so größer wird, je höher die Wahrscheinlichkeit wird, die Ursache zu entdecken [75]. Eine Zuordnung von Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit erfolgt in dem Modell daher nur für Grundursachen. Grundursachen sind alle Sachverhalte, die keine anderen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen festgelegten Sachverhalte als Ursache haben. Im Gegensatz dazu wird jeder Sachverhalt mit mindestens einer Ursache als Wirkung bezeichnet. Für Wirkungen lassen sich die Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeiten berechnen, wozu in den Ursache-Wirkungs-Beziehungen die Angabe relativer Wahrscheinlichkeiten erforderlich ist.

5.4.4 Felddatennutzung in der Fehlerbaumanalyse (FTA) und der Ereignisablaufanalyse (ETA)

Bei diesen kausalen Methoden wird jeweils ausgehend von einem betrachteten Ereignis nach den möglichen Ursachen (FTA) bzw. möglichen Folgen (ETA) geforscht. Die felddatenbasierte Unterstützung greift hierbei naturgemäß auch nur dann, wenn es sich bei den untersuchten Produkten nicht um komplette Neuentwicklungen handelt sondern um mehr oder weniger stark abgeänderte Varianten bereits am Markt befindlicher Erzeugnisse.

Die Suche nach Ursachen und Folgen kann daher auf Grundlage des bestehenden Konzeptes erfolgen, indem die in Kapitel 5.3.2 beschriebenen Suchmechanismen auch auf die Fehlerbaum- und Ereignisablaufanalyse angewendet werden. Die grafische Suche in den Netzstrukturen korrespondierender generischer Produkte verbessert die erforderlichen Kausalanalysen von Fehlern und Ereignissen und bietet somit eine sinnvolle Methodenunterstützung.

6 Prototypische Realisierung⁴

Durch die Realisierung der Softwarebausteine für die felddatenbasierte Unterstützung von Service und Produktentwicklung wird der Nachweis für die Umsetzbarkeit des entwickelten Konzepts geführt. Entsprechend der zuvor beschriebenen Aufgaben besteht die prototypische Implementierung aus Softwarewerkzeugen für

- die Erfassung und Abfrage von felddatenbasiertem Wissen zur Unterstützung von Service und Produktentwicklung und
- die Objektivierung der Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse.

Die Systemarchitektur sieht neben speziellen Lösungen für PC-Umgebungen auch plattformunabhängige Lösungen vor (Abbildung 6-1). Die Grundlage für den Datenzugriff wird durch ein Netzwerk gebildet, das auf dem de facto Standardprotokoll TCP/IP basiert. Hierdurch können die in Form einer Client/Server-Architektur konzipierten Anwendungen miteinander kommunizieren und Informationen austauschen.

Die für die einzelnen Funktionen benötigten Daten wie beispielsweise Produktdaten, Felddaten oder Berichte liegen meist in verschiedenen heterogenen Datenbanken vor. Um bei der Datenbankanbindung keine Beschränkungen hinsichtlich bestimmter Systemanbieter in Kauf nehmen zu müssen, wurde der Zugriff mittels ODBC (Open DataBase Connectivity) realisiert, was eine Anbindung aller marktgängigen relationalen Datenbanken gewährleistet [129].

Die in den TCP/IP-Client integrierten Funktionen für die Serviceunterstützung sowie die Felddatenerfassung und -abfrage wurden weitgehend auch in Form eines Java-basierten WWW-Clients realisiert, um somit die Erfassung und den Zugriff auf die Felddaten plattform- und standortunabhängig zu gewährleisten. Die Felddaten werden in Abhängigkeit der Netzwerkanbindung bei der Erfassung entweder direkt auf einem zentralen Server abgelegt oder zunächst in einer

⁴ Bei der Realisierung der Softwarebausteine wurde der Verfasser von cand.-ing. Andreas Bluhm, cand.-ing. Holger Jungk, cand.-ing. Alexander Timm, cand.-inform. Raúl Valdivia und Dipl.-Ing. (FH) Dirk Volk unterstützt.

Datenbank auf einem lokalen System gespeichert. Für den Datenabgleich zwischen den lokalen Systemen und dem zentralen Datenserver sind Datenbankfunktionen erforderlich, die die Konsistenz des Datenbestandes sicherstellen (vgl. Kapitel 3.1).

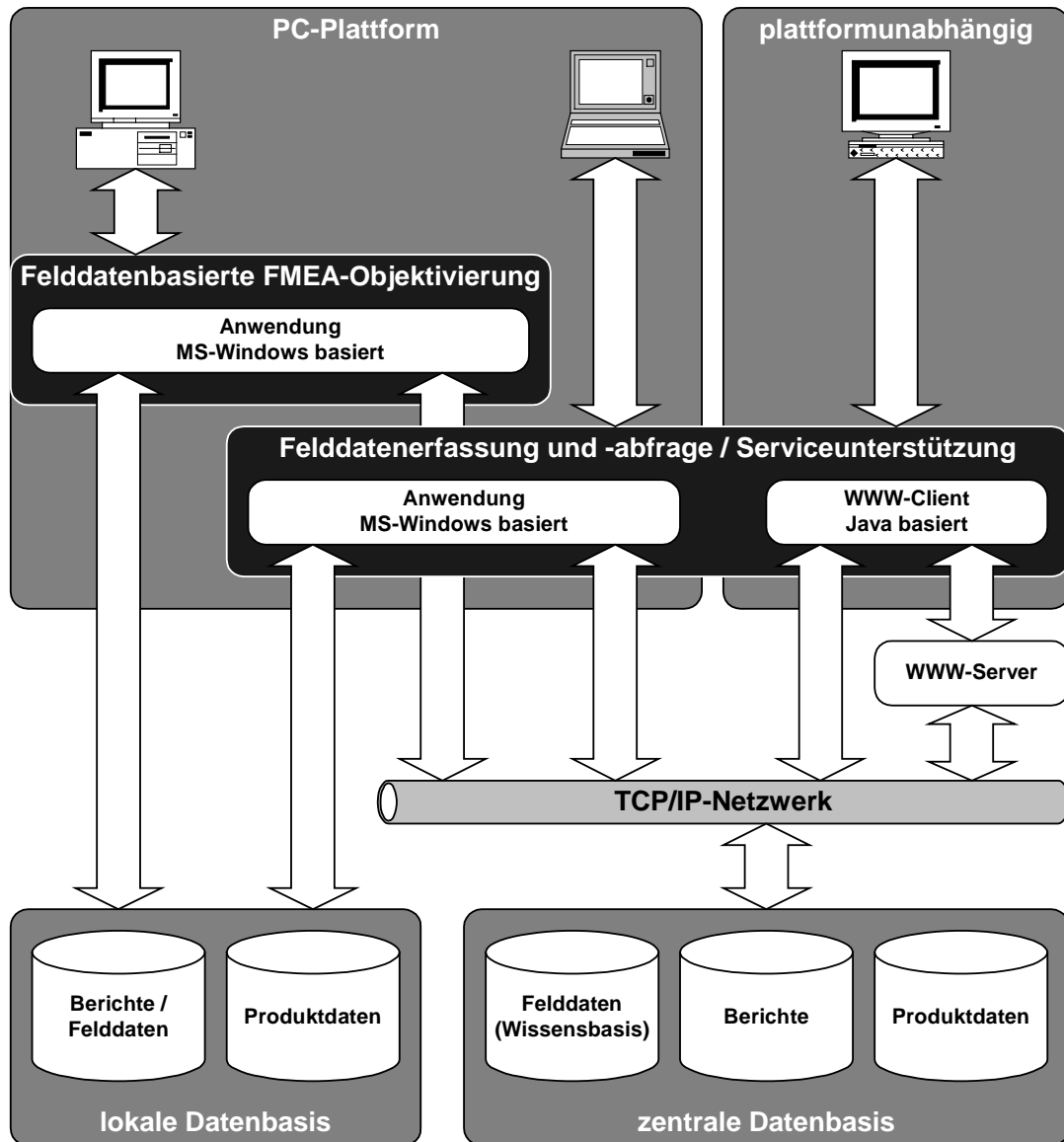


Abbildung 6-1: Systemarchitektur der realisierten Softwarebausteine

Für die Implementierung wurde – mit Ausnahme des WWW-Clients – das Entwicklungssystem Borland Delphi 4.0⁵ verwendet. Delphi ist ein RAD-Tool (Rapid Application Development) und kombiniert die Geschwindigkeit und die einfache

⁵ Borland Delphi ist ein eingetragenes Warenzeichen der Inprise Inc.

Verwendung einer grafischen Entwicklungsumgebung mit der Leistungsfähigkeit, Flexibilität und Wiederverwendbarkeit einer vollständig objektorientierten Sprache, einem komfortablen Compiler und einer fortgeschrittenen Datenbanktechnologie. Delphi stammt von dem Programmierwerkzeug Turbo-Pascal ab und wurde 1995 erstmalig vorgestellt. Die zugrundeliegende Programmiersprache ist „Object Pascal“ [130]. Die Datenbanken des Prototyps wurden mit dem relationalen Datenbanksystem MS-Access 97 erstellt. Der Datenbankserver sowie der WWW-Server wurde unter MS-Windows NT 4.0 realisiert⁶.

Die Integration externer Anwendungen erfolgte im hier beschriebenen Prototyp über den OLE-Mechanismus (Object Linking and Embedding), was die Einbindung von Systemen erlaubt, die auf MS-Windows basieren und eine entsprechende Schnittstelle anbieten. Beispielhaft wurde hier die Integration des CAD-Systems AutoCAD⁷ realisiert. Hierbei bestand eine Anforderung darin, eine Anbindung zu ermöglichen, die neben der Geometrie zusätzliche mit dem CAD-Modell verknüpfte nicht-geometrische Informationen in der aufrufenden Applikation darstellen kann. Zu diesem Zweck war der Kopplungsmechanismus so zu gestalten, dass neben der Nutzung des CAD-Systems aus dem Systembaustein zur Felddatennutzung heraus auch Funktionen zur Verfügung stehen, die das CAD-Modell mit semantischen Informationen der Datenbank verknüpfen. Hierfür wurde die Datenbankschnittstelle ASE/ASI von AutoCAD verwendet (AutoCAD SQL Extension, AutoCAD SQL Interface). Das Integrationskonzept ist in Abbildung 6-2 dargestellt⁸.

Aufgrund der Anforderungen an den WWW-Client hinsichtlich der Plattforumnabhängigkeit, der gleichzeitigen Darstellung unterschiedlicher Oberflächenelemente sowie einer sicheren und komfortablen Realisierung der Datenbankanbindung mittels ODBC erfolgte dessen Implementierung in Java. Der Client ist somit auf allen Java-fähigen WWW-Browsern lauffähig.

⁶ Die Realisierung der NT-Applikationen und der Datenbanken erfolgte unter der Mitwirkung der Herren cand.-ing. Holger Jungk, cand.-ing. Alexander Timm und Dipl.-Ing. (FH) Dirk Volk.

⁷ AutoCAD™ ist ein eingetragenes Warenzeichen der Autodesk Inc.

⁸ Die Umsetzung der CAD-Integration wurde unter Mitwirkung von Herrn cand.-inform. Raúl Valdivia realisiert.

Im Gegensatz zum ODBC-basierten Datenbankzugriff des Windows-basierten Clients, wofür von Delphi umfangreiche Funktionsbibliotheken zur Verfügung gestellt werden, musste für den WWW-Client ein höherer Aufwand bei der Datenbankintegration betrieben werden. Java verfügt über eine eigene Datenbank-schnittstelle, die sogenannte JDBC (Java DataBase Connectivity) [131]. Daher bot sich die Verwendung eines JDBC/ODBC Bridge-Treibers an. Dieser bildet die Brücke zwischen einer Java-Applikation und einem existierenden ODBC-Treiber. Allerdings verwenden diese Bridge-Treiber Java-fremde Klassenbibliotheken. Das bedeutet, dass neben dem Verlust der Plattformunabhängigkeit auch Sicherheitsprobleme auftreten, da sich derartige Klassen aufgrund der Verletzung von Sicherheitsrestriktionen nicht in einen WWW-Browser laden lassen. Um diese Probleme zu umgehen, können sogenannte Wrapper-Klassen in die Java-Applikation integriert werden, die ODBC-artige Befehle zulassen und somit einen direkten Zugriff auf Datenbanken über eine ODBC-Schnittstelle ermöglichen. Für die hier beschriebene Realisierung wurde die Wrapper-Bibliothek Jet von XDB verwendet [132]. Der Vorteil dieser Implementierung ist, dass auf einem Server ein Datenbank-Dämon angesprochen werden kann, der sowohl von Java-Applets als auch von Java-Applikationen genutzt werden kann.

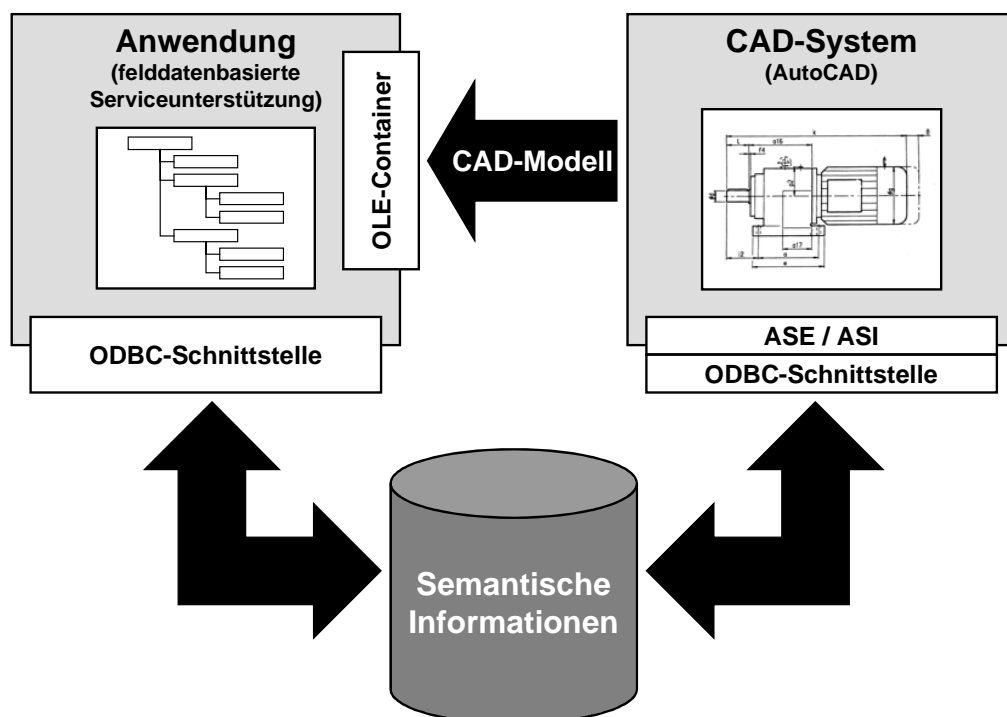


Abbildung 6-2: OLE-basierte CAD-Integration

Um hinsichtlich der zu verwendenden Datenbanken sehr flexibel zu bleiben, wurden die konkreten SQL-Befehle in einer Klasse gekapselt, so dass bei Wechsel der Datenbank nur diese Klasse modifiziert werden muss. In Abbildung 6-3 ist das Implementierungskonzept für den Java-basierten Client und die Servererweiterung dargestellt.

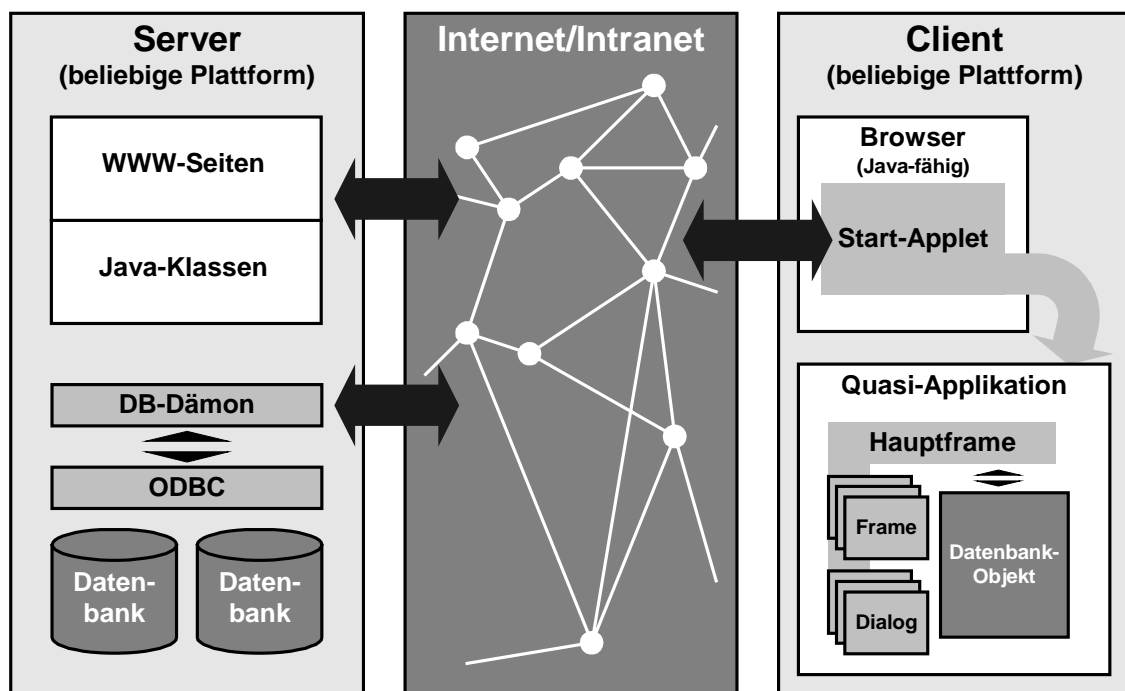


Abbildung 6-3: Implementierungskonzept von Client und Server für den Internet-basierten Datenbankzugriff

Die Realisierung des WWW-Clients ist dadurch gekennzeichnet, dass durch ein Start-Applet ein Hauptframe in einem eigenen Fenster außerhalb des Browsers gestartet wird. Dieser Frame ermöglicht den Aufruf weiterer Frames, so z. B. Dialoge⁹.

⁹ Bei der Realisierung des WWW-Clients wurde der Verfasser durch Herrn cand.-ing. Andreas Bluhm unterstützt.

7 Anwendungsszenario

7.1 Überblick

Im folgenden wird am Beispiel eines Getriebes ein Anwendungsszenario dargestellt, in dem zum einen eine Unterstützung der erforderlichen Serviceaktivitäten durch die Systemfunktionen erläutert wird, zum anderen die Möglichkeiten der Nutzung von Felddaten im Entwicklungsprozess aufgezeigt werden. Neben der Identifikation kausaler Zusammenhänge zwischen einzelnen Sachverhalten, was sowohl für den Service als auch für die Entwicklungsabteilungen erforderlich ist, wird die Objektivierung einer Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse auf Felddatenbasis dargestellt. Die Beispieldaten wurden auf Grundlage des ADITEC-Getriebes Z30 generiert, das Demonstrationsprodukt des QCIM-Arbeitskreises Produktmodellierung [133]. Hierzu wurden auf der spezifischen Ebene die Produktstruktur sowie die Ausprägungen der einzelnen Strukturelemente variiert. Das für das Getriebe existierende Fehlergeschehen wurde durch existierende Fehlernetze für Wälzlager ergänzt, die Arbeiten von Ehrlenspiel und Neese entstammen. [72, 134]. Die so gewonnenen Fehlerdaten wurden in jeweils modifizierter Form vervielfacht und einzelnen Produkten auf individueller Ebene zugewiesen, um eine realistische Fallbasis zu simulieren.

7.2 Einführungsvoraussetzungen

Die Voraussetzungen für die Realisierung des hier vorgestellten Ansatzes an die Hard- und Softwarebasis sind gering und werden von den meisten Unternehmen ohnehin erfüllt, da Standardkomponenten verwendet werden können. Als Hardwareplattform sind für den FMEA-Baustein PC-basierte Systeme unter MS-Windows einzusetzen. Die internetbasierten Softwarebausteine sowie die Datenbanken sind an keine spezielle Plattform gebunden, sofern sich die verwendeten Komponenten an den Standards für HTML, SQL und ODBC orientieren. Allerdings bieten sich auch hierfür Windows-basierte Systeme an, da diese eine einfache Installation und Wartbarkeit der Applikationen und Datenbanken ermöglichen. Eine breitbandige Internetanbindung ist im Hinblick auf eine Verkürzung der Antwortzeiten vorteilhaft, da in Abhängigkeit der genutzten Serviceunterstützung mitunter größere Datenmengen ausgetauscht werden müssen.

Die Integration der Softwarebausteine in unternehmensinterne Informationsinfrastrukturen erfordert allerdings einen entsprechenden Aufwand. Die reine Systemintegration kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Entweder werden zu den Systemen, mit denen ein Datenaustausch stattfinden soll, direkte Schnittstellen implementiert. Bei einer großen Anzahl von Systemen ist das allerdings entsprechend kostenintensiv, so dass in diesem Fall auf Standards basierende Integrationsmechanismen verwendet werden sollten. Ein innovativer und übergreifender Lösungsansatz wird dazu im Rahmen der Aktivitäten des Leitprojektes „Innovative Technologien und Systeme für die Virtuelle Produktentstehung“ (iViP) entwickelt. Bei einer Anpassung der vorgestellten Softwarebausteine im Hinblick auf eine iViP-Integration lässt sich eine Kommunikation mit allen weiteren in die iViP-Architektur integrierten Werkzeugen aufbauen, was die Anwendungsmöglichkeiten entsprechend erweitert [135]. Die Gestaltung der erforderlichen IT-Infrastrukturen kann verbessert werden, indem diese auf Basis der zu unterstützenden Prozesse simuliert und schrittweise optimiert werden. Grundlage dafür bilden die Prozessmodelle, ein Modell für IT-Infrastrukturen sowie die Zuordnung der in den Teilprozessen benötigten Ressourcen [136].

Neben den systemtechnischen Voraussetzungen ist die Schaffung der organisatorischen und strukturellen Randbedingungen für die unternehmensweite Etablierung des vorgestellten Ansatzes und den erfolgreichen Einsatz der Softwarebausteine erforderlich. Vor allem muss sichergestellt werden, dass eine ausreichende Felddatenerfassung gewährleistet werden kann. Hierzu ist es erforderlich, die Servicetechniker oder sonstige mit der Datenerfassung betraute Personen mit den benötigten Softwarewerkzeugen auszustatten und für die Anwendung entsprechend zu qualifizieren. Daneben ist der Zugriff auf die zu erfassenden Daten an sich zu ermöglichen, indem die in Kapitel 4.1 dargestellten organisatorischen Anforderungen erfüllt werden. Das muss insbesondere bei Beauftragung externer Personen mit der Datenerfassung auf vertraglicher und in der Regel kostenpflichtiger Basis erfolgen. Ebenso sind im Rahmen einer Umsetzung des Konzeptes die möglichen Manipulationsmöglichkeiten und -interessen bei der Erfassung zu berücksichtigen und durch Gegenmaßnahmen zu verhindern, soweit das möglich ist.

Für die Datenintegration auf logischer Ebene müssen die hier beschriebenen Datenmodelle entsprechend der unternehmensindividuell verschiedenen Gegebenheiten und der eingesetzten Werkzeuge wie z. B. EDM-, CAQ- oder PPS-Systeme erweitert und angepasst werden.

7.3 Unterstützung von Serviceprozessen

Eine elementare Rechnerunterstützung im Rahmen der Servicetätigkeiten beim Kunden ist der standortübergreifende Zugriff auf kundenindividuelle Produktdaten. Insbesondere bei durch plötzliche Produktausfälle initiierten Serviceeinsätzen, die einem Techniker keine entsprechende Vorbereitung gestatten, ist es hilfreich, wenn dieser sich vor Ort beim Kunden die benötigten Informationen verfügbar machen kann. Diese Funktionen werden vom TCP/IP-Client sowie vom WWW-Client zusätzlich zu den Erfassungs- und Suchfunktionen bereitgestellt.

Im dargestellten Beispiel wird im ersten Szenario der Zugang zu einem Server des Produktherstellers über eine Internetverbindung ermöglicht. Der Servicetechniker wählt sich durch Eingabe seiner Nutzerkennung und seines Passwortes in einer Anmeldemaske auf einem geschützten Bereich des Servers ein. Somit wird ein unberechtigter Zugriff auf Kunden- und Produktdaten weitgehend vermieden. Anschließend wird aus der Kundenliste der Kunde ausgewählt, bei dem der Serviceeinsatz erfolgen soll. Durch diese Angabe wird eine Aufstellung erzeugt, die dem Techniker alle Produkte anzeigt, die der Kunde vom betreffenden Hersteller bezogen hat. Aus dieser Liste wird dann das Produkt ausgewählt, für das die Wartung oder Instandsetzung durchgeführt werden muss. Auf Basis dieser Zuordnung können dann Funktionen genutzt werden, die die eigentliche Servicetätigkeit unterstützen.

Hierzu wird für den Serviceeinsatz zunächst ein Projekt angelegt oder ein bestehendes Projekt geöffnet, um eine eindeutige Dokumentation der Serviceleistungen zu gewährleisten (Abbildung 7-1). Unter dem Begriff Projekt werden in diesem Zusammenhang alle eine bestimmte Störung betreffende Servicetätigkeiten zusammengefasst und dokumentiert. Das ist zum einen hinsichtlich der Wiederauffindung der Servicedokumentation wichtig, insbesondere wenn sich die Serviceleistung über mehrere Termine erstreckt und möglicherweise auch von unter-

schiedlichen Technikern durchgeführt wird. Zum anderen kann auf Basis der Leistungsdokumentation auch die spätere Abrechnung erfolgen.

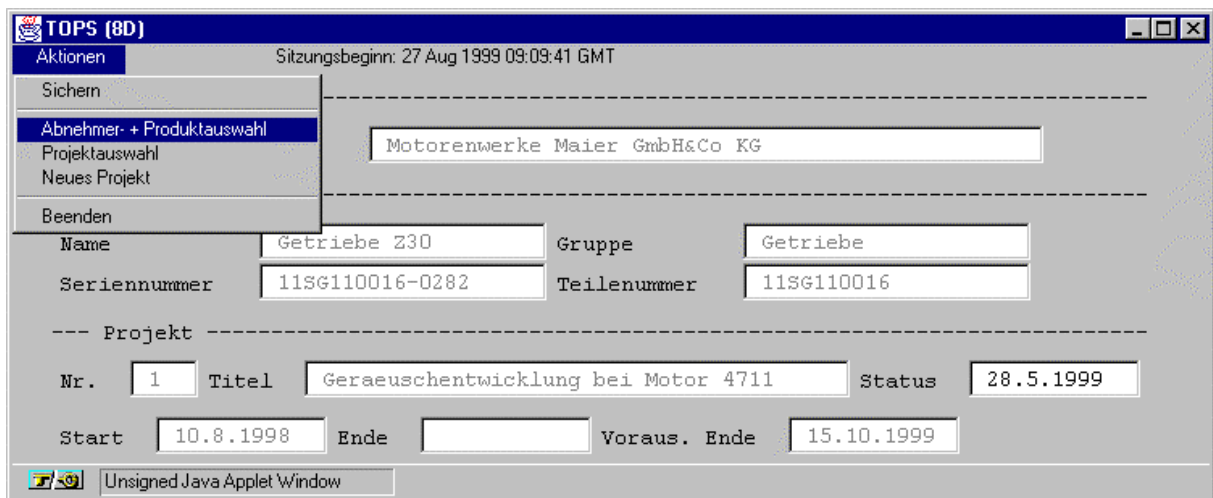


Abbildung 7-1: Anlage eines Projektes für einen Serviceeinsatz

Die Rechnerunterstützung der Servicetätigkeiten erfolgt auf unterschiedliche Arten. So kann der Servicetechniker beispielsweise über einen Strukturbaum durch die gesamte Produktstruktur navigieren (Abbildung 7-2).

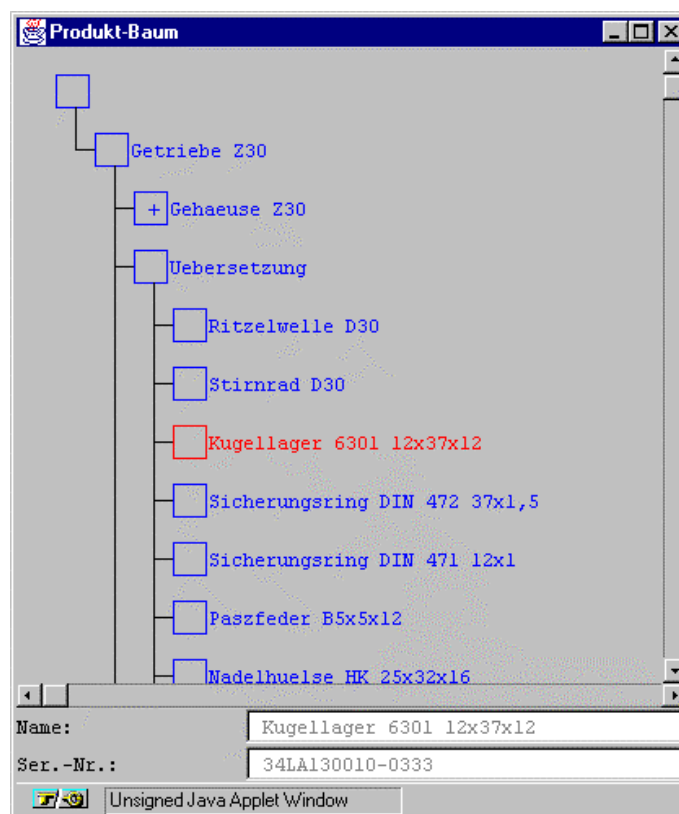


Abbildung 7-2: Produktstrukturbaum

Hierbei handelt es sich dann um die individuelle Produktstruktur des jeweils ausgewählten Produktes mit den entsprechenden Seriennummern sowie Referenzen zu Serviceberichten mit Wartungs- und Instandsetzungsinformationen. Somit kann vom Einsatzort auf die gesamte Historie des Produktes über eine Internetverbindung zugegriffen werden. Über die Anwahl einzelner Elemente des Baumes lassen sich zusätzliche Informationen über das betreffende Bauteil oder die Baugruppe anzeigen.

Die neben der Fehlerdiagnose wichtigste Art der Serviceunterstützung, insbesondere bei komplexen Problemen, ist die Ableitung wirksamer Maßnahmen aus einer Zustands- und Fehlerbeschreibung des Produktes. Hierzu erfolgt die Problembeschreibung über die Felddatenerfassungsmaske (Abbildung 7-3).

The screenshot shows a web-based application window titled "D2". The interface is organized into several sections:

- Klassifikation:** Contains two input fields: "Objekt" with the value "Kugellager 6301 12x37x12" and "Objektgruppe" with the value "Kugellager".
- Beschreibung:** Contains two dropdown menus: "Merkmal" set to "Max. Drehzahl" and "Aussage" set to "zu hoch".
- Fehlerort:** An input field containing "Lagerring".
- beobachtet am:** An input field containing "15.12.1999".
- Befund:** A large text area containing the following text: "Einige Kugeln sind zerstoert. Die Lagerringe weisen auf den Laufflaechen Riefen auf. Ferner zeigen sie Verfaerbungen, die eindeutig thermischen Ursprungs sind." To the right of this text area is a button labeled "Massnahmen suchen".

At the bottom of the window, there is a status bar that reads "Unsigned Java Applet Window".

Abbildung 7-3: Felddatenerfassung in der Web-basierten Applikation

Auf Basis der Produktauswahl zu Beginn der Arbeitssitzung werden vom System kontextbezogene Auswahllisten generiert, die die Erfassung vereinfachen und nur sinnvolle Eingaben zulassen.

Basierend auf der Analyse der Fehlerbeschreibung kann anschließend nach Maßnahmen zur Fehlerbehebung und -vorbeugung gesucht werden. Die vom System vorgeschlagenen Maßnahmen werden in einer Liste ausgegeben. Über eine

Anwahl lassen sich ergänzende Informationen – wie z. B. die textuelle Beschreibung der Maßnahme – anzeigen (Abbildung 7-4).

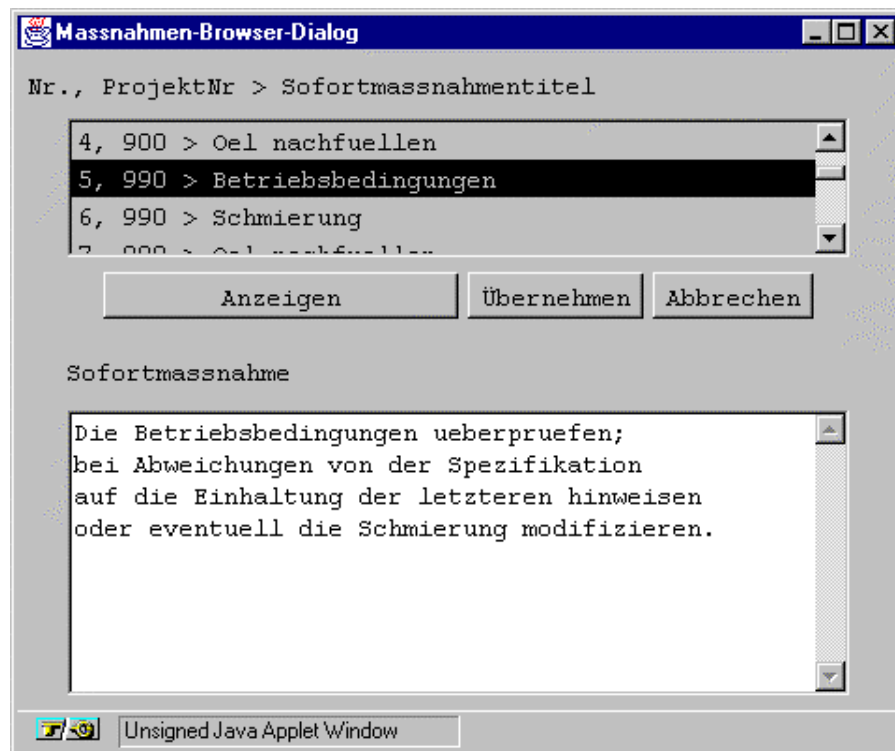


Abbildung 7-4: Liste der vorgeschlagenen Maßnahmen

Wird die Maßnahme vom Anwender als sinnvoll erachtet, erfolgt die Übernahme und somit die Zuordnung der Maßnahme zu dem im aktuellen Projekt betrachteten Fehler über die Ursache-Wirkungs-Beziehung entsprechend der in Kapitel 5.3 beschriebenen Systematik. In einer weiteren Maske ist die individuelle Anpassung der Maßnahme an das konkrete Problem möglich.

Ist eine Einwahl in den zentralen Server nicht möglich, weil beispielsweise am Einsatzort keine Internetverbindung zur Verfügung steht, so kann der Servicetechniker auf die Anwendung zurückgreifen, die auf seinem mobilen Rechner installiert ist. In diesem Fall fehlt der Zugriff auf alle Daten, die auf dem zentralen Server nach dem letzten Überspielen der entsprechenden Datenbestände auf den mobilen Rechner geändert wurden. Die Problembeschreibung (Abbildung 7-5) erfolgt in diesem Rahmen in Form eines Serviceberichtes, die Struktur der eigentlichen Fehlerbeschreibung ist aber identisch zu der in der Web-basierten Applikation.

Abbildung 7-5: Felddatenerfassung / Problembeschreibung

Allerdings sind hierbei diejenigen Daten nicht verfügbar, die aufgrund des großen Umfangs grundsätzlich nicht auf die mobilen Geräte übertragen werden. Dafür bietet die Anwendung mehr Komfort, und der Anwender muss keine langen Antwortzeiten aufgrund einer möglicherweise geringen Netzwerkperformance in Kauf nehmen. Darüber hinaus ist die Verknüpfung zusätzlicher Dokumente mit dem erfassten Sachverhalt möglich. Das sind beispielsweise Fotos des Schadens oder Konstruktionszeichnungen mit dem markierten Fehlerbereich. Außerdem kann der Servicetechniker bereits eine Einschätzung der Bedeutung des Fehlers für den Kunden vornehmen, was im Hinblick auf die FMEA hilfreich ist.

Wesentlich detaillierter kann in dieser Anwendung die Maßnahmensuche erfolgen. Zum einen bietet die Applikation die grafisch-interaktive Navigation in den Fehler- und Sachverhaltsnetzen (Abbildung 7-6). Hierbei wird durch die Netzwerkdarstellung eine übergreifende Betrachtung der gegenseitigen Abhängigkeiten von Fehlern, positiven Sachverhalten und Maßnahmen ermöglicht.

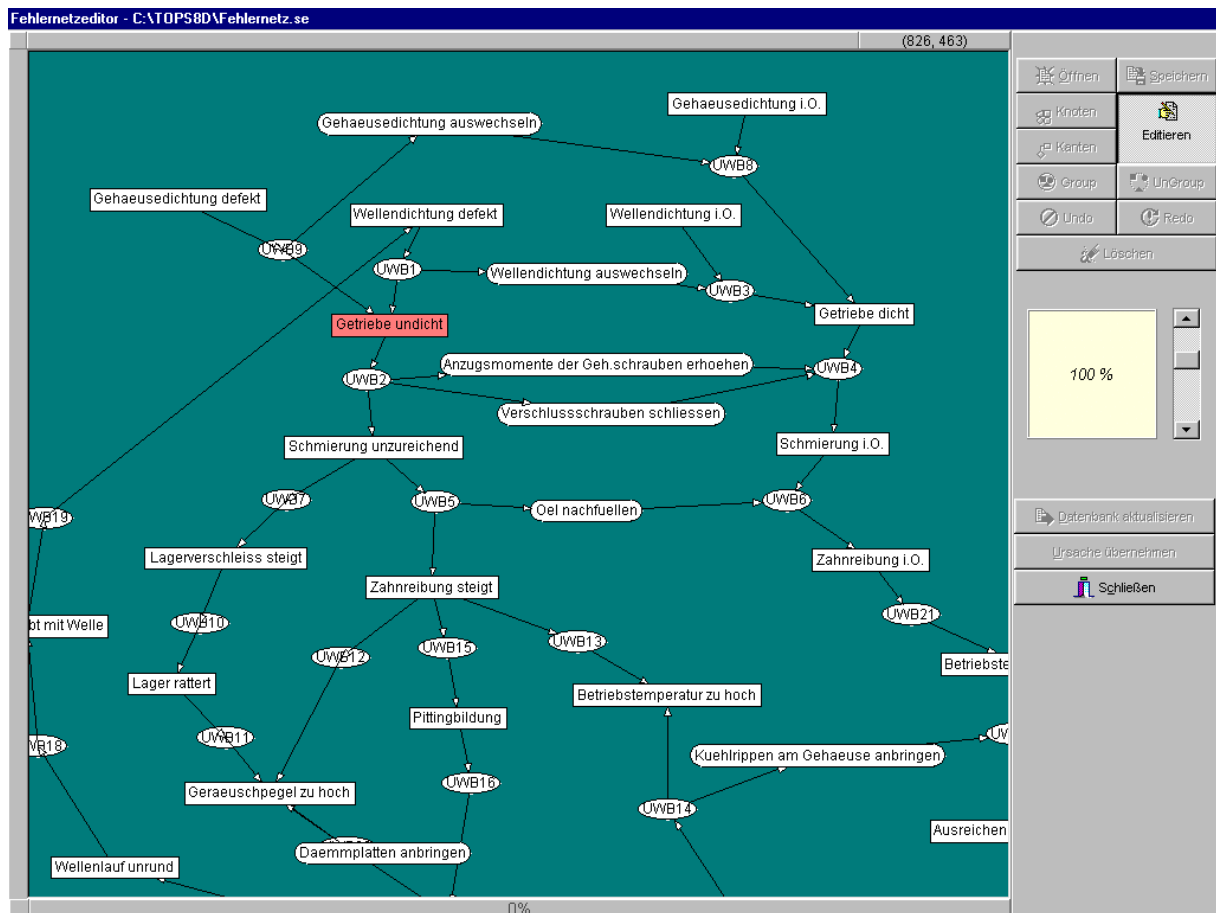


Abbildung 7-6: Struktureditor zur Navigation in Sachverhaltsnetzen

Der Anwender kann somit einzelne kausale Ketten verfolgen und sich die vorgeschlagenen Maßnahmen mit deren vermuteter Wirkung näher betrachten. Ein neu erfasster Sachverhalt kann mit Hilfe des Editors entsprechend in das existierende Netzwerk integriert werden, indem die er über Kanten und Ursache-Wirkungs-Beziehungen mit den Sachverhalten und Maßnahmen vernetzt wird, mit denen er in logischer Verbindung steht.

Die Anwendung der grafisch-interaktiven Navigation empfiehlt sich vor allem dann, wenn eine Sachverhaltsstruktur zwar komplex hinsichtlich der Kausalitäten ist, aber einen noch überschaubar Umfang hat. Das kann beispielsweise im Anlagenbau mit einer geringen Anzahl ausgelieferter Produkte eines Typs der Fall sein, wenn die Anzahl der im Feld erfassten Sachverhalte nicht sehr hoch ist, eine Navigation im Netz für die Ursachenanalyse allerdings aufgrund der Produktkomplexität eine sinnvolle Unterstützung darstellt. Bei unübersichtlichen Netzstrukturen, die bei einer umfangreichen Felddatenerfassung bei Serienprodukten schnell entstehen können, muss die Navigation an sich jedoch

strukturiertes ablaufen. Das ist z. B. durch das Setzen diverser Filter möglich, die die Suche nach geeigneten Maßnahmen entweder stärker einschränken oder mehr ausweiten, je nach der Anzahl der angebotenen Maßnahmen. Ausgehend von der Fehlerbeschreibung wird der Suchbereich für die Maßnahmen zunächst sehr stark eingegrenzt, indem implizit das Ähnlichkeitsmaß zwischen aktuellem Sachverhalt und Sachverhalten der Wissensbasis sehr hoch gesetzt wird. Das geschieht, indem die Produktgruppe eingeschränkt wird, auf die sich die Suche erstrecken soll und für die Einträge der Objekte in der Fallbasis für Merkmal und Aussage ebenfalls Übereinstimmung zum aktuellen Problem gefordert wird. Darüber hinaus kann die Richtung, in welcher in der kausalen Kette gesucht werden soll, ebenfalls angegeben werden (Abbildung 7-7).

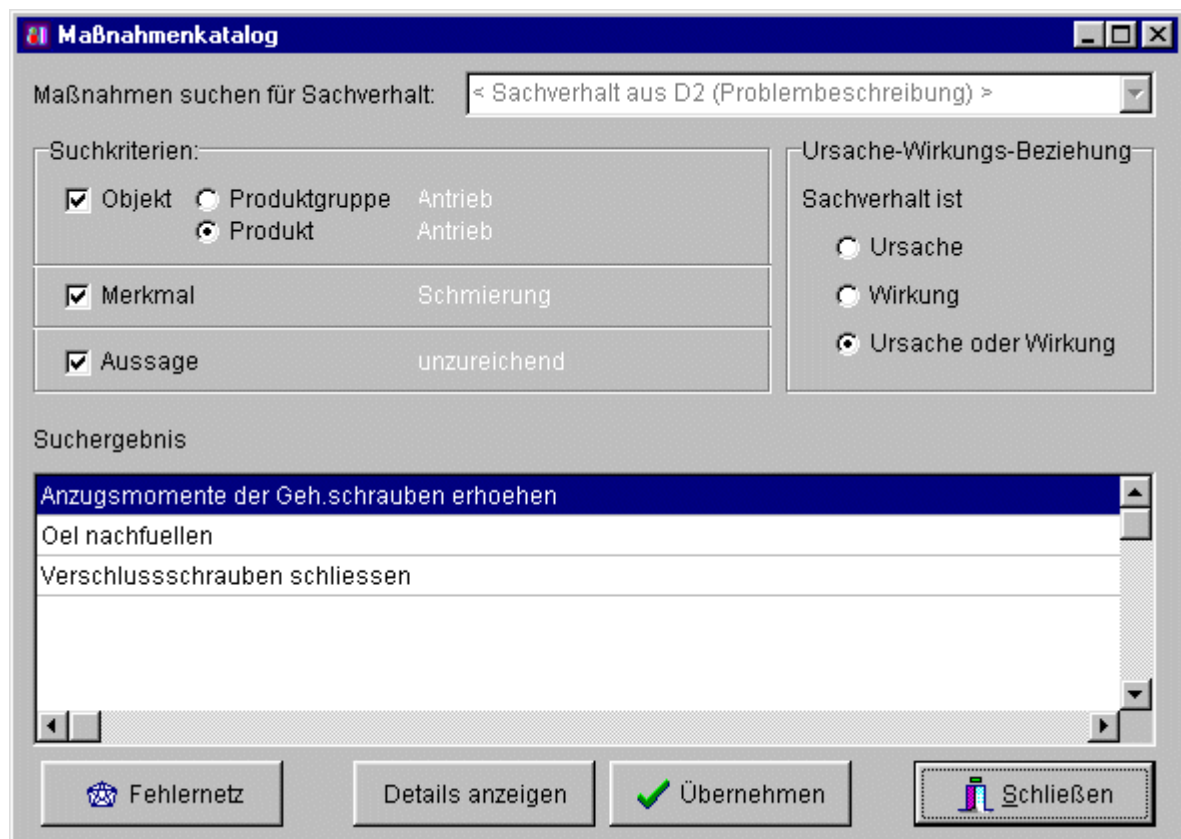


Abbildung 7-7: Maßnahmensuche auf Basis erfasster Felddaten

Werden keine Maßnahmen angeboten, so muss die Suche schrittweise erweitert werden. Hierzu lassen sich die Abfragen hinsichtlich der Übereinstimmungen für jedes Objekt der Fehlerbeschreibung zu- oder abschalten.

Besteht der Zugriff auf weitere den Serviceprozess unterstützende Informationen, so können diese direkt aus dem System aufgerufen und angezeigt werden. Voraussetzung dafür ist, dass die für die Zusatzdokumente erforderlichen Anwendungen auf dem vom Servicetechniker genutzten Rechner verfügbar sind. Im folgenden Beispiel wird ausgehend von der Produktstruktur des defekten Getriebes das CAD-Modell des angewählten Objektes aufgerufen und mit Hilfe des über OLE eingebetteten CAD-Systems AutoCAD dargestellt (Abbildung 7-8). Dazu muss allerdings sichergestellt sein, dass der Servicetechniker über die entsprechende Berechtigung zum Laden der Modelle verfügt. Auf Basis des Rechteprofils eines Users wird die Funktion entsprechend ausgeführt oder verweigert.

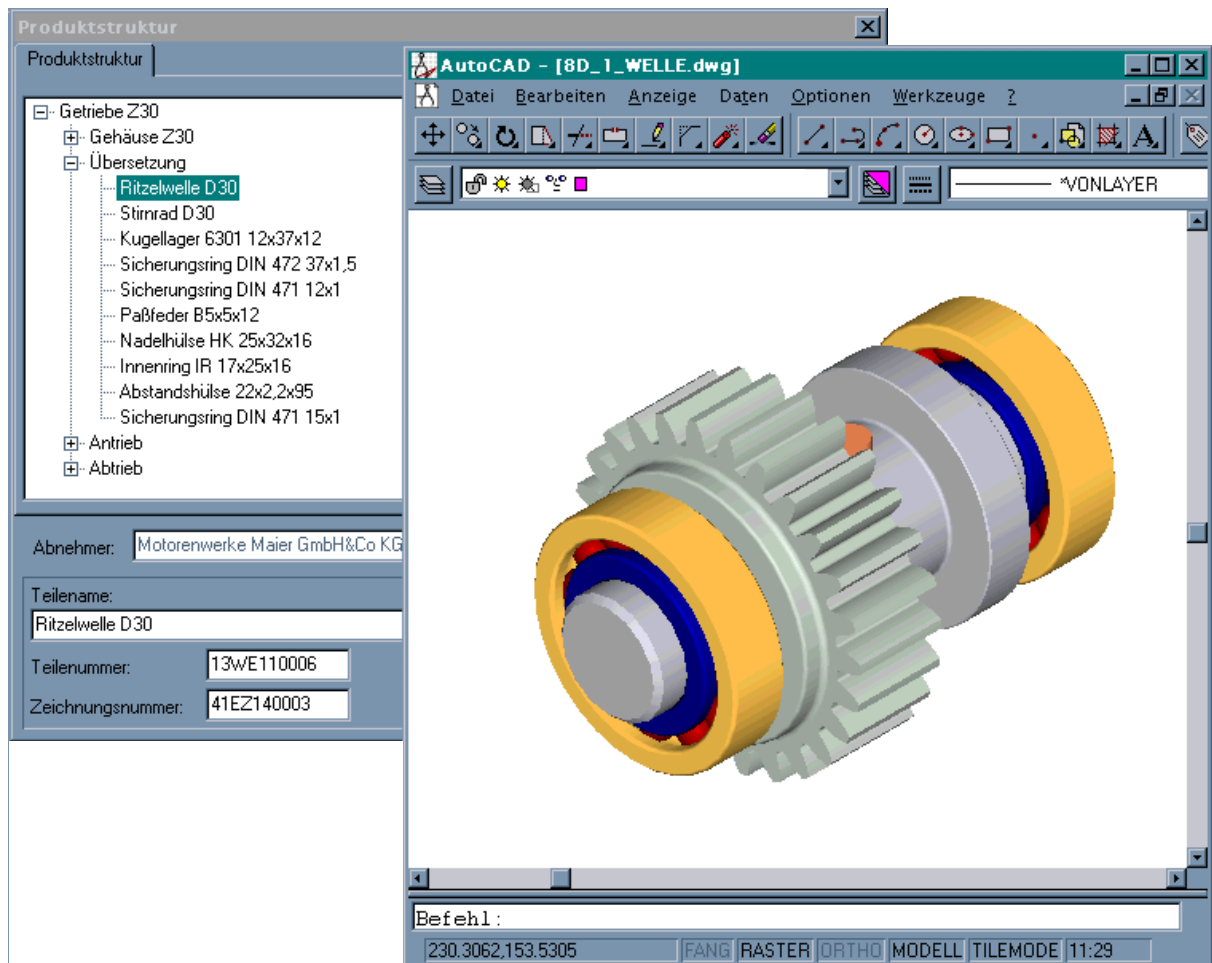


Abbildung 7-8: Zugriff auf CAD-Modelle aus der Applikation für die Serviceunterstützung

Neben der Nutzung der reinen CAD-Funktionalität werden hierbei noch weitergehende Funktionen angeboten. So kann der Anwender in einem Editiermodus Geometriemodifikationen am Modell vornehmen, bestimmte Bereiche markieren

und mit Bemerkungen versehen. Intern wird in diesem Fall eine Kopie des CAD-Modells erzeugt, die direkter Bestandteil des Serviceprojekts wird. Auf dieser Grundlage kann die zuständige Entwicklungsabteilung, die nach Erreichen eines vorgegebenen Vollständigkeitsstatus der Dokumentation automatisch benachrichtigt wird, das CAD-Modell sowie alle dazugehörigen Dokumente des Serviceprojektes einsehen und die erforderlichen Maßnahmen einleiten oder Rücksprache mit dem Techniker nehmen.

7.4 Felddatennutzung in der Produktentwicklung

Die zuvor beschriebene Navigation in den Sachverhaltsnetzen kann im Rahmen der Produktentwicklung analog erfolgen. Das ist insbesondere für die Ableitung der Ursache-Fehler-Folge-Strukturen in der FMEA sinnvoll. So können z. B. in Sitzungen des FMEA-Teams bestimmte Aspekte besser berücksichtigt werden, indem die bislang erfassten Felddaten zu dem betreffenden Produkt oder der Produktgruppe analysiert werden. Hierzu bietet sich eine Sachverhaltsuche mit veränderbaren Kriterien an, wie sie in Abbildung 7-9 dargestellt ist.

ID	Titel	Teile.Bezeichnung	Merkmale.Bezeichnung
15	Betriebstemperatur zu hoch	Getriebe Z30	Betriebstemperatur
14	Geraeuschniveau zu hoch	Getriebe Z30	Geraeuschniveauentwicklung
2	Getriebe undicht	Getriebe Z30	Dichtigkeit

Abbildung 7-9: Konfigurierbare Sachverhaltsuche

Auch für den Entwicklungsbereich besteht die Möglichkeit, Sachverhalte hinzuzufügen und zu bearbeiten. Eine nicht-grafische Sachverhaltsnetzdarstellung kann – im Vergleich zur grafischen Darstellung des Struktureditors – bei komplexen Netzstrukturen die Übersichtlichkeit sogar erhöhen (Abbildung 7-10).

Abbildung 7-10: Nicht-grafische Bearbeitung von Sachverhalten

Zu jedem Sachverhalt werden Listen der zugehörigen Ursachen und Wirkungen dargestellt. Eine Navigation entlang der kausalen Ketten ist in beide Richtungen möglich, indem durch Anwahl einer Ursache oder Folge diese als betrachteten Sachverhalt ausgewählt wird, für den dann wiederum die Listen der Ursachen und Wirkungen angezeigt werden. Darüber hinaus werden in der Maske auch Navigationsfunktionen angeboten, die quasi ein Vor- und Zurückblättern erlauben. Einzelne Ursachen oder Wirkungen können hinzugefügt oder entfernt werden, was im Hinblick auf die Konsistenz des Netzes aber nicht jedem Anwender gestattet sein sollte. Die Verbindung eines betrachteten Sachverhalts zu den zugrundeliegenden Felddaten ist über die verknüpften Berichte gewährleistet, die

die direkt aus der Anwendung aufgerufen werden können. Durch die Angabe der relativen Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten und die Entdeckung eines negativen Sachverhalts kann die Schwere des Fehlers bereits in dieser Phase abgeschätzt werden.

Im Hinblick auf die Produktoptimierung durch Anpassung bereits bestehender Produkte liefert die Analyse des Gebrauchsverhaltens der im Einsatz befindlichen Produkte wertvolle Hinweise. Neben der Betrachtung des Fehlergeschehens sind auch die vom Kunden geäußerten Anforderungen oder die vom Service unabhängig von einem aufgetretenen Fehler entdeckten Auffälligkeiten in die Entwicklungsaufgaben mit einzubeziehen. Hierzu sind die mit dem Produkt verknüpften Feedbackberichte zu berücksichtigen, die in der Regel vom Service erstellt werden (Abbildung 7-11).

The screenshot shows a software window titled "Feedback Bericht" with a standard Windows-style title bar. The window contains a form with the following fields and controls:

- Header:** Navigation icons (back, forward, home, search, etc.), "Drucken" (Print), "Senden" (Send), and "Anlagen..." (Attachments).
- Metadata:** "Feedback Nr.: 33", "Datum: 08.08.99", and "Zuletzt gesendet:".
- Feedback Titel:** A text input field containing "Wärmeabfuhr des Z30-Gehäuses".
- Feedback Quelle:** Radio buttons for "Feedback Bearbeiter" (selected), "Kunde", and "Konkurrenz".
- Feedback Bearbeiter:** "Name:" field with "Willi Schmidt" and "Personal Nr.:" field with "54321".
- Dringlichkeit:** Radio buttons for "Hoch", "Mittel" (selected), and "Niedrig".
- Objekt:** A dropdown menu with "Gehaeuse Z30" selected.
- Merkmal:** A dropdown menu with "Waermeabfuhr" selected.
- Feedback Aussagetyp:** Radio buttons for "Hinweis" (selected), "Verbesserungsvorschlag", and "Sonstiges".
- Feedback Text:** A large text area containing the text: "Es ist mir aufgefallen, daß das Getriebe-Gehäuse bei hohen Drehzahlen im Bereich der Abtriebswelle übermäßig stark erwärmt, obwohl die Schmierung in Ordnung ist."

Abbildung 7-11: Feedbackberichte zur Erfassung störungsunabhängiger Besonderheiten

7.5 Felddatenbasierte FMEA-Objektivierung

Zur Durchführung einer Risikoanalyse im Rahmen einer FMEA müssen zunächst der potenzielle Fehler, die potenzielle Fehlerfolge und die potenzielle Ursache im Eingabebereich angegeben werden. Hierfür können entweder Sachverhalte aus der Falldatenbasis ausgewählt oder – falls kein geeigneter Sachverhalt vorliegt – Freitexte eingetragen werden. Wird die potenzielle Fehlerfolge wie im vorliegenden Beispiel nicht spezifiziert, so fließt die Gesamtbedeutung des Fehlers in die Berechnung ein. Analog können bei der Ursachenauswahl die Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeiten sämtlicher Ursachen des Fehlers zusammengefasst werden. Das Hauptfenster für die FMEA-Risikoberechnung ist in Abbildung 7-12 dargestellt.

Potentieller Fehler	Potentielle Fehlerfolge	Potentielle Fehlerursache	A	E	B	RPZ
Zahnreibung steigt	(alle Folgen)	Schmierung unzureichend	5.66	2.12	6.00	71.99
Gehäusedichtung defekt	(alle Folgen)	(alle Ursachen)	4.47	1.00	6.00	26.83
Getriebe undicht	Schmierung unzureichend	Wellendichtung defekt	8.37	8.03	1.00	67.22
	(alle Folgen)	Wellendichtung defekt	8.37	8.03	7.00	470.51

Abbildung 7-12: Felddatenbasierte Berechnung der Risikokennzahlen für die FMEA

Die Berechnung erfolgt entsprechend der in Kapitel 5.4.3 beschriebenen Vorschrift, d. h. das aktuelle Fehlergeschehen aller dem ausgewählten generischen Objekt zugehörigen Produkte bestimmt die Werte für Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit.

Die Transformationsfunktionen für die Zuordnung aufgetretener Fehler zu den Werten für Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit sind im entwickelten Softwarebaustein beispielhaft in Form exponentieller Funktionen repräsentiert. Der Exponent kann über einen Schieberegler eingestellt werden (Abbildung 7-13). Die Festlegung des Faktors c in der Funktion erfolgt indirekt durch die Angabe eines Wertepaares. Für die Auftretenswahrscheinlichkeit besteht das Wertepaar aus der Risikokennzahl und der absoluten Anzahl von Ausfällen pro Million ausgelieferter Einheiten. Bei der Entdeckungswahrscheinlichkeit wird eine Risikokennzahl dem Anteil der extern entdeckten Fehler zugeordnet.

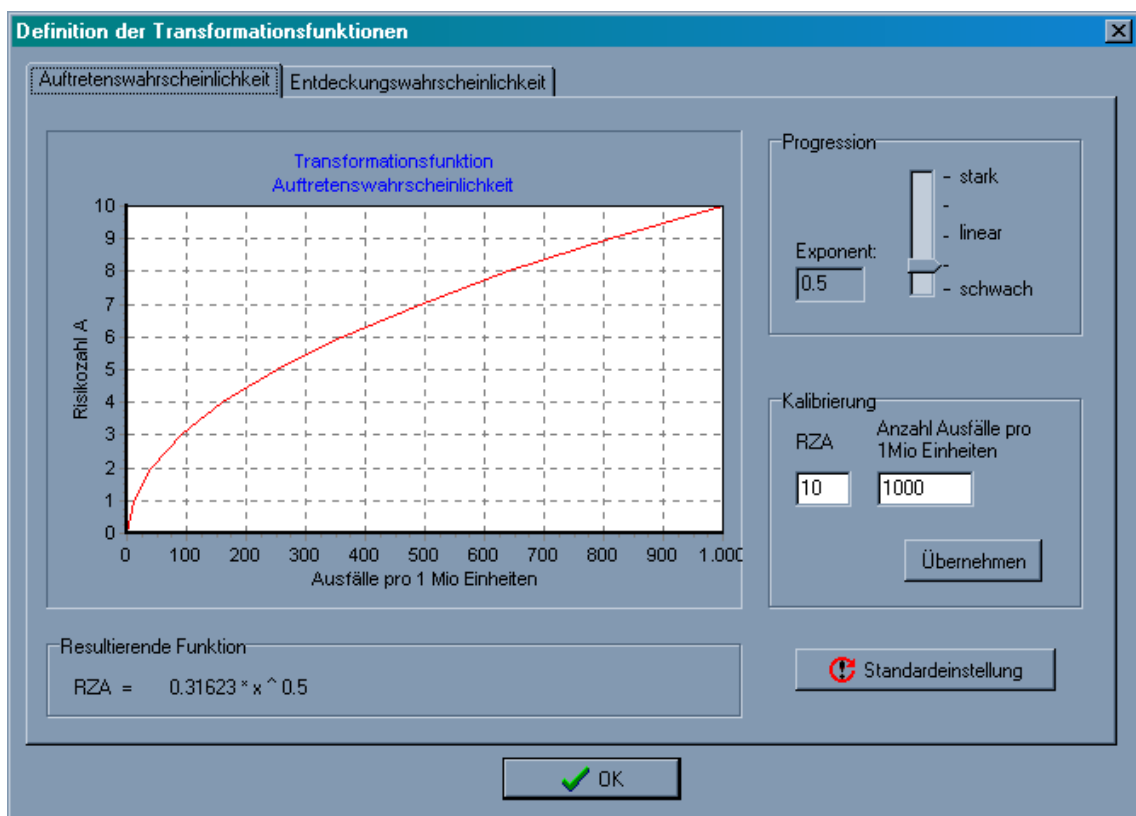


Abbildung 7-13: Definition einer Transformationsfunktion

Die Auswahl von potenziellen Fehlern aus der Falldatenbasis wird durch den in Abbildung 7-14 gezeigten Dialog unterstützt. Zunächst muss entsprechend der zu erstellenden FMEA eine Baugruppe oder ein Einzelteil auf generischer Ebene

ausgewählt werden. Analog zur Vorgehensweise der FMEA, bei der zur Suche von potenziellen Fehlern bestimmte Funktionen eines Produkts verneint werden, listet das System zu dem selektierten Objekt alle Merkmale auf, die in negativen Sachverhalten vorkommen und somit auf die Beeinträchtigung oder Nichterfüllung der durch das Merkmal repräsentierten Funktion hinweisen.

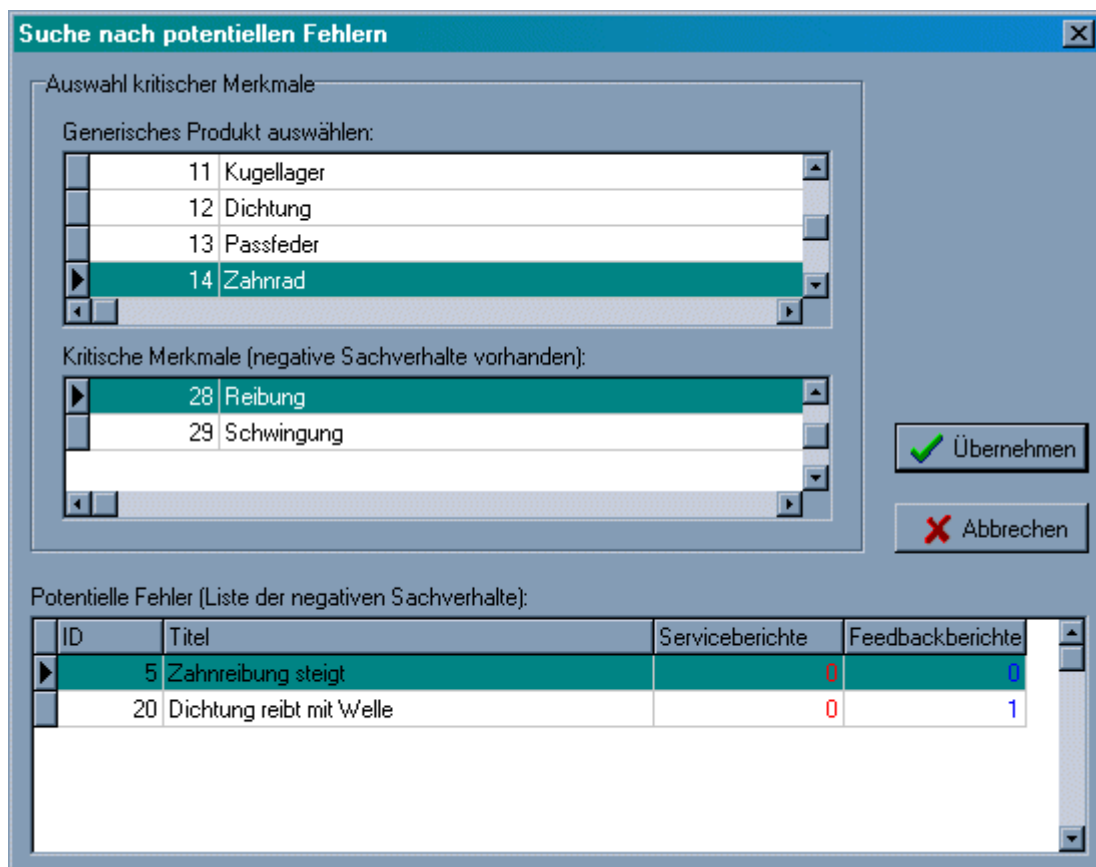


Abbildung 7-14: Suche nach potenziellen Fehlern in der Falldatenbasis

Als potenzielle Fehlerfolgen werden zunächst alle unmittelbaren Wirkungen des als potenziellen Fehler angegebenen Sachverhalts vorgeschlagen. Wurde an dieser Stelle im zuvor beschriebenen Schritt ein Freitext eingetragen, kann ein Sachverhalt aus der Wissensbasis als potenzielle Fehlerfolge nur über den allgemeinen Suchdialog übernommen werden. Da in der FMEA aber nicht die unmittelbare Fehlerfolge sondern die Folge für das Gesamtsystem betrachtet werden muss, ist möglicherweise die Navigation entlang der kausalen Kette erforderlich. Dies geschieht schrittweise, indem jeweils eine Fehlerfolge als neuer Ausgangspunkt gewählt wird, woraufhin dessen Wirkungen aufgelistet werden. Die Unterstützung der Suche nach potenziellen Fehlerursachen erfolgt analog

zur Folgensuche, wobei die Navigationsrichtung in der kausalen Kette naturgemäß umgekehrt verläuft.

Die auf Basis von Felddaten ermittelten Werte für die Risikokennzahlen der FMEA lassen sich nun in das verwendete FMEA-System übertragen oder im Verlauf der formularbasierten Diskussion des FMEA-Teams verwenden.

8 Zusammenfassung

Zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen ist eine optimale Gestaltung der Produktentwicklung von entscheidender Bedeutung. In diesem Zusammenhang gilt es, im Rahmen der Entwicklung konkurrenzfähiger Produkte die Faktoren Qualität, Kosten und Zeit gleichermaßen zu optimieren. Eine Unterstützung bei der Generierung und schnellen Umsetzung von Ideen erweist sich somit als ein entscheidender Erfolgsfaktor zur Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen in produzierenden Unternehmen. Hierzu ist künftig vermehrt die Nutzung von Daten aus dem Produktgebrauch – den Felddaten – erforderlich, ein Bereich, der von den Unternehmen aufgrund fehlender methodischer und informationstechnischer Unterstützung bisher stark vernachlässigt wurde.

Mit der vorliegenden Arbeit wird ein Ansatz vorgestellt, der es ermöglicht, auf Basis von Felddaten Teilaufgaben der Produktentwicklung und des Services zu optimieren. Hierzu wurden Konzepte für die Felddatenerfassung sowie die rechnerunterstützte Abbildung und Nutzung felddatenbasierten Wissens entwickelt und prototypisch umgesetzt. Die Grundidee besteht im Aufbau einer Fallbasis durch die Repräsentation kausaler Relationen zwischen einzelnen Sachverhalten wie Fehlern oder positiven Produktzuständen in Verbindung mit einem Abstraktionsmechanismus für die Betrachtung von Produktstrukturelementen. Auf dieser Grundlage können durch induktives Schließen ähnliche Fälle zu einem konkreten Problem ermittelt werden, deren dokumentierte Lösungen entsprechend angepasst Maßnahmenvorschläge für das aktuelle Problem liefern. Neben dieser auf Felddaten basierenden Unterstützung der Analyse kausaler Zusammenhänge, die vorrangig im Servicebereich zum Tragen kommt, wurde zur Optimierung der Produktentwicklung die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse um methodische Elemente ergänzt, die eine Nutzung von Felddaten im Rahmen der Methoden Anwendung ermöglichen. Hierzu wird das tatsächliche Fehleregeschehen von im Einsatz befindlichen Produkten herangezogen, um

- die Identifikation potenzieller Fehler zu verbessern sowie
- die Risikoanalyse eines im Rahmen einer Konstruktions-FMEA betrachteten Produktes oder Produktstrukturelementes zu objektivieren, indem die Risikokennzahlen für Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit aus Felddaten ermittelt werden.

Die Qualität dieser Unterstützung hängt dabei zum einen von der Anzahl der in der Felddatenbasis abgebildeten Fälle ab, zum anderen davon, ob Fälle mit einer hinreichenden Ähnlichkeit zum betrachteten Problem existieren, um eine Übertragbarkeit der Lösungsvorschläge und der ermittelten Risikokennzahlen zu gewährleisten. Die Grenzen der entwickelten Herangehensweise liegen vor allem darin, dass durch die Analyse von Felddaten ausschließlich bereits bekannte Fehler und deren kausale Zusammenhänge bestimmt werden können und sich auf aktuelle Probleme anwenden lassen. Gänzlich unbekannte Fehler können nicht mit heuristischen Ansätzen diagnostiziert werden sondern erfordern modellbasierte Verfahren [137]. Hierbei liegt die Schwierigkeit allerdings darin, ein geeignetes Modell zu finden, das ein technisches System realistisch abbildet.

Der Anwendungsbereich des hier beschriebenen Ansatzes liegt schwerpunktmäßig in der Unterstützung von Entwicklung und Service komplexer mechanischer Produkte. Aufgrund der Tatsache, dass eine hinreichend große Fallbasis erforderlich ist und dass Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen einzelnen Produkten abgebildet werden müssen, wird die größte Wirksamkeit bei der Entwicklungs- und Serviceunterstützung komplexer Serien- und Kleinserienprodukte erzielt, wie sie im Maschinen- und Anlagenbau oder der Luftfahrtindustrie vorherrschen. Insbesondere durch die Erweiterung der FMEA liegt es nahe, die hier beschriebenen Ansätze in Unternehmen umzusetzen, die im Entwicklungsprozess bereits heute häufig die FMEA einsetzen und darüber hinaus auch Mechanismen zur Gewährleistung einer umfassenden Felddatenerfassung einführen können oder bereits etabliert haben.

Die entwickelten Datenmodelle zur Abbildung von Felddaten basieren auf bereits validierten Ansätzen zur Repräsentation von Sachverhalten und deren kausaler Zusammenhänge [12, 75]. Die Modelle wurden entsprechend erweitert und detailliert und bilden somit die Grundlage der dargestellten Funktionen. Sie können als Basis für eine Anpassung an unternehmensspezifische Gegebenheiten herangezogen werden und erlauben somit eine Integration in bestehende informationstechnische Strukturen.

Im Rahmen der prototypischen Umsetzung wurden Softwarebausteine entwickelt, die eine Internet-basierte Erfassung und Abfrage von Felddaten ermöglichen und somit neben einer umfassenden und zeitnahen Datenerfassung den Zu-

Zugriff auf die Fallbasis und die Nutzung der Analysefunktionen standort- und plattformunabhängig unterstützen. Darüber hinaus werden die Serviceaktivitäten durch die Web-basierte Bereitstellung kundenindividueller Produktdaten optimiert, die neben der Produktkonfiguration auch Betriebs- und Instandhaltungsinformationen enthalten. Zur Unterstützung der Analyse kausaler Zusammenhänge von Sachverhalten, werden Funktionen bereitgestellt, die eine grafische Navigation in den Netzstrukturen ermöglichen.

Die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Konzepte unterscheiden sich deutlich von den bisherigen Ansätzen, da erstmals die im Produktgebrauch gewonnenen Daten genutzt werden können, um die Produktentwicklung durch eine Objektivierung der Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse zu optimieren. Die felddatenbasierte Kausalanalyse zur Unterstützung von Service und Entwicklung wurde hier ebenfalls wesentlich weitreichender umgesetzt als bisher.

Die mit der Umsetzung der vorgestellten Konzepte verbundenen Kosten hängen stark von der unternehmensindividuellen Situation ab und lassen sich nur nach einer genauen Analyse entsprechend quantifizieren. Die maßgeblichen Einflussgrößen sind hierbei z. B. die Anzahl der Datenerfassungsstellen, die systemtechnische Ausstattung des Unternehmens, die Qualifikation der Mitarbeiter, die Art der Beziehungen zu den Kunden sowie die Art und Komplexität der betrachteten Produkte. Der Nutzen für das jeweilige Unternehmen leitet sich direkt aus der verbesserten Servicequalität und der Optimierung von Folgeprodukten ab. Eine Quantifizierung des Nutzens ist allerdings kaum möglich. Die eingesparten Servicekosten für Reparaturen im Rahmen der Garantie- und Gewährleistungspflichten können zwar ermittelt werden, allerdings lassen sich die durch bessere Folgeprodukte oder durch eine optimale Serviceunterstützung gewonnenen oder behaupteten Markanteile nur sehr schwer prognostizieren. Aufgrund der hohen Bedeutung der Bereiche Produktentwicklung und Service für den Unternehmenserfolg sind die dargestellten Ansätze im Hinblick auf eine Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit aber in zukünftig verstärkt in Betracht zu ziehen.

9 Literatur

1. Spur, G.; Krause, F.-L.: Das virtuelle Produkt. Management der CAD-Technik. München, Wien: Hanser, 1997.
2. Nagel, K.; Erben, R. F.; Piller, F. T. (Hrsg.): Produktionswirtschaft 2000 – Perspektiven für die Fabrik der Zukunft. Wiesbaden: Gabler, 1999.
3. Versteeg, A.: Revolution im Einkauf. Frankfurt: Campus, 1999.
4. Ebner, C.: Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten. Dissertation TU München. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1996.
5. Masing, W. (Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement. 4. Aufl. München, Wien: Hanser, 1999.
6. Pfeifer, T. (Hrsg.): Fehlermanagement mit objektorientierten Technologien in der qualitätsorientierten Produktion. FZKA-PFT 183, Forschungszentrum Karlsruhe, 1997.
7. Kistner, W.: FMEA noch besser anwenden. QZ 41 (1996) 2, S. 827–830.
8. Klamma, R.; Peters, P.; Jarke, M.: Vernetztes Verbesserungsmanagement. Wirtschaftsinformatik 42 (2000) 1, S. 15–26.
9. Pfeifer, T.: Qualitätsmanagement – Strategien, Methoden, Techniken. München: Hanser, 1995.
10. Grob, R.: Methodische Planung technischer Informationssysteme für die Unterstützung von Aufgaben des Qualitätsmanagements. Dissertation Aachen: Shaker Verlag, 1996.
11. Rauch, C.; Warnecke, G.: Produktionsorganisation auf der Basis von integrierten Regelkreisen. Industrie Management, 12 (1996) 3, S. 48–52.
12. Woll, R.: Informationsrückführung zur Optimierung der Produktentwicklung. Produktionstechnik – Berlin; Band: 134. München, Wien: Hanser, 1994.

13. Puppe, F.; Ziegler, S.; Martin, U.; Hupp, J.: Wissensbasierte Diagnosesysteme im Service-Support. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001.
14. Bertsche, B.; Marwitz, H.; Ihle, H.; Frank, R.: Entwicklung zuverlässiger Produkte. *Konstruktion* 50 (1998), Nr. 4, S. 41–44.
15. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN EN ISO 9000:2000: Qualitätsmanagementsysteme; Grundlagen und Begriffe. Berlin: Beuth, 2000.
16. Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. (Hrsg.): DGQ-Schrift 11-04: Begriffe zum Qualitätsmanagement. Berlin: Beuth, 1995.
17. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 31051: Instandhaltung – Begriffe und Maßnahmen. Berlin: Beuth, 1985.
18. Winkler, J.: Kundendienst. In: Masing, W. (Hrsg.): *Handbuch Qualitätsmanagement*. 4. Aufl. München, Wien: Hanser, 1999.
19. Pfersdorf, I.: Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service. Dissertation TU München. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1997.
20. Hennings, R.-D.: *Informations- und Wissensverarbeitung: Theoretische Grundlagen wissensbasierter System*. New York: De Gruyter, 1991.
21. Bullinger, H.-J.; Frielingsdorf, H.; Hauß, I.; Roth, N.; Wagner, F.; Warschat, J.: Vom Informations- zum Wissensmanagement in der Produktentwicklung. In: Krause, F.-L.; Tang, T.; Ahle, U. (Hrsg.): *Proceedings Innovationsforum Virtuelle Produktentstehung*. Berlin, 11.-12.05.2000, S. 303–313.
22. Stockinger, K.: Datenfluß aus dem Feld. In: Masing, W. (Hrsg.): *Handbuch Qualitätsmanagement*. 3. Aufl. München, Wien: Hanser, 1994.
23. Warnecke, G.; Knickel, V.: Wissensbasierte Felddatenerfassung und -aufbereitung. In: Pfeifer, T. (Hrsg.): *Wissensbasierte Systeme in der Qualitätssicherung*. Berlin, Heidelberg, New York: Hanser, 1996.
24. Lenk, B.: Moderne CCD-Lesetechnik. In: 5. Internationale Fachkonferenz für automatische Datenerfassung. Dortmund: 6./7.4.2000.

25. Smith, D.; Searle, I.: Damage Dosimeter: A Portable Battery Powered Data Acquisition Computer. In: Western Regional & Strain Gage Committee, 1998.
26. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN EN ISO 9004–1. Qualitätsmanagement und Elemente eines Qualitätsmanagementsystems – Teil 1: Leitfaden. Berlin: Beuth, 1994.
27. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN EN 60300–2, Zuverlässigkeitsmanagement – Teil 2: Zuverlässigkeitsprogrammelemente und -aufgaben. Berlin: Beuth, 1996.
28. VDI (Hrsg.): VDI-Berichte 1106: Wege zum erfolgreichen Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1994.
29. Forschungsgemeinschaft Qualitätssicherung e. V. (FQS): Tagungsband zur Forschungstagung Qualität '95. FQS-Schrift Nr. 80-95. 12. Oktober 1995.
30. Bierschenk, S.; Edler, A.; Frech, J.: Erfolgsfaktoren von Innovationen: Prozesse, Methoden und Systeme? – Ergebnisse einer gemeinsamen Studie der Fraunhofer-Institute IPA, IAO und IPK. Stuttgart: IPA-Eigenverlag, 1998.
31. Pfeifer, T.; Lesmeister, F.: Präventive QM-Methoden einfacher gestalten. ZWF 94 (1999) 11, S. 642–645.
32. VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2247: Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung (Entwurf). Düsseldorf: VDI-Verlag, 1994.
33. Spur, G.: Datenbanken für CIM. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1992.
34. Matthiessen, G.; Unterstein, M.: Relationale Datenbanken und SQL. Konzepte der Entwicklung und Anwendung. München: Addison-Wesley Longman, 2000.
35. Kappel, G.; Schrefl, M.: Objektorientierte Informationssysteme. Wien, New York: Springer, 1996.
36. Vossen, G.: Datenmodelle, Datenbanksprachen und Datenbankmanagement-Systeme. 3. Auflage. München: Oldenbourg, 1999.

37. Austerhoff, N.: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung für die Herstellung von Blechbiegeteile. Dissertation Universität Dortmund, 1999.
38. Lamersdorf, W.: Datenbanken in verteilten Systemen. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1994.
39. Blencke, L.; Machner, B.: Die Verwendung von EXPRESS-Spezifikationen nach ISO-STEP für den relationalen Datenbankentwurf. In: Proceedings der 4. Deutschen ORACLE Anwenderkonferenz 17./18.9.91 Hamburg, S. 65–84.
40. International Organisation for Standardisation (Hrsg.): ISO/IEC 9075. Information Technology – Database Languages – SQL. International Organisation for Standardisation, 1992.
41. Brändli, N.: Datenbanksysteme in der technischen Datenverarbeitung – Teil I. CAD-CAM-Report 10 (1991) 3, S. 98–108.
42. Zenner, T.: Qualitätsplanung in Produkt- und Prozeßgestaltung. Dissertation, RWTH Aachen, (IPT): Shaker, 1996.
43. Puppe, F.: Problemlösungsmethoden in Expertensystemen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1990.
44. Pfeifer, T.; et. al.: Innovative Software-Technologien im Qualitätsmanagement. In: Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik – Aachener Perspektiven. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.
45. Pfeifer, T. (Hrsg.): Wissensbasierte Systeme in der Qualitätssicherung. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1996.
46. Schmitz, P.: Backpropagation – Einführungsband Neuronale Netze. Regensburg, KI-Technik, 1989.
47. Wess, S.; et. al.: Improving the Retrieval Step in Case-based Reasoning. In: Tagungsband zum European Workshop on Case-Based Reasoning. Kaiserslautern, 1993.
48. Frank, U.: Meta-Wissen, Analogieschließen und maschinelles Lernen: Anwendungsvoraussetzungen und Grenzen. In: Angewandte Informatik, Heft 3. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1989.

49. Miles, J.; Moore, C.: Practical Knowledge Based Systems in Conceptual Design. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1994.
50. Steuernagel, R.: Offenes adaptives Engineering-Werkzeug zur automatisierten Erstellung von entscheidungsunterstützenden Informationssystemen. Dissertation Universität Karlsruhe, 1994.
51. Kobert, S.; Niestadtkötter, J.; Westkämper, E.: Der Produktlebenslauf wird transparent, QZ 42 (1997) 1, S. 91–94.
52. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN ISO 15226: Technische Produktdokumentation – Lebenszyklusmodell und Zuordnung von Dokumenten. Berlin: Beuth, 1999.
53. Westkämper, E.; Dauensteiner, A.: Product Life Cycle. Grundlagen und Strategien. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001.
54. Schröder, B.; Sterrenberg, B.: Null-Fehler-Produktion in der handwerklichen Produkt-Instandhaltung. In: Westkämper, E. (Hrsg.): Null-Fehler-Produktion in Prozeßketten. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1997.
55. Kwam, A.; Schröder, B.; Sterrenberg, B.: Kundenanforderungen an Produkt und Prozeß. In: Westkämper, E. (Hrsg.): Null-Fehler-Produktion in Prozeßketten. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1997.
56. Barfield, W.; Caudell, T. (Hrsg.): Fundamentals of wearable computers and augmented reality. New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass, 2000.
57. Friedrich, W.: ARVIKA – Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. In: Krause, F.-L.; Tang, T.; Ahle, U. (Hrsg.): Proceedings Innovationsforum Virtuelle Produktentstehung. Berlin, 11.-12.05.2000, S. 93–107.
58. Hohwieler, E.: Teleservice und Produktionsunterstützung mit Internet-Technologien. ZWF 95 (2000) 3, S. 97–101.
59. Nedeß, C.; Friedewald, A.: Reklamations- und Beschwerdemanagement als Baustein des lernenden Unternehmens. VDI-Z 138 (1996) 10, S. 74–77.
60. Eversheim, W.: Prozeßorientiertes Qualitätscontrolling. Qualität messbar machen. Berlin: Springer, 1997.

61. Eversheim, W.; von Haacke, U.; Leiters, M.; Paffrath, U.: Controlling von Garantiekosten. Kosten der Reklamationsbearbeitung senken – Kundenzufriedenheit steigern. QZ 42 (1997) 5, S. 588–590.
62. Seidel, W.; Stauss, B.: Beschwerdemanagement. QZ 40 (1995) 8, S. 915–920.
63. Niestadtkötter, J.; Westkämper, E.: Produktlebenslauf als Informationsquelle. QZ 40 (1995) 7, S. 799.
64. Niestadtkötter, J.: EDM-Systeme als Werkzeug zur Unterstützung des Qualitätsmanagements im Produktlebenslauf. In: Westkämper, E.; Mai, C.: Q-Jahrbuch 98/99. Qualitätsmanagement in Industrie und Dienstleistung. Trends und Adressen. München, Hanser: 1998.
65. Seliger, G.; Grudzien, W.: Dezentrale Bereitstellung von Produktinformationen. ZWF Sonderbeilage Demontage, Juli 2000, S. S16–S19.
66. Hering, E.; Triemel, J.; Blank, H.-P.: Qualitätsmanagement für Ingenieure. 4. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1999.
67. Pfeifer, T.; Köppe, D.: Entwicklung eines produkt- und branchenneutralen Qualitäts-Informationssatzes „QDES“. FKM Forschungshefte, Heft 160, Vorhaben 144, 1991.
68. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 66348: Schnittstelle für die serielle Meßdatenübermittlung, Teil 3: Anwendungsdienste, Telegramme und Protokolle. Berlin: Beuth, 1995.
69. Vossman, D.: Wissensmanagement in der Produktentwicklung durch Qualitätsmethodenverbund und Qualitätsmethodenintegration. Dissertation Karlsruhe, 1998.
70. N. N.: QM-Systemforderungen QS-9000. Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation. Carvin, 1995.
71. Vötter, M.; Mashhour, T.: Verbesserung der FMEA durch eine systematische Erfassung von Kausalzusammenhängen. VDI-Z, 138 (1996), Nr. 4 – April, S. 52–54.

72. Ehrlenspiel, K.; Neese, J.: Eine Methodik zur wissensbasierten Schadensanalyse technischer Systeme. *Konstruktion* 44 (1992), Nr. 5, S. 125–132.
73. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 25424: Fehlerbaumanalyse; Teil 1: Methode und Bildzeichen. Berlin: Beuth, 1981.
74. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 25419: Ereignisablaufanalyse; Verfahren, grafische Symbole und Auswertung. Berlin: Beuth, 1985.
75. Stephan, M.: Fehlersensitive Produktgestaltung in integrierten Systemarchitekturen. Dissertation TU Berlin, 1996.
76. PLOENZKE AG (Hrsg.): Mit der Schlüsseltechnologie EDM zum Life Cycle Management. In: Kongreßband CSC PLOENZKE Kongreß '97. Mainz, 23.–25. April 1997.
77. Krause, F.-L.; Hayka, H.; Jansen, H.: Produktdatenverarbeitung mit heterogenen CAD-Systemen. In: STEP Forum '97, München, Produktdaten Journal Nr. 1/97, Juli 1997, 4. Jahrgang, Becker-Design, Darmstadt, S. 33–37.
78. Kleinhans, V.: Informationssystem für heterogen verteilte Qualitätsinformationen. Dissertation TU Berlin, 1997.
79. Moro, J.; Troll, C.: Qualitätsinformationen definieren. *QZ* 41 (1996) 7, S. 772.
80. Scheer, A.-W.; Trumpold, H. (Hrsg.): Qualitätsinformationssysteme. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1996.
81. Hengel, K.; Voigt, G.: Intelligenter Umgang mit Informationen. Qualitätsinformationssysteme erschließen die Verbesserungspotentiale im Herstellungsprozeß. *QZ* 41 (1996) 3, S. 304–307.
82. Herrmann, J.; Konert, T.: Auf der Suche nach dem richtigen System. Kriterien für die Auswahl von CAQ-Systemen. Carl Hanser Verlag, München *QZ* 41 (1996) 3, S. 282–286.
83. Herrmann, J.; Konert, T.: Systemtechnische Integration von CAQ in der Praxis. *ZWF* 92 (1997) 6, S. 292–294.

84. Franke, H.-J.; Krusche, T.: Qualitätsinformationssysteme. In: Franke, H.-J.; Pfeifer, T. (Hrsg.): Qualitätsinformationssysteme: Aufbau und Einsatz im betrieblichen Umfeld. München, Wien: Hanser, 1998.
85. Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. (Hrsg.): DGQ-Schrift 14-20: Rechnerunterstützung in der Qualitätssicherung (CAQ), 1. Aufl. Berlin: Beuth, 1990.
86. Edler, A.; Schäckel, B.; Schön, W.-U.: Qualitätsregelung auf Basis externer Informationen. In: Franke, H.-J.; Pfeifer, T. (Hrsg.): Qualitätsinformationssysteme: Aufbau und Einsatz im betrieblichen Umfeld. München, Wien: Hanser, 1998.
87. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN EN ISO 9000. Normen zum Qualitätsmanagement und zur Qualitätssicherung/QM-Darlegung. International Organisation for Standardisation, 1997.
88. VDA (Hrsg.): VDA-Schrift Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie. Bd. 6: Grundlagen für Qualitätsaudits: Auditierungen und Zertifizierungen. Teil 1: QM-Systemaudits. Verband der Automobilindustrie e.V., 4. Aufl., 1998.
89. Herrmann, J.; Sondermann, J. P.; Stegemann, G.; Woll, R. (Hrsg.): Qualitätskollegium 2000 – Erfolgspotenzial nutzen. Effizienz und Zuverlässigkeit im technischen Service. Tagung vom 06.04.2000, Berlin.
90. Peter, G.; Krämer, A.: Eine Analyse ausgewählter FMEA- und QFD-Systeme. Interner Bericht der PG 11, QS-VP3. Ulm: FAW, 1997.
91. Zischka, S.: Zielgerichtete Qualitätsplanung in der Produktentwicklung. Dissertation Universität Hannover. Aachen: Shaker, 2000.
92. Qualica Software GmbH: Systembeschreibung „qualica 2.0“. URL: http://www.qualica.de/deutsch/requirements_mgmt.htm, 2000.
93. Russomanno, D. J.; Bonnel, R.; Bowles, J.: Functional Reasoning in a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Expert System. In: Proc. Annual Reliability and Maintainability Symposium 1993, Atlanta, GA., S. 339–347.

94. APIS-GmbH: Systembeschreibung des FMEA-Systems IQ-FMEA. URL: <http://www.fmea.de>, 2000.
95. CAQ GmbH: FMEApplus; Wissensbasierte FMEA nach VDA und QS 9000. URL: <http://www.caq.de/deutsch/products/fmea/fmeainfos.htm>, 2000.
96. Palumbo, D.: Automating Failure Modes and Effects Analysis. In: Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, Anaheim CA, 1994, S. 304–309.
97. Burkat, R.: CAQ-Systeme für die Zukunft auslegen. QZ 40 (1995) 5, S. 604–606.
98. Birolini, A.: Qualität und Zuverlässigkeit technischer Systeme. Berlin, Heidelberg: Springer, 1991.
99. BGBl (Bundesgesetzblatt) I S. 2010, 2011: Verordnung zur Prüfung von Luftfahrtgerät (LuftGerPV) vom 3. August 1998.
100. Joint Aviation Authorities: JAA Administrative & Guidance Material. Section Two: Maintenance. Joint Aviation Authorities, 1998.
101. BGBl (Bundesgesetzblatt) I S. 652: Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO) vom 10. August 1963 (BGBl.) in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. März 1999 (BGBl. I S. 580), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Februar 2000 (BGBl. I S. 98).
102. Niemeyer, H.-J.: Begründungsmuster von Konsumenten. Attributionstheoretische Grundlagen und Einflußmöglichkeiten im Marketing. Heidelberg: Physica, 1992.
103. Seliger, G.; Müller, K.; Perlewitz, H.: More Use with fewer Resources. In: Krause, F.-L.; Seliger, G. (Hrsg.): Life Cycle Networks. Proceedings of the 4th CIRP international Seminar on Life Cycle Engineering. Berlin, 26–27 June 1997.
104. Edler, A.; Krämer, A.; Krusche, T.; Peter, G.; Woll, R.: Anforderungen an ausgewählte Komponenten eines Qualitätsinformationssystems. Industrie Management 12 (1996) 4, S. 46–49.

105. Dadam, P.: Verteilte Datenbanken und Client/Server-Konzepte. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1996.
106. Doblies, M.: Globales Produktdatenmanagement zur Verbesserung der Produktentwicklung. Dissertation TU Berlin, 1998.
107. Kretschmer, F.: Produkthaftung in der Unternehmenspraxis. Stuttgart: Kohlhammer, 1992.
108. Ensthaler, J.: Zivil- und Strafrechtliche Produktverantwortung. In: Masing, W. (Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement. 4. Aufl. München, Wien: Hanser, 1999.
109. International Organisation for Standardisation (Hrsg.): ISO 10303. Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange. Part 1: Part 1: Overview and fundamental principles. Berlin: Beuth, 1994.
110. Klass, R.; Mache, H.-R.; Mohrmann, J.; Teunis, G.: STEP AP214 – ein Anwendungsdatenmodell (AP) für die Automobilindustrie. VDI-Berichte Nr. 1148. Düsseldorf: VDI, 1994. S. 469–481.
111. International Organisation for Standardisation (Hrsg.): ISO 10303-208. AP208: Life Cycle Management – Change Management. URL: <http://www.prostep.de/spo/html/ap208.html>, 2001.
112. Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobson, I.: Das UML-Benutzerhandbuch. Bonn: Addison-Wesley-Longman, 1999.
113. Booch, G.; Kreindler, R. J.; White, I.: Using the Booch method; A rational approach. Massachusetts: Benjamin/Cumming, 1994.
114. Jacobson I.; Christerson, M.; Jonsson, P.: Object-Oriented Software Engineering; A Use Case Driven Approach. Amsterdam: Addison-Wesley Longman, 1994.
115. Rumbaugh J.; Blaha, M.; Premerlani, W.; Eddy, F.; Lorensen, W.: Object-Oriented Modeling and Design. New Jersey: Prentice Hall, 1991.
116. UML Resource Center: OMG UML 1.3 Documentation. URL: <http://www.rational.com/uml/resources/documentation/index.jsp>, 2000.

117. Coad, P.; Yourdon, E.: Objektorientiertes Design. München: Prentice Hall, 1994.
118. Rational Software Corporation: Product Overview Rational Rose. URL: <http://www.rational.com/products/rose/index.jsp>, 2000.
119. Roschiwall, H. A.: Fehler vermeiden, die Qualität erhöhen und Kosten senken. VDI-Z 138 (1996), Nr. 4 , S. 48–51.
120. Förster, H.; Warnecke, G.; Klonaris, P; Pfeifer, T.: Der Regelkreis ist noch nicht geschlossen. Zur Situation des industriellen Fehlermanagements in deutschen Unternehmen. QZ 41 (1996) 10, S. 1128–1132.
121. Becker, V.; Schmidt, S.: Optimierung von Anfang an, Präventivmaßnahmen in der Entwicklung statt Krisenmanagement in der Produktion. QZ 41 (1996) 4, S. 387–390.
122. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV), RS II, Novelle StrlSchV einschl. Begründung, Stand 21.12.99
123. Dietrich, E.; Schulze, A.: Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozeßqualifikation. München, Wien: Hanser, 1995.
124. Krause, F.-L.; Edler, A.; Woll, R.: Problemmanagement informationstechnisch unterstützen. ZWF 91 (1996) 11, S. 530–533.
125. Bronstein, I. N.; Semendjajew, K. A.: Taschenbuch der Mathematik, 20. Auflage. Thun: Harri Deutsch Verlag, 1983.
126. Zipperer, M.: Zuverlässigkeitsprüfung. In: Masing, W. (Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement. 4. Aufl. München, Wien: Hanser, 1999.
127. Padberg, K.-H.; Wilrich, Th.: Die Auswertung von Daten und ihre Abhängigkeit von der Merkmalsart. Teil 1: QZ 26 (1981), S. 179–183, Teil 2: QZ 26 (1981), S. 210–214.
128. Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. (Hrsg.): DGQ-Schrift 13-11: FMEA – Fehlermöglichkeits- und -einflußanalyse. Berlin: Beuth, 1993.

129. Geiger, K.: Inside ODBC. Entwicklerleitfaden zum Industriestandard für Datenbank-Schnittstellen. München: Microsoft Press Deutschland, 1995.
130. Inprise Inc.: Borland Product Information. URL : <http://www.inprise.com/>, 2000.
131. Linden, P. v. d.: Just Java 1.1. Palo Alto: SunSoft Press Java Series, 1997.
132. XDB Inc.: Java Enterprise Tools. URL: <http://www.xdb.com/jet/>, 1998.
133. Anderl, R.; Kruse, P.; Polly, A.; Sabin, A.; Stephan, M.; Ungerer, M.: Produktmodellierung – Abschlußbericht des vom BMBF geförderten Verbundprojekts QCIM, Arbeitskreis Produktmodellierung, 1995.
134. Neese, J.: Methodik einer wissensbasierten Schadensanalyse am Beispiel Wälzlagerungen. Dissertation Technische Universität München. München, Wien: Hanser, 1991.
135. Krause, F.-L.; Jansen, H.; Kaufmann, U.; Ziebel, P.: iViP – Eine Initiative für die integrative virtuelle Produktentstehung. Krause, F.-L.; Tang, T.; Ahle, U. (Hrsg.): Proceedings Innovationsforum Virtuelle Produktentstehung. Berlin, 11.-12.05.2000, S. 81–92.
136. Krause, F.-L.; Kind, C.; Martini, K.: Application of Simulation Techniques for the Optimisation of Life Cycle Aspects. In: Proceedings of the 7th CIRP International Seminar on Life Cycle Engineering, Tokyo, 27.–29. November 2000.
137. Krause, F.-L.; Kaufmann, U.: Fuzzy Constraints für die modellbasierte Diagnose. ZWF 94 (1999) 11, S. 665–669.