Fertigungstechnik - Erlangen

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Manfred Geiger

Hans-Martin Biehler

94

Optimierungskonzepte für Qualitätsdatenverarbeitung und Informationsbereitstellung in der Elektronikfertigung

Hans-Martin Biehler

Optimierungskonzepte für Qualitätsdatenverarbeitung und Informationsbereitstellung in der Elektronikfertigung

Herausgegeben von
Professor Dr.-Ing. Klaus Feldmann,
Lehrstuhl für
Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

FAPS

Meisenbach Verlag Bamberg

Als Dissertation genehmigt von der Technischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	17. Dezember 1998
Tag der Promotion:	9. Juli 1999
Dekan:	Prof. Dr.-Ing. habil. G. Herold
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann
	Prof. Dr.-Ing. habil. W. Sauer

G 00-76

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Biehler, Hans-Martin:
Optimierungskonzepte für Qualitätsdatenverarbeitung und Informationsbereitstellung in der Elektronikfertigung / Hans-Martin Biehler. Hrsg. von Klaus Feldmann. - Bamberg : Meisenbach, 1999
(Fertigungstechnik - Erlangen ; 94)
Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1999
ISBN 3-87525-126-1 ISSN 1431-6226

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten.
Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung - mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG ausdrücklich genannten Sonderfälle -, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© Meisenbach Verlag Bamberg 1999
Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf
Printed in Germany

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit in der Abteilung Qualitätsplanung und später im Bereich Datenverarbeitung bei der Siemens AG in Amberg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann, dem Leiter des Lehrstuhls Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik an der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen, danke ich herzlich für die wohlwollende Förderung bei der Erstellung der Arbeit sowie für sein mir entgegengebrachtes Vertrauen, das mir das eigenverantwortliche Arbeiten auf diesem Forschungsgebiet ermöglichte.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. W. Sauer, dem Leiter des Instituts für Elektronik-Technologie der TU Dresden, für die Übernahme des Koreferates sowie für den anregenden und fachlich bereichernden Gedankenaustausch. Herrn Prof. Dr.-Ing. F. Hofmann, dem Inhaber des Lehrstuhls für Informatik IV (Betriebssysteme) der Universität Erlangen-Nürnberg, danke ich für die Übernahme des Vorsitzes in meinem Promotionsverfahren.

Die Erfahrungen im Fachgebiet der Elektronikproduktion, die ich durch die Arbeit im Industrieunternehmen sammeln konnte, stellen eine wesentliche Grundlage der in der Dissertation entwickelten Ergebnisse dar. Herzlich danken möchte ich den wissenschaftlichen Mitarbeitern am Lehrstuhl Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik sowie den Mitarbeitern der Siemens AG, mit denen ich die Arbeit aus verschiedenen Blickwinkeln diskutieren konnte und die mir wertvolle Ratschläge und Anregungen für das Gelingen der Dissertation gaben. Besonders hervorheben möchte ich die Herren Klaus Bäumler, Ulrich Brück und Dieter Wolfsteiner vom Elektronikwerk Amberg sowie Dr.-Ing. Georg Geyer, Dr.-Ing. Knuth Götz und Dr.-Ing. Jürgen Sturm vom Lehrstuhl Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik.

Mein ganz besonderer Dank gilt jedoch meiner Familie, insbesondere meiner Frau Annegret, die durch ihre Geduld, Rücksichtnahme und Zusprache diese Arbeit möglich machte.

Hans-Martin Biehler

Optimierungskonzepte für Qualitätsdatenverarbeitung und Informationsbereitstellung in der Elektronikfertigung

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Verwendete Abkürzungen

1 Einleitung und Zielsetzung ... 1

2 Qualitätsmanagement und Informationsmanagement ... 4

2.1 Qualitätsmanagement und Total Quality Management ... 4
2.1.1 Von der Sicherung zum Management der Qualität ... 4
2.1.2 Kernkonzept und Wirkung von Total Quality Management ... 5
2.1.3 Methoden und Instrumente ... 9
2.1.4 TQM und Auswirkungen auf die QDV ... 13

2.2 Informationsmanagement und Qualitätsdatenverarbeitung ... 13
2.2.1 Informationsmanagement im Unternehmen ... 14
2.2.2 Entwicklungslinien der DV-Architektur ... 17
2.2.3 Schwerpunkte marktgängiger QDV-Systeme ... 20

2.3 Stand und Defizite im Umfeld der QDV ... 20
2.3.1 Zeitaufwendiger Umgang mit Prüf- und Reparaturanweisungen auf Papier ... 21
2.3.2 Langwierige manuelle Prüf- und Reparaturdatenerfassung ... 24
2.3.3 Mäßige Auswertungs- und Detaillierungsmöglichkeiten von Q-Daten ... 25
2.3.4 Unsystematische betriebliche Kommunikation über Qualitätsinformationen ... 26

3 Qualitätsdatenverarbeitung in der Elektronikproduktion ... 28

3.1 Ziele und Anforderungen ... 29
3.1.1 Qualitäts- und Prozeßoptimierung ... 29
3.1.2 Anforderungen zur Verbesserung der Kunden und Mitarbeiterorientierung ... 32
3.1.3 Daten- und Auswertebedarf ... 34
3.1.4 Einfluß aus Berichtswesen, Maßnahmenfindung und organisatorischem Umfeld ... 37

3.2 Qualitätsregelkreise und Modellbildung ... 40
3.2.1 Vorstellung von typischen Qualitätsregelkreisen ... 40
3.2.2 Quantitatives Systemmodell und seine Nachteile ... 44
3.2.3 Analytische und kybernetische Modellbildung im Vergleich ... 46

3.3 Kybernetik und Basismodell ... 48
3.3.1 Qualitatives Systemmodell ... 48
3.3.2 Kybernetische Grundgesetze und praktische Einsatzfälle in Unternehmen ... 49
3.3.3 Modell für kybernetisch orientierten Qualitätsregelkreis ... 51

4 Optimierungskonzepte zur Qualitätsdatenverarbeitung 56

4.1 Benutzerorientierte Funktions- u. Datenintegration 56
4.1.1 Geforderte Funktionen 57
4.1.2 Integrationskonzept aus Datensicht 59
4.1.3 Integrationskonzept aus Funktionssicht 63
4.1.4 Datenmodell 65

4.2 Bedarfsgerechte Auswerte- und Berichtskonzepte 67
4.2.1 Abgrenzung zwischen Auswerte- und Berichtskonzept 68
4.2.2 Prozeßorientiertes Auswertekonzept 69
4.2.3 Benutzerorientiertes Berichtskonzept 72

4.3 Prozeßoptimierung in der visuellen Inspektion 75
4.3.1 Optische Inspektionsverfahren im Überblick 75
4.3.2 Analysekriterien zur Qualität der personellen Sichtprüfung 78
4.3.3 Weitergehende Optimierungsansätze 80

5 Wirtschaftliche Qualitätsdatenerfassung 81

5.1 Kennzeichen einer wirtschaftlichen Datenerfassung 82
5.1.1 Notwendigkeit einer papierlosen Abwicklung der Datenerfassung 82
5.1.2 Zeitpotential bei papier- und dv-gestützter Sichtprüfung 84
5.1.3 Ergonomisch gestaltete Bedienoberfläche 85

5.2 Konsequenzen für das Erfassungskonzept 88
5.2.1 Konzeptelemente aufgrund wirtschaftlicher Überlegungen 88
5.2.2 Unterstützend integrierte Funktionen des Arbeitsplatzes 90
5.2.3 Resultierendes Erfassungskonzept 94

5.3 Anwendung in der Praxis 95
5.3.1 Datenerfassung an Sichtprüfplätzen 95
5.3.2 Datenerfassung von Testautomaten 98
5.3.3 Datenerfassung an Reparaturplätzen 101

6 Anwenderorientierte Qualitätsberichterstattung 107

6.1 Notwendige Voraussetzungen 107
6.1.1 Konsistente Grunddaten 107
6.1.2 Detaillierte und korrekte Qualitätsdaten 109
6.1.3 Aussagefähige Kennzahlen 110
6.1.4 Auswertegerechte Datenhaltung 112

6.2 Abgestufte Auswertungsinstrumente 116
6.2.1 Grundfunktionalität des Auswerteinstrumentariums 117
6.2.2 Einrichtung abrufbereiter Auswertungen 119
6.2.3 Nutzung von Office-Standardwerkzeugen 122
6.2.4 Aufbau eines proprietären SQL-Generators 123

6.3 Einsatzmöglichkeiten und Erfolg der Berichtsmodule 126
6.3.1 Turnusauswertungen und reagierende Auswertungen 126
6.3.2 Spontane Auswertungen und Prognoseauswertungen 130
6.3.3 Erkennbarer Beitrag zu Qualitätssteigerungen 134

7 Sichtprüfung in der Elektronikproduktion ... 136

7.1 Beurteilung der Sichtprüfung als Produktionsprozeß ... 136
7.1.1 Umfeld und Einflußfaktoren der Sichtprüfung ... 136
7.1.2 Auswertung tageszeitbezogener Prüfdaten ... 138
7.1.3 Fehlerraten als Basiskennzahl ... 140

7.2 System der grafischen Analyse ... 141
7.2.1 Fall 1: Gleichbleibende Prozeß- und Prüfqualität ... 141
7.2.2 Fall 2: Schwankende Prozeßqualität bei konstanter Prüfqualität ... 142
7.2.3 Fall 3: Konstante Prozeßqualität bei schwankender Prüfqualität ... 142
7.2.4 Fall 4: Schwankende Prozeß- und Prüfqualität ... 143

7.3 Diskussion realer Produktionsdaten ... 144
7.3.1 Langzeitauswertung vieler verschiedener Baugruppen ... 144
7.3.2 Langzeitauswertung über Baugruppen mit relativ hoher Qualität ... 146
7.3.3 Langzeitauswertung über komplexe Baugruppen ... 146

7.4 Folgerungen für die Bedeutung der Sichtprüfung ... 147

8 Wissensbasierte Fehlerursachenermittlung ... 150

8.1 Entwicklungsziele und Aufbau eines Qualitätsregelkreises ... 151
8.1.1 Entwicklungsziele ... 151
8.1.2 Aufbau eines Qualitätsregelkreises ... 152
8.1.3 Teilkomponenten des Qualitätsregelkreises ... 155

8.2 Entwurf der Filterkomponente ... 157
8.2.1 Signifikante Fehlerbilder ... 158
8.2.2 Statistische Vergleichswerte ... 163

8.3 Entwurf der einer wissensbasierten Diagnosekomponente ... 166
8.3.1 Grundtypen wissensbasierter Diagnoseverfahren ... 166
8.3.2 Diagnosebewertung ... 168
8.3.3 Kontrollstrategien ... 169

8.4 Symptome und Diagnosestrategie ... 170
8.4.1 Symptome ... 170
8.4.2 Diagnosen und ihre Beziehung zu Symptomen ... 174
8.4.3 Bewertung der Symptome-Diagnosen-Beziehungen ... 175
8.4.4 Diagnosestrategie ... 177

9 Zusammenfassung ... 182

10 Literaturverzeichnis ... 183

Verwendete Abkürzungen

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AIS	Automatische Inspektionssysteme
BDE	Betriebsdatenerfassung
BT	Bauteil(e)
CAD	Computer Aided Design
CAP	Computer Aided Planning
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAQ	Computer Aided Quality Assurance
CAx	Computer Aided x Function
CEDAC	Ursache-Wirkungs-Diagramm
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIQ	Computer Integrated Quality Assurance
CV	Variationskoeffizient (Standardabweichung zu arithmetischem Mittel)
CWQC	Company Wide Quality Control
DB	Datenbank
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DGQ	Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. Frankfurt/Main
DOE	Design of Experiments (Statistische Versuchsplanung)
DPM	Defects per Million
DV	Datenverarbeitung
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EG	Europäische Gemeinschaft
EPL	Einbauplatz (Name eines Bauelementes auf einer Leiterplatte)
ERM	Entity Relationship Model (Gegenstands-/Beziehungsmodell)
EVOP	Evolutionary Optimization
FBG	Flachbaugruppe (Leiterplattenbaugruppe)
FID	Fertigungsidentifikator (zur eindeutigen Kennzeichnung von Baugruppen in der Produktion)
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse
FTA	Fault Tree Analysis
FTP	File Transfer Protocol
GATT	General Agreement on Tariffs and Trade (allg. Zoll- und Handelsabkommen)
ICT	In-Circuit-Test(er)
ICT_FR	Sichtprüffehler, die von automatischen Testsystem entdeckt werden, bezogen auf 100 geprüfte FBG
JIT	Just in Time

KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozeß
KVP²	Workshop zur Optimierung von Prozessen in Büro und Fertigung
LAN	Local Area Network
MEOST	Multiple Environment Over-Stress-Testing
MFU	Maschinenfähigkeitsuntersuchung
NC	Net Computer
NFS	Network File System
ODBC	Open Database Connectivity
OLAP	Online Analytical Processing
PC	Personal Computer
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PFU	Prozeßfähigkeitsuntersuchung
Poka Yoke	Methode zur Vermeidung zufälliger und unbeabsichtigter Fehler
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
Q	Qualität(s)- . . .
QDMS	Qualitätsdatenmanagementsystem
QDV	Qualitätsdatenverarbeitung
QE	Quality Engineering
QFD	Quality Function Deployment
QK	Qualitätskosten
QM	Qualitätsmanagement
QRK	Qualitätsregelkreis
QS	Qualitätssicherung
RIS	Röntgeninspektionssystem
RK	Regelkreis
SMT	Surface Mounted Technology
SP_FR	Sichtprüffehler, die an Sichtprüfplätzen entdeckt werden, bezogen auf 100 geprüfte FBG
SPC	Statistical Process Control (statistische Prozeßregelung)
SQL	Structured Query Language (Datenbankabfragesprache)
THT	Through Hole Technology
TPQ	Total Productive Maintenance
TQC	Total Quality Control
TQM	Total Quality Management
WBS	Wissensbasiertes System
XPS	Expertensystem

1 Einleitung und Zielsetzung

Die zunehmende Öffnung der Märkte führt zu neuen Chancen und Herausforderungen auf dem Weltmarkt. In diesem globalen Wettbewerb gewinnt eine kundenorientierte Ausrichtung der Unternehmen zunehmend an Bedeutung. Die Kaufentscheidung eines Kunden ist nicht nur vom Preis geprägt, sondern auch von der Qualität eines Produktes /91/. Daneben beeinflussen noch die Liefertreue und die Kundenbetreuung eine Kaufentscheidung. Wie man aus Bild 1.1 ersehen kann, ist Qualität ein relativ wichtiges Marketinginstrument, über das ein Unternehmen verfügen kann. Sie wird auf allen bedeutenden Märkten als entscheidendes strategisches Element eingesetzt /140/.

Sowohl industrielle Studien als auch betriebswirtschaftliche Forschungen zeigen, daß die Wettbewerbsfähigkeit einzelner Unternehmen entscheidend von der schnellen Markteinführung qualitativ hochwertiger Produkte abhängt /1, 17/. Spätestens in den 70er Jahren, als die japanische Industrie mit Produkten hoher Qualität auf den Markt kam, wurde der weltweiten Konkurrenz vorgeführt, welches strategische Wettbewerbspotential die Qualitätssicherung beinhaltet.

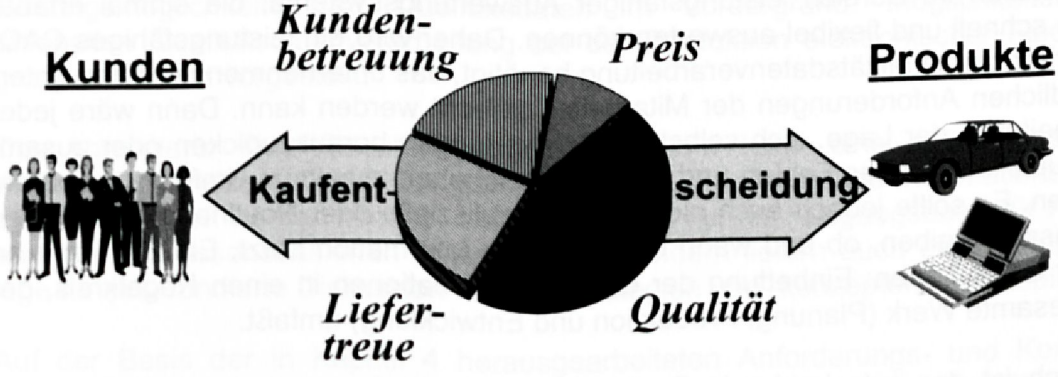


Bild 1.1: Qualität rangiert in seinem Einfluß auf die Kaufentscheidung vor dem Preis

Das gilt in besonderem Maße für das Wachstumsgebiet der Elektronik. Der internationale Wachstumsmarkt auf dem Gebiet der Elektronik ist geprägt vom raschen Wandel der Technik und stetig wachsender Leistungsfähigkeit elektronischer Bausteine bei steigender Preiswürdigkeit. Dies alles mag mit dazu beigetragen haben, daß die Entwicklung und der Einsatz von Qualitätssicherungsmethoden in der Elektronikindustrie relativ weit fortgeschritten ist. Da die Elektronikbranche zudem als Schlüsselindustrie angesehen werden kann und Qualität ein wichtiges Marketinginstrument darstellt, ist es gerechtfertigt, sich in den weiteren Ausführungen auf Qualität bzw. Qualitätsmanagement in der Elektronikindustrie zu konzentrieren. Gewonnene neue Erkenntnisse versprechen eine Übertragbarkeit auf andere Bereiche und Märkte, die weniger ausgeprägt dem technischen Wandel und Leistungszuwächsen unterworfen sind.

In Entwicklung und Produktionsplanung werden die Weichen für die Qualität eines Produktes gestellt. Will man mit Qualitätsinformation erfolgreich auf den Produktentstehungsprozeß einwirken und Qualitätssteigerungen erzielen, muß sie jedem Mitarbeiter zugänglich sein und in einer vielseitig nutzbaren Weise aufbereitet sein. Letzteres ist vor allem deswegen wichtig, da Entwicklungs- und Planungsingenieure andere Anforderungen an Qualitätsinformationen stellen, als Mitarbeiter in der Produktion. In vielen Betrieben werden derzeit qualitätsrelevante Informationen über Produkte und Prozesse nicht konsequent in der Produktion erfaßt oder danach nicht in Planungs- und Entwicklungsabteilungen zurückgekoppelt.

Die derzeit noch feststellbare unsystematische Nutzung von Daten über Qualität kann verschiedene Ursachen haben. Es kann daran liegen, daß keine verwertbaren qualitätsrelevanten Informationen vorliegen, weil entsprechende Daten nicht erfaßt werden. Zuweilen werden diese Informationen erfaßt, aber danach in Papierarchiven oder unflexiblen DV-Systemen abgelegt. Damit sind diese Daten potentiellen Anwendern nicht zugänglich oder enthalten keine Informationen in einer für die Betroffenen verwertbaren Form.

So fehlt es derzeit im Produktionsbereich an einer detaillierten und zugleich rationellen Erfassungsmöglichkeit für Qualitätsdaten. Ein großes Defizit ist auch festzustellen im Bereich leistungsfähiger Auswertungssysteme, die einmal erfaßte Daten schnell und flexibel auswerten können. Daher wird ein leistungsfähiges CAQ-Verfahren zur Qualitätsdatenverarbeitung benötigt, das unternehmensweit den unterschiedlichen Anforderungen der Mitarbeiter gerecht werden kann. Dann wäre jeder Mitarbeiter in der Lage, sich selbst die Auswertungen herauszupicken oder zusammenzustellen, die das Fehler- und Qualitätsgeschehen in seinem Umfeld transparent machen. Es sollte jedoch auch nicht der Selbstdisziplin oder Routine des Einzelnen überlassen bleiben, ob und wann er verfügbare Information nutzt. Ein Ziel kann an dieser Stelle lauten: Einbettung der Qualitätsinformationen in einen Regelkreis, der das gesamte Werk (Planung, Produktion und Entwicklung) umfaßt.

Letztlich ist der entscheidende Punkt, ob mit den Informationen gearbeitet wird. Werden Erkenntnisse daraus gezogen und diese in Form von Maßnahmen dann umgesetzt? Diese Frage kann sicher nicht jeder Betrieb mit „Ja" beantworten. Das kann daran liegen, daß in manchen Unternehmen noch kein Qualitätsregelkreis mit gezielter Rückführung von Qualitätsdaten aufgebaut wurde. Es liegt manchmal aber auch daran, daß trotz Transparenz im Fehlergeschehen die jeweiligen Fehlerursachen nicht immer offensichtlich sind. Hier könnte den Mitarbeitern ein Werkzeug helfen, daß auf der Basis von Fehlerkonstellationen die Fehlerursachen ermittelt und Abhilfemaßnahmen vorschlägt. Um diese Lücke zu schließen, wird ein wissensbasiertes System konzipiert, das aus dem Fehlergeschehen automatisch Fehlerursachen ermitteln kann und Maßnahmen vorschlägt. Dieses System wird in den Qualitätsregelkreis des Werkes integriert.

So liegt das Ziel dieser Arbeit darin, die Bedeutung von Qualitätsdatenverarbeitung und Informationsbereitstellung im Rahmen einer ganzheitlichen Qualitätssicherung aufzuzeigen und zu steigern. Auf der Grundlage eines effektiven Qualitätsmanagements, das Informationen rückkoppelt, wird ein rechnergestütztes Basisverfahren zur attributiven Qualitätsdatenverarbeitung konzipiert. Der Entwicklungsschwerpunkt liegt dabei auf einem benutzergerechten, flexiblen Auswerteinstrumentarium und einer rationellen Datenerfassung. Darüber hinaus muß sich das System durch integrative Eigenschaften gegenüber weiteren Verfahren im Umfeld der Qualitätsarbeit (z.B. zur Prüf- und Reparaturunterstützung, etc.) auszeichnen. Die genannten Arbeitsziele sind auch Voraussetzungen für den Aufbau eines Qualitätsregelkreises, in den sich das Gesamtsystem einfügen kann.

Zu Beginn der Arbeit werden Methoden des Qualitätsmanagements als eine Möglichkeit zur Qualitätssteigerung vorgestellt. Dabei wird die historische Entwicklung bis hin zum "Total Quality Management" (TQM) aufgezeigt. Erkenntnisse aus dem Regelkreis-Szenario und Betrachtungen zu kausal-logischer und kybernetischer Modellbildung führen zu einem Schema für einen Qualitätsregelkreis, das sowohl in die Konzipierung eines CAQ-Basisverfahrens als auch in den Entwurf einer expertengestützten Fehlerursachenauswertung einfließt. Beim vorgestellten CAQ-Verfahren stehen flexible Auswertungsmöglichkeiten und aufwandsarme Erfassungsmöglichkeiten für Qualitätsdaten im Vordergrund. Möglichkeiten zur rationellen Qualitätsdatenverarbeitung bei der Produktion elektronischer Flachbaugruppen werden vorgestellt.

Das konzipierte Qualitätsdatenverarbeitungssystem kann eine solide Basis für weitere Fortschritte auf dem Qualitätssektor sein. Die Daten und Informationen, die darin gesammelt werden können, bieten sich nicht nur als Ausgangsbasis für Fehleranalysen in wissensbasierten Systemen an, sondern liefern auch die Datengrundlage für eine fundierte Diskussion von Prüfstrategien und -konzepten (vgl. Kapitel 7).

Auf der Basis der in Kapitel 4 herausgearbeiteten Anforderungs- und Konzipierungsaspekte ist ein leistungsfähiges CAQ-System im Umfeld der attributiven Qualitätsdatenverarbeitung entstanden. Das System wurde zunächst als Prototyp und mittlerweile als Produkt in einem Werk eingeführt, das elektronische Flachbaugruppen für speicherprogrammierbare Steuerungen produziert. Inzwischen befindet sich das CAQ-Verfahren in über 5 Werken im Einsatz bzw. in der Einführung, da es bereits ab dem ersten Jahr einen deutlichen Beitrag zu Qualitätsverbesserungen leisten konnte und Rationalisierungspotentiale im Fertigungs- und Prüfbereich eröffnete.

2 Qualitätsmanagement und Informationsmanagement

2.1 Qualitätsmanagement und Total Quality Management

2.1.1 Von der Sicherung zum Management der Qualität

Qualitätssicherung hatte sich im deutschen Sprachraum in der Vergangenheit als Oberbegriff für alle qualitätsbezogenen Tätigkeiten durchgesetzt. Sie bezeichnet nach DIN 55350 Teil 11 von 1987 die "Gesamtheit der Tätigkeiten des Qualitätsmanagements, der Qualitätsplanung, der Qualitätslenkung und der Qualitätsprüfungen." Qualitätsmanagement war als Unterbegriff bis vor wenigen Jahren folgendermaßen definiert /28/: "Derjenige Aspekt der Gesamtführungsaufgabe, welcher die Qualitätspolitik festlegt und zur Ausführung bringt."
Doch in den letzten Jahren wandelte sich die Bedeutung und die Organisation der „Qualitätssicherung". Diese Wandlung durchlief mehrere Stufen, die in der Fachliteratur unterschiedlich dargestellt werden /76, 84,122/. Bei vereinfachter Betrachtung kann man drei Entwicklungsstufen erkennen, die letztlich zu einem neuen Verständnis der Qualitätsarbeit führten (Bild 2.1). In ihnen kommt zum Ausdruck, daß Qualität als höchstrangiges Ziel von allen Mitarbeitern, einschließlich des Managements, anerkannt und verfolgt werden muß.

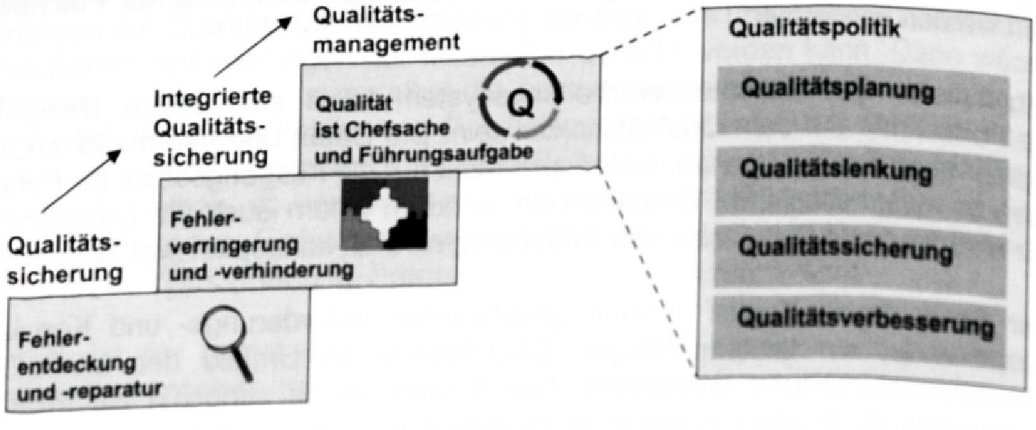


Bild 2.1: Entwicklungsstufen und Komponenten des Qualitätsmanagements

Lange Zeit verstand man unter Qualitätssicherung in der Hauptsache die Fehlerentdeckung und Reparatur der entdeckten Fehler. Später verlagerte sich der Schwerpunkt hin zu einer Fehlerverringerung und Fehlerverhinderung. In dieser Phase wird Qualitätssicherung als separate Funktion aufgelöst und in andere Funktionen integriert. In der dritten Stufe schließlich dreht sich alles um die Qualität. Sie ist Chefsache und Führungsaufgabe und dabei allen anderen Funktionen übergeordnet.

Die aufgezeigte Entwicklung trug mit dazu bei, daß der Begriff Qualitätssicherung seine Bedeutung als Oberbegriff verlor. Im Gegenzug ist nun Qualitätsmanagement nicht mehr nur ein Aspekt der Gesamtführungsaufgabe. Nach DIN ISO 8402 /29/ steht **Qualitätsmanagement** jetzt für:

"Alle Tätigkeiten der Gesamtführungsaufgabe, welche die
- **Qualitätspolitik**, Ziele und Verantwortungen festlegen
sowie diese durch Mittel wie
- **Qualitätsplanung**,
- **Qualitätslenkung**,
- **Qualitätssicherung** und
- **Qualitätsverbesserung**
im Rahmen des Qualitätsmanagementsystems verwirklichen."

Ziele von Qualitätsmanagement (QM) und Total Quality Management

Hinter QM und einem QM-System steht eine Organisationsstruktur, sowie dokumentierte Verantwortlichkeiten, Prozesse und Verfahren. Ziel des Qualitätsmanagements und mit ihm auch des QM-Systems ist die Erreichung aller Qualitätsziele eines Unternehmens /T81/. Deutlich darüber hinaus geht der Zielrahmen von Total Quality Management (TQM). In einem Unternehmen spielen neben dem Qualitätsziel noch weitere Ziele eine Rolle: Es gibt Zeit- und Kostenziele, Ziele bei der Kunden- und Mitarbeiterzufriedenheit sowie den Aspekt eines gesellschaftlichen Nutzens. Die letztgenannten Zielkriterien sind neben der Qualität die Ziele von Total Quality Management.

2.1.2 Kernkonzept und Wirkung von Total Quality Management

Wurzeln von TQM

Total Quality Management (TQM) hat zwei begriffliche Vorfahren: Zum einen kann es als die konsequente Weiterentwicklung des von Feigenbaum 1961 geprägten Begriffes "Total Quality Control" (TQC) angesehen werden /10/. Die zweite Wurzel von TQM liegt in Japan. Dort führte Ishikawa 1968 den Begriff Company Wide Quality Control (CWQC) ein. Hintergrund war dabei die Idee der Ausweitung von Qualitätslenkung (Quality Control) auf alle Vorgänge im Unternehmen, auf technische und nicht-technische Abläufe /92/. Die Grundzüge heutiger TQM-Konzepte stammen aus den traditionellen Qualitätsbewegungen.

Die verschiedenen Autoren setzen in ihren Konzepten unterschiedliche Akzente (Bild 2.2 links). Die im folgenden kurz skizzierten Qualitätssichtweisen sind nicht als Gegensätze aufzufassen. Man kann sie als sich ergänzende Ausprägungen eines ganzheitlichen Qualitätsdenkens auffassen /19/. Aus **Demings** Sicht steht der Prozeß im Mittelpunkt /67/. Er entwickelt ein 14-Punkte-Programm für das Management. Bei Deming sind die statistischen Methoden ein primäres Werkzeug, bei **Juran** und Feigenbaum nur ein Werkzeug von vielen /84, 62/. Jurans Lehre setzt etwas rationaler an, aber auch er verbindet, wie Deming auch, ein umfassendes Qualitätsverständnis mit der Notwendigkeit, das Top Management für die Qualität zu gewinnen /63/.

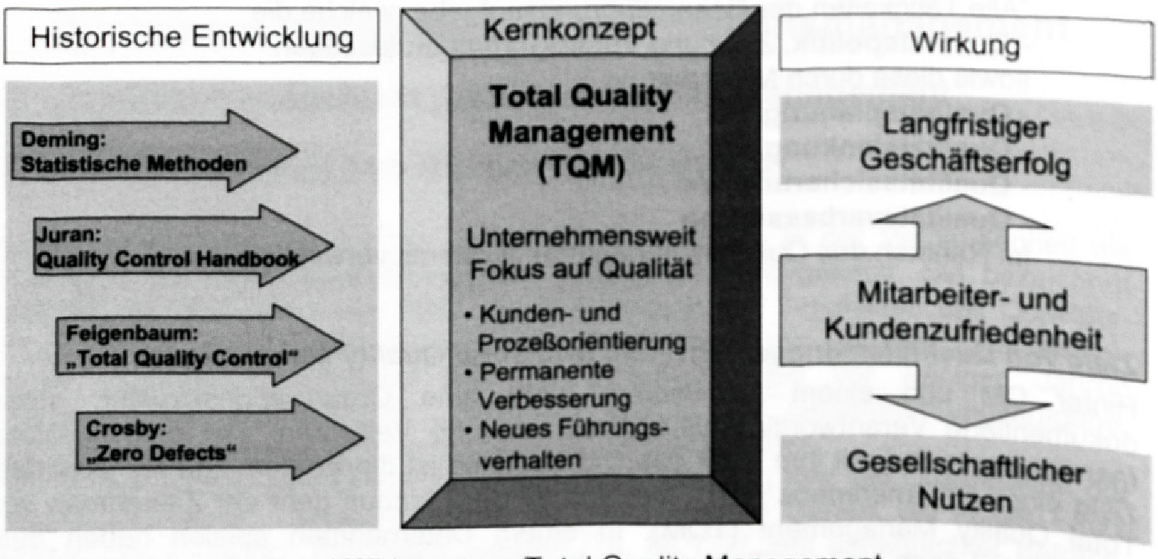


Bild 2.2: Kernkonzept und Wirkung von Total Quality Management

Das Qualitätskonzept von **Feigenbaum** nennt man „Total Quality Control" (TQC). Es fordert z.B. eine Qualitätssicherung in allen Phasen der Produktentstehung durch interfunktionelle Teams /35, 43/. Feigenbaum stellt den Kunden in den Mittelpunkt der unternehmerischen Tätigkeiten und prägt den Begriff „integrierte Qualitätssicherung". Letzterer wird heute meist in einer von **Ishikawa** ausgehenden umfassenderen Bedeutung (unternehmensweite Qualitätssicherung) angewandt. Das von Ishikawa /70/ entwickelte Company Wide Quality Control (CWQC) kann als mitarbeiterorientiertes Konzept angesehen werden, zur Einbindung der Mitarbeiter in die unternehmensweite Qualitätsarbeit.

Crosby gilt als professioneller Verbreiter der neuen Techniken. Die Kernaussage von Crosby's Qualitätssicherungsprogramms lautet: Null Fehler müssen Leistungsstandard werden. Daneben formuliert er noch weitere „Grundsätze des Qualitätsmanagements":

- Qualität bedeutet Erfüllung von Anforderungen und nicht Hochwertigkeit oder Formschönheit.
- Ein Qualitätsproblem an und für sich gibt es nicht.
- Einen Gesichtspunkt wie Wirtschaftlichkeit von Qualität gibt es nicht; es ist in jedem Fall billiger, etwas gleich richtig zu machen.
- Es gibt nur ein einziges Leistungsmaß: die Qualitätskosten.

Crosby und auch Deming entwickelten aus den Erfahrungen ihrer Seminartätigkeit jeweils ein 14 Punkte Programm (vgl. /65/). Obwohl die einzelnen Punkte in beiden Programmen durchaus differieren, decken sich auch einige Schritte: So betonen beide die Wichtigkeit der Mitarbeiterschulung, der ständigen Verbesserung und der Zielsetzung. Die auffälligste Gemeinsamkeit ist jedoch die Verpflichtung des Managements zum jeweiligen Qualitätsverbesserungsprogramm. Gemeinsam erreichten die vier in Bild 2.2 genannten Autoren durch ihr unermüdliches Drängen und den nachweisbaren Erfolg in Japan eine Bewußtseinsbildung bei einer wachsenden Zahl von Unternehmern. Aus den Grundzügen der genannten Qualitätsphilosophien kristallisierte sich schließlich das Kernkonzept von Total Quality Management.

Kernkonzept und Grundprinzipien von TQM

Bei TQM steht, wie bei vielen anderen Q-Philosophien auch, Qualität im Mittelpunkt. Zudem ist Qualität allen anderen Funktionen übergeordnet /66/. Der Fokus liegt auf Qualität, nicht nur in einer einzigen Abteilung, sondern unternehmensweit.
Als wichtige Grundprinzipien gelten eine stärkere Kundenorientierung und eine konsequente Prozeßorientierung /131, 136/.
Weitere Grundprinzipien von TQM, die zudem die evolutionäre Entwicklung von TQM aus traditionellen Qualitätskonzepten (z.B. von Deming oder Feigenbaum) belegen, sind das Prinzip der permanenten Verbesserung und ein neues Führungsverhalten. Die in den letzten Jahren von Imai /60/ neu geprägte Idee der permanenten Verbesserung (auch bekannt als Kaizen) basiert auf einer kontinuierlichen Suche nach Ansatzpunkten für Verbesserungen, wobei es sich durchaus um kleine Verbesserungen handeln darf.
Beide Prinzipien finden sich bereits in der 14-Punkte-Liste von Deming /65/. Der Punkt „Verbessere ständig die Systeme" kann als Vorläufer der „permanenten Verbesserung" von Imai angesehen werden. Das „moderne Führungsverhalten" konkretisiert Deming in einer Reihe weiterer Punkte in seinem Qualitätsprogramm. So fordert er auf, eine angstfreie Atmosphäre zu schaffen, (Abteilungs-) Barrieren zu beseitigen, Ermahnungen zu vermeiden, keine willkürlichen Ziele zu setzen, eine Identifikation mit der Arbeit zu ermöglichen und die Weiterbildung zu fördern. Die letztgenannten Punkte werden heute als kooperativer Führungsstil bezeichnet. Dieses in vielen Unternehmen erfolgreich eingeführte neue Führungsverhalten bedeutet aus Managementsicht soviel wie Mitarbeiterorientierung.

Definition und Wirkung von TQM

In DIN ISO 8402/E03.92 /29/ findet sich folgende Begriffsdefinition zu TQM. Der Wirkungszusammenhang ist im rechten Teil von Bild 2.2 illustriert.

> "Auf der Mitwirkung aller ihrer Mitglieder beruhende Führungsmethode einer Organisation, die Qualität in den Mittelpunkt stellt und durch Zufriedenstellung der Kunden auf langfristigen Geschäftserfolg sowie auf Nutzen für die Mitglieder der Organisation und für die Gesellschaft zielt."

Das Fundament auf dem TQM entstehen kann, besteht nach ISO/TC 176 /61/ aus den drei Blöcken Kundenorientierung, Prozeß-Sichtweise und Einbindung aller Mitarbeiter. Entscheidend für den Erfolg mit TQM ist nicht die Anwendung einzelner Komponenten, sondern deren gleichzeitiges Zusammenwirken nach dem Motto: "Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile" /92/.

TQM kann man sich bausteinartig zusammengesetzt vorstellen aus unterschiedlichen strategischen Ausrichtungen, mehreren Rahmenbedingungen und einer Vielzahl von Methoden und Instrumenten. Was TQM auszeichnet, ist die Integration dieser Elemente unter einem Dach, wie es auch in Bild 2.3 dargestellt ist /44, 141/.

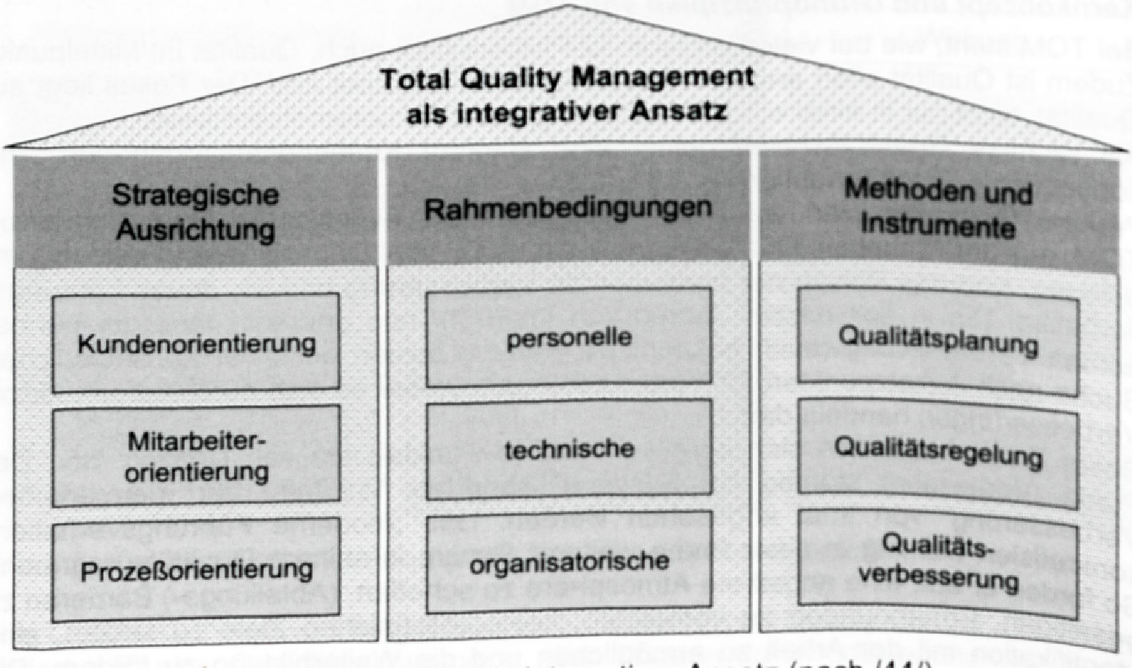


Bild 2.3: Total Quality Management als integrativer Ansatz (nach /44/)

Einführungskonzept

Für Unternehmer, die TQM als hochprofitable Alternative zu herkömmlichen Managementkonzepten erkannt haben und TQM erfolgreich in ihrem Betrieb einführen wollen, sind in /73/ und /88/ zwei unterschiedliche Einführungswege beschrieben. Beide Ansätze sehen langfristiges Denken als wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung des TQM-Programms an. Beide Vorgehensweisen stützen sich zum Teil auf Kriterien des European Quality Award (EQA) /89, 59/. In /73/ betont Kirstein den engen Zusammenhang von Technik und Geisteshaltung als kritischen Erfolgsfaktor. Als Technik wird ein Qualitätsmanagementsystem empfohlen, das den EQA-Kriterien gerecht wird. Die Geisteshaltung wird aus einem noch relativ unbekannten zweiten Denkansatz von Deming hergeleitet /24/. Auch das von Malorny /88/ vorgestellte Einführungskonzept beschränkt sich nicht nur auf die Einführungsphase, sondern deckt auch die Jahre danach ab. Dazu werden acht Handlungsfelder bearbeitet und jeweils vier strukturierte Phasen durchlaufen. Die vier Phasen werden genannt:

- **Sensibilisierungsphase**: zum Initiieren von TQM (vorausgegangen ist Bewußtseinswandel)
- **Realisierungsphase**: unternehmensweite Anwendung und Entfaltung (auf Basis von Führungs- und Strukturwandel)
- **Stabilisierungsphase**: Beschleunigung des Verbesserungsprozesses und innovative Ausrichtung (Wirkung aus Vernetzung von Einzelmaßnahmen)
- **Phase der Exzellenz**: Dynamisierung und Verfeinerung (durch Verfeinerung des TQM-Prozesses)

Die acht Handlungsfelder (Führung, Mitarbeiter, Kunden, Zulieferer, Gesellschaft, Prozesse, Controlling, Zielplanung) sind abgeleitet aus den neun Bewertungskriterien für den European Quality Award. Für jedes Handlungsfeld und jede Phase

sind dabei die Kernaufgaben (als grundsätzliche Zielstellung) und die Ansatzpunkte (in Form konkreter Maßnahmen) vorgegeben. Für Unternehmen, die sich an diesem Einführungsleitfaden orientieren, hat das den Vorteil, daß sie nach der Einführung einen Gradmesser für Güte ihrer TQM-Bemühungen besitzen und sie bereits relativ gut vorbereitet sind auf eine Teilnahme am EQA.

2.1.3 Methoden und Instrumente

Methodenvielfalt und Strukturierungsversuche

TQM ist kein vorrangig instrumentaler Ansatz. Dennoch sind in der Vergangenheit zahlreiche Methoden und Instrumente entwickelt oder aus anderen Q-Konzepten übertragen worden. Bei einer auf den ersten Blick unübersehbaren Methodenvielfalt kann leicht Verunsicherung aufkommen und potentielle Anwender davon abhalten sich überhaupt einer Methode zuzuwenden. Um den Überblick zu wahren, wurde in der Vergangenheit mehrfach der Versuch gemacht, sie in unterschiedliche Gruppen einzuteilen und zu systematisieren.
In /107/ wird eine Landkarte der Qualität vorgestellt, die einem zusammengewürfelten Baukasten von Systemen, Philosophien und Werkzeugen gleicht und viel Freiheit für Interpretationen läßt.
In /131/ wird eine einfache Unterscheidung nach „Basiswerkzeugen" und Instrumenten für „Quality Engineering" vorgenommen. Letztere sind schwerpunktmäßig einsetzbar in der Phase vor Produktionsbeginn, in der Produktentwicklung und Produktionsplanung. Zu diesen Instrumenten zählen neben anderen:

- Quality Function Deployment /68, 118/ zur Umsetzung von Kundenanforderungen ins Produkt,
- Fehlermöglichkeits- und -einflußanalyse /8/ um potentielle Fehler bei der Entwicklung oder Fertigung eines Produktes zu vermeiden
- Design of Experiments /45/ als statistisches Verfahren zu Ermittlung wichtiger Einflußgrößen.

Die unter Basiswerkzeuge zusammengefaßten Instrumente werden an anderer Stelle auch als „Seven QC Tools" bezeichnet /98/. Hierzu gehören Strichlisten, Histogramme, Pareto-Diagramme, Schlichtungen, Streuungsdiagrame, Ursache-Wirkungs-Diagramme und Regelkarten. In /107/ wird unter den sieben klassischen Werkzeugen zur Qualitätsverbesserung verstanden: PDCA-Kreis (Plan Do Check Act), Datensammlung, Auswertung, Darstellung, Pareto-Analyse (80-20-Regel), Ursache-Wirkungs-Diagramme (Ishikawa-Diagramm) und Regelkarten. Auch in /26, 112/ finden sich ähnliche Aufzählungen von sieben Basiswerkzeugen.

Eine etwas andere Gruppierung nimmt /48/ und /65/ vor. Die einzelnen Methodenbausteine sind dort Strategien und Verfahren zugeordnet (wie Just in Time (JIT), Simultaneous Engineering (SE), Eigenkontrolle, Qualitätszirkel, ...) und diese wiederum den Qualitätsphilosophien, denen sie entspringen. Unter Q-Philosophien werden verstanden: Deming (14 Punkte Programm), Juran (Qualitätsmanagement), Feigenbaum (integrierte Qualitätssicherung), Crosby (Null-Fehler) und daneben noch Ishikawa (Company Wide Quality Control) und ständige Verbesserung (Kaizen). Sie alle wiederum basieren letztlich auf einem TQM-orientierten Denken und Handeln. Und das ist der Kern der Systematik.

Die einzelnen Q-Methoden lassen sich auch den drei von Juran unterschiedenen Managementtechniken zuordnen und auf diese Weise strukturieren /65/:

- Q-Planung mit QFD, FMEA (Konstruktion u. Prozeß), Versuchsplanung
- Q-Sicherung mit SPC, Vorbeugende Wartung (TPM: Total Productive Maintenance)
- Q-Verbesserung mit Kaizen, 7 Werkzeuge (Pareto, Ishikawa, ...), Prozeß-FMEA, Versuchsplanung

In /8/ werden einzelne Qualitätstechniken entsprechend ihrem Schwerpunkt unterschieden nach den Strategiefeldern von TQM, nämlich der Kunden-, Prozeß- und Mitarbeiterorientierung. Die beiden letztgenannten Strukturierungsansätze lassen sich in einer Übersicht (Bild 2.4) zusammenführen, in der je Methode ihre Hauptstoßrichtung und damit ihr Einsatz- und Wirkungsschwerpunkt ablesbar ist.

Die **Kundenorientierung** wird vornehmlich in der Planungsphase durch den Einsatz von Hilfsmitteln wie Wertanalyse und Quality Function Deployment (QFD) berücksichtigt. Kundenorientierung bedeutet, die Stimme des Kunden zu hören und QFD erlaubt es, Kundenanforderungen systematisch in Produktmerkmale umzusetzen. QFD kann jedoch auch als prozeßorientierte Methode eingestuft werden, da bei Einsatz der Methode aus den ermittelten Produktmerkmalen auch Herstellungsvorschriften und schließlich Produktionsanweisungen abgeleitet werden.

Um der von TQM geforderten **Prozeßorientierung** gerecht zu werden, stehen eine Reihe von Werkzeugen zur Verfügung, die das Denken in Abläufen und Zusammenhängen unterstützen, mit dem Ziel der Prozeßbeherrschung. Je nach Phase der Qualitätsarbeit dominieren hier die Versuchsplanung (DoE) und FMEA oder beim Sichern der Qualität die statistische Prozeßregelung (SPC).

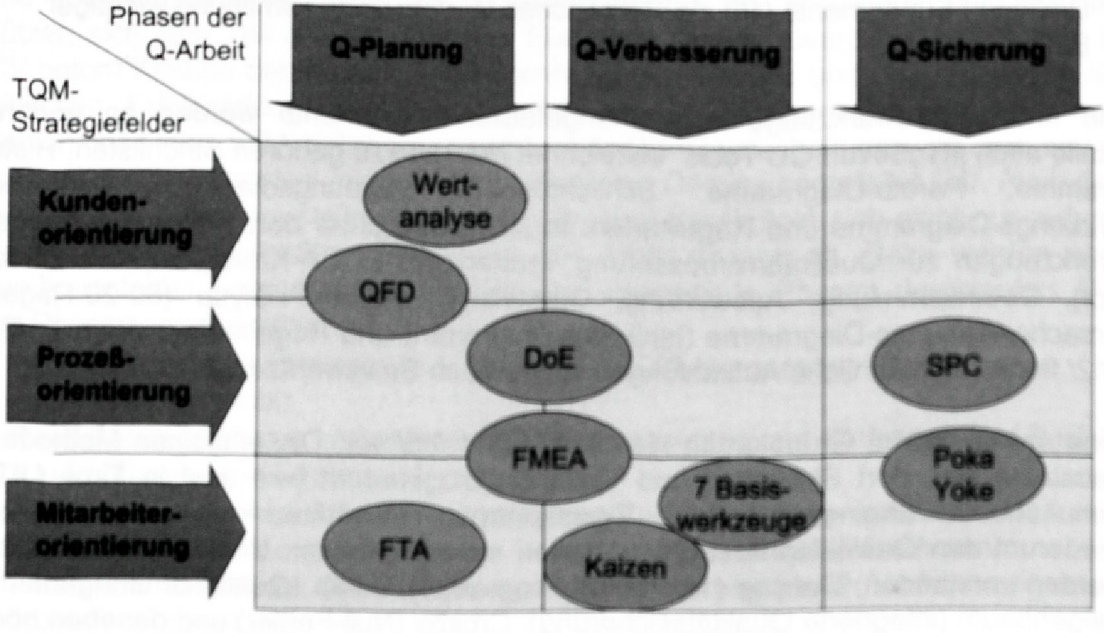


Bild 2.4: Qualitätstechniken nach Einsatz- und Wirkungsschwerpunkten

Zur **Mitarbeiterorientierung** im Sinne von Fehlervermeidung und ständiger Verbesserung von Prozessen über motivierte Mitarbeiter mit Qualitätsverantwortung stehen auch mehrere Techniken zur Verfügung: An erster Stelle seien die sieben Basiswerkzeuge genannt, die helfen können Probleme im Tagesgeschäft schnell zu erkennen und ihre Ursache zu ermitteln /8/. Demgegenüber haben die FMEAs und Poka Yoke eher vorbeugenden Charakter. In der FMEA werden im Team die Konstruktions- und Prozeßabläufe systematisch auf potentielle Fehler untersucht.

Schließlich lassen sich die Werkzeuge auch in folgende fünf Gruppen einteilen /117/:

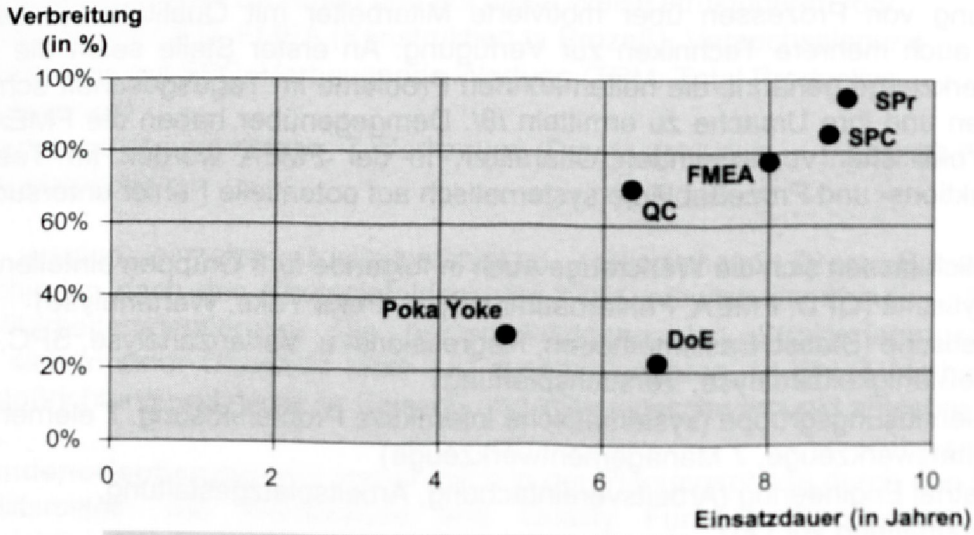
- Analytische (QFD, FMEA, Fehlerbaumanalyse, Poka Yoke, Wertanalyse)
- Statistische (Statist. Basismethoden, Regressions- u. Varianzanalyse, SPC, Prozeßfähigkeitsanalyse, Versuchsplanung)
- Problemlösungsgruppe (systematische interaktive Problemlösung, 7 elementare Qualitätswerkzeuge, 7 Managementwerkzeuge)
- Industrial Engineering (Arbeitsvereinfachung, Arbeitsplatzgestaltung, Instandhaltung vor Ort)
- Psychologische (Information u. Kommunikation, Moderation u. Coaching, Teamarbeit)

Durch eine geeignete Kombination einiger der oben genannten Methoden, z.B. bestimmte analytische und Problemlösungstechniken, wurden weitere Instrumente geschaffen. Beispielhaft seien an dieser Stelle mit dem „20-Schlüssel-System" und KVP² zwei Konzepte genannt, die durch Parallelisierung von Verbesserungsprozessen und einen ganzheitlichen Ansatz Synergien hervorrufen können /75/.

Unabhängig davon, welche Qualitätsstrategie im einzelnen verfolgt wird, muß die Einführung jeder Q-Philosophie (oder Aufbau eines Qualitätssicherungssystems) einhergehen mit "qualitätsgesichertem" Motivationsmanagement, um die im Unternehmen (meist sehr hoch) gesteckten Ziele auch zu erreichen /138/. Die Bedeutung des Motivationsmanagements ist umso größer, je später die Q-Verfahren Erfolge aufweisen können.

Praktische Erfahrungen mit QM-Methoden im Produktionsbereich

Die Qualitätsleiter in über 150 deutsche Unternehmen wurden schriftlich befragt, ob und seit wann sie bestimmte Methoden einsetzen und wie sie die einzelnen Methoden bezüglich ihrer Wirkung auf Kriterien wie Kosten, Qualität und Zeit einschätzen /22/. 51 Unternehmen machten auswertbare Antworten. Von diesen sind 85% als Großunternehmen einzustufen mit mehr als 500 Mitarbeitern. In Bild 2.5 ist für jede dieser Qualitätstechniken die durchschnittliche Anwendungsdauer und die Anwendungshäufigkeit ablesbar.



DoE:	**Design of Experiments**
FMEA:	**Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse**
QC:	**Qualitätszirkel**
SPC:	**Statistische Prozeßregelung**
SPr:	**Selbstprüfung durch Werker**

Bild 2.5: Verbreitung und Einsatzdauer von Qualitätstechniken nach /22/

Die meisten Qualitätstechniken befinden sich durchschnittlich zwischen 5 und 10 Jahren in der betrieblichen Praxis. Mit einer Ausnahme gilt für die genannten Qualitätstechniken: je höher die durchschnittliche Anwendungsdauer, desto höher liegt auch der Verbreitungsgrad des jeweiligen Werkzeugs. Allein die statistischen Versuchsplanungen (DoE) bilden hier eine Ausnahme: im Durchschnitt seit fast 7 Jahren in einigen Betrieben im Einsatz, aber mit einem Verbreitungsgrad der unter dem von Poka Yoke oder QC liegt. Ursache für die geringe Verbreitung könnte hier die relativ hohe Komplexität und der Aufwand im Vergleich zu anderen Techniken sein.

Drei weitere Ergebnisse, welche die Befragung lieferte:

- Bei allen Q-Techniken wurde die Wirkung auf die Fehlerkosten durchweg positiv bewertet.
- Die größten Qualitätssteigerungen kommen nach Einschätzung der Befragten beim Einsatz von Poka Yoke und SPC zustande.
- Die größten Zeiteinsparungen (vom Start der Entwicklung bis zur Lieferfähigkeit) werden FMEA und DoE zugeschrieben, also Techniken, die im Vorfeld der Fertigung (in Entwicklung und Planung) eingesetzt werden.

2.1.4 TQM und Auswirkungen auf die QDV

Kennzahlen erleichtern den „Kontinuierlichen Verbesserungsprozeß" KVP

Ein Kernpunkt von TQM ist die „kontinuierliche Verbesserung" aller Prozesse und Abläufe. In der Produktion bedeutet das eine ständige Verbesserung der Arbeitsabläufe durch kleine gezielte Schritte. Gezielte Schritte setzen ein Ziel voraus, also „einen Zustand, der zu einem Zeitpunkt in der Zukunft eintreten soll" /16/. Wo immer Prozesse und Ziele beschrieben werden, kann dies quantitativ oder qualitativ geschehen oder mit einer Kombination dieser beiden Beschreibungsarten. Die Beschreibung eines Weges ständiger Verbesserung setzt voraus, daß in regelmäßigen Abständen oder nach Durchführen von bestimmten Maßnahmen eine Standortbestimmung erfolgen kann. Dazu bedarf es Vergleichsmöglichkeiten mit den Ergebnissen aus der Vergangenheit. Die Vergleiche fallen dabei konkreter aus, wenn Kennzahlen und anderen quantifizierbaren Kriterien der Vorzug vor qualitativen Beschreibungen gegeben wird. Aus den gleichen Gründen sollte auch bei Zieldefinitionen quantifizierbaren Kriterien der Vorzug gegeben werden.

Flexible Instrumentarien für Mitarbeiter- und Prozeßorientierung

Zu dem innerhalb von TQM geforderten neuen Führungsstil gehört auch die Förderung von Flexibilität und Kreativität. Neben den traditionellen TQM-Werkzeugen (7M,...) sind daher vermehrt flexible Instrumentarien erforderlich, die zunehmend stärker einer Mitarbeiter-, Kunden- und Prozeßorientierung Rechnung tragen müssen. Das gilt in dieser Form auch für die gesamte Qualitätsdatenverarbeitung, von der Erfassungskomponenten bis hin zu den Auswertewerkzeugen.

2.2 Informationsmanagement und Qualitätsdatenverarbeitung

Die Begriffe **Daten und Information** zählen zu den Kernbegriffen der Informations- und Datenverarbeitung und trotzdem tut die Wissenschaft sich schwer, interdisziplinär gültige Definitionen zu formulieren /31, 12/. Als Daten werden nach /137/ bezeichnet: Kleinste in Form von Ziffern, Buchstaben o.ä. vorliegende Nachrichten über reale Gegenstände, Gegebenheiten, Ereignisse usw., die zum Zwecke der Auswertung kodiert wurden. An anderer Stelle sind Daten als Ordnungs- und Mengeninformationen definiert /31/. Auch beim Begriff Information gibt es unterschiedliche Ansichten. Informationen sind nach /83/ Mitteilungen, die aus Daten bestehen, welche zu Wissen aggregiert werden können. Im weiteren Verlauf soll Information verstanden werden als Nachricht, Auskunft oder Mitteilung, die beim Empfänger ein bestimmtes (Denk-)Verhalten bewirkt /137/.
Zusammenfassend könnte man formulieren: Daten werden zu Information, wenn sie so aufbereitet sind, daß sie beim Empfänger ein bestimmtes (Denk-)Verhalten bewirken können (Bild 2.6). Aus dieser Definition lassen sich mehrere Bedingungen für einen Informationsgewinn via Daten ableiten:
Es gibt aufbereitete Daten und diese Daten erreichen einen Empfänger. Sie werden von ihm interpretiert und verstanden. Und schließlich muß der Empfänger fähig sein, ein bestimmtes Verhalten zu zeigen.

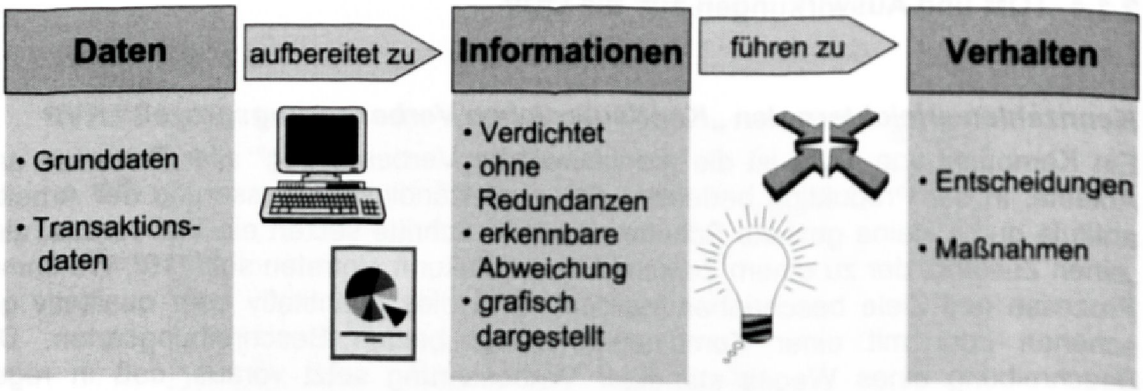


Bild 2.6: Zusammenhang von Daten, Information und Verhalten

2.2.1 Informationsmanagement im Unternehmen

Bedeutung und Nutzen des Informationsmanagements

Erfolgreiches Informationsmanagement hat eine Optimierung von Entscheidungen bzw. Maßnahmen in Unternehmen zum Ziel. Die Qualität von Entscheidungen hängt in hohem Maße von der Qualität der verwendeten Information ab. Damit wird Information zu einem Erfolgsfaktor und das Informationsmanagement ist eine Aufgabe von zentraler Bedeutung für ein Unternehmen /81/. Eine Möglichkeit, einem Manager zu helfen, bessere Entscheidungen zu treffen, ist den „Informationsnutzen" zu erhöhen /58/. Eine Nutzensteigerung ist mit einer Information erzielbar , wenn ein breiter Einsatz und richtige Interpretationen erfolgen können und die richtigen Schlußfolgerungen abgeleitet werden.

Ansatzpunkte zur Nutzensteigerung bietet dabei die Optimierung von vier in Bild 2.7 dargestellten Kriterien, die die Informationsversorgung maßgeblich beeinflussen:

- Informationsbreite und -tiefe
- Informationsqualität
- Informationszugänglichkeit
- Informationsaufbereitung

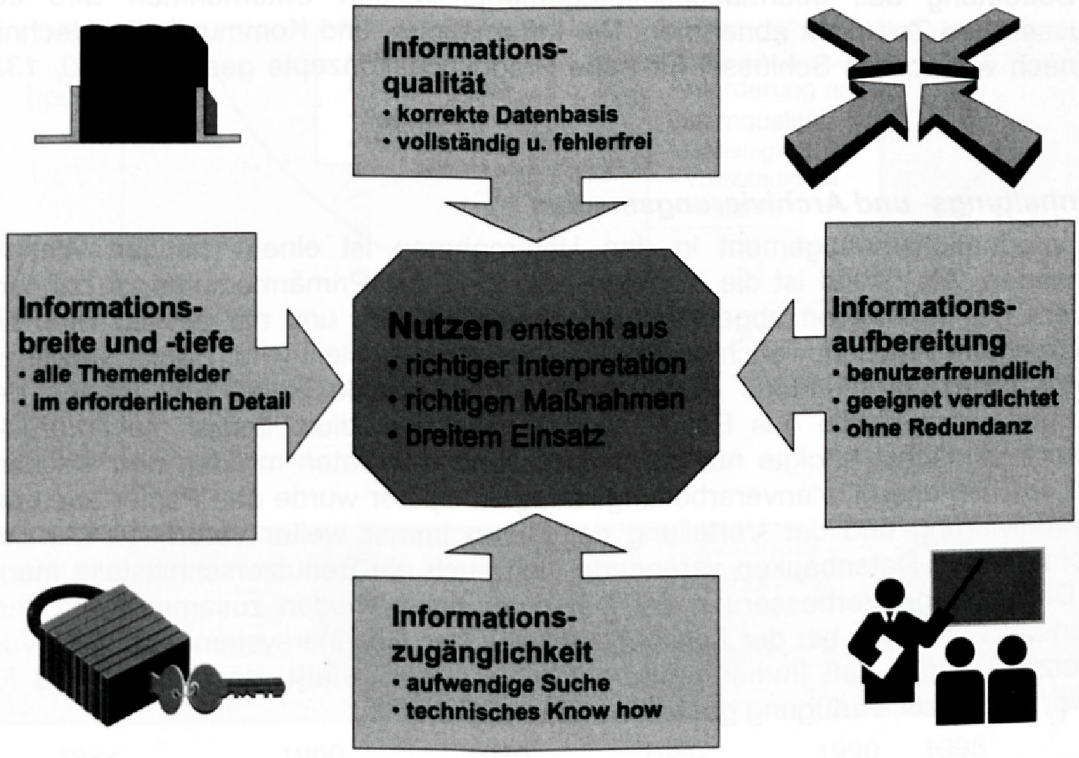


Bild 2.7: Kriterien zur Steigerung des Informationsnutzens

Herausforderungen des Informationsmanagements

Eine Aufgabe des Informationsmanagements ist es, die Voraussetzungen zu schaffen, daß Informationen erzeugt und angeboten werden, die der Nachfrage entsprechen. Die Voraussetzungen ergeben sich dabei aus den Herausforderungen, denen sich das Informationsmanagement stellen muß /81/:

- Wechselnde Informationsnachfrage der Nutzer wegen unvorhersehbarer Markt- und Unternehmensereignisse, die ein neues Informationsbedürfnis auslösen, sowie wegen organisatorischer und personeller Veränderungen im Unternehmen.
- Steigende Anzahl und Vielfalt der Endanwender, die einerseits eine gewisse Unabhängigkeit von der zentralen Datenverarbeitung anstreben, andererseits jedoch auch mehr und kompetenten Support nachfragen, wenn sie z.B. beim Kreieren einer weiteren DV-Insellösung an programmiertechnische Grenzen stoßen.
- Bewahrung der Datenintegrität kann einmal aus Sicht der Datensicherheit gesehen werden (Gefahr einer unbeabsichtigten Veränderung von Produktivdaten) und aus der Berücksichtigung definierter Konsolidierungsstufen im Auswertungsablauf.
- Akzeptanzprobleme durch Anwender. Sie können gemindert werden, indem die Nutzer während der gesamten Einführungsphase einbezogen werden, beginnend bei der Definition der Ziele und Anforderungen, bei der Abstimmung der Prioritäten, selbst bei der Gestaltung der Anwendung (Prototyping).

Die Bedeutung des Informationsmanagements in den Unternehmen wird auf voraussehbare Zeit nicht abnehmen. Die Informations- und Kommunikationstechnik wird nach wie vor als Schlüssel für neue Produktionskonzepte gesehen */130, 133, 134/*.

Datenhaltungs- und Archivierungsmedien

Das Informationsmanagement in den Unternehmen ist einem stetigen Wandel unterworfen. Als Grund ist die ständige Ablösung des Primärmediums zu nennen, auf dem die Information abgelegt und gespeichert wird und mit dessen Hilfe sie letztlich einem Anwender auch wieder zur Verfügung gestellt wird. Papier spielte zu Anfang dieses Jahrhunderts eindeutig die dominierende Rolle. Seit Beginn der sechziger Jahre wurde das Papier als Informationsmedium immer mehr zurückgedrängt. Zunächst erfolgte nur die Verarbeitung der Daten mit den neu auf dem Markt erschienenen Datenverarbeitungsanlagen. Später wurde das Papier auch bei der Archivierung und der Verteilung der Daten immer weiter verdrängt. Mit den aufkommenden Datenbanken veränderte sich auch die Benutzerschnittstelle merklich. Die ständige Verbesserung der Datenhaltungsmethoden zusammen mit dem immensen Fortschritt bei der Leistungsfähigkeit der Rechnersysteme sind die Voraussetzung dafür, daß immer größere Datenmengen erfaßt, gespeichert und für Auswertungen zur Verfügung gestellt werden können.

Sehr bedeutsam für die weiteren Überlegungen ist die Beobachtung, daß der Aufwand für die reine Datenanalyse ständig sank (Bild 2.8). Die Datenverdichtung auf dem Papier dauerte länger als auf den ersten Rechnern, obwohl die meisten Auswertungen häppchenweise programmiert werden mußten, weil die Daten noch in Dateien und nicht in Datenbanken gespeichert wurden. Mit der zunehmenden Verbreitung von Datenbanksystemen wurden die Query-Sprachen immer mächtiger, komfortabler und einfacher in der Anwendung. Bei neueren Datenbanksystemen und selbst bei Tabellenkalkulationsprogrammen werden z.B. die gebräuchlichsten statistischen Methoden standardmäßig unterstützt. Damit verringert sich neben der reinen Analysezeit auch der Aufwand für die Methodenauswahl noch etwas, wobei die Verantwortung für die Auswahl der richtigen Methode in der Regel nicht vom System übernommen wird.
Durch leistungsfähigere Rechner und Datenhaltungswerkzeuge sank zwar der Aufwand für die reine Datenanalyse, aber die Zusammenführung großer Datenbestände aus möglicherweise unterschiedlichen Quellen und Standorten kann auch Nachteile mit sich bringen.
Die zunehmende Automatisierung innerhalb der Informationserzeugung stellt immer höhere Anforderungen an die Datenqualität. Die Genauigkeit, Vollständigkeit und Aktualität werden zu immer wichtigeren Kriterien. Fehlende Werte können dabei ebenso zu Datenproblemen führen wie eine hohe Dynamik der Daten /9/. Daher führt der Autor in /85/ die Definition und das Messen von Datenqualität als einen wichtigen Forschungsbereich der Zukunft auf.

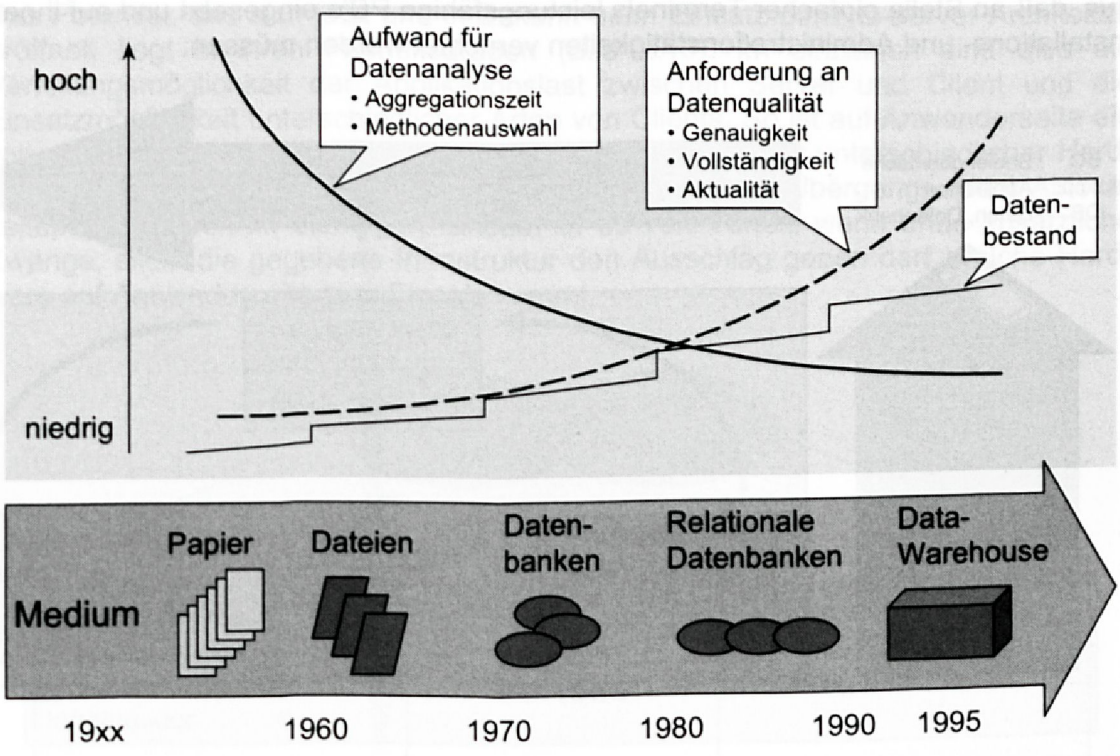


Bild 2.8: Trägermedien der Information

2.2.2 Entwicklungslinien der DV-Architektur

Die Architektur von Datenverarbeitungssystemen wandelte sich in den letzten 30 Jahren mehrfach. In Bild 2.9 sind drei Architekturkonzepte in einem groben zeitlichen Raster eingeordnet. Die erste Phase war gekennzeichnet durch einen zentralen Großrechner mit zentralem Operatorbetrieb und dezentralen einfachen Terminals für die Benutzer. Das komplette DV-Verfahren (Applikation und evtl. zugehörige Datenbank) läuft auf dem Großrechner. In den Terminals der Benutzer genügt relativ wenig Rechenleistung einfacher Prozessoren zum Darstellen der einfachen Bedieneroberflächen. Das hat den Vorteil, daß sowohl die Kosten für die Endgeräte beim Benutzer als auch der Aufwand für die Administration relativ gering sind. Nachteilig wirkt sich aus, daß jede Bedieneraktion vom zentralen Großrechner abgewickelt werden muß.

In den achziger Jahren kamen Personal Computer auf den Markt. Die PC's wurden leistungsfähiger und in vielen größeren Betrieben wurden lokale Netzwerke (LAN) aufgebaut. Beides ist Voraussetzung für eine Client-Server-Architektur. Kennzeichnend ist hier, daß die gesamte Bedieneroberfläche (mit zunehmend grafischen Anteilen) und auch große Teile der Applikation auf dem Client-PC beim jeweiligen Benutzer abläuft. Der Server betreibt bei Bedarf eine Datenbank oder andere zentrale Bestandteile des Verfahrens. Bei diesem Konzept werden die Leistungsfähigkeit der dezentralen PC's und ihre grafischen Fähigkeiten ausgenutzt. Auch bei Verfahren mit vielen Clients kann durch eine geeignete Aufteilung der Applikation oftmals auf den Einsatz eines Großrechners verzichtet werden, da ein wesentlicher Vorteil dieser Trennung von Server- und Client-Modulen darin liegt, heterogene

Hardware- und Anwendungsplattformen zu verbinden /125/. Nachteilig wirkt sich aus, daß an Stelle einfacher Terminals leistungsfähige PC's eingesetzt und auf ihnen Installations- und Administrationstätigkeiten verrichtet werden müssen.

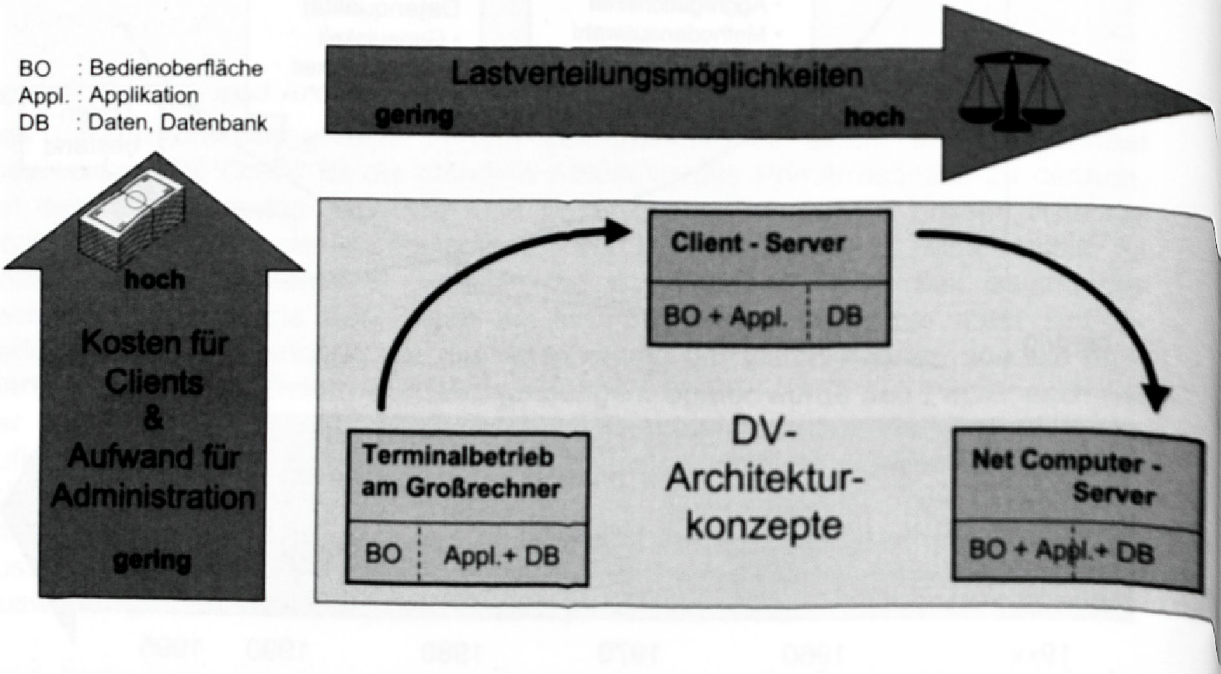


Bild 2.9: Markante Entwicklungslinien der DV-Architektur

Einhergehend mit weiteren Leistungssteigerungen auf dem Netzwerksektor und im Serverbereich verbreitet sich derzeit ein weiteres Architekturkonzept. Bestandteile dieses Konzepts sind ein oder mehrere zentrale Server für ggf. erforderliche Datenbanken (Data Server) und für das Ausführen der Applikation (Application Server) und Net Computer oder andere Thin Clients als Endgeräte beim Benutzer. Kennzeichnend für die Thin Clients ist, daß sie im Gegesatz zu PC's (Fat Clients) keine Festplatten, Diskettenlaufwerke und ähnliches aufweisen. Sie sind damit preiswerter, administrationsärmer und ausfallsicherer als PCs. Die geforderte Leistungsfähigkeit der zentralen Komponenten kann sich, in Abhängigkeit von der Anzahl angeschlossener Clients und der Komplexität des Verfahrens, wieder zu der einstiger Großrechner aufschwingen. Unter der Voraussetzung eines leistungsfähigen LAN erreicht man mit diesem Konzept eine Verknüpfung der Vorteile der beiden Vorgängerkonzepte: relativ preiswerte zentrale Administration und Möglichkeit zur Verteilung der Rechenlast zwischen Server und Client.

Die in Bild 2.9 idealisiert vorgestellte 2-phasige Entwicklung der DV-Architektur wies noch mehr oder weniger bedeutende Zwischenschritte auf. Einer dieser Zwischenschritte ist der Einsatz von X-Terminals als Clients im Verbund mit einem X-Host-Rechner. Diese Konstellation ermöglicht einen leistungsfähigen grafischen Terminalbetrieb, jedoch läuft die gesamte Applikation und große Teile der Bedieneroberfläche zwingend auf dem Host-Rechner ab. Dieses DV-Konzept ist einzuordnen zwischen Großrechner und Client-Server-Architektur, da die administrativen Vorteile eines Terminalbetriebs an einem zentralen Rechner um die grafischen Möglichkeiten von X-Window ergänzt werden.

Das Potential, das sich jetzt und in Zukunft beim Einsatz der NC-Server-Architektur eröffnet, liegt in ihren Freiheitsgraden (Bild 2.10). Im einzelnen sind dies die Verteilungsmöglichkeit der Applikationslast zwischen Server und Client und die Einsatzmöglichkeit unterschiedlicher Arten von Clients. So ist auf Anwenderseite ein vollwertiges und doch administrationsarmes Nebeneinander unterschiedlicher Hardwareausrüstungen möglich. Dies hat vor allem Vorteile in Übergangs- oder Ablösezeiten. Aber auch im ständigen Einsatz ist es von Vorteil, wenn ohne zusätzliche Zwänge, allein die gegebene Infrastruktur den Ausschlag geben darf, welche Hardware auf Anwenderseite zum Einsatz kommt.

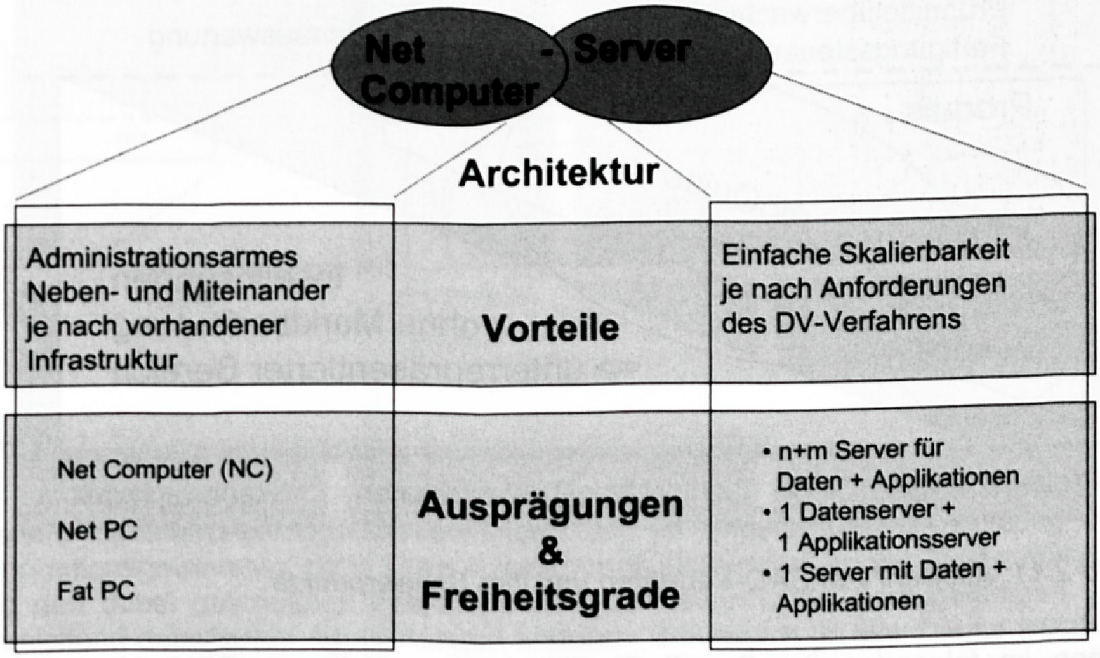


Bild 2.10: Vorteile und Ausprägungen der NC-Server-Architektur

Auf Serverseite steht die einfache Skalierbarkeit im Vordergrund. In Abhängigkeit von den Anforderungen des jeweiligen DV-Verfahrens kann mit einem Server gearbeitet werden oder es kann eine Aufteilung zwischen Datenbank und Applikationen vorgenommen werden. Dabei spielt es für den Benutzer keine Rolle und für den Administrator nur eine untergeordnete Rolle, ob sich die Applikationen und Daten ganz oder teilweise im örtlichen LAN, im Intranet oder Internet befinden.
Letztlich sind es die aufgezeigten Freiheitsgrade, die Anlaß sind zu berechtigten Hoffnungen, die Total Cost of Ownership zu senken.

2.2.3 Schwerpunkte marktgängiger QDV-Systeme

Es tummeln sich eine Reihe von CAQ-Systemen auf dem Markt. Sie decken meist nur einzelne Themenfelder innerhalb des Themenspektrums ab und übergreifende, integrierte Lösungen sind die Ausnahme /141/.
Unterrepräsentiert im Bereich der Elektronikproduktion sind vor allem die Themenfelder: Sichtprüfung, Testautomaten, Reparaturplatzanbindung/-versorgung, und zu einem Teil auch die Prüfdatenauswertung (Bild 2.11). Dagegen ist das Aufgabenfeld Prüfmittelüberwachung und Fertigungssteuerung vergleichsweise gut abgedeckt.

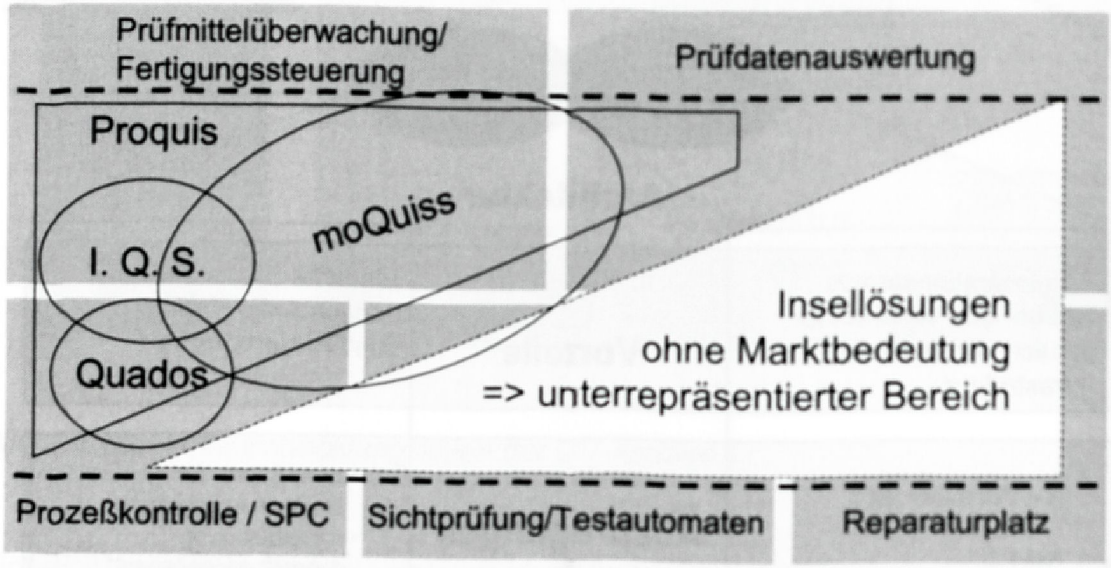


Bild 2.11: Auswahl von CAQ-Verfahren und ihre Schwerpunkte

Wenn im folgenden der Begriff Qualitätsdatenverarbeitung (QDV) Verwendung findet, so werden darunter Prüf- und Reparaturdaten verstanden, welche prozeßorientiert ausgewertet werden können. Nicht unter den Begriff QDV fällt die Verarbeitung von Prozeß- und Prüfmitteldaten und Daten, die der Fertigungssteuerung dienen.

2.3 Stand und Defizite im Umfeld der QDV

Es gibt in der Produktion und in Planungsabteilungen in der Elektronikindustrie noch erhebliches Optimierungspotential in verschiedenen Bereichen. Vier in diesem Zusammenhang bedeutsame Themenbereiche sind in Bild 2.12 dargestellt.
An vielen Stellen in der Produktion findet man noch Papier vor. Ein großer Schritt in Richtung papierlose Produktion ist machbar, wenn die mit viel Zeiteinsatz auf Papier erstellten und gepflegten Prüfanweisungen von dv-technisch erstellten abgelöst werden können. Auch im Bereich der Datenerfassung, gerade im Prüf- und Reparatursektor, wird bei manueller Datenerfassung aus Zeitgründen auf den notwendigen Detaillierungsgrad der zu erfassenden Prüf- und Fehlerattribute verzichtet.

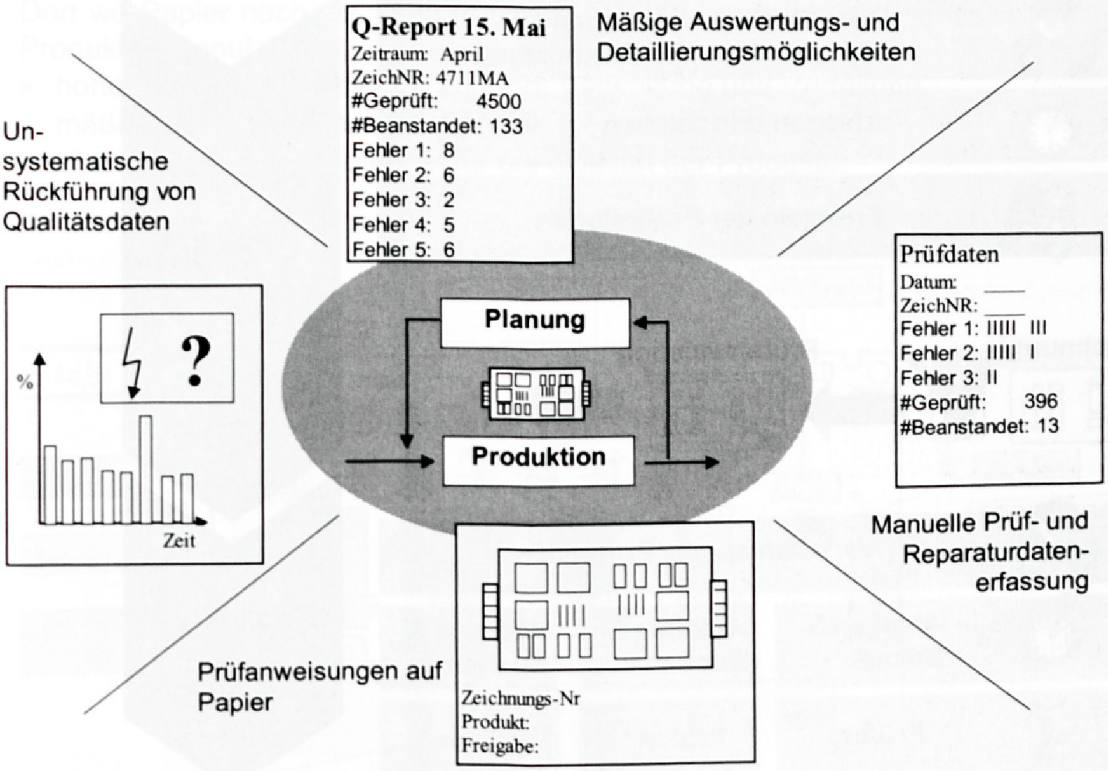


Bild 2.12: Optimierungspotential in Planung und Produktion

Weitere Optimierungsmöglichkeiten finden sich im Bereich Datenverdichtung und Informationsgewinnung, denn ohne ausreichende Detaildaten zu den Prüfvorgängen und den dabei gefundenen Fehlern, lassen sich auch keine aussagefähigen und hinreichend detaillierten Auswertungen erstellen. Schließlich ist das Thema Nutzung und Umsetzung der Informationen, die aus Qualitätsberichten gewonnen werden können, noch stark optimierungsfähig. Vielfach werden in den Betrieben die zur Verfügung stehenden Auswertungen nur unregelmäßig und unsystematisch genutzt.

2.3.1 Zeitaufwendiger Umgang mit Prüf- und Reparaturanweisungen auf Papier

In vielen Betrieben besteht noch Handlungsbedarf, die Datenübernahme aus dem CAD-Bereich auszubauen. Weniger als ein Drittel der Unternehmen nutzen laut /71/ CAD-Daten in den Bereichen Qualitätssicherung/PPS.
Der folgende Erläuterungstext zu Bild 2.13 kann demnach als treffende Beschreibung für die Situation in mehr als zwei Drittel der Betriebe gelten.

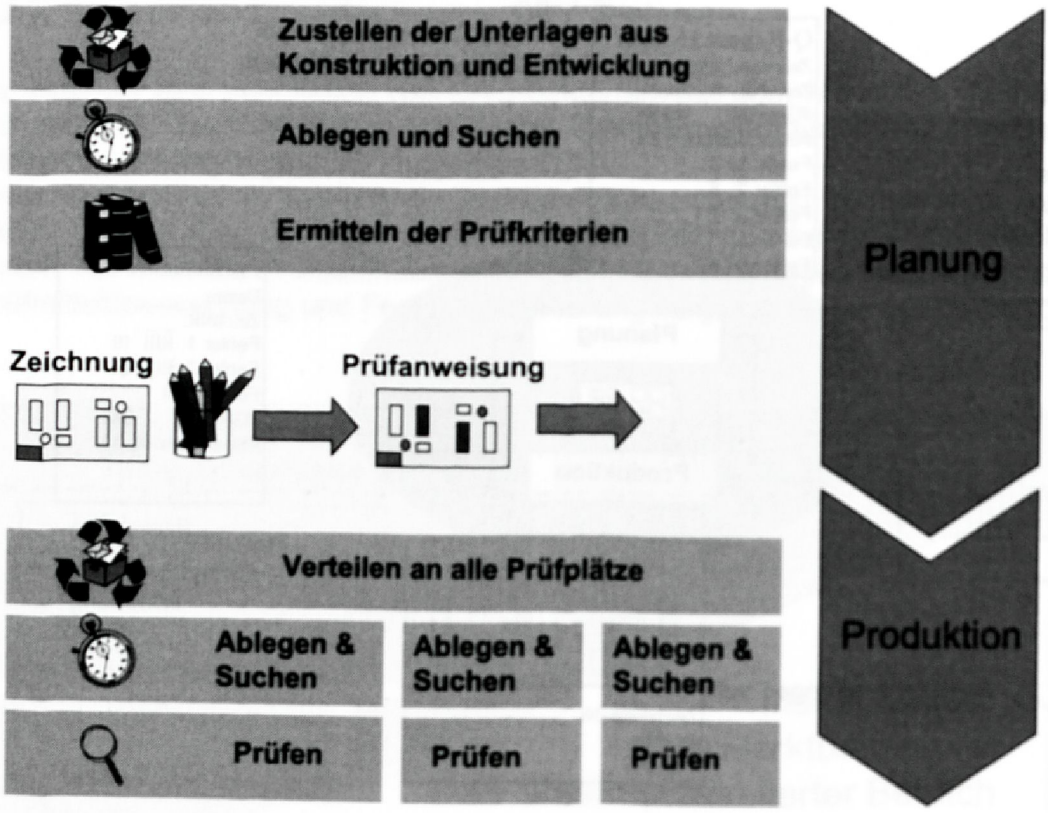


Bild 2.13: Bearbeitungsfolgen der Prüfanweisung auf dem Weg durch Planung und Produktion

Der Abteilung Produktionsplanung werden zu einem bestimmten Zeitpunkt Konstruktionsunterlagen aus der Entwicklung zugestellt. Wenn mit der Erstellung der Prüfanweisungen nicht sofort begonnen werden kann, werden die Unterlagen abgelegt und zu einem späteren Zeitpunkt wieder herangezogen. Zu gegebener Zeit werden von einem Planungsmitarbeiter die Prüfkriterien ermittelt und festgelegt. Die Prüfanweisung kann textuell auf ein oder mehreren Blatt Papier festgehalten sein, die danach an die Prüfer weitergegeben werden. In vielen Fällen entsteht die Prüfanweisung aus einer Konstruktionszeichnung, die textuell und farblich ergänzt wird (Bild 2.14). Eine Grafik, eventuell noch koloriert, ist für die betroffenen Mitarbeiter anschaulicher und damit schneller erfaßbar als reiner Text. Das nun folgende Verteilen der Prüfanweisung auf die einzelnen Prüfplätze und das Versionsmanagement wird zwar von der Planungsabteilung angestoßen, oftmals jedoch von Produktionsmitarbeitern durchgeführt. Die Prüfanweisung wird an allen relevanten Plätzen abgelegt, zu gegebener Zeit wieder herausgesucht und dient dann als Grundlage zum Prüfen.

Das beschriebene Vorgehen birgt mehrere Nachteile, die, wenn sie mit geeigneten Mitteln beseitigt werden können, ein enormes Verbesserungspotential darstellen, auch im Sinne von Poka Yoke (Methode zur Vermeidung von unbeabsichtigten oder zufälligen Fehlern) /8,57/. Sowohl das Heraussuchen der jeweils richtigen Prüfpläne wie auch das Verteilen aktualisierter oder neuer Pläne an alle Prüfplätze in der Produktion sind zeitaufwendige Vorgänge, die zudem eine Verwechslungs- und Fehlergefahr in sich bergen.

Dort wo Papier noch als Trägermedium für Prüf- und Reparaturanweisungen in der Produktion genutzt wird, ist es begleitet von:

- hohem Aufwand bei der Erzeugung, Verwaltung und Verteilung,
- mäßiger Aktualität bezüglich der Inhalte, und damit
- einem Gefährdungspotential für die Qualität der Produkte.

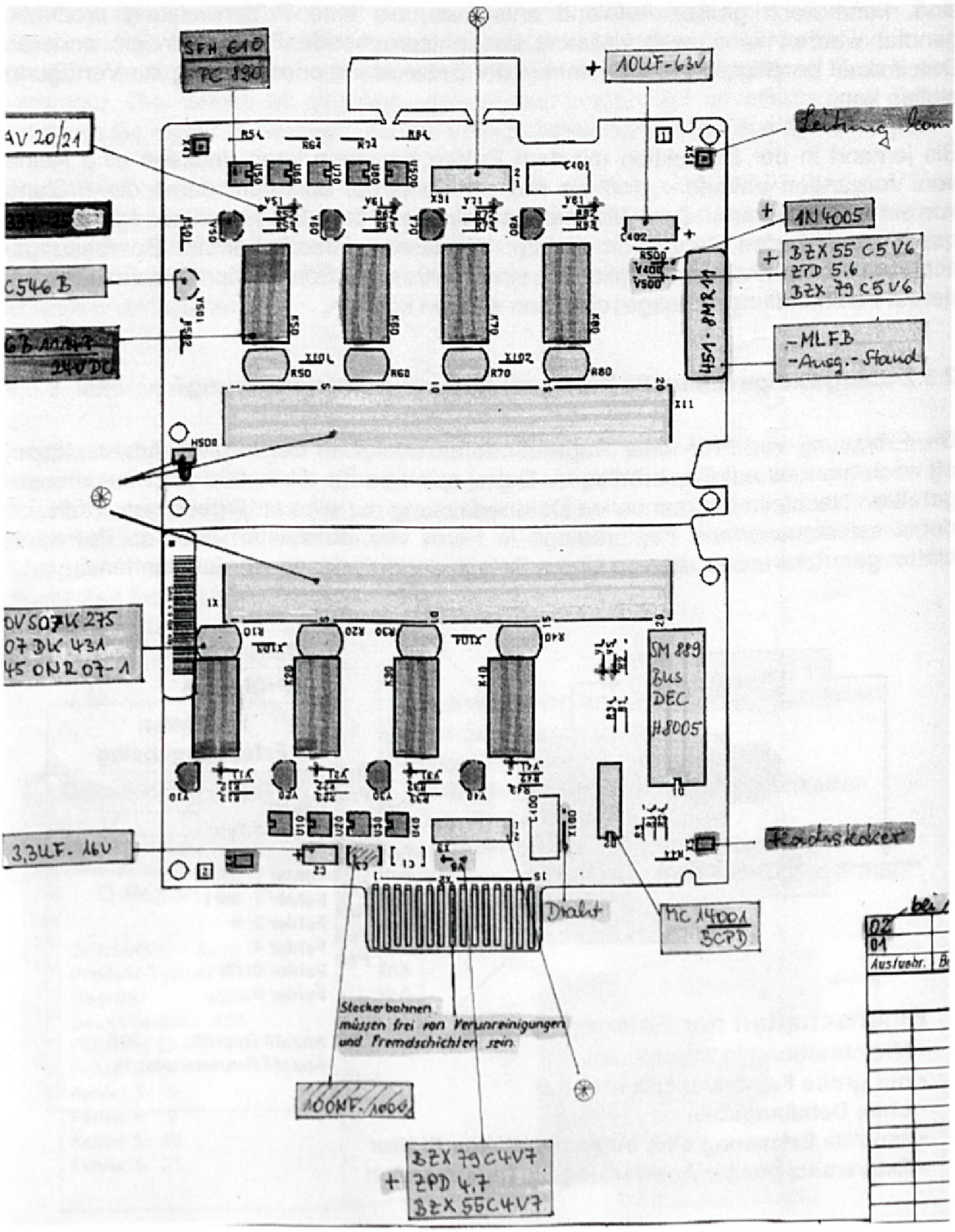


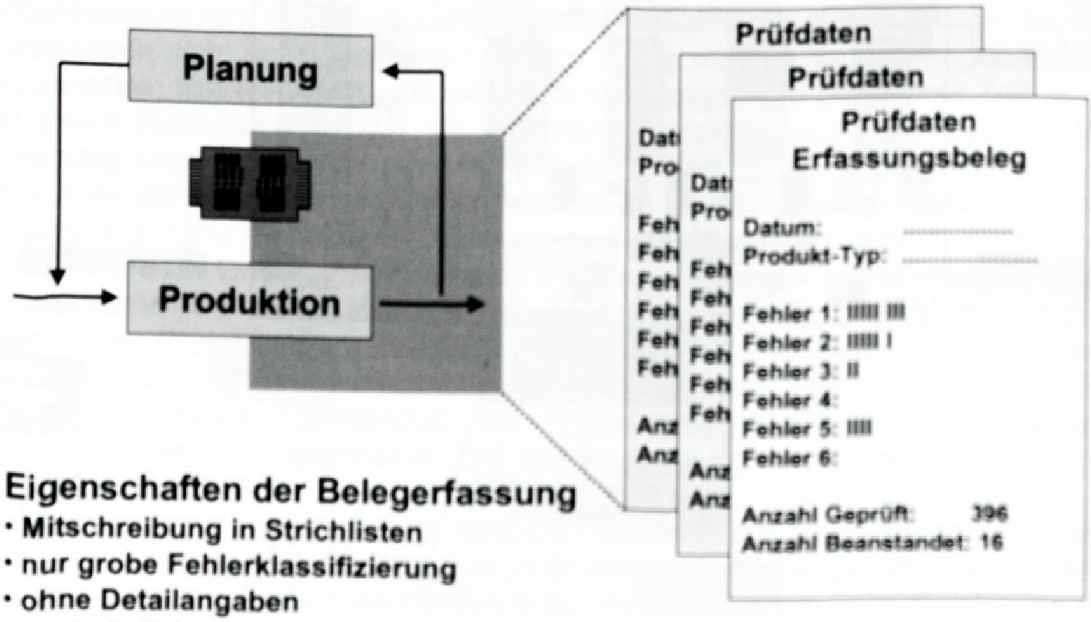
Bild 2.14: Manuell kolorierter und gepflegter Prüfplan für die Sichtprüfung von bestückten Leiterplatten auf Basis einer Konstruktionszeichnung

Auch in Werken, in denen z.B. Prüfanweisungen dv-technisch vorhanden sind, ist immer noch nicht gewährleistet, daß sie ohne zeitaufwendige Zwischenschritte zum Mitarbeiter in die Produktion gelangen. Es kann sein, daß die Prüfanweisung ausgedruckt und danach verteilt werden muß, weil nicht alle Arbeitsplätze, die die Prüfanweisung benötigen, mit der entsprechenden Hardware ausgestattet sind.
Selbst wenn die Hardware und die entsprechende Infrastruktur (z.B. LAN) vorhanden sind, kann noch großer Aufwand entstehen, bis eine Prüfanweisung produktiv genutzt werden kann, weil vielleicht das entsprechende Prüfsystem ein anderes Dateiformat benötigt, als das System in der Entwicklung oder Planung zur Verfügung stellen kann.

Bis jemand in der Produktion mit dem Prüfen beginnen kann, müssen eine Reihe von Vorgängen ablaufen. Und sie müssen fehlerfrei ablaufen, damit die Prüfung korrekt erfolgen kann. Zwei Maßnahmen sind auf dem Weg zu einer fehlerfreien, qualitätsorientierten Produktion wichtig: Weglassen fehlerbehafteter Bearbeitungsschritte und, wo das nicht möglich ist, ein Ersetzen der Schritte durch einfachere, bei denen Fehlhandlungen ausgeschlossen werden können.

2.3.2 Langwierige manuelle Prüf- und Reparaturdatenerfassung

Die Erfassung von Prüf- oder Reparaturdaten erfolgt an dezentralen Arbeitsplätzen oft noch manuell auf Papierbelegen. Dabei spielt es für die in Bild 2.15 zusammengefaßten Nachteile der manuellen Datenerfassung nur eine untergeordnete Rolle, ob dabei selbstentworfene Papierbelege in Form von Strichlisten oder ob Formularblätter genutzt werden, die von einem Belegleser eingelesen werden können.



Eigenschaften der Belegerfassung

- **Mitschreibung in Strichlisten**
- **nur grobe Fehlerklassifizierung**
- **ohne Detailangaben**
- **zentrale Erfassung aller eingesammelten Blätter**
- **Zeitversatz bis zur Auswertung im Tagesbereich**

Bild 2.15: Manuelle Datenerfassung bei Prüfung und Reparatur

Grundsätzlich verursacht das Erfassen der Daten während oder nach dem Prüfen Aufwand. Je detaillierter die Daten erfaßt werden sollen, desto größer wird der zeitliche Aufwand. Daher wird aus Erfassungsgründen die Fehlerklassifizierung so grob wie möglich gehalten werden und es ist nicht möglich, zu jedem Fehler alle Detailangaben zu erfassen, wie Einbauplatz, Hersteller oder Art der Bestückung. Zu bestimmten Zeiten, am Ende einer Schicht oder eines Arbeitstages, werden die ausgefüllten Belege eingesammelt und ausgewertet. Dies verursacht wiederum Aufwand, und die betroffenen Mitarbeiter sind versucht, diesen zu minimieren, indem sie die Belege nicht konsequent von allen Plätzen zu allen festgelegten Zeiten einsammeln. Die Gefahr ist gegeben, daß Auswertungen auf unvollständigen Daten erfolgen, die nicht nur Stunden, sondern möglicherweise schon Tage zurückliegen.

Wenn noch hinzukommt, daß die Mitarbeiter, die die Belege ausfüllen, über den Sinn und Hintergrund dieser Tätigkeit nicht ausreichend informiert sind und keinen Nutzen darin sehen, dann wird das Ausfüllen der Belege entsprechend unmotiviert erfolgen. Fehlerhaft und unvollständig ausgefüllte Belege können dann das Auswerteergebnis erheblich verfälschen.

2.3.3 Mäßige Auswertungs- und Detaillierungsmöglichkeiten von Q-Daten

Angenommen die erfaßten Prüf- und Fehlerdaten sind alle korrekt, so ist damit noch keine Transparenz im Fehlergeschehen gegeben. Wenn Datenauswertungen lange Auswertungs- und Wartezeiten verursachen, werden sie nur selten genutzt werden. Dann kommt in der Praxis oftmals hinzu, daß die Inhalte der Auswertung wegen fehlender Parametrierungsmöglichkeiten unverrückbar feststehen, auf einem vor langer Zeit festgelegten Strukturaufbau.

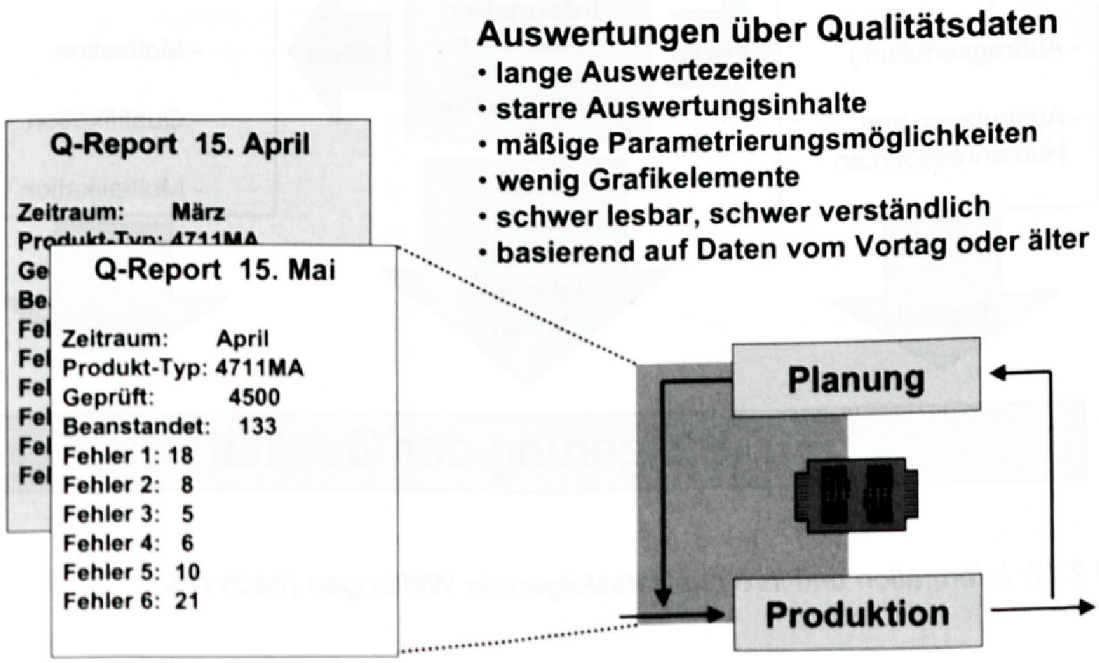


Bild 2.16: Auswertungs- und Detaillierungsmöglichkeiten konventioneller Qualitätsdatenauswertungen

Der Anwender hat damit nur sehr beschränkte Möglichkeiten, an die Information zu gelangen, die er benötigt. Auch Auswertungen ohne aussagefähige Kennzahlen und mit einem geringen Detaillierungsgrad bieten dem Anwender nicht die Information, die er braucht, um mögliche qualitätssteigernde Maßnahmen gegeneinander abwägen zu können. Wenn die Daten zeitaufwendig ausgewertet werden müssen, nicht gut aufbereitet sind und unübersichtlich dargestellt werden, dann werden die Anwender ein solches Auswertesystem relativ selten nutzen.

2.3.4 Unsystematische betriebliche Kommunikation über Qualitätsinformationen

In der Praxis erfolgt die Ermittlung und Weitergabe von Qualitätsinformationen oft verspätet und unkoordiniert. Wenn die Rückkopplung von Information in die Fertigung/Planung oder in die Entwicklung nur vom persönlichen Engagement einzelner Mitarbeiter abhängt und nicht systematisiert wird, dann führt das zu Totzeiten im Qualitätsregelkreis und zu Zufallswissen bei den Mitarbeitern.
Eine optimale betriebliche Kommunikation ist die Voraussetzung eines erfolgreichen Qualitätsmanagements /15/. Zum einen muß allen Mitarbeitern im Unternehmen ein neues, an TQM orientiertes Qualitätsbewußtsein vermittelt werden und zum anderen müssen Informationen, die in Qualitätsdatenauswertungen zur Verfügung stehen, den Mitarbeitern nahegebracht werden. Qualitätsinformationen helfen direkt und indirekt die Qualität von Produkten und Dienstleistungen zu steigern (Bild 2.17): Direkt über den Abbau von Kenntnislücken und die Bereitstellung von aktuellen Daten. Indirekt über die Wirkung der Qualitätsinformation auf die Mitarbeiter im Hinblick auf Motivation, Qualifikation und Multiplikation.

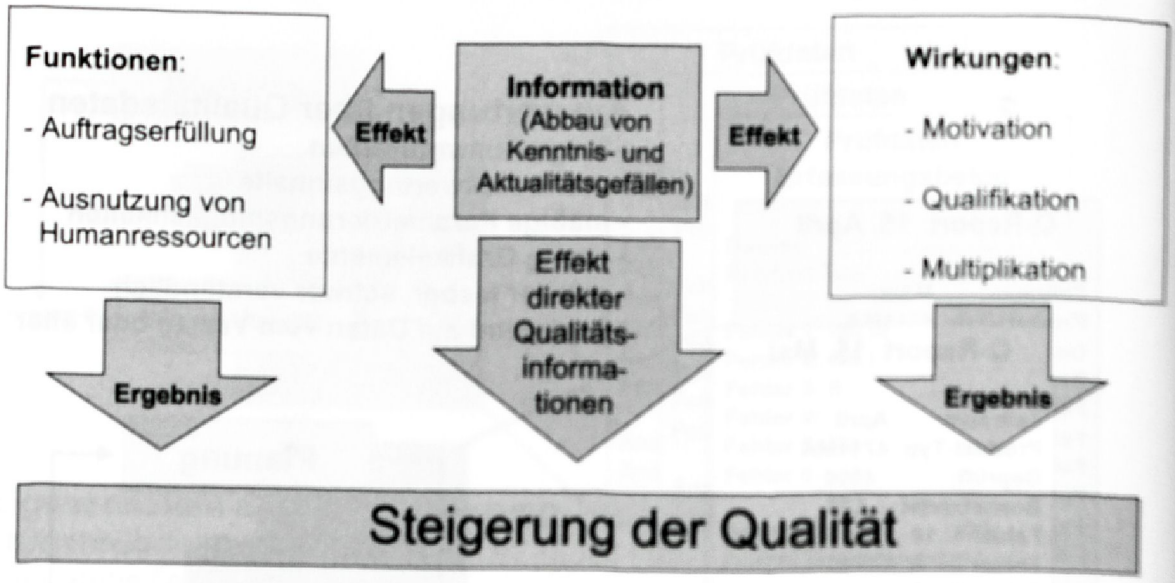


Bild 2.17: Information und ihre qualitätssteigernde Wirkungen (nach /15/)

Bei der direkten wie bei der indirekten Wirkung der Qualitätsinformation auf die Qualitätssteigerungen kommen qualitätshemende und qualitätsfördernde Einflüsse zum Tragen. Die qualitätshemmenden Faktoren sind vor allem in motivationshemmenden Einflüssen und unverständlichen oder gar irreführenden Darstellungen zu sehen. Wichtiges Ziel eines Konzepts zur Qualitätsdatenverarbeitung kann demnach eine Verstärkung der direkten und indirekten Wirkung von Qualitätsinformationen auf die Qualitätssteigerung durch eine **systematische betriebliche Kommunikation** sein. Letztere muß - und das gilt nicht nur für Daten zur Produktqualität - flankiert werden von einem Auswertekonzept, welches aktuelle Auswertungen in verständlicher Weise darstellt. Das heißt, aus nüchternen Daten des Systems müssen aufhellende Informationen für betroffene und interessierte Mitarbeiter werden.

Meist liegt die Verantwortung für die dem Berichtswesen zugrunde liegenden Auswertungen im Planungsbereich. Das Berichtswesen einiger Werke ist noch geprägt von einer in weiten Bereichen des Werkes unsystematischen Qualitätsdatenanalyse. Wirkungsvolle Ansätze zur Fehlerverhinderung im Produktionsprozeß werden erschwert durch stark produktorientierte Auswerteinhalte. Dadurch wird der Blick auf fehlerverursachenden Prozesse eher verstellt. Wenn die Mitarbeiter in der Produktion und das Management eines Werkes nicht die gleichen Wertmaßstäbe anlegen oder gar auf unterschiedliche Ziele eingeschworen sind, dann ist es nur natürlich, daß Auswertungen und Kennzahlen sehr unterschiedlich interpretiert werden. Dieser Zustand ist auch daran erkennbar, daß die Einleitung von geeigneten Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung durch die jeweils Verantwortlichen nicht selbstverständlich ist, sondern vom Engagement einzelner Mitarbeiter abhängt. Mangelnde oder unsystematische betriebliche Kommunikation kann diesen Zustand nur noch verstärken, womit die Bedeutung einer systematischen betrieblichen Kommunikation nochmals unterstrichen wird.

3 Qualitätsdatenverarbeitung in der Elektronikproduktion

Unter dem Druck des Wettbewerbs sind ständige Produktivitäts- und Qualitätssteigerungen erforderlich /74/. Um auf diesen Gebieten ein führendes Unternehmen zu bleiben oder zu werden, ist bei neuen Technologien und Abläufen ein schnelles Erreichen eines beherrschten Prozesses unabdingbar. Die Elektronikproduktion hat im Vergleich zu anderen Fertigungstechnologien folgende Rahmenbedingungen aufzuweisen, die das rasche Erreichen einer beherrschten, qualitätsfähigen Produktion behindern:

- kurze Innovationszyklen bei Produkten und Prozessen
- anhaltender Miniaturisierungstrend
- starke Abhängigkeit von Umgebungseinflüssen
- viele Fügeoperationen und Lötverbindungen je Baugruppe
- nur qualitative Aussagen für wichtige Qualitätsmerkmale
- komplexes Zusammenspiel fertigungstechnischer Einflußgrößen über mehrstufige Prozeßkette hinweg /121/

Die Anforderungen, Fehlerzustände frühzeitig aufzuspüren und kontinuierliche Verbesserungen erkennen und verfolgen zu können, erwachsen aus dem Bestreben, schnell einen beherrschten Prozeß zu erreichen und bilden die Rahmenkonstellationen, in denen Qualitätsdatenverarbeitung in der Elektronikproduktion betrieben wird. In diesem Zusammenhang wird auch die Bedeutung einer prozeßbegleitenden Qualitätssicherung erkennbar.

Bild 3.1: Veränderung der Nutzungsschwerpunkte von Prüf- und Fehlerdaten beim Übergang zu prozeßbegleitender Qualitätssicherung

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs „Produktionssysteme in der Elektronik" /37/ wird dem Thema prozeßbegleitende Qualitätssicherung ein eigenes Teilprojekt gewidmet. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit erfolgt jedoch eine bewußte Fokussierung auf Prüf- und Fehlerdaten sowie auf Produktdatenerfassung, -verarbeitung und -auswertung. Der Grund liegt in der Bedeutung, die ein professionelles Prüf- und Produktdatenmanagement erlangen kann. Denn in den zeitlichen Phasen sowohl vor als auch nach der Einführung einer prozeßbegleitenden Qualitätssicherung /38/ ist eine Prüfdatenbetrachtung ein wichtiges Hilfsmittel zur Verbesserung der Qualität und Steigerung der Produktivität (Bild 3.1). In der Phase davor, weil auch ohne prozeßbegleitende QS ein Instrumentarium benötigt wird, das es erlaubt, Fehlerschwerpunkte zu erkennen. Denn bei Kenntnis der Fehlerschwerpunkte ist es in vielen Fällen möglich auf die Fehlerursachen zu schließen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Qualitätslage allgemein noch nicht erstklassig ist. Daneben ist es wichtig, Veränderungen im Qualitätsgeschehen zu protokollieren. Das gilt besonders, wenn man nach Einführung von prozeßbegleitender QS oder anderen Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung deren Wirkung erkennen will, denn nicht alle eingeleiteten Maßnahmen führen zu Verbesserungen. Manche verpuffen ohne Wirkung.

3.1 Ziele und Anforderungen

Anforderungen an Systeme sind stark geprägt vom Umfeld, in dem die Systeme einmal funktionieren müssen. Die Elektronikproduktion ist einem schnellen technischen Wandel unterworfen und großen Entwicklungssprüngen ausgesetzt. Ein System, das sich in diesem Umfeld bewähren will, muß sich demzufolge durch Flexibilität und Offenheit auszeichnen.
Weitere Anforderungen resultieren aus dem Zusammenhang, daß auch die Qualitätsdatenverarbeitung (QDV) wichtige Werksziele unterstützen muß: Produktivitätssteigerungen und die dahinterstehenden Ziele wie Q-Steigerungen und Kostenreduzierung sind im hart umkämpften Elektronikmarkt überlebenswichtig. Einige Anforderungen resultieren auch daraus, daß sich viele Unternehmen TQM verschrieben haben und sich auf dem „Weg zu TQM" befinden. QDV kann ein Unternehmen auf diesem Weg begleiten und unterstützen.

3.1.1 Qualitäts- und Prozeßoptimierung

Die Bedeutung aller Bemühungen in Richtung einer Optimierung von Qualität und Produktionsprozessen kann dadurch unterstrichen werden, daß alle Verbesserungen auf dem Qualitätssektor und im Prozeßablauf auch die Kostensituation nachhaltig verbessern können.

Paperless Production

Prozesse müssen beschrieben werden. Gerade wenn sie nicht ganz einfacher Natur sind und hohen Qualitätsansprüchen genügen müssen. Sind nun im Umfeld eines schnellen technischen Wandels die Prozesse (z.B. Produktionsabläufe, Prüfanweisungen) in Papierform beschrieben, so birgt das auf Dauer Gefahren und erhöhten Aufwand. Ein hoher Aufwand fällt dann an, wenn jegliche Änderung in den Prozeßabläufen konsequent neu dokumentiert und gewissenhaft an alle relevanten Stellen verteilt wird. Gefahren in Form von Qualitäts- und Kosteneinbußen verbergen sich dahinter, wenn nicht jede Änderung in den Beschreibungen nachgezogen wird oder die geänderten Dokumente nicht konsequent verteilt werden.

Durch eine verstärkte Hinwendung zu papierloser Produktion können die genannten Aufwände und Gefahren deutlich minimiert werden:

- Zeit- und wegeintensive Papierverteilung entfällt
- Keine alten Prüfpläne und andere Dokumente im Umlauf
- Personalkosten für die Papierverteilung entfallen
- Papierkosten verringern sich deutlich (möglicherweise steigt der Speicherplatzbedarf leicht an)
- Fehlerkosten können wegen steigender Qualität reduziert werden

Ein hohes Nutzenpotential liegt vor allem in den Produktionsbereichen, wo vielen Mitarbeitern ständig aktuelle Information zur Verfügung stehen muß, z.B. in Form von produktspezifischen Prüfanweisungen. Auch in Bereichen, in denen eine hohe Verwechslungsgefahr vorliegt, bringt eine papierlose Produktion deutliche Vorteile. Als Beispiele können hier die Sichtprüfung von bestückten Leiterplatten oder der Reparaturbereich gelten, wo z.B. einem defekten Produkt ein Prüfergebnis oder eine Reparaturanweisung zugeordnet werden muß.

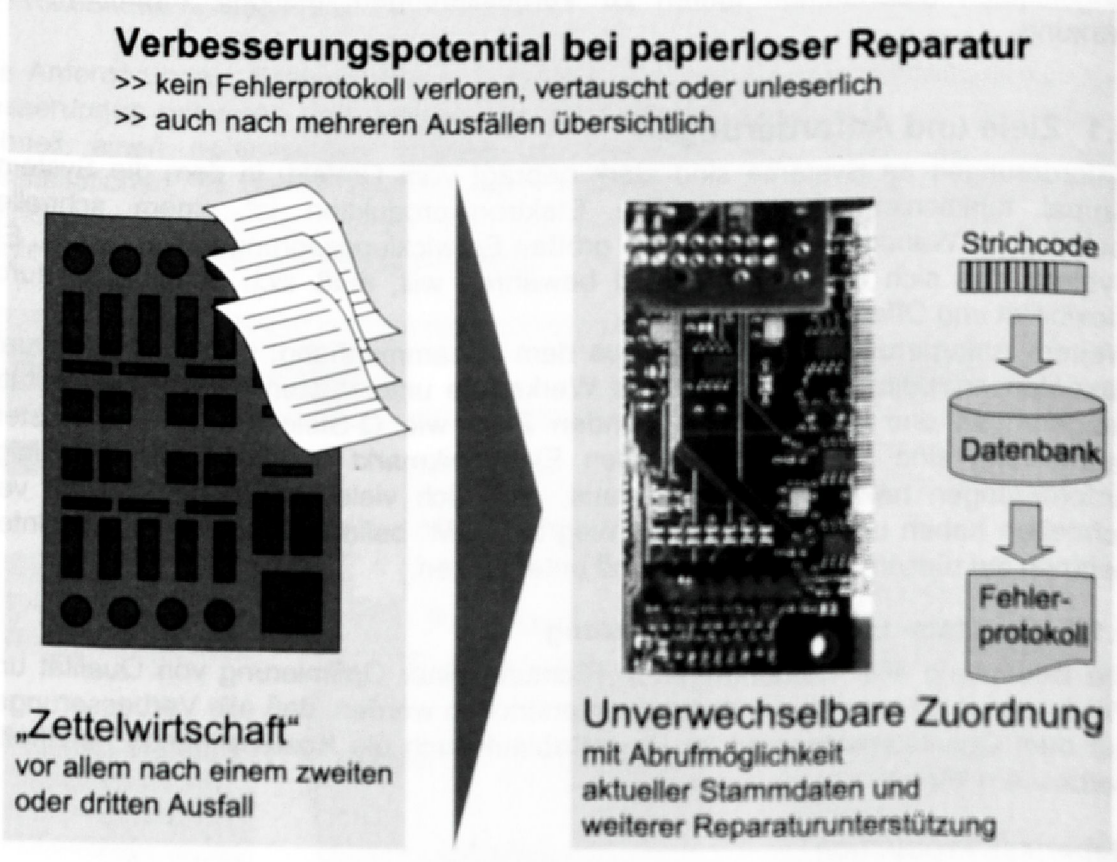


Bild 3.2: Vorteile beim Übergang zu papierloser Reparatur

Minimierung des Bedieneraufwands

Ein verringerter Bedieneraufwand trägt zu einer Qualitäts- und Kostenoptimierung bei, da bei weniger durchzuführenden Aufgaben auch nur noch bei diesen wenigen Aufgaben Fehlbedienungen möglich sind. Wenn es zudem gelingt, die verbleibenden Bedieneraufgaben nicht komplexer werden zu lassen, sondern sie zu vereinfachen, dann ist dies eine weitere gute Ausgangsbasis für Fortschritte auf der Qualitäts- und

Kostenseite. Durch weniger und einfacher durchzuführende Aktionen sinkt das schwer kalkulierbare Fehlerrisiko, das der Mensch in eine Prozeßkette einbringt. Erfolgversprechende Ansatzpunkte für eine Reduzierung des Bedieneraufwands sind die **Datenerfassung und die Grunddatenpflege**.
In Auswertungen werden weitere Details zu den Fehlern und anderen Daten gefordert, also müssen die Daten detaillierter erfaßt werden. Zugleich soll aber z.B. an Sichtprüfplätzen der Zeitanteil der Datenerfassung an der gesamten Prüfzeit nicht erhöht werden. Ganz im Gegenteil: Er muß aus Kostengründen gesenkt werden.
Analog verhält es sich bei der Grunddatenpflege: Für verbesserte und aussagefähigere Auswertungen sind neue Grunddaten erforderlich. Auch hier ist es so, daß der personelle Aufwand nicht erhöht, sondern nach Möglichkeit verringert werden soll. Weitere Aspekte, speziell zum Thema Bedienerführung finden sich in Kapitel 3.1.2.

Transparenz im Prüf- und Fehlergeschehen

Eine Möglichkeit, die Transparenz im Qualitätsgeschehen zu erhöhen, stellt eine verbesserte Datendetaillierung dar. Damit läßt sich im einfachsten Fall erkennen und statistisch auswerten, wieviele Prüfungen durchgeführt und wieviele Fehler dabei entdeckt wurden. Mit detaillierteren Daten (z.B. gruppiert nach Fehlerarten je Produkt) können fundiertere Entscheidungen getroffen werden, die wiederum die zukünftige Kostensituation nachhaltig beeinflussen (Priorisierung von Produkten bzgl. Weiterentwicklung oder Produktablösungen, gezielte Einführung neuer Produktionsverfahren).
Die Datendetaillierung für sich allein erzeugt noch keine Transparenz: Eine detaillierte Liste kann sehr unübersichtlich und verwirrend sein. Wichtig ist daher noch eine optimierte, zielgerichtete Aufbereitung und Darstellung der Detaildaten in den entsprechenden Auswertungen.

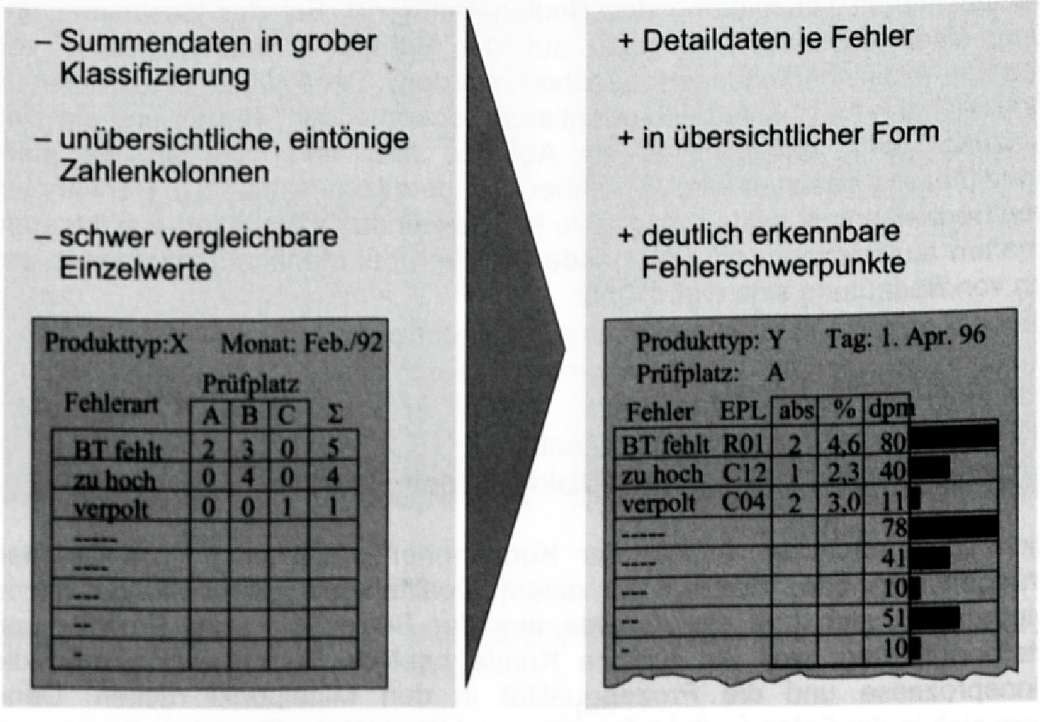


Bild 3.3: Beispiel zu Datendetaillierung in übersichtlicher Form

Gezielte Maßnahmen, statt Versuch und Irrtum

Für fast alle Fehlersituationen gibt es geeignete Abhilfemaßnahmen, mit denen sich die Fehler abwenden lassen. Problematisch ist meist, aus einer langen Liste mit mehr oder weniger geeigneten Maßnahmen die erfolgversprechendste und nach Möglichkeit auch kostenoptimale Maßnahme auszuwählen. In anderen Fällen, in denen Unklarheit herrscht über die Fehlerursachen, ist es wichtig, den richtigen Fachmann zur Problemlösung hinzu zu ziehen. Weil ein solcher aber nicht immer erreichbar ist oder auch nicht immer Zeit hat, kommt es immer wieder vor, daß nach dem Prinzip „Versuch und Irrtum" eine mögliche Fehlerbehebungsmaßnahme nach der anderen ausprobiert wird. Die in diesem Zusammenhang vergeudete Zeit und die anfallenden Kosten gilt es zu minimieren.
Einen wichtigen Beitrag zur Qualitäts- und Prozeßoptimierung kann hier ein Mechanismus leisten, der auf der Basis aller verfügbaren Daten den Anwendern fundierte Vorschläge in Form von Abhilfemaßnahmen zu einer gegebenen Fehlersituation an die Hand gibt.

3.1.2 Anforderungen zur Verbesserung der Kunden und Mitarbeiterorientierung

Prozeß-, Mitarbeiter- und Kundenorientierung der eingesetzten Teilsysteme und Teilfunktionen

Prozesse in der Produktion und im Umfeld der Produktion sollen im Mittelpunkt des Denkens der Mitarbeiter stehen. Das Denken in Prozessen darf nicht erschwert werden, sondern muß von einem QDV-System unterstützt werden. Die Prozesse müssen sich in den Hilfsmitteln wiederfinden. Damit wäre auch schon ein Stück Mitarbeiterorientierung erbracht. Ein anderer Aspekt der Mitarbeiterorientierung ist der Bedienkomfort eines Systems. Dazu finden sich bereits Ausführungen in 3.1.1 unter der Überschrift Minimierung des Bedieneraufwand. Bei der Gestaltung und Einführung eines QDV-Systems muß auf die Schaffung und Erhaltung von motivierenden Arbeitsbedingungen geachtet werden. Denn über entsprechende Arbeitsbedingungen kann Mitarbeiterorientierung dokumentiert werden und sie sind Voraussetzung dafür, daß Qualität als Aufgabe aller und nicht als die einer speziellen Abteilung gesehen wird /3/. Neben der bereits in Kapitel 3.1.1 erwähnten „einfachen Bedienbarkeit" sollte sich das zu konzipierende QDV noch durch folgende Eigenschaften auszeichnen, die unter anderem auch bei Managementinformationssystemen von Bedeutung sind (vgl. /125/):

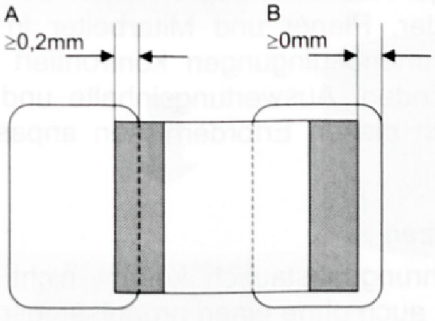
- Konsequent maus- und menügesteuerte Anwendungen
- Informationsbereitstellung sowohl automatisch durch das System als auch auf Anforderung durch den Bediener
- Rasche Erlernbarkeit auch ohne Vorkenntnisse
- Kurze Antwortzeiten des Systems im Dialog mit dem Bediener

Schließlich spielt auch der Aspekt der Kundenorientierung eine Rolle bei den Anforderungen und dem Konzept zu einem Qualitätsdatenverarbeitungssystem. Doch wiederholen sich hier die Aspekte aus der Betrachtung der Prozeß- und Mitarbeiterorientierung, weil der externe Kunde bestens bedient wird, wenn die Produktionsprozesse und die Prozeßqualität in den Mittelpunkt rücken. Dann verbessern sich in der Folge auch Lieferzeiten und Qualität der Produkte. Bleibt noch

der interne Kunde, doch dessen Anforderungen in seiner Rolle als Mitarbeiter sind bereits in den Überlegungen zur Mitarbeiterorientierung berücksichtigt.

Offenheit des Systems gegenüber Zusatzfunktionen

Da in der Produktion an verschiedenen Arbeitsplätzen immer mehr Automatisierungslösungen anzutreffen sind, ist als Basissystem eine Anwendung zu bevorzugen, die offen ist gegenüber der Einbindung von Zusatzfunktionen. Von nicht zu unterschätzender Bedeutung für die Anwenderakzeptanz und einen reibungslosen Arbeitsablauf ist z.B. eine einheitliche und vertraute Benutzeroberfläche, die auch bei der Ausübung von Randfunktionen des Arbeitsplatzes nicht verlassen werden muß. An einem Sichtprüf- oder Reparaturplatz sind solche Zusatzfunktionen z.B. die Verwaltung eines Bauteilpaternosters oder das Anfordern von Bauteilen aus einem Paternosterspeicher. Weitere Randfunktionen können der Aufruf eines mit Bildern illustrierten Fehlerkataloges (vgl. Bild 3.4) oder die Anzeige von SPC-Regeln zu den Fehlern an einem bestimmten Arbeitsplatz sein.



Beschreibung des Fehlermerkmals:
SMT-Bauteilanschluß liegt nicht,
oder nur zu einem Teil auf dem Lötpad

Fehler bei:
A < 0,2 mm oder B < 0mm

Fehlertext im Fehlerkatalog:
SMT Versatz

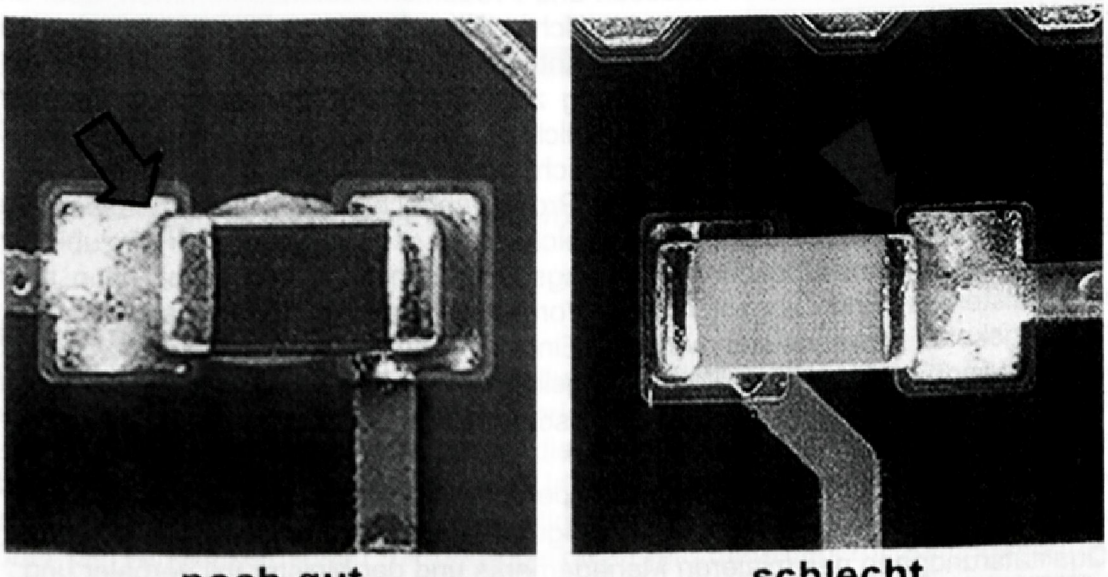


Bild 3.4: Fehlerattribut in Bild und Text als Bestandteil eines on-line abrufbaren illustrierten Fehlerkataloges

Integrierbarkeit in alle relevanten Arbeitsplätze

In der Produktion sind eine Reihe von Arbeitsplätzen anzutreffen, die sich von anderen nur in kleinem Umfang bezüglich der auszuführenden Funktion oder des Aufgabeninhalts unterscheiden. Wird nun für einen Teil der Arbeitsplätze ein System entworfen und implementiert, so ist auf die Integrierbarkeit des Systems in unterschiedliche Arbeitsplätze und Anwendungen zu achten, um nicht für verschiedene Arbeitsplätze mit unterschiedlichen Schwerpunkten die geforderten Funktionen neu entwickeln zu müssen. Auf diese Weise läßt sich nicht nur Entwicklungsaufwand sparen, es reduzieren sich auch die Aufwendungen für Inbetriebnahmen und für die Betreuung im laufenden Betrieb, da gleichartige und dem Betreuungspersonal bekannte Systembausteine zum Einsatz kommen. Schließlich liegt noch ein Vorteil auf Anwenderseite, wenn wegen mangelnder Integrierbarkeit einer neuen Funktion an seinem Arbeitsplatz nicht jedesmal auf neue Plattformen umgestellt werden muß.

Flexibilität bzgl. Datenstrukturen und Auswertungsinhalten

Die Schnelllebigkeit des Elektronikmarkts und der häufige Wandel in den Produktionsprozessen erfordert auch kurzfristige Reaktionsmöglichkeiten bei den produktionsunterstützenden Systemen. Entwickler, Planer und Mitarbeiter in der Produktion sehen sich ständig mit neuen Rahmenbedingungen konfrontiert und müssen Antworten auf neue Fragestellungen finden. Auswertungsinhalte und die dahinter liegenden Datenstrukturen müssen sich diesen Erfordernissen anpassen können.

Organisierten Erfahrungsaustausch unterstützen

Die Forderung nach einem organisierten Erfahrungsaustausch kommt nicht von ungefähr. Die betriebliche Praxis zeigt, daß zwar auch ohne einen organisatorischen Rahmen Verbesserungen an Prozessen und Produkten zustande kommen, aber sie werden getriggert von vielen unterschiedlichen Einzelereignissen und sie kommen, abhängig von der Aufgabenlast der verantwortlichen Mitarbeiter, mit unterschiedlicher Priorität und zeitlicher Verzögerung zum Einsatz. Verbesserungen kommen damit eher zufällig. Von einer „kontinuierlichen Verbesserung", die ein erstrebenswertes Ziel darstellen würde, kann somit nicht gesprochen werden.
Um Verbesserungen kontinuierlich in die Prozeßlandschaft einfließen zu lassen, um alle Produkte und Dienstleistungen zu erreichen und um alle Mitarbeiter einzubinden wird daher ein organisatorischer Erfahrungsaustausch gefordert. Damit kann auch ein konsistentes und abgestimmtes Vorgehen entlang der gesamten Wertschöpfungskette gewährleistet werden. Einem organisierten Erfahrungsaustausch dienen folgende in /3/ vorgestellte Führungsinstrumente des Qualitätsmanagements:

- Qualitätsregelkartengespräche (z.B. zwischen Gruppensprecher und Betriebsingenieur)
- Qualitätszirkel (als Problemlösungsgruppen in wechselnder Zusammensetzung)
- Gruppengespräche (zu Fragen des Fertigungsprozesses etc., nur gruppenintern)
- Qualitätsrundgang des mittleren Managements und der Meister mit verbaler und visueller Fehlerdarstellung
- Qualitätsteam (koordiniert Aktivitäten zum Qualitätsmanagementsystem)
- Mitarbeiterinformation (z.B. zu Programm- und Kapazitätsentwicklungen)

3.1.3 Daten- und Auswertebedarf

Die unter Kapitel 3.1 bisher angeführten Ziele haben starken Einfluß auf weitere Teilaspekte der Qualitätsdatenverarbeitung. Die Auswirkungen werden nun im einzelnen beleuchtet. Zwei wesentliche Teilaspekte der QDV, die vorhandenen Daten und die daraus generierbaren Auswertungen werden in diesem Abschnitt beleuchtet. Die einsetzbaren Berichtsformen und der Umgang mit Maßnahmen folgt im nächsten Abschnitt. Die vier genannten und auch in Bild 3.5 dargestellten Aspekte können damit als wesentliche Einflußfaktoren für die zu konzipierende QDV angesehen werden.

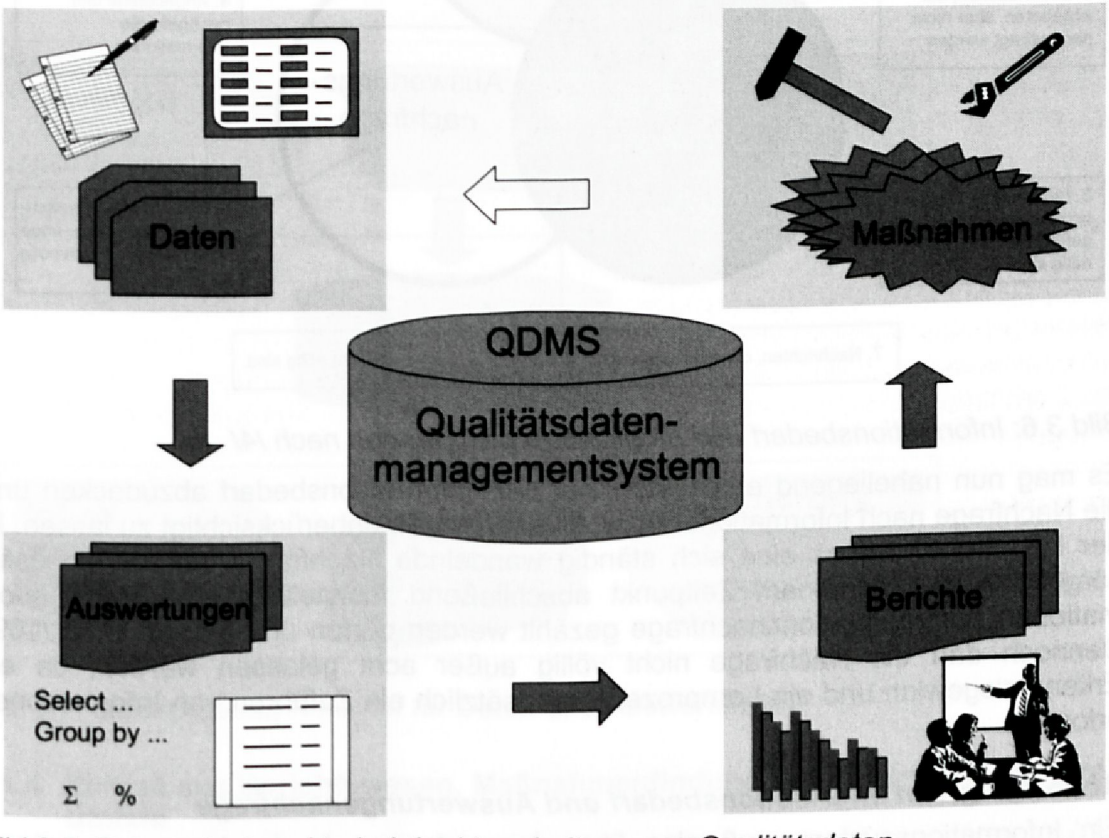


Bild 3.5: Prägende Aspekte bei der Verarbeitung von Qualitätsdaten

Informationsbedarf

Der ingenieurmäßige Ansatz zur Ermittlung des Informationsbedarfs kann sich an einer anschaulichen Grafik nach /4/ orientieren (Bild 3.6). Die modellhafte Vorstellung geht davon aus, daß allein die Aufgaben, Ziele und aktuelle Rahmenbedingungen eines Unternehmens den Informationsbedarf bestimmen /54/. Bei den am Entscheidungsprozeß Beteiligten stimmen die subjektiven Modellvorstellungen über die Wirklichkeit selten mit den objektiven Informationen zur Aufgabenerfüllung überein. Vor diesem Hintergrund kann zwar ein bestimmter Teil, aber niemals der gesamte Informationsbedarf aus den Zielen und Aufgaben einer Stelle (Gruppe, Abteilung, Werk,...) abgeleitet werden /135/.

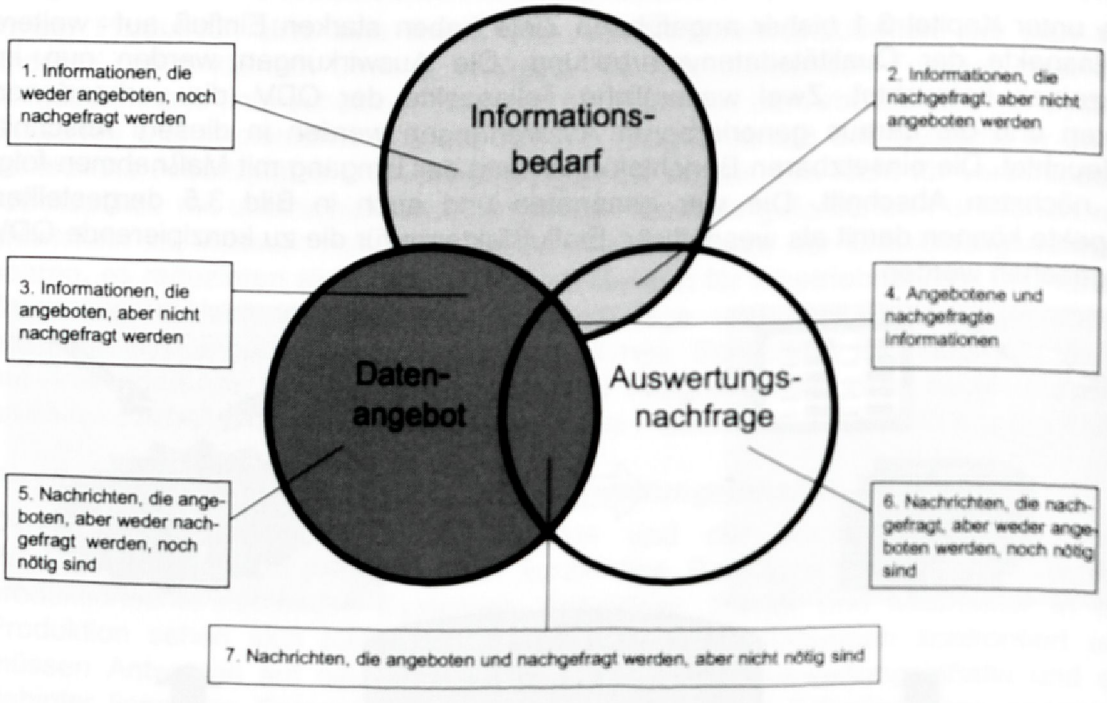


Bild 3.6: Informationsbedarf und mögliche Schnittmengen nach /4/

Es mag nun naheliegend erscheinen, nur den Informationsbedarf abzudecken und die Nachfrage nach Informationen bzw. Auswertungen unberücksichtigt zu lassen. In der Hauptsache ist es eine sich ständig wandelnde Nachfragesituation, die dafür sorgt, daß es zu keinem Zeitpunkt abschließend feststellbar ist, welche Informationen zur Informationsnachfrage gezählt werden dürfen und welche nicht /109/. Dennoch darf die Nachfrage nicht völlig außer acht gelassen werden, da ein Erkenntnisgewinn und ein Lernprozeß grundsätzlich ein Zuführen von Informationen erfordern.

Abdeckung von Informationsbedarf und Auswertungsnachfrage

Ein Informationssystem muß also über Auswertungen in der Lage sein, einem Informationsbedarf und einer Nachfrage ein möglichst adäquates Informationsangebot gegenüberzustellen. Das Unvermögen, den Informationsbedarf im voraus definieren zu können, muß durch eine ausreichende Flexibilität in Bezug auf Informationsgewinnung und -aufbereitung wettgemacht werden /109/. Ein erstrebenswertes Ziel kann demnach ein Auswertekonzept sein, welches durch eine flexible Auswertungskomponente aus dem zur Verfügung stehenden Datenangebot sowohl den Informationsbedarf als auch die darüber hinausgehende Auswertungsnachfrage abdeckt. Auf diese Weise erlaubt die Auswertekomponente eine Maximierung der in Bild 3.6 dargestellten Schnittmengen.

Datenbedarf

Zur Abdeckung des Daten und Auswertebedarfs muß ein **Datenkonzept** erstellt werden (in Kap. 4.1). Ein Datenkonzept weist immer eine enge Beziehung zum Auswerte- und Informationsbedarf auf oder hängt von diesem ab, da Daten in der Regel nicht um ihrer selbst Willen gesammelt werden, sondern um sie auszuwerten.

Dennoch kann man die Daten unabhängig vom Auswertebedarf nach Art und Herkunft unterscheiden. Im Prüfbereich wird bezüglich der Datenart häufig unterschieden nach qualitativen und quantitativen Prüfdaten, abhängig davon ob attributive oder messende Prüfungen zugrunde liegen. Die Daten, die Eingang finden in ein Qualitätsdatenverarbeitungssystem kommen entweder aus der Produktion und können damit als Qualitätsdaten (Prüfdaten und Fehlerdaten) bezeichnet werden oder sie kommen aus dem Entwicklungs- bzw. Planungsbereich. Bei den zuletzt genannten Daten kann man von Grunddaten oder Stammdaten sprechen, denn sie beschreiben die zu prüfenden Produkte im Detail.

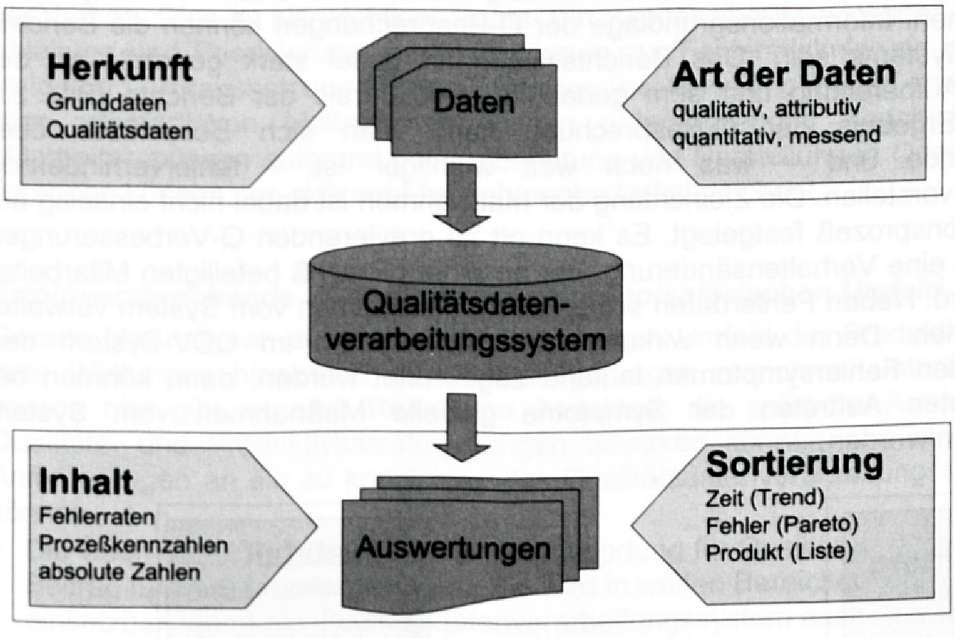


Bild 3.7: Bestimmende Kriterien für Daten und Auswertungen

3.1.4 Einfluß aus Berichtswesen, Maßnahmenfindung und organisatorischem Umfeld

Beim Berichtswesen geht es im Schwerpunkt um die Frage: Wer bekommt welche Information wie angeboten? Berichte sind das präsentierbare Ergebnis von Auswertungen. Sie leiten sich direkt ab aus dem Auswertebedarf und -konzept oder sind sehr eng verflochten mit ihm. Das Ergebnis eines Auswerteprozesses sind Informationen, die in einem Bericht zusammengefaßt werden können. Aus Sicht der Anwender in Planung und Management gibt es besondere Anforderungen an die Präsentation der Informationen in den Berichten.

Aus der Mehrzahl der zum Thema Informationssysteme durchgeführten Anforderungsanalysen geht hervor, daß die Informationen für die verschiedenen Anwenderkreise und Ebenen im Unternehmen unterschiedlich aufbereitet werden müssen /125/. Daher wird es schwierig, wenn nicht unmöglich, alle Anwender aus einem universellen Auswertungs- und Berichtssystem heraus mit Informationen zu versorgen. Hinzu kommt, daß eine Überversorgung mit Informationen ebenso vermieden werden muß, wie eine Unterversorgung. Vielfältige Erfahrung mit Führungskräften und Sachbearbeitern zeigen, daß Zahlenfriedhöfe nur eine geringe Akzeptanz finden und mit der Vielfalt der Informationen unzulänglich umgegangen wird.

Moderierte Qualitätsbesprechungen

Zu welchem Informationsgewinn und welchem Verhalten das Lesen eines Qualitätsberichtes letztendlich führt, das hängt stark ab vom Kontextwissen, welches bereits beim Leser vorhanden ist. Um der Gefahr vorzubeugen, daß unterschiedliche Anwenderkreise mit unterschiedlichen Interessenlagen aus einem Qualitätsbericht zusehr voneinander abweichende Schlußfolgerungen ziehen, kann es hilfreich sein, alle Beteiligten an einen Tisch zu holen.
Durch eine hochrangige und abteilungsübergreifende Besetzung der Qualitätsbesprechungen kann erreicht werden, daß im Unternehmen alle Kräfte, die die Qualität verbessern wollen, an einem Strang ziehen und auch in der gleichen Richtung ziehen. Informationsgrundlage der Q-Besprechungen können die Berichte eines QDV-Systems sein. Das Berichtswesen ist dabei stark geprägt von der geforderten Aufbereitung und dem gedachten Nutzerkreis der Berichte (Bild 3.8 links). Als Ergebnis der Q-Besprechung kann man sich Beschlüsse über fehlerbehebende und – was noch weit wichtiger ist – fehlerverhindernde Maßnahmen vorstellen. Die Zielrichtung der Maßnahmen ist dabei nicht einseitig auf den Produktionsprozeß festgelegt. Es kann oft zu gravierenden Q-Verbesserungen führen, wenn eine Verhaltensänderung, der an einem Prozeß beteiligten Mitarbeiter vereinbart wird. Neben Fehlerdaten sollten auch Maßnahmen vom System verwaltet werden können. Denn wenn wirkungsvolle Maßnahmen im QDV-System den entsprechenden Fehlersymptomen laufend zugeordnet werden, dann könnten bei einem erneuten Auftreten der Symptome gezielte Maßnahmen vom System vorgeschlagen werden.

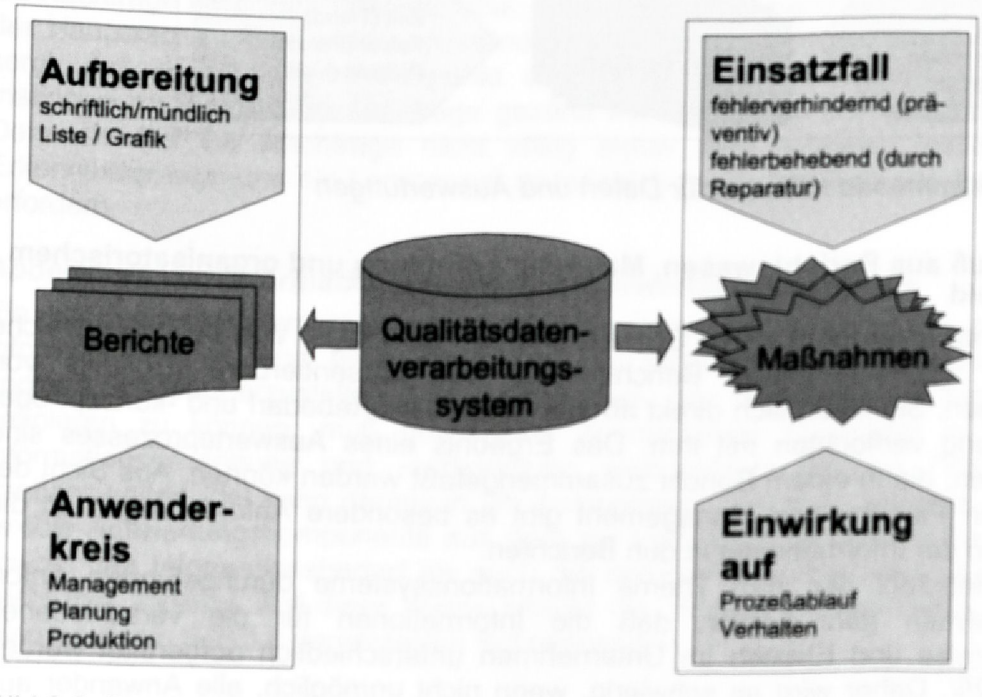


Bild 3.8: Bestimmende Kriterien für Berichte und Maßnahmen

Keine Beschränkung auf Symptombetrachtung

Eine Untersuchung zusammen mit 350 deutschen Unternehmen hat gezeigt, daß die Qualitätsregelkreise noch nicht geschlossen sind /42/. Es werden zwar teilweise

viele Fehler erfaßt, aber danach zuwenig genutzt /111/. Es genügt nicht, sich auf die Auswertung und Analyse von Fehlersymptomen zu beschränken, wenn man Fehler nachhaltig beseitigen will. Es ist erforderlich die Fehlerursachen zu ermitteln und mit geeigneten Maßnahmen zu beseitigen. Zu jedem Fehler sind eine Reihe von potentiellen Fehlerursachen bekannt. Mit Hilfe von Daten aus dem Umfeld des Prozesses muß versucht werden, eine Vielzahl von möglichen Ursachen auf die tatsächliche Fehlerursache zu reduzieren. Damit ist es schließlich möglich, fundierte Maßnahmen einzuleiten.

Qualitätsberichte dienen nicht allein der Schaffung von Transparenz im Qualitätsgeschehen. Dies ist ein wichtiger Punkt. Ein zweiter ebenso wichtiger Aspekt ist die Ableitung und Priorisierung von Maßnahmen zur Fehlerminimierung und Qualitätssteigerung. Voraussetzung für das Erkennen von Handlungsbedarf und ein Einleiten aller erforderlichen Maßnahmen ist ein unterstützendes Berichtskonzept. Die Mitarbeiter müssen aufgrund der Aufbereitung und Darstellung in Qualitätsberichten erkennen können, wo sich ein Maßnahmenbedarf abzeichnet.

Erfolgversprechende Maßnahmen zum organisatorischen Umfeld

Gerade Maßnahmen aus dem organisatorischen Umfeld der Produktion werden in ihrer Wirkungen hinsichtlich Qualitätssteigerungen manchmal unterschätzt. Doch gerade hier gibt es eine Reihe von Aspekten, die spürbare Auswirkungen auf Qualitäts- und Produktivitätssteigerungen bewirken können und die zu weiteren Anforderungen an ein zu konzipierendes Qualitätsdatenverarbeitungssystem führen können.

- Die Übernahme von prozeßnaher Verantwortung für Qualität ist unbestritten ein Beitrag für Qualitätssteigerungen. Sie wird in weiten Bereichen jedoch nur sinnvoll einsetzbar, wenn ein Qualitätsdatenverarbeitungssystem auch Auswertungen unterstützt, die einem bestimmten Prozeß direkt zuordenbar sind und die ein Prozeßverantworlicher abrufen darf.
- Eine eindeutige Produktidentifikation (z.B. mittels Barcode) dient den Bestrebungen eines transparenten Produktionsflusses und ermöglicht nicht nur logistische Optimierungen. Auch fehlerverursachende Prozesse können leichter aufgespürt werden, wenn bei jedem Prüf- und Fertigungsschritt neben den Prüfdaten eines Produktes auch der entsprechende Identifikator mit gespeichert wird.
- Die Beseitigung von Verschwendung (japanisch: muda) ist ein ernstzunehmender Wettbewerbsfaktor /80/. Ob es nun um die Vermeidung langer Wege geht, oder um die Verringerung von Leerlauf und Wartezeiten: Durch Einsatz geeigneter Systemhardware (Terminals, die an nahezu jedem Arbeitsplatz verfügbar sind, oder performante Datenbank-Server, die kurze Auswertezeiten erlauben) lassen sich lange Wege und unnötige Wartezeiten vermeiden.
- Eine genauere Wahrnehmung der Realität ermöglichen durch Bestrebungen in Richtung einer „visuellen Organisation" und einer „visuellen Kommunikatition" /49/. Daraus erwachsen Anforderungen an ein Q-Datensystem, die zum einen den Entwurf von Grafiken (z.B. in Q-Berichten) betreffen und zum anderen die Definition von Messungen und Maßeinheiten. Die Grafiken sollten nicht überladen sein und das Ergebnis der Messungen sollte für alle am Prozeß beteiligten leicht interpretierbar sein.

3.2 Qualitätsregelkreise und Modellbildung

Der Regelkreis kann als geeignetes Modell für Untersuchungen zu Qualität und Informationsfluß angesehen werden. Denn zum einen hat Qualität ebenso wie der Regelkreis etwas mit Abweichung bzw. Übereinstimmung (von Kundenanforderungen mit tatsächlichen Produktmerkmalen) zu tun und zum anderen spielt wie im Qualitätsgeschehen der Informationsfluß auch im Regelkreis eine große Rolle. Daher darf angenommen werden, daß sich die meisten Erkenntnisse und Zusammenhänge aus einem Regelkreismodell übertragen lassen auf die Situation von Qualität und Information in der realen Produktion.

3.2.1 Vorstellung von typischen Qualitätsregelkreisen

In der Literatur finden sich eine Reihe von Beispielen, bei denen das Grundprinzip des im letzten Abschnitt erläuterten Regelkreismodells (informationstechnisch) auf Bereiche der Qualitätssicherung übertragen wurde. Die einzelnen Modelle unterscheiden sich in vielen Einzelheiten. Das mag daran liegen, daß sich Regelkreise mit unterschiedlichen zeitlichen, räumlichen und organisatorischen Spannweiten definieren lassen. Daher liegt es nahe, daß die einzelnen Autoren jeweils diejenigen Teilaspekte der Qualitätssicherung in den Vordergrund rücken und diejenige Abstraktionsebene wählen, die ihre Ausführungen am deutlichsten stützen.

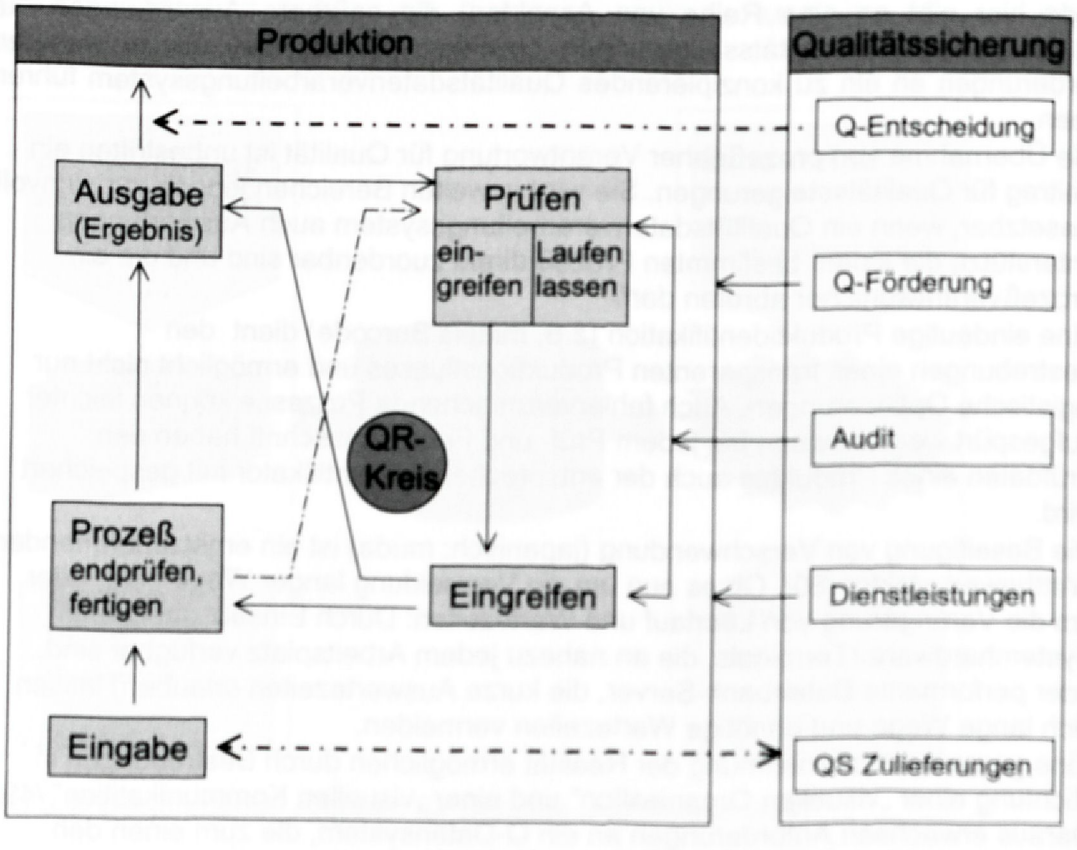


Bild 3.9: Grundschema der Qualitätsregelung in der Produktion nach /53/

Bedeutung der Komponenten im Qualitätsregelkreis

In diesem Kapitel wird eine kleine Auswahl von Qualitätsregelkreisen vorgestellt und kurz beschrieben, um einen Einblick zu geben in die Unterschiede und Ähnlichkeiten der verschiedenen Regelkreismodelle. Ein grundlegender Bestandteil von Qualitätsregelkreisen ist eine Komponente bestehend aus "Prüfen und Eingreifen". In /53/ wird die Bedeutung dieser Regelkreisglieder als fester Bestandteil des Fertigungsprozesses hervorgehoben (Bild 3.9).

Unterscheidung nach internem und externem Regelkreis

Andere Autoren stellen das Ineinandergreifen mehrerer teils überlagerter Regelkreise besonders heraus. /47/ unterscheidet zwischen "internen" und "externen" Regelkreisen (Bild 3.10). Diese Einteilung orientiert sich an den Datenquellen, die die Basis des jeweiligen Regelkreises bilden: Sind Daten vom Kundendienst oder direkt vom Kunden beteiligt, so wird der Regelkreis extern genannt. Demgegenüber beruhen interne Regelkreise auf statistischen, werksintern gesammelten Daten.

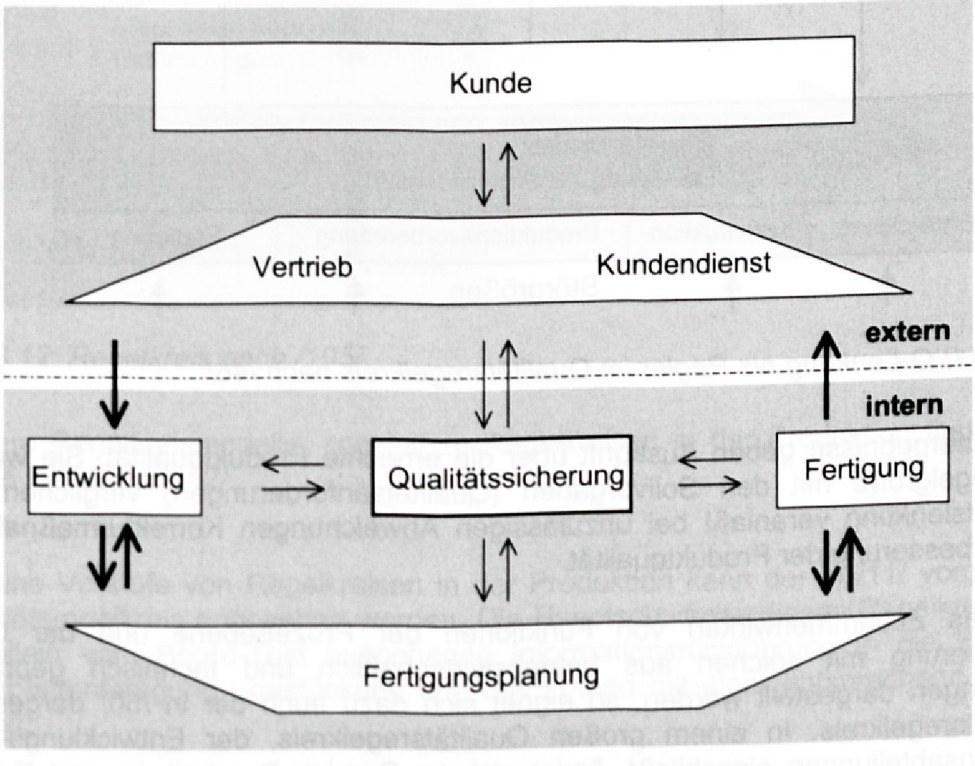


Bild 3.10: Interne und externe Qualitätsregelkreise nach /47/

Über eine Qualitätskostenregelung, die mit einem Expertensystem realisiert wurde, berichtet /99/. Das Kostencontrolling, die Betriebsdatenerfassung BDE und CAQ sind hierarchisch unter der Qualitätskostenregelung angeordnet. Die Qualitätskostenregelung übernimmt als übergeordneter Informations- und Steuerungsbaustein die Bewertung und Regelung komplexer Zusammenhänge der unterlagerten Systeme.

Qualitätslenkung als Regler im Qualitätsregelkreis

Ein Qualitätsregelkreis eignet sich auch, um die Aufgabe und Wirkungsweise der Qualitätslenkung zu verdeutlichen /46/. Die Regelstrecke dient der Erzeugung der Produktqualität. Auf sie wirken mögliche Störgrößen ein. Neben den im Bild 3.11 gezeigten Bereichen können der Regelstrecke auch die Bereiche Forschung und Kundenbetreuung zugerechnet werden.

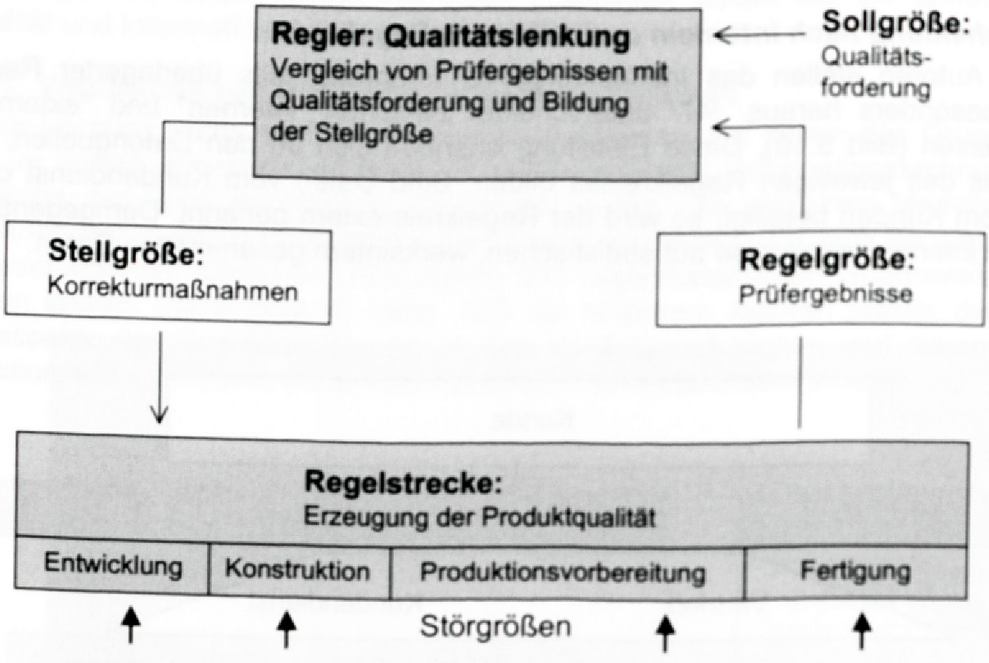


Bild 3.11: Q-Lenkung als Regler im Qualitätsregelkreis nach /46/

Die Prüfergebnisse geben Auskunft über die erreichte Produktqualität. Sie werden als Regelgröße mit den Sollvorgaben (Qualitätsanforderungen) verglichen. Die Qualitätslenkung veranlaßt bei unzulässigen Abweichungen Korrekturmaßnahmen zur Verbesserung der Produktqualität.

Soll das Zusammenwirken von Funktionen der Prozeßebene und der Qualitätssicherung mit solchen aus betriebswirtschaftlich und technisch geprägten Abteilungen dargestellt werden, so eignet sich dazu auch der in /50/ dargestellte Qualitätsregelkreis. In einem großen Qualitätsregelkreis, der Entwicklungs- und Planungsabteilungen einschließt, findet sich im Bereich Bearbeitung und Prüfung gefertigter Werkstücke ein kleiner Qualitätsregelkreis, der über Korrekturdaten und nachzuarbeitende Werkstücke geschlossen wird.

Detaillierung der Regelstrecken

Der in /105/ dargestellte Prozeß-Regelkreis mit einer Regelgröße bestehend aus Produkt- und Prozeßdaten sowie einer Regelstrecke Prozeß, umfaßt Personal, Maschinen, Einrichtungen, Methoden, Arbeitsumwelt und Rohmaterial. Der in Bild 3.12 abgebildete Regelkreis kann auch als Qualitätsregelkreis betrachtet werden, da der Unterschied nur in der Regelgröße besteht (Produkt- bzw. Prozeßdaten).

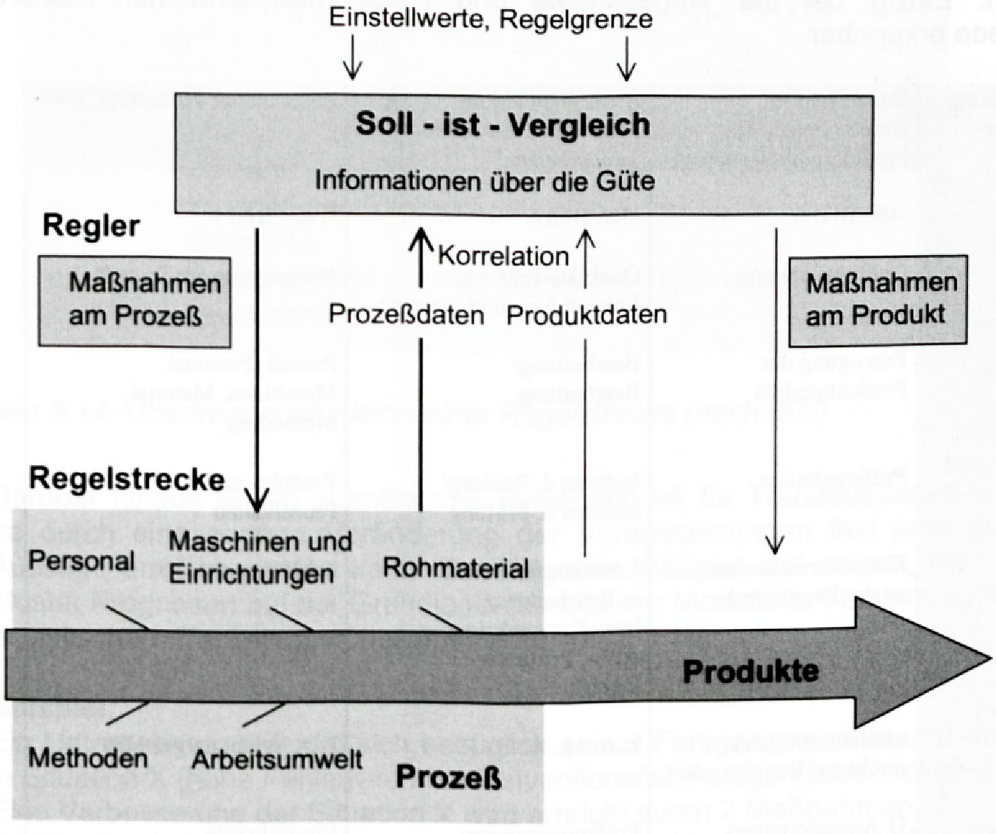


Bild 3.12: Regelkreis nach /105/

Weitere Regelkreismodelle, speziell zu Regelkreisen in der Produktion finden sich z.B. in /101/ und /142/.

Als eine Vorstufe von Regelkreisen in der Produktion kann der in /11/ vorgestellte Qualitätsregelkreis angesehen werden. Die Hauptschwäche dieses Regelkreises ist die allein vom Board-Test ausgehende Informationsrückführung in die Bereiche Leiterplattenfertigung, -bestückung und das Lötbad mit einer entsprechend großen Totzeit.

Beim Versuch, die in der Literatur zu findenden Regelkreise systematisch nach den unterschiedlichen Ausprägungen bezüglich der Regelkreiselemente wie Regler, Regelstrecken, Regelgrößen etc. einzuordnen, stößt man auf nicht unerhebliche Schwierigkeiten. Zum Beispiel erlauben einige der angeführten Regelkreise aufgrund ihrer oberflächlichen Darstellung keine ergiebige Einordnung in eine Systematik, da die verwendeten Unterscheidungskriterien nur zum Teil erwähnt werden. Dazu gehören die Beispiele in /11, 47, 53, 99, 101/.

Drei der ausführlicher beschriebenen Regelkreise sind in Bild 3.13 einander gegenübergestellt. An diesen Beispielen ist erkennbar, daß man in der Literatur von einer einheitlichen Darstellungsweise noch weit entfernt ist. Unterschiede gibt es in

nahezu allen Bereichen, angefangen vom Regler, hinter dem ein Autor die Q-Lenkung und ein anderer die Abteilungen eines Unternehmens versteht, bis hin zu Sollgrößen. Einzig bei der Regelstrecke und Regelgröße sind nur kleinere Unterschiede erkennbar.

Kurzbeschreibung der Regelkreis-darstellung	Der Ablauf im Unternehmen, der Produktqualität erzeugt	Zusammenwirken von QS-Funktionen mit betriebl. Teilbereichen	Allgemeiner Prozeßregelkreis
Literatur	/46/, Bild 6	/50/, Bild 6	/105/, Bild 1
Regler	Qualitätslenkung	Qualitäts-Prüfung/ Entwicklung und Planung	Maßnahmen am Prozeß
Regelstrecke	Erzeugung der Produktqualität	Bearbeitung/ Bearbeitung	Prozeß (Personal, Maschinen, Material, Methoden)
Regelgröße	Prüfergebnisse	Istdaten d. Prüfung/ Istdaten d. Prüfung	Produkt- und Prozeßdaten
Stellgröße	Korrekturmaßnahm. an der Regelstrecke	Korrekturmaßnahm. in Bearbeitung/ bzw. Konstruktions-APL-, Prüfunter-lagen	keine Angaben
Störgröße	unbestimmt (wirken direkt auf Regelstrecke)	k. A. / k. A.	k. A. (nicht dargestellt)
Sollgröße	Q-Anforderungen	Prüfanweisungen/ -"- mit Sollwerten und Toleranzen	Einstellwerte, Regelgrenze

Bild 3.13: Tabellarischer Vergleich von Regelkreisen nach ihren Komponenten

3.2.2 Quantitatives Systemmodell und seine Nachteile

Man kann den Versuch machen, ein Regelkreismodell zu erstellen, das alle Abhängigkeiten und funktionalen Zusammenhänge in Qualitätsregelkreisen genau beschreibt. Das Verhalten der Zustandsgrößen in einem Regelkreis läßt sich dazu in Differentialgleichungen abbilden. In Bild 3.14 ist die Inputfunktion einer Regelstrecke dargestellt. Die Inputfunktion eines Reglers ist entsprechend aufgebaut. Das dabei entstehende Differentialgleichungssystem kann man nutzen, um daraus die optimale Systemparametrierung für eine gewünschte Regelgröße zu berechnen.

Die große Gefahr solcher bewußt gestalteter "quantitativer Modelle" liegt in der möglichen Loslösung von der Realität. Diese Gefahr ist umso größer, je geschlossener das Modell ist und je weiter man damit in die Zukunft prognostiziert /128/.

$$\frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1}\frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = u(t)$$

mit

x	:	Zustand der Strecke
y	:	Zustand des Reglers
z (t)	:	Störgröße
u (t)	:	Input Funktion der Strecke wobei u (t) = u (z (t), y (t))
a_i	:	Koeffizienten

Bild 3.14: Übertragungsfunktion einer Regelstrecke (nach /97/)

Darüber hinaus ist ein quantitatives Systemmodell für Trendaussagen ungeeignet, da durch eine geringe Veränderung der Voraussetzungen fast jede gewünschte Aussage erreicht werden kann. Das folgende Beispiel soll zeigen, nach welchem Muster Prognosen auf der Grundlage quantitativer Modelle in Verbindung mit kausal-analytischem Denken gewöhnlich ablaufen (Bild 3.15).

Beispiel:
Ein Unternehmen befindet sich bezüglich seiner Fertigungsqualität und -technologie in Situation X (hohe Fehlerraten bei konventioneller Fertigungstechnologie).
Eine Verbesserung der Situation X wird erreicht durch 2 Maßnahmen:
1.) Die Einführung zusätzlicher Prüf- und Meßpunkte in der Produktion verkürzt die durchschnittliche Totzeit zwischen einer Fertigungsaktion und der entsprechenden Rückmeldung über die Qualität durch den zugehörigen Prüfplatz von 6 auf 3 Stunden. Diese Maßnahme führt zu einer Halbierung der Fehlerrate.
2.) Der Einsatz einer neuen Fertigungstechnologie bei einem ausgesuchten Produkt führt zu geringeren Fehlerraten bei gleicher Packungsdichte und schafft die Voraussetzung, zu höheren Packungsdichten überzugehen.

Wenn das Unternehmen nun eine weitere Verbesserung seiner Situation anstrebt, könnte eine "Hochrechnung" folgendermaßen aussehen:
1a) Eine weitere Halbierung der Regelzeitkonstante muß wieder eine Halbierung der Fehlerrate erzielen.
2a) Die Ausdehnung der neuen Fertigungstechnologie auf alle Produkte, die das Unternehmen fertigt, bringt zusätzliche Vorteile (vgl. oben).

Solche Hochrechnungen können innerhalb bestimmter Wertebereiche ihre Gültigkeit haben. Sie können jedoch zu gefährlichen (weil teueren oder unternehmensbedrohlichen) Fehlentscheidungen führen, wenn sie isoliert betrachtet werden bzw. wenn Systemzusammenhänge nicht in diese Überlegungen mit einbezogen werden. Mögliche Gefahrenpotentiale könnten zum Beispiel sein:

zu 1a) Eine weitere Halbierung der Regelzeitkonstanten halbiert zwar wieder die Fehlerrate, ist aber nur mit einem vielfachen des bisher dafür benötigten Aufwands

erreichbar. Dies kann zu steigenden Herstellkosten und letztendlich zu einem nicht mehr konkurrenzfähigen Preis führen.

zu 2a) Die Umstellung auf die neue Fertigungstechnologie ist bei den anderen Produkten nur mit einem höheren Aufwand bei geringerer Qualitätsverbesserung möglich.

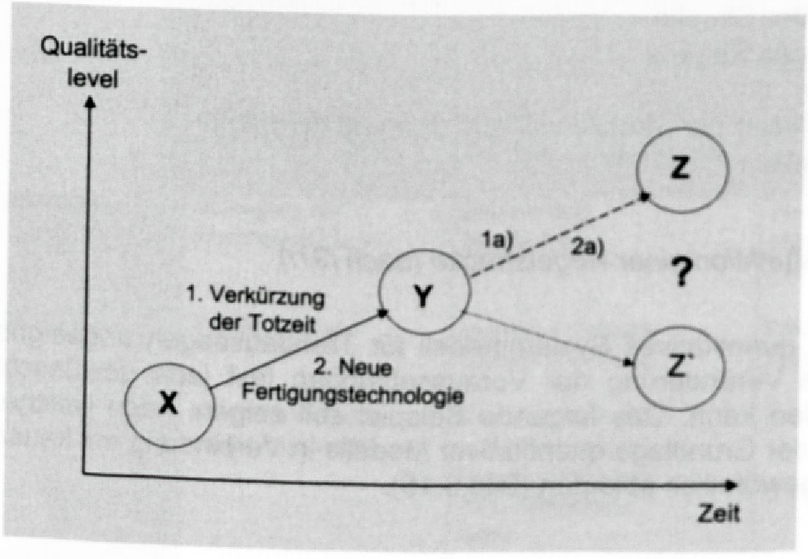


Bild 3.15: Hochrechnung ohne Systemzusammenhänge

Der Wechsel auf eine neue Fertigungstechnologie kann eine scheinbar unwesentliche Nebenerscheinung mit sich bringen, wie z.B. eine erhöhte Abhängigkeit von einem bestimmten Zulieferer oder einem bestimmten Rohmaterial. Ist das gesamte Produktspektrum erst einmal umgestellt und fällt der Zulieferant aus oder verdoppelt sich der Marktpreis des Rohmaterials, weil ganze Industriezweige umstellen oder die Entsorgung zu einem Problem erwächst, so führt das möglicherweise zum Stillstand der Produktion oder starken Umsatzeinbrüchen.

Einen Modellansatz, der die eben beschriebenen Schwächen und möglichen Fehleinschätzungen eines rein quantitativen Modells vermeidet, findet man bei der Kybernetik. Ihre Berechtigung haben die eben diskutierten geschlossenen Systemmodelle als Entscheidungshilfe nur für das unmittelbare Handeln. Demgegenüber muß eine übergeordnete Planung und Strategie (für dieses Handeln) jedoch auf offenen Systemmodellen beruhen /128/.

3.2.3 Analytische und kybernetische Modellbildung im Vergleich

Deterministische Voraussagen auf der Basis kausal-logischer (analytischer) Modellbildung sind nur innerhalb eines begrenzten Bereichs bzw. eines bestimmten Zeithorizontes brauchbar. Solange man sich auf linearen Kurvenabschnitten bewegt, kommen Rückwirkungen, Grenzwerte und externe Einflüsse noch nicht ins Spiel, da sich das System noch wie eine geschlossene Maschine verhält. Doch die Wirklichkeit sieht anders aus. Die scheinbar linearen Kurvenverläufe sind nur Teilstücke viel komplizierterer Kurven, die mit anderen vernetzt sind und erst ab einem

gewissen Zeithorizont ins Spiel kommen /129/. In Bild 3.16 sind zwei Ansätze zur Erfassung der Wirklichkeit einander gegenübergestellt.

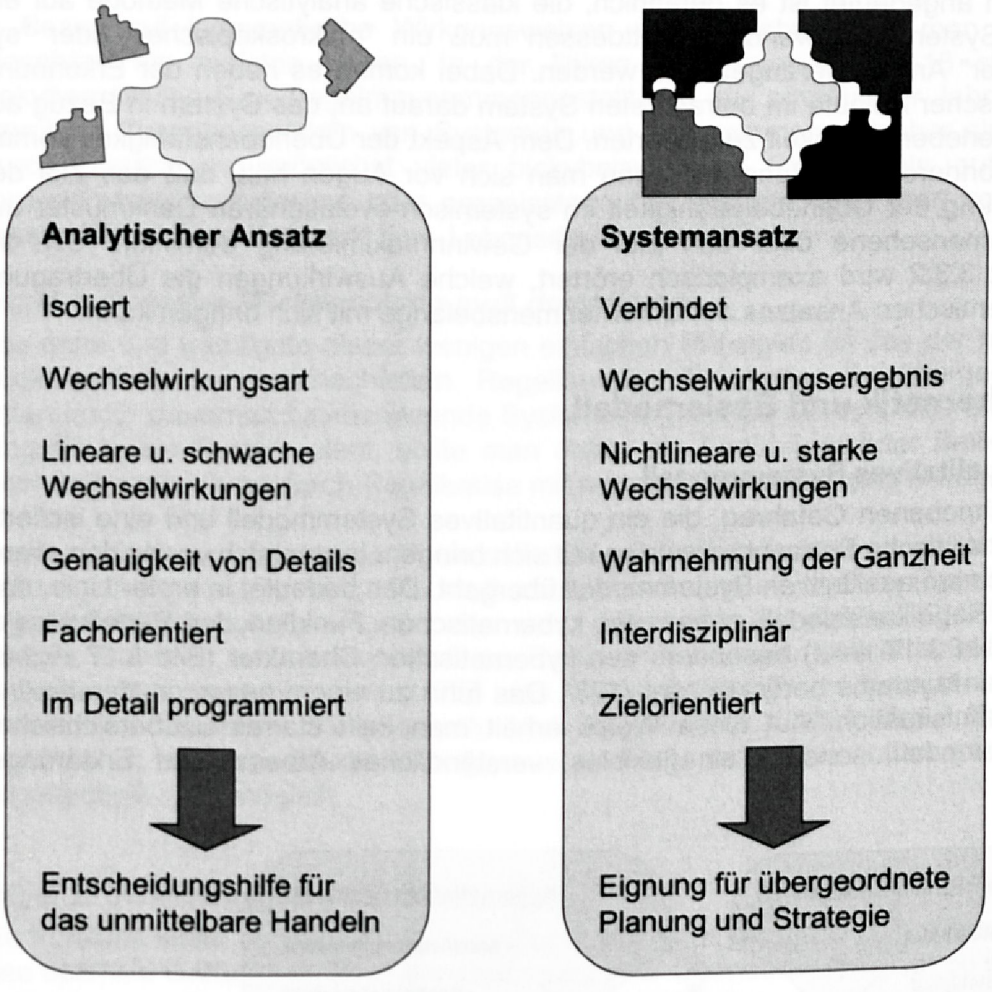


Bild 3.16: Ansätze zur Modellbildung (nach /129/)

Der analytische Ansatz isoliert und konzentriert sich auf die einzelnen Elemente des Systems. Dagegen verbindet der Systemansatz indem er sich auf die Wechselwirkungen zwischen den Elementen konzentriert. Im analytischen Ansatz wird allenfalls die Art der Wechselwirkungen, nicht aber deren Ergebnis berücksichtigt. Damit ist der analytische Ansatz bei linearen und schwachen Wechselwirkungen von Nutzen und der Systemansatz besser geeignet für nichtlineare und starke Wechselwirkungen.

Der analytische Ansatz führt zu einer im Detail programmierten Handlungsweise, erreicht gutes Detailwissen und bildet daraus genaue und detaillierte Modelle, die jedoch sehr fachorientiert sind. Demgegenüber zeichnet sich der Systemansatz durch eine stärker zielorientierte Handlungsweise aus und bietet trotz teilweise unscharfer Details gute Entscheidungsgrundlagen, da interdisziplinäre Zusammenhänge berücksichtigt sind. Die Zielvorstellung für eine zukünftige Entwicklung, die

sich daraus ableiten läßt, kann ein **fallspezifisches Nebeneinander** der beiden Ansätze sein.

Wie oben angedeutet ist es gefährlich, die klassische analytische Methode auf ein offenes System anzuwenden. Stattdessen muß ein "makroskopischer" oder "systemischer" Ansatz herangezogen werden. Dabei kommt es neben der Erkennung kybernetischer Abläufe im betrachteten System darauf an, das System in Bezug auf seine Überlebensfähigkeit zu bewerten. Dem Aspekt der Überlebensfähigkeit kommt eine besondere Bedeutung zu, wenn man sich vor Augen hält, daß das Ziel der Maximierung der Überlebensfähigkeit im systemisch-evolutionären Denkmuster auf Unternehmensebene über das Ziel der Gewinnmaximierung dominiert /87/. Im Abschnitt 3.3.2 wird exemplarisch erörtert, welche Auswirkungen die Übertragung des systemischen Ansatzes auf Unternehmensbelange mit sich bringen kann.

3.3 Kybernetik und Basismodell

3.3.1 Qualitatives Systemmodell

Die beschriebenen Gefahren, die ein quantitatives Systemmodell und eine isolierte kausal-analytische Betrachtungsweise mit sich bringen, lassen sich vermeiden, wenn man zu einem qualitativen Systemmodell übergeht. Das bedeutet in erster Linie, daß man im Regelkreismodell neben der kybernetischen Funktion der Regelkreiselemente (Bild 3.17 links) besonders den kybernetischen Charakter (Bild 3.17 rechts) des Gesamtsystems berücksichtigt /128/. Das führt zu einem besseren Verständnis der Gesamtsituation. Auf diese Weise erhält man kein starres unübersichtliches Prognosemodell, sondern ein flexibles, verständliches Arbeits- und Erklärungsmodell.

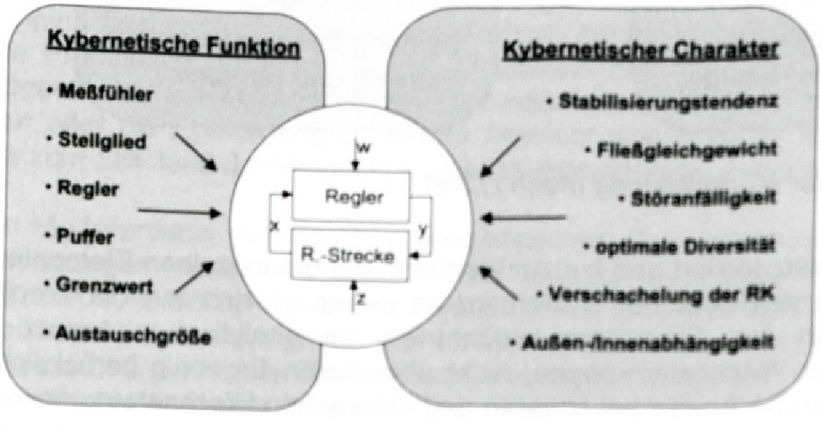


Bild 3.17: Begriffssammlung zum kybernetischen Charakter

Der kybernetische Charakter kann durch die Begriffe im rechten Teil von Bild 3.17 beschrieben werden. Das Fehlen, Vorhandensein oder das relative Gewicht der aufgeführten Eigenschaften prägt maßgeblich den kybernetischen Charakter eines Systems. Zur Beurteilung des Verhaltens des Gesamtsystems muß man sich nicht in die "mathematischen Tiefen" der (kybernetischen) Funktionsbeschreibungen der einzelnen Systemelemente begeben. Es ist ausreichend, die einzelnen Teile eines Systems bezüglich ihres kybernetischen Charakters einzuordnen.

3.3.2 Kybernetische Grundgesetze und praktische Einsatzfälle in Unternehmen

In Bezug auf kybernetische Wirkungsweisen und Gesetze kann man von der Biosphäre am meisten lernen. In der linken Hälfte von Bild 3.18 sind acht biokybernetische Grundregeln zusammengestellt, die aus einem über Jahrmillionen erprobten Zusammenwirken von Systemen und Teilsystemen ablesbar sind /127/. Durch Übertragung möglichst vieler biokybernetischer Grundregeln auf ein zu konzipierendes technisches oder organisatorisches Gebilde kann man versuchen, dessen "Überlebensfähigkeit" bzw. Lebensdauer zu erhöhen.

Regel 1: Negative Rückkopplung muß dominieren

Das erste und wichtigste dieser wenigen einfachen Prinzipien ist das der negativen Rückkopplung in verschachtelten Regelkreisen. Es kann als übergeordnetes Kriterium für dauerhaft funktionierende Systeme angesehen werden. Überall wo man Eingriffe in ein System plant, sollte man daher die Einführung oder Beibehaltung einer Selbststeuerung durch Regelkreise mit negativer Rückkopplung erwägen.

Positive Rückkopplung und damit ein selbsttätiges Sich-Aufschaukeln, ist als "Motor" eines Systems ebenso nötig. Sie muß aber letztlich immer in einen Regelkreis mit negativer Rückkopplung eingebunden sein, damit sich ein stabiles Gleichgewicht einstellt. Dabei ist zu beachten, daß der Regler ("Steuermann") nicht außerhalb des Systems steht, sondern immer Teil des Systems ist. (Darin besteht auch der Unterschied zwischen Biokybernetik und Regeltechnik.) Wird diese Forderung beachtet, ist auch der absolute Dirigismus als Folge einer von außen gesteuerten Regeltechnik nicht möglich.

Regel 2: Unabhängigkeit vom Wachstum

Die Funktion eines Systems muß unabhängig sein vom Wachstum. Systeme können eine optimale Größe nicht überschreiten, ohne ihrer Überlebensfähigkeit zu schaden. In bestimmten Phasen der Systementwicklung ist Wachstum durchaus akzeptabel. Gefährlich ist die Abhängigkeit vom ständigen quantitativen Wachstum.

Regel 3: Unabhängigkeit vom Produkt

Überlebensfähige Systeme müssen funktionsorientiert und nicht produktorientiert arbeiten. Die Funktionsorientierung eines Systems ermöglicht eine größere Flexibilität und Anpassung an Veränderungen. Produkte gehen und kommen, der Bedarf an Funktionen aber bleibt langfristig bestehen.

Demnach sollte sich ein Automobilunternehmen nicht als Autobauer verstehen, sondern als jemand, der im Verkehrsgeschäft tätig ist. Ebenso sollten Elektrizitätswerke nicht als Stromerzeuger auftreten, sondern als Energieversorger, als die sie die Nachfrage ggf. auch durch eine Verringerung des Verbrauches abdecken können.
Ein Elektronikwerk, das Schütze für Maschinensteuerungen herstellt, sollte sich im Sinne der Produktunabhängigkeit nicht als Schützhersteller sondern als Anbieter von Steuerungslösungen verstehen. In der Vergangenheit waren Schütze gefragt, heute

sind es speicherprogrammierbare Steuerungen. Morgen können es maschinenintegrierte Komponenten sein oder Konzepte zur Vermeidung von Steuerungsaufgaben.

Regel 4: Steuerung statt Kompensierung (Jiu-Jitsu-Prinzip)

Besonders im Energiebereich ist dieses Prinzip wertvoll. Anstatt behindernde Kräfte zu zerstören, sollte man sie z.B. durch Einsatz relativ geringer Steuerenergie umlenken und nutzen.

Regel 5: Mehrfachnutzung

Die mehrfache Nutzung von Produkten, Verfahren und Organisationsstrukturen führt durch Verbundlösungen zu mehr Stabilität. Speziell im Bereich Datenverarbeitung bei Druckern, Terminals und Programmodulen gibt es bereits eine Reihe von Beispielen, die die Vorteile einer Mehrfachnutzung unterstreichen.

So lassen sich in einem lokalen Rechnernetz (Local Area Network: LAN) Drucker so installieren, daß nicht nur derjenige ausdrucken kann, an dessen PC der Drucker angeschlossen ist, sondern alle, die einen Zugang zum LAN besitzen. Geeignete Terminals können über LAN mit verschiedenen Verfahren auf unterschiedlichen Rechnern zusammenarbeiten und verschaffen dem Benutzer Zugang zu diesen. Ein letztes Beispiel sind mehrfach benötigte Unterprogramme, Funktionen oder auch Programmmodule, die in gemeinsamen Programmbibliotheken zusammengefaßt werden und mehreren Entwicklern bzw. Programmierern offen stehen.

Regel 6: Recycling

Als besondere Form der Mehrfachnutzung zeichnet sich Recycling dadurch aus, daß alles Produzierte und Verbrauchte in einem Kreisprozeß zusammengeführt wird. Damit können sowohl Knappheit als auch Überschüsse vermieden werden.

Regel 7: Symbiose

Der ökologische und ökonomische Sinn der Symbiose liegt in der beträchtlichen Rohstoff-, Energie- und Transportersparnis für alle beteiligten Glieder. Die gegenseitige Nutzung von Verschiedenartigkeit durch Kopplung und Austausch verlangt automatisch kleinräumigen Verbund, dezentrale Strukturen und Diversität. Aus diesem Grund können Monostrukturen das ungeheuere wirtschaftliche Potential kybernetischer Verbundlösungen nicht erschließen.

Regel 8: Biologisches Grunddesign

Ein sehr wichtiges Grundprinzip bei der Gestaltung überlebensfähiger Produkte, Funktionen und Organisationen ist die Vereinbarkeit mit der biologischen Natur. Schon Planung und Entwicklung sollten daher nicht isoliert, sondern im Feedback mit der lebendigen Umwelt stehen z.B. bezüglich sozialer und ökologischer Verträglichkeiten.

Die Berücksichtigung der vorgestellten Regeln im Planungs- und Entwicklungsbereich eines Unternehmens führt zu Systemen und Verfahren, die von den Vorteilen der "natürlichen" Vorbilder profitieren können. In erster Linie ist das die Langlebigkeit bzw. Überlebensfähigkeit (Bild 3.18). Die Langlebigkeit eines

Teilsystems bedeutet in der Regel auch Vorteile für das Gesamtsystem, da es sich erhebliche Aufwände sparen kann, die im Rahmen von Neueinführungen anfallen.

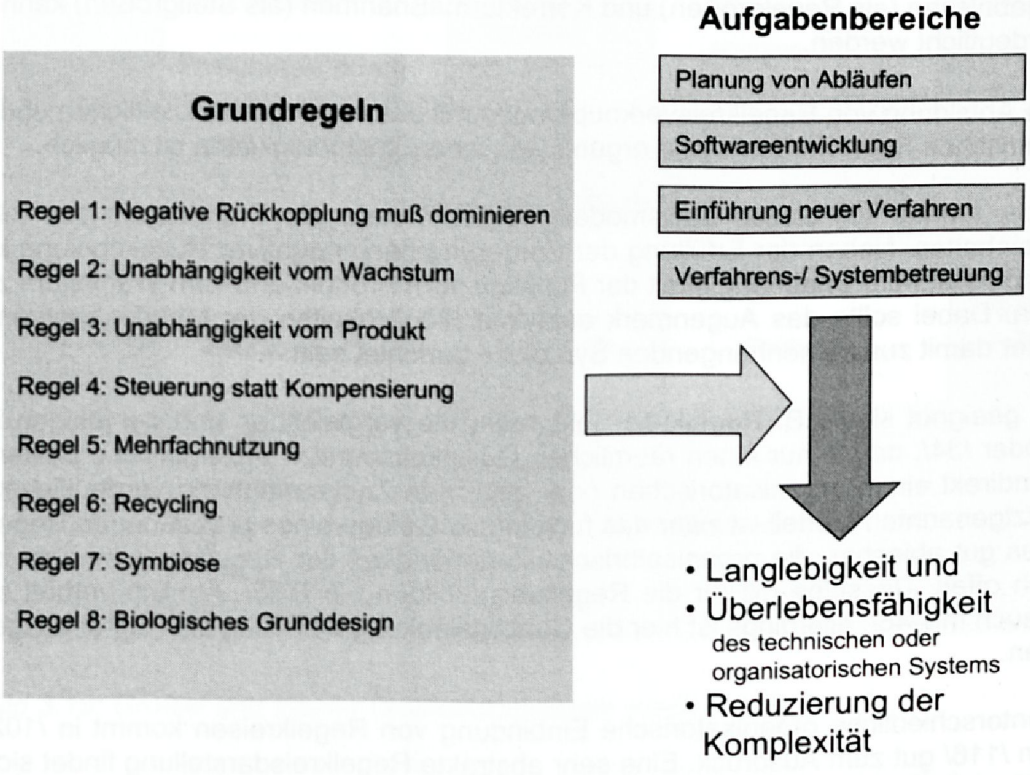


Bild 3.18: Auswirkungen biokybernetischer Grundregeln

Die Berücksichtigung von Regel 8 kann z.B. für einen Planungsingenieur bedeuten, ergonomische und ökologische Gesichtspunkte zu beachten, wenn neue Abläufe, Methoden oder Werkzeuge in der Produktion eingeführt werden. Sich über die oben beschriebenen acht Grundregeln an der Natur zu orientieren heißt nicht, zurück zur Primitivität. Auch die Technik soll nicht abgeschafft werden. Aber es gilt, die Technik zu verfeinern und allmählich zu einer Reife zu entwickeln, die mit der Natur des Menschen Schritt hält.

Konkrete Ansätze zur Übertragung und Nutzung der erläuterten kybernetischen Grundgesetze in Wirtschaft, Unternehmen und Abteilungen liefert die Bionik /95/. In vielen Wissenschaftsbereichen geht es darum, unerprobte Systeme zu erfinden und schwierige Techniken neu zu entwickeln. In der Bionik arbeitet man bewußt nach technischen Vorbildern, die sich im Wechselspiel mit der Umwelt vervollkommnet haben und sich zum Teil seit Milliarden von Jahren behaupten konnten /100/.

3.3.3 Modell für kybernetisch orientierten Qualitätsregelkreis

Das Basismodell eines Qualitätsregelkreises muß geeignet sein, alle Mechanismen des Qualitätsmanagements allgemeingültig abzubilden. Dazu muß es mindestens folgende Eigenschaften besitzen:

- Das grundsätzliche Wirkungsgefüge eines Regelkreises mit negativer Rückkopplung bestehend aus Sollvorgaben (als Führungsgrößen), Prüfergebnissen (als Regelgrößen) und Korrekturmaßnahmen (als Stellgrößen) kann verdeutlicht werden.

- Die Abbildung von Regelkreisverknüpfungen mit unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Spannweiten sowie organisatorischen Zuständigkeiten ist möglich.

Darüber hinaus soll dieses Basismodell möglichst viele der Grundregeln aus Bild 3.18 einhalten. Neben der Erfüllung der Forderung nach negativer Rückkopplung ist besonders auf die Unabhängigkeit der Funktion vom Produkt und vom Wachstum zu achten. Dabei sollte das Augenmerk auch auf Möglichkeiten der Mehrfachnutzung und der damit zusammenhängenden Symbiose gerichtet sein.

Nicht geeignet sind z.B. Regelkreis-Schemata, die vergleichbar sind denjenigen in /11/ oder /34/, da sie nur einen räumlichen Gültigkeitsbereich anzeigen und bestenfalls indirekt einen organisatorischen oder zeitlichen Zusammenhang verdeutlichen. Im letztgenannten Modell ist zwar das funktionale Gefüge eines prozeßnahen Regelkreises gut ablesbar, die organisatorische Zugehörigkeit der Regelkreiselemente ist jedoch offen. Dasselbe gilt für die Regelkreisabbildung in /105/. Ähnlich verhält es sich auch mit /46/, allerdings ist hier die Qualitätslenkung eindeutig als Regler ausgewiesen.

Die unterschiedliche organisatorische Einbindung von Regelkreisen kommt in /102/ und in /116/ gut zum Ausdruck. Eine sehr abstrakte Regelkreisdarstellung findet sich in /101/. Auch hier wird nur eine räumliche Unterteilung von Regelkreisen vorgenommen und Regelkreishierarchien werden angedeutet. Konkrete organisatorische Einbindungen sind dem Bild nicht zu entnehmen. Es wird lediglich eine Hierarchie von CIM-Komponenten (CAD, CAP, CAM und CAQ) skizziert.

Ein Regelkreis-Schema mit relativ guter organisatorischer und räumlicher Zuordnung findet sich in /53/. Allerdings sind die Regelkreis-Hierarchien nur schwer ablesbar. Diesbezüglich besser ist der Regelkreis in /72/ beschrieben. Analog einem Qualitätsregelkreis aus /114/ wird im folgenden ein aus zwei Hierarchieebenen bestehender Regelkreis vorgestellt, der oben geforderte Eigenschaften besitzt (Bild 3.19).

Ein Teil des Regelkreises beschreibt die direkte (möglichst kurzfristige) Material- und Informationsrückführung zur Nacharbeit und Korrektur der Einstellungen und Maschinen. Ein zweiter Teil des Qualitätsregelkreises dient der indirekten Informationsrückführung an den Bearbeitungsschritt. Dabei bedeutet indirekt, daß Planungs- und Entwicklungsabteilungen die Gelegenheit erhalten, die aufbereiteten Prüfdatenauswertungen in ihre Konstruktions- und Fertigungsunterlagen einzuarbeiten.

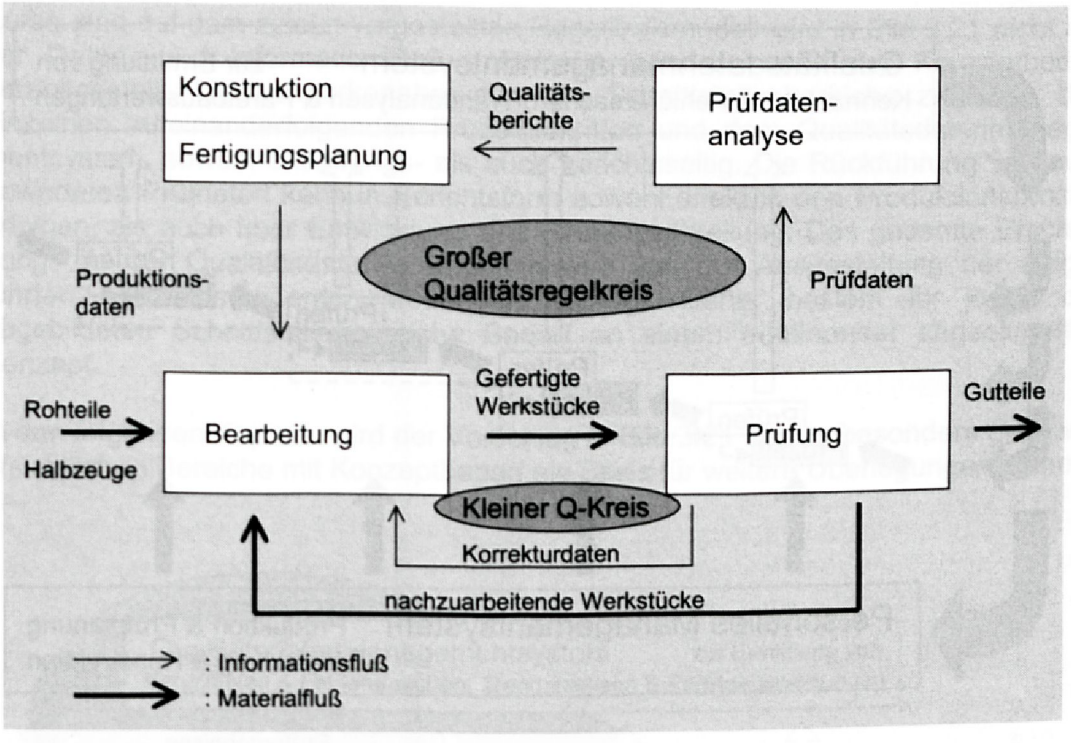


Bild 3.19: Großer und kleiner Qualitätsregelkreis (nach /114/)

Bei der Konzipierung eines CAQ-Verfahrens in Kapitel 4 wird u.a. darauf zu achten sein, daß sowohl der kleine Q-Kreis durch eine kurzfristige Auswertemöglichkeit als auch der große Qualitätsregelkreis durch möglichst aussagefähige Auswertekriterien unterstützt werden. Der Maschineneinrichter in der Produktion z.B. muß kurzfristig verfügbaren Daten entnehmen können, welche Korrekturen an seinen Produktionsautomaten vorzunehmen sind, um die Fehlerrate zu verringern. Das bedeutet, daß die dem kleinen Q-Kreis zugrundeliegenden Prüfdaten aus Prüfschritten stammen müssen, die dem Fertigungsprozeß unmittelbar folgen. Anders verhält es sich mit dem großen QRK. Hier ist es wichtig die Prüfdatenanalyse ohne den Zeitdruck des kleinen Q-Kreises vorzunehmen. Darüber hinaus sind die Daten aller Prüfschritte zu sammeln und umfassend auszuwerten.

Das in Bild 3.19 dargestellte Modell eines Qualitätsregelkreises ist in mehrfacher Hinsicht noch nicht aussagefähig genug. Was noch deutlicher herausgestellt werden muß, sind die aufeinanderfolgenden Prozeßschritte mit ihren jeweils zuordenbaren Prüfabläufen im Sinne einer prozeßbegleitenden Prüfung /39/. Zudem können nicht nur Prüfergebnisse und Korrekturdaten vom jeweils zugehörigen Prüfschritt, sondern auch von späteren Prüfschritten und auch Ergebnisse der Prüfdatenanalyse an die einzelnen Prozeßverantwortlichen herangeführt werden. Wie dies grundsätzlich aussehen kann ist in Bild 3.20 dargestellt.

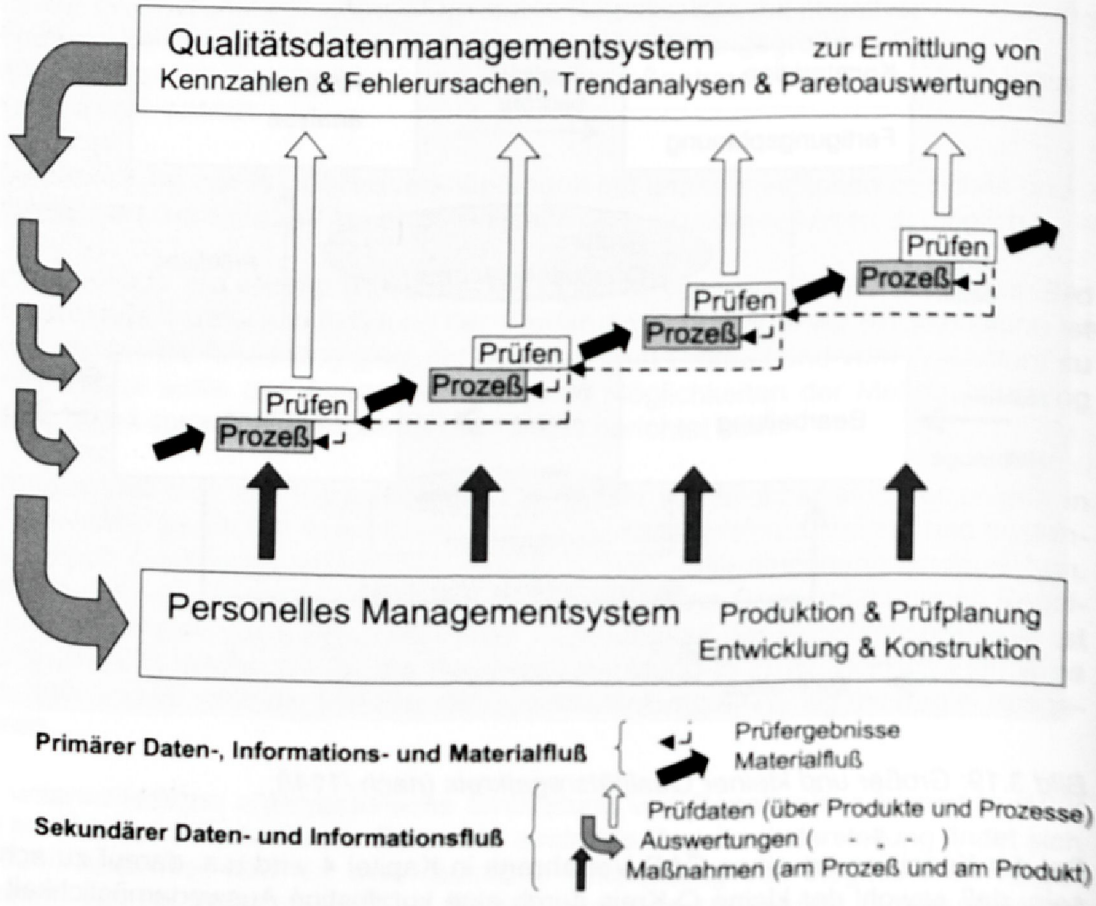


Bild 3.20: Produktionsprozesse und Prüfabläufe im Qualitätsregelkreis mit ihren Daten-, Informations- und Materialflüssen

Bei genauerer Betrachtung fällt ein wichtiger Unterschied zwischen obigem Regelkreis und technischen Regelkreisen auf: Führt der Vergleich zwischen Soll- und Istwert im technischen System zu einer Abweichung, so wird eine Führungsgröße gesetzt. Der oder auch die Steller und die Art ihrer Beeinflussung sind bekannt und festgelegt. Anders im realen Zusammenspiel von Produktion und Qualität: Hier ist bei gegebener Datensituation durchaus nicht festgelegt, über welchen Steller wie ein besseres Q-Ergebnis (Soll-Ist-Annäherung) erreicht werden kann:

- Eine Maßnahme, die heute greift, kann morgen wirkungslos sein.
- Die Art der Steller ist nicht von vornherein festgelegt. Neue Steller sind gefragt, nicht fixiert an den alten.
- Es kann darum gehen, ganze Prozesse durch bessere zu ersetzen.

Es ist insgesamt mehr Dynamik im Gesamtsystem. Dennoch kann das Modell vom Regelkreis als Ausgangspunkt für einige Überlegungen dienen:

- Schnittstellen und ihr Zusammenwirken
- Außeneinflüsse
- Bei Aufsplittung in Teilbereiche bzw. Teilfunktionen

Aufbauend auf dem zuletzt vorgestellten Regelkreismodell wird in Bild 3.21 nicht nur der Daten- und Informationsfluß aufgezeigt, sondern auch der Konzeptbedarf herausgestellt. Deutlich erkennbar sind die Schnittstellenbereiche zwischen den einzelnen aufeinanderfolgenden Prozeßschritten und dem Qualitätsdatenmanagementsystem, sowohl erfassungs- als auch berichtsseitig. Die Rückführung von ausgewerteten Prüfdaten kann in Berichtsform sowohl direkt in den Produktionsprozeß erfolgen, als auch über Entwicklung und Planungsabteilung. Das gesamte Erscheinungsbild der Qualitätsdatenverarbeitung wird von der Ausgestaltung der aufgeführten Einzelkomponenten wesentlich geprägt. Daher besteht für jeden der abgebildeten Schnittstellenbereiche Bedarf an einem aufeinander abgestimmten Konzept.

In den folgenden Kapiteln wird der Vorschlag in Bild 3.21 und insbesondere die darin ersichtlichen Bereiche mit Konzeptbedarf als Basis für weitere Überlegungen dienen.

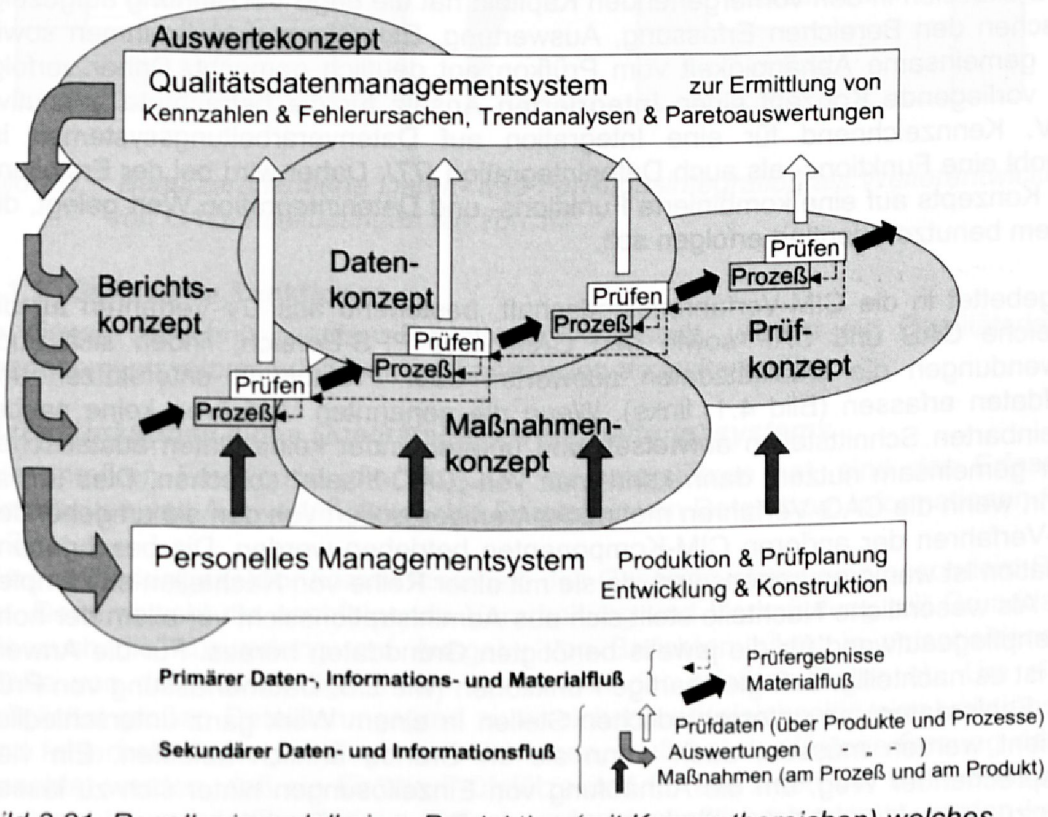


Bild 3.21: Regelkreismodell einer Produktion (mit Konzeptbereichen) welches Prüfdaten über ein QDMS in Informationen für alle Mitarbeiter umsetzt

4 Optimierungskonzepte zur Qualitätsdatenverarbeitung

Ein Qualitätsdatenverarbeitungssystem, welches eingebettet ist in den Produktionsablauf eines Werkes, hat sich auch an den Globalzielen des Werkes zu orientieren bzw. diese zu unterstützen. Maßgebliche Ziele eines Werkes im Bereich der Elektronikproduktion - aber nicht nur dort - sind die Steigerung von Produktivität, Qualität und Flexibilität. Erfolgversprechende Gestaltungskriterien für ein QDV-System zur Erreichung dieser Ziele sind die nachfolgend beschriebene Funktions- und Datenintegration in der Produktion sowie die benutzer- und prozeßorientierten Auswerte- und Berichtskonzepte.

4.1 Benutzerorientierte Funktions- u. Datenintegration

Qualitätsdatenverarbeitung (QDV) hängt in hohem Maße vom verfolgten Prüfkonzept ab. Ein Prüfkonzept kann sich jedoch in einem steten Wandel befinden /21/. Daher kann und darf das Qualitätsdatenmanagement nicht auf ein bestimmtes Prüfkonzept fixiert sein, sondern muß sich unterschiedlichen Prüfkonzepten anpassen können. Die Diskussion in den vorhergehenden Kapiteln hat die enge Verzahnung aufgezeigt zwischen den Bereichen Erfassung, Auswertung, Berichte und Maßnahmen sowie ihre gemeinsame Abhängigkeit vom Prüfkonzept deutlich gemacht. Daher verfolgt das vorliegende Konzept einen **integrierten** Ansatz für die betrachtete attributive QDV. Kennzeichnend für eine Integration auf Datenverarbeitungssystemen ist sowohl eine Funktions- als auch Datenintegration /77/. Daher wird bei der Erstellung des Konzepts auf eine kombinierte Funktions- und Datenintegration Wert gelegt, die zudem benutzerorientiert erfolgen soll.

Eingebettet in die CIM-Verfahrenslandschaft, bestehend aus DV-Verfahren für die Bereiche CAD und CAP sowie den CAM- und PPS-Bereich, finden sich auch Anwendungen die Qualitätsdaten auswerten oder Prüfabläufe unterstützen und Prüfdaten erfassen (Bild 4.1, links). Wenn die genannten Verfahren keine sauber vereinbarten Schnittstellen aufweisen und untereinander keine Daten austauschen oder gemeinsam nutzen, dann kann man von „CAQ-Inseln" sprechen. Dies um so mehr, wenn die CAQ-Verfahren mehr oder weniger isoliert von den sie umgebenden DV-Verfahren der anderen CIM-Komponenten betrieben werden. Die beschriebene Situation ist wenig erstrebenswert, da sie mit einer Reihe von Nachteilen zu kämpfen hat. Als wesentliche Nachteile stellt sich aus Administrationssicht vor allem der hohe Datenpflegeaufwand für die jeweils benötigten Grunddaten heraus. Für die Anwender ist es nachteilig, daß gleichartige Funktionen (wie z.B. Datenerfassung von Prüf- und Fehlerdaten) an unterschiedlichen Stellen in einem Werk ganz unterschiedlich bedient werden müssen, auch wenn sie im Grunde ähnlich ablaufen. Ein vielversprechender Weg, um die Anhäufung von Einzellösungen hinter sich zu lassen oder zu vermeiden ist daher die Integration von Daten und Funktionen.

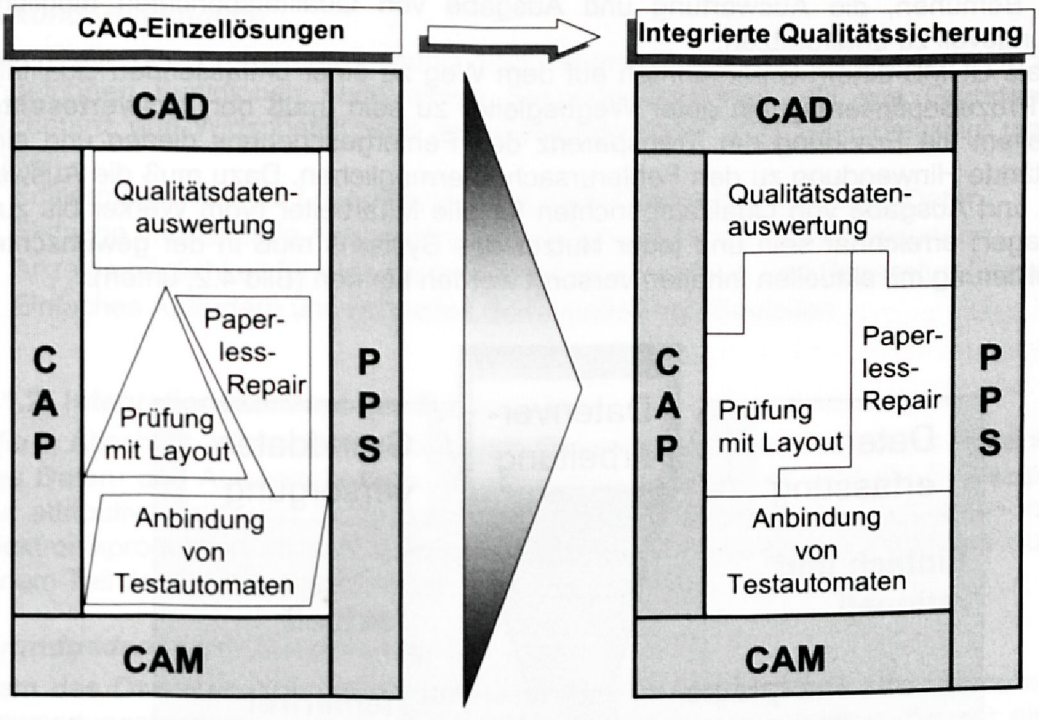


Bild 4.1: Benutzerorientierte Daten- und Funktionsintegration als Weiterentwicklung von CAQ-Insellösungen hin zu CIQ

4.1.1 Geforderte Funktionen

In diesem Abschnitt werden Funktionen vorgestellt, welche ein Qualitätsdatenmanagementsystem in der Elektronikproduktion abdecken sollte.

Hauptfunktionen eines Qualitätsdatenverarbeitungssystems

Die primären Funktionen, die ein QDV zu unterstützen hat, sind das Erfassen, Verarbeiten und Auswerten sowie das Darstellen von Daten bzw. Informationen (Bild 4.2).

Dem **Erfassungssektor** kommt innerhalb des Gesamtsystems eine besondere Rolle zu. Denn sowohl die nachfolgende Verarbeitung und Verknüpfung mit Grunddaten als auch die Auswertung und Ausgabe von Berichten hängt in entscheidendem Maße von der Vollständigkeit und Korrektheit der erfaßten Daten ab. Um einen möglichst großen Detaillierungsgrad zu erreichen und gleichzeitig eine vollständige und fehlerfreie Datengrundlage zu bekommen, muß bei der Datenerfassung darauf geachtet werden, daß sie für alle Prüfplätze und für alle Arten der Datenerfassung geeignet ist und darüber hinaus einfach und wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Eine Minimierung des Bedieneraufwands (sowohl bei der Erfassung der Daten als auch im Verarbeitungssektor) kann zusammen mit einer verstärkten Hinwendung zu papierloser Produktion die Wirtschaftlichkeitsziele und die Bedienungsfreundlichkeit des Systems in greifbare Nähe rücken.

Dem **Verarbeitungssektor** soll nur insoweit Beachtung geschenkt werden, als daß er die Grunddatenversorgung und die Verknüpfung der Grunddaten mit den erfaßten Prüf- und Fehlerdaten aktuell, fehlerfrei und möglichst automatisch abwickeln muß. Letztlich gipfeln alle Anstrengungen im Erfassungs- und Verarbeitungsbereich in

dem Bemühen, die Auswertung und Ausgabe von Qualitätsberichten möglichst wirkungsvoll zu unterstützen.
Um als QDMS einem Unternehmen auf dem Weg zu einer umfassenden Qualitäts- und Prozeßoptimierung ein guter Wegbegleiter zu sein, muß der **Auswertesektor** vor allem die Erhöhung der Transparenz des Fehlergeschehens dienen und eine verstärkte Hinwendung zu den Fehlerursachen ermöglichen. Dazu muß die Auswertung und Ausgabe von Qualitätsberichten für alle Mitarbeiter (vom Werker bis zum Manager) erreichbar sein und jeder Nutzer des Systems muß in der gewünschten Detaillierung mit aktuellen Inhalten versorgt werden können (Bild 4.2, unten).

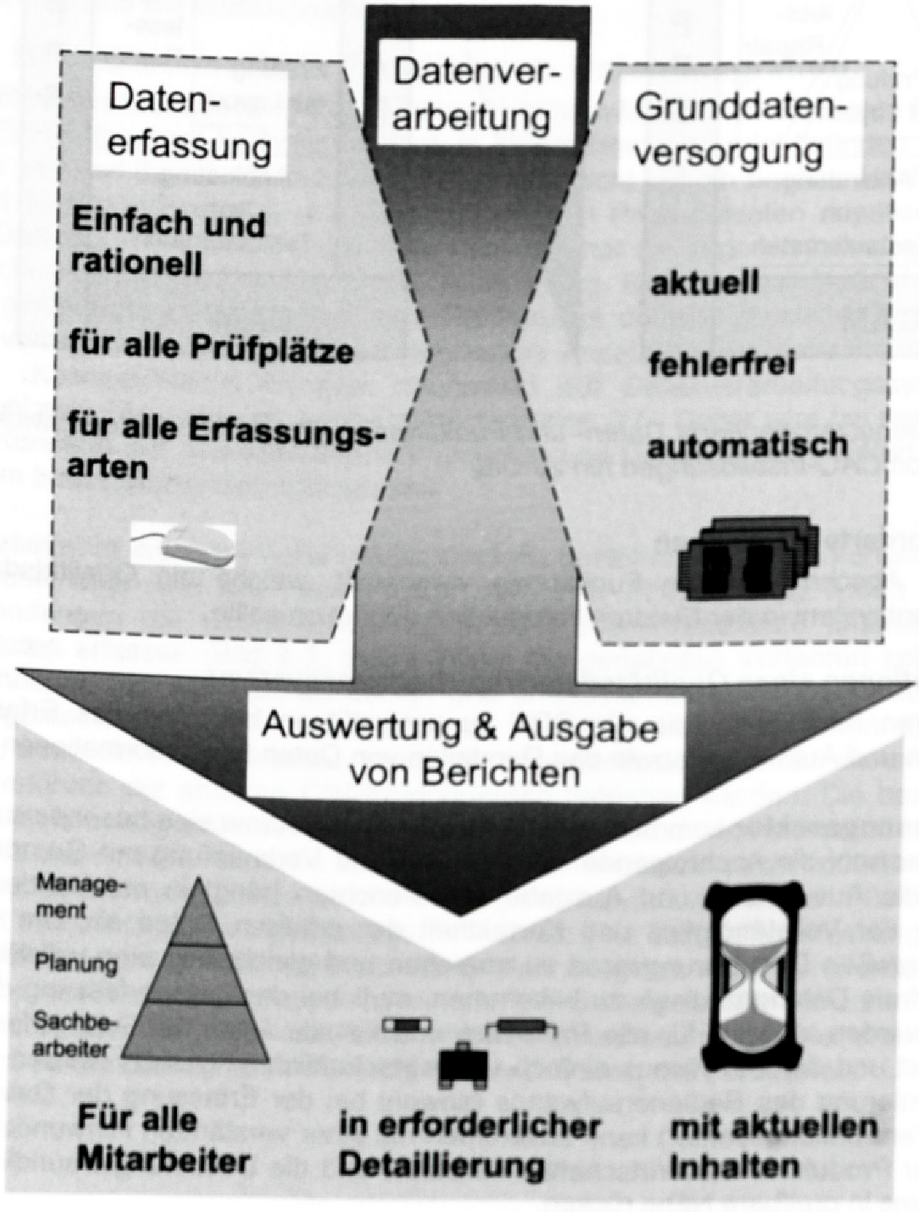


Bild 4.2: Funktionsblöcke eines Systems zur Qualitätsdatenverarbeitung und die an sie gerichteten Anforderungen

Sekundärfunktionen

Aus Sicht der Prüfdatenerfassung und -verarbeitung gibt es neben den oben angeführten Funktionen noch einige Sekundärfunktionen, die aus Gründen der Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems nicht vernachlässigt werden sollten:

- Editiermöglichkeit für Layoutdarstellung nach Übernahme der CAD-Daten
- Einfache und zentrale Aktualisierungsmöglichkeit für die Prüfanweisungen
- Anzeigemöglichkeit für technische Bauteildaten an Prüf- und Reparaturplätzen
- Einfaches Anfordern und schnelles Bereitstellen von Bauteilen

4.1.2 Integrationskonzept aus Datensicht

Wie in Abschnitt 3.2.1 erläutert, dient das Datenkonzept vornehmlich zur Abdeckung des Daten- und Auswertebedarfs. In der vorliegenden Arbeit wird der Schwerpunkt auf attributive Prüf- und Fehlerdaten gelegt, da an den meisten Prüfplätzen in der Elektronikproduktion attributive Daten anfallen, aber quantitative Prüfdaten nur an einem Teil der Erfassungsplätze zur Verfügung stehen.

Grundgedanke des Datenkonzepts

Kern des Datenkonzepts ist die gemeinsame Verwendung der Daten in mehreren Anwendungsbereichen. Dafür ist eine Datengrundlage zu schaffen, die nur einmal und an einer Stelle aufgebaut und gepflegt werden muß, aber in möglichst vielen Anwendungsbereichen in und um die Qualitätsdatenverarbeitung herum verwendet werden kann. Diese Aufgabe soll im vorliegenden Konzept von einer zentralen relationalen Datenbank übernommen werden. Bei Verwendung eines professionellen Datenbankmanagementsystems ist zum einen die Archivierungsfunktion ein Bestandteil der zur Verfügung stehenden Systemdienste und für das Einbringen von Stammdaten stehen leistungsfähige Hilfsmittel zur Verfügung (Bild 4.3, mitte).
Ein weiteres Gestaltungskriterium des Datenkonzepts ist die universelle Eingabeschnittstelle. Sie soll gewährleisten, daß möglichst viele unterschiedliche Arten von Prüfsystemen aufwandsarm angebunden werden können. Der Aufwand soll sowohl auf Seiten der datenerzeugenden Systeme als auch auf Seiten der entgegennehmenden zentralen Datenhaltung minimal sein. Als Datenlieferanten von Prüf- und Fehlerdaten kommen sowohl vollautomatische Inspektionssysteme (z.B. in-line Tester) als auch halbautomatische Testsysteme (In-Circuit-Tester mit Bedienpersonal) und schließlich vorwiegend manuell durchgeführte Prüfabläufe (z.B. visuelle Inspektion) in Betracht.
Die Art und Weise der Erzeugung und Weiterleitung von Prüf- und Fehlerdaten ist abhängig vom eingesetzten Testsystem. Daher muß das zentrale Datenhaltungssystem sowohl exemplarbezogene Daten (Prüfergebnis und Fehlerdaten werden je geprüftem Exemplar diesem mit einem Exemplar-Identfikator eindeutig zugeordnet) verarbeiten können als auch typbezogene Daten (Prüfergebnis und Fehlerdaten werden summarisch je Produkttyp zusammengefaßt) .

Qualitätsdatenberichterstattung

Im Umfeld der Qualitätsdatenberichterstattung wird das Ziel verfolgt, jeden Benutzer in adäquater Weise erreichen und informieren zu können. Da dieser Anspruch wegen der heterogenen Menge von Anwendern mit einem universellen Auswertewerkzeug nur schwer erfüllbar ist, wird den Anwendern ein Satz von aufeinander

abgestimmten Auswertewerkzeugen zur Verfügung gestellt (vgl. Bild 4.3, unten). Dabei soll ein Auswertetool schwerpunktmäßig ständig wiederkehrende Auswerteanforderungen abdecken und dabei einen möglichst großen Anwenderkreis mit Detailinformationen versorgen können. Der Schwerpunkt eines zweiten Tools wird im Bereich der flexiblen Datenrecherche zu finden sein. Mit diesem Werkzeug kann die Datenbank sehr flexibel nach allen Kriterien ausgewertet werden, um in Einzelfällen noch offenen Auswertebedarf abzudecken. Die Auswertewerkzeuge sollen abgerundet werden durch ein drittes Tool, welches in eingeschränktem Maße auch Detailinformationen liefern kann und flexibel parametrierbar ist, dessen Schwerpunkt aber eindeutig auf der Darstellung der errechneten Ergebnisse in Form von ansprechenden Business-Grafiken liegt.

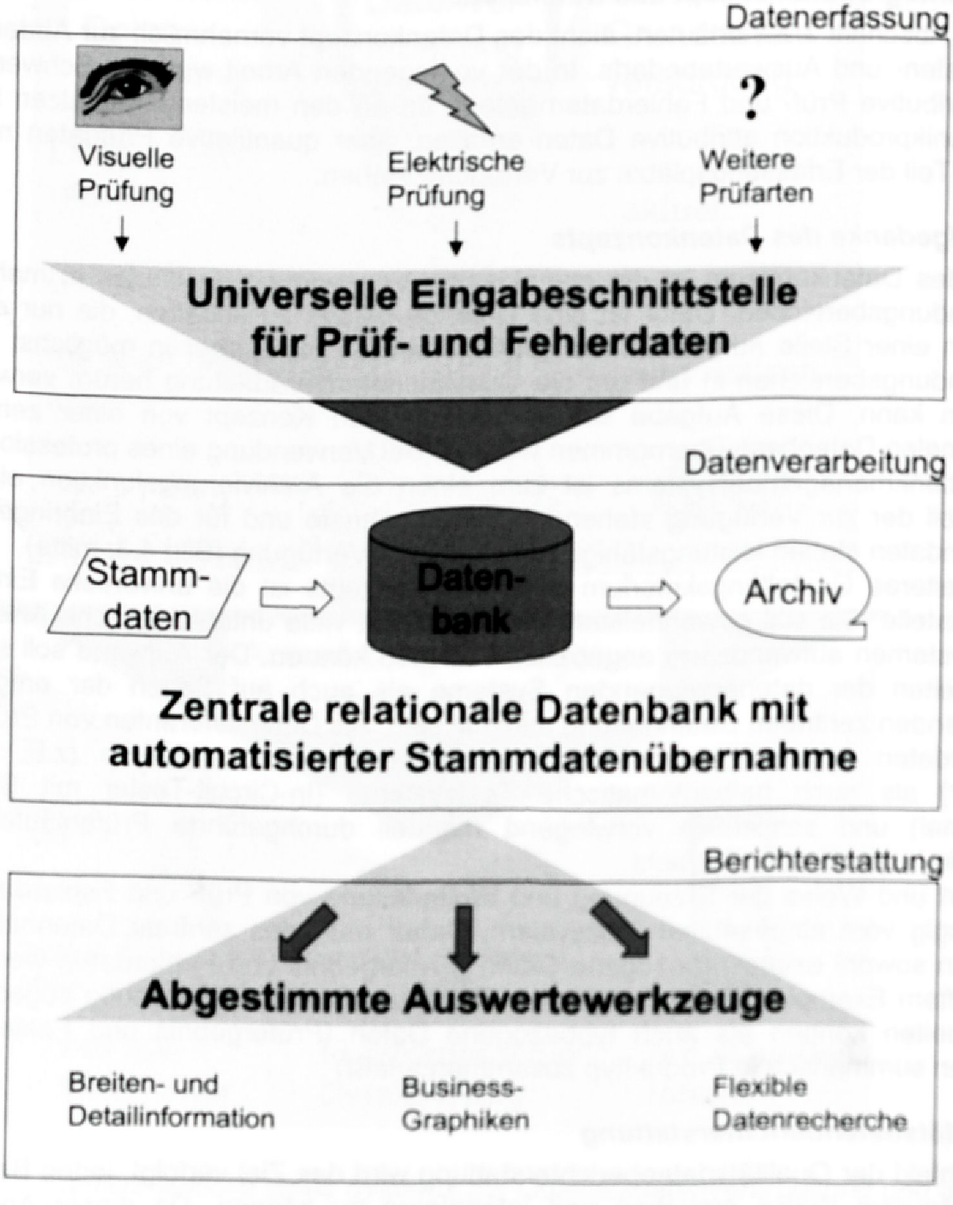


Bild 4.3: Datenintegration über die Konzepte zur Erfassung, Verarbeitung und Auswertung aller Prüf- und Fehlerdaten

Weitere Konzeptpunkte, die den Bereich Q-Berichte und Auswertungen tangieren sind:

1. eine auswerteorientierte Datenbank- und Tabellenstruktur
2. eine Bereitstellung einer großen Zahl von fertigen Auswertungen

Damit werden die Anforderungen nach kurzen Auswertezeiten und für die Benutzer einfach zu erhaltenden Auswertungen erfüllt. Die Datenauswertungen sind wesentlich zeitkritischer zu betrachten, als das Einarbeiten von erfaßten Daten in die Datenbank, weil bei Auswertungen meist eine große Zahl von Datensätzen für Verdichtungen herangezogen werden muß und zudem ein Anwender wartend vor dem System sitzt. Beim Einlesen wird in der Regel nur ein einzelner Datensatz verarbeitet (was für sich allein schnell geht) und die Einarbeitung in die Datenbank kann in vielen Fällen offline erfolgen, d.h. der Prüfablauf oder die Produktion wird nicht gebremst.

Systembasis für die Grunddaten

Auf Seite des QDV-Systems werden alle Daten in einer Datenbank gehalten. Das bietet den Systembetreibern und Anwendern die Vorteile der Sicherheit, der Konsistenz und der Übersichtlichkeit der Daten.
Die Übertragung zwischen mehreren Systemen kann offen gestaltet werden, wahlweise über Datenbankverbindung oder eine Dateischnittstelle. Damit zeichnet sich das System durch Flexibilität und Offenheit gegenüber zukünftigen Anforderungen aus.

Beziehung zwischen Typbezug und Exemplarbezug

Zur Beantwortung der Frage, ob die Datenhaltung besser exemplarbezogen, also je gefertigtes Exemplar (Unikat) mindestens ein Datensatz, oder typbezogen (je unterschiedlicher Baugruppentype mindestens ein Datensatz) erfolgen soll, muß man sich die Einsatzbereiche näher ansehen.

Die Verwaltung der Sichtprüfanweisungen für die Sichtprüfung in der Produktion erfolgt typbezogen, weil es genügt, wenn für jeden zu fertigenden Baugruppentyp eine einzige Prüfanweisung existiert. Die Fehlererfassung an Sichtprüfplätzen und an den meisten anderen Prüf- und Reparaturplätzen erfolgt jedoch exemplarbezogen, weil bei fehlerhaften Baugruppen die Analyse der Produktions- und Fehlerhistorie interessante Erkenntnisse liefern kann und weil es für eine papierlose Reparatur eine unabdingbare Voraussetzung darstellt. Die Auswertungen über Prüf- und Fehlerdaten erfolgen meist als Verdichtungen über unterschiedliche Gruppen von Baugruppentypen und unterschiedliche Zeitraster. In eher seltenen Fällen erfolgen Auswertungen über ein einzelnes Exemplar.

Im Ergebnis kann man feststellen, daß für ein umfassendes Qualitätsdatenverarbeitungssystem sowohl eine exemplar- wie auch eine typbezogene Datenhaltung erforderlich ist:

- Grunddaten werden im System typbezogen entgegengenommen, gespeichert und gepflegt. Das gilt für erforderliche CAD-Daten aus der Entwicklung und Konstruktion ebenso wie für Prüfanweisung aus den Planungsabteilungen.

- Prüf- und Fehlerdaten werden i.d.R. exemplarbezogen erfaßt und unmittelbar nach Empfang sowohl im exemplar- als auch typbezogenen Datenbereich zur Verfügung gestellt. Damit können die Daten von Reparaturplätzen für eine papierlose Reparatur exemplarbezogen verwendet werden und die schneller ausführbaren typbezogenen Auswertungen enthalten alle aktuellen Daten. Praktisch stehen damit beide Auswertearten (nach Baugruppentyp und je geprüftes Exemplar) zur Verfügung.
- Als Voraussetzung für das reibungslose Zusammenspiel ist eine Auskunftsfunktion (Tabelle) erforderlich, welche dem System mitteilt, welches Exemplar zu welchem Baugruppentyp gehört.

Koexistenz von Typbezug und Exemplarbezug in der Datenhaltung

Mit dem sich gegenseitig ergänzenden Nebeneinander von Typbezug und Exemplarbezug wird erreicht, daß die Datenhaltung in ihrer Ausprägung (als Datei oder als Datenbanktabelle) und in ihrer Struktur jeweils optimal auf den spezifischen Bereich hin ausgerichtet ist, dem sie dient. Bei erfaßten Q-Daten wird 2-phasig überlappend gefahren:

1. exemplarbezogene Speicherung
   - für Lebenslauf-und unikatbezogene Auswertungen
   - für Paperless Repair und korrekte Fortsetzung der Erfassung u. Verdichtung

2. typbezogene Speicherung
   - für schnelle prozeßorientierte Auswertungen
   - für Tages-, Monats- und Jahresverdichtungen

Die in Bild 4.4 schematisch dargestellte 2-phasig überlappende Datenhaltung kann sowohl aus dem exemplarbezogenen als auch aus dem typbezogenen Bereich die erforderlichen Daten für unterschiedliche Auswertungen bereitstellen. Auswertungen über die letzten Minuten und Stunden kommen immer aus dem Exemplarbereich, weil beim Übergang vom Exemplar- in den Typbereich sowohl über den Exemplar-Identifikator als auch über die Uhrzeit verdichtet wird. Beide Attribute sind im Typbereich nicht mehr vorhanden. Weitere Verdichtungen finden nicht statt, so daß in beiden Datenbereichen alle wichtigen Attribute, die fehler- oder produktspezifische Auswertungen ermöglichen, vorhanden sind.

Die exemplarbezogene Datenhaltung dient vornehmlich der Erstellung unikatbezogener Auswertungen und der Unterstützung einer papierlosen Reparatur. Das Datenbankdesign wurde hier erfassungsorientiert ausgelegt. Demgegenüber weist die typbezogene Datenhaltung eine stark auswerteorientierte Datenhaltung auf. So sind Auswertungen mit kurzen Antwortzeiten realisierbar, unabhängig davon, ob sie kurzfristig über einen kleinen Datenbestand auswerten oder langfristige Verdichtungen über Wochen, Monate oder Jahre vornehmen müssen.

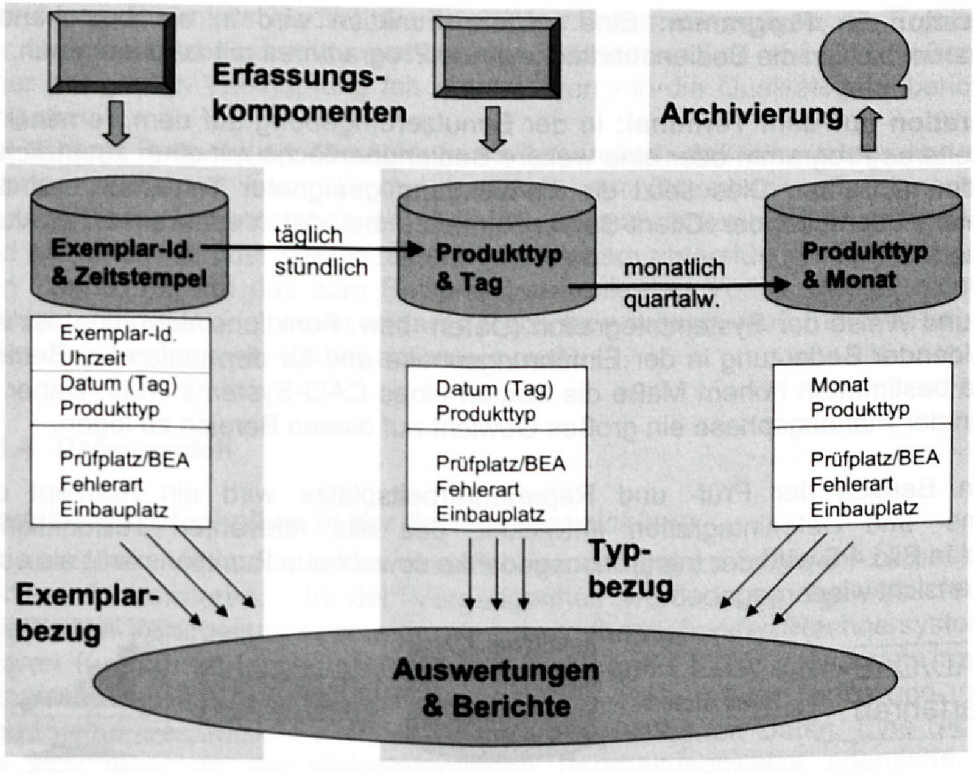


Bild 4.4: Zweiphasig überlappende Datenhaltung mit Auszug aus den jeweils auswertbaren Attributlisten

Das beschriebene Datenhaltungskonzept ist schnell und ressourcenschonend, da es geringeren Speicherplatz und kürzere Auswertezeiten benötigt, als eine unverdichtete Speicherung der erfaßten Daten. Zudem arbeitet das Konzept ohne Informationsverlust. Es werden zwar Detaildaten (Exemplar-Identifikator und Uhrzeit) entfernt, aber im Sinne der Definition stellen sie keinen Informationsverlust dar, weil z.B. für Uhrzeitangaben, die mehr als 3 Monate zurückliegen, kein Bedarf besteht.

4.1.3 Integrationskonzept aus Funktionssicht

Neben der Datenintegration ist die Funktionsintegration der zweite Ansatzpunkt zur Erreichung einer integrierten Qualitätssicherung. Nach einer häufig vertretenen Auffassung ist eine Datenintegration eine Voraussetzung für eine Funktionsintegration. Andererseits bleibt festzustellen, daß eine Funktionsintegration sich nicht automatisch nach einer Datenintegration einstellt. Untersuchungen haben gezeigt, daß im Rahmen von CIM-Realisierungen trotz fortgeschrittener EDV-Durchdringung in den Unternehmen bisher nur wenig Veränderungen auf dem Gebiet der Funktionsintegration stattgefunden haben /78, 113/. Diese Feststellungen unterstreichen, daß sich die Vorteile einer integrierten Qualitätssicherung besser durch eine kombinierte Daten- und Funktionsintegration erreichen lassen.

Es gibt zwei grundsätzliche Ansatzpunkte, eine Funktionsintegration aus Benutzersicht herbeizuführen:

1) **Integration im Programm:** Eine weitere Funktion wird in ein bestehendes Programm bzw. in die Bedienoberfläche eines Programmes mit aufgenommen.

2) **Integration auf dem Terminal:** In der Benutzerumgebung auf dem Terminal ist ein weiteres Programm oder eine weitere Bedienoberfläche mit einer zusätzlichen Funktion aufrufbar. Dies setzt die Verwendung geeigneter Terminals und den Einsatz entsprechender Client-Server-Konzepte bei der Verfahrensentwicklung voraus.

Die Art und Weise der Systemintegration (Daten- bzw. Funktionsintegration) ist von entscheidender Bedeutung in der Einführungsphase und für den laufenden Betrieb, denn sie bestimmt in hohem Maße die Kosten eines CAQ-Systems /108/. Daher ist bereits in der Planungsphase ein großes Gewicht auf diesen Bereich zu legen.

Für den Bereich der Prüf- und Reparaturarbeitsplätze wird ein Konzept der Funktions- und Datenintegration entwickelt, das alle relevanten Teilfunktionen abdeckt: In Bild 4.5 wird der Integrationsgedanke sowohl aus Funktionssicht als auch aus Datensicht wiedergegeben.

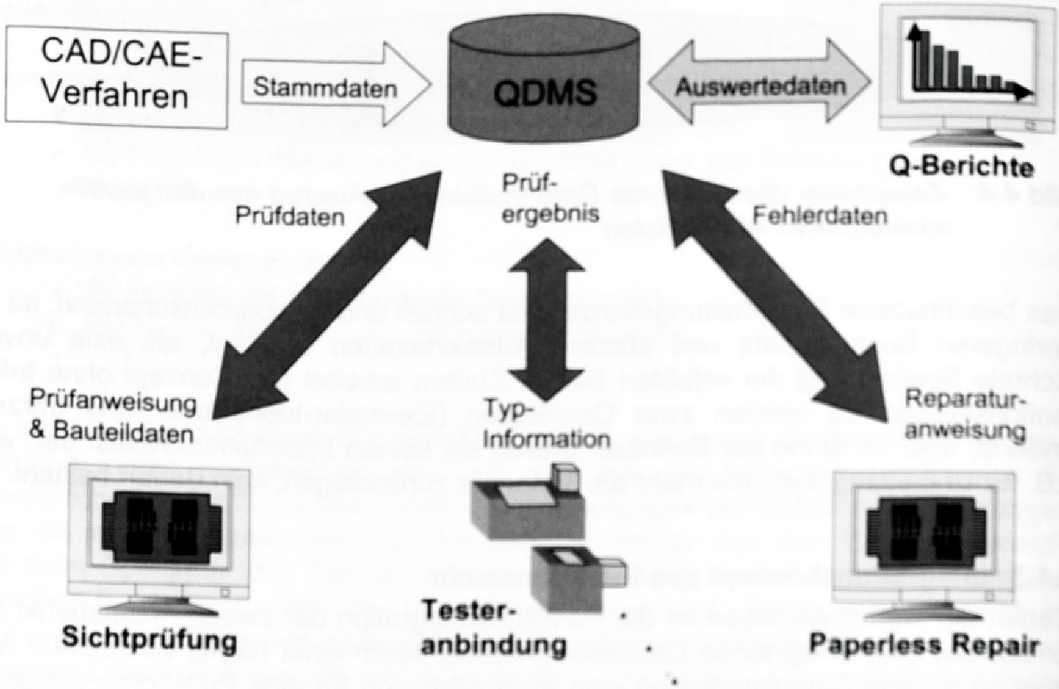


Bild 4.5: Integration unterschiedlicher Arten der Datenerfassung und Auswertung in einem System mit zentraler Datenhaltung

In der unteren Hälfte von Bild 4.5 findet man beispielhaft Elemente aus dem Prüfgeschehen in der Elektronikproduktion: Visuelle Inspektion (Sichtprüfung), Nutzung automatischer Testsysteme (Testeranbindung) und bei Bedarf Reparaturplätze. Je nach Arbeitsschritt werden unterschiedliche Daten benötigt: Die Sichtprüfung benötigt Prüfanweisungen und Bauteildaten, die automatischen Testsysteme benötigen neben einem Prüfprogramm noch eine Auskunft, welchen Typ von Baugruppe sie gerade prüfen müssen und die Reparaturplätze erhalten eine Reparatur-

anweisung. So unterschiedlich die benötigten Daten sein mögen, die Ergebnisdaten der einzelnen Arbeitsschritte weisen eine Gemeinsamkeit auf: Sie fließen - nach einer geeigneten Verknüpfung mit Stammdaten - in die Qualitätsdatenberichterstattung ein.
Bei näherer Betrachtung der Abläufe stellt man fest, daß eine Integration auf zwei Ebenen stattfinden kann. Einmal innerhalb der Datenbank oder innerhalb des Servers über die verschiedenen „bereichs-spezialisierten" Datenhaltungen hinweg und ein andermal über die einzelnen, vom System unterstützten Teilfunktionen: Für den Benutzer bietet das zum Beispiel den konkreten Vorteil, daß er nicht an ein anderes Terminal oder einen anderen Rechner wechseln muß, nur weil er während eines Prüfvorgangs ein Bauteil anfordern muß.

4.1.4 Datenmodell

Modellierungstechniken in der Softwareentwicklung

Die einzelnen Methoden helfen eine Problemstellung zu zerlegen, zu strukturieren und zu formalisieren. In der Vergangenheit wurden, geprägt von der batchorientierten Verarbeitungsweise der damals vorherrschenden Rechnersysteme, des öfteren **funktionsorientierte Modellierungstechniken** /23/ verwendet. Im Vordergrund standen dabei die Funktionen, die ein System erfüllen sollte und meist bestand keine Gesamtsicht auf die im System vorhandenen Daten. Eine Sichtweise, die sich mehr an der dialogorientierten Bearbeitungsweise orientierte, ist die **ereignisorientierte Modellierung**. Das System reagiert dabei auf ein Ereignis, welches von außen an es herangetragen wird /139/. Eine zentrale Rolle in Informationssystemen spielt die Manipulation von Daten. Dies überträgt sich auf die Bedeutung der **datenorientierten Modellierungsmethoden**. Ihre Vertreter sind auch in der Praxis häufiger anzutreffen, als eine funktions- oder ereignisorientierte Methode. Im Umfeld des Datenbankentwurfes entstanden erste methodische Grundlagen, z.B. ein 3-Ebenen-Modell /2/. Damit war es möglich, die notwendige physische und logische Datenunabhängigkeit zu gewährleisten. Die klassischen Datenmodelle (hierarchisches Modell, Netzwerkmodell, Relationenmodell) sind jedoch spezifisch auf die Abbildung der Daten in eine physikalische Datenbank ausgerichtet. Es fehlte noch eine darstellungsunabhängige Beschreibung der Informationsstruktur einer Anwendung. Erst die semantischen Datenmodelle brachten zusätzliche Abstraktionsmechanismen mit und erlauben eine Abbildung der relevanten semantischen Konzepte einer Anwendung auf einer konzeptionellen Ebene /18/. Das Entity-Relationship-Modell /20/ ist der erste und am weitesten verbreitete Vertreter dieser Klasse von Modellen.
Im Laufe der Jahre wurden bei semantischen Modellen eine Reihe von Erweiterungen wie Generalisierung/Spezialisierung, Aggregation, Klassifizierung und Gruppierung eingeführt, um komplexe semantische Strukturen im Anwendungsbereich abbilden zu können. Die Techniken der Datenmodellierung vernachlässigen die dynamischen Aspekte eines Informationssystems. Dennoch kann man davon ausgehen, daß ER-Modelle gegenwärtig die geeigneten Beschreibungsverfahren für Datenstrukturen sind /110/.

Datenorientierte Modellierung in 2 Abstraktionsstufen

Der reale Produktionsprozeß soll in einem Datenmodell so beschrieben werden, daß eine Erfassung und Auswertung von Qualitätsdaten möglich wird. Dazu ist es

erforderlich, sich den Produktionsprozeß und im speziellen die qualitätsrelevanten Teilschritte anzusehen. Vereinfacht könnte man behaupten, daß der Produktionsprozeß aus einer wechselnden Folge von Bearbeitungs- und Prüfschritten besteht. Die Prüfschritte können dabei an separaten Arbeitsplätzen erfolgen oder in einen Bearbeitungsschritt integriert sein. Dabei kann davon ausgegangen werden, daß jedes Produkt und jede Leiterplatte bzw. Flachbaugruppe einen eindeutigen Namen (Identifikator) in Form eines Strichcodes trägt, der der schnellen und sicheren Identifizierung dienen soll. Dieser Identifikator soll bei jedem Prüf- oder Bearbeitungschritt in der Produktion gelesen werden.
Der idealisierte Produktionsablauf sieht demnach wie folgt aus: An jedem Prüf- oder Bearbeitungsschritt wird zunächst der Strichcode gelesen und damit der Produkttyp ermittelt. Abhängig vom Typ kann danach das jeweilige Bestückprogramm oder Prüfprogramm gestartet werden. Am Ende des jeweiligen Bearbeitungsschrittes wird der Bearbeitungsstatus (z.B. PASS oder FAIL) zusammen mit möglichen Fehlerhinweisen dem zu Beginn gelesenen Identifikator zugeordnet.

Im exemplarbezogenen Modell (Bild 4.6, mitte) ist daher vorgesehen, daß jedes bearbeitete Exemplar neben seinem Identifikator als Attribute den Bearbeitungsplatz, Datum und Uhrzeit sowie eine Pass/Fail-Kennung erhält. Einem bearbeiteten Exemplar (z.B. Baugruppe an einem Prüfplatz nach Abschluß der Prüfung) kann ein Prüfprotokoll zugeordnet werden und im Fehlerfall können zu einem späteren Zeitpunkt noch Fehlerursachen bestätigt werden.
Das zu entwerfende Datenmodell soll aber auch dann eine Beurteilung des Qualitätsgeschehens einer Produktion erlauben, wenn (noch) nicht alle Leiterplatten einen Strichcode aufweisen oder der letzterer nicht an allen Arbeitsplätzen gelesen werden kann. Für diese Beurteilung der Qualität ist es erforderlich, für alle unterschiedlichen Typen von Flachbaugruppen und Produkten wenigstens eine summarische Auswertung generieren zu können, aus der hervorgeht, an welchen Prüfplätzen welche Arten von Fehlern entdeckt wurden. Die Fehler müssen dabei nicht mehr einem einzelnen Exemplar zugeordnet werden können.
Für diesen Fall wird eine 2. Abstraktionsstufe eingeführt, die aus Auswertesicht eine typbezogene Datenverdichtung darstellt (Bild 4.6, oben). Gegenüber den exemplarbezogenen Daten erfolgt eine Verdichtung über den Exemplar-Identifikator und die Uhrzeit, d.h. alle Exemplare eines Typs werden stückzahlmäßig zu einem Tageswert zusammengefaßt. Die Zuordnung bestätigter Fehlerursachen soll dabei erhalten bleiben. Die Fehlerdaten werden daher auch ins typbezogene Modell übernommen, auch wenn nicht mehr feststellbar ist, welcher Fehler auf welcher Baugruppe auftrat. In dieser Ebene ist somit nur noch eine typ- und tagesbezogene Auswertung zu einem bestimmten Produktionsprozeß möglich. Die Auswertedimensionen Typ, Prozeß und Tag werden dazu abgebildet auf die Attribute FBG-Typ, Platzart und Datum im typbezogenen Modell (Bild 4.6, oben links).

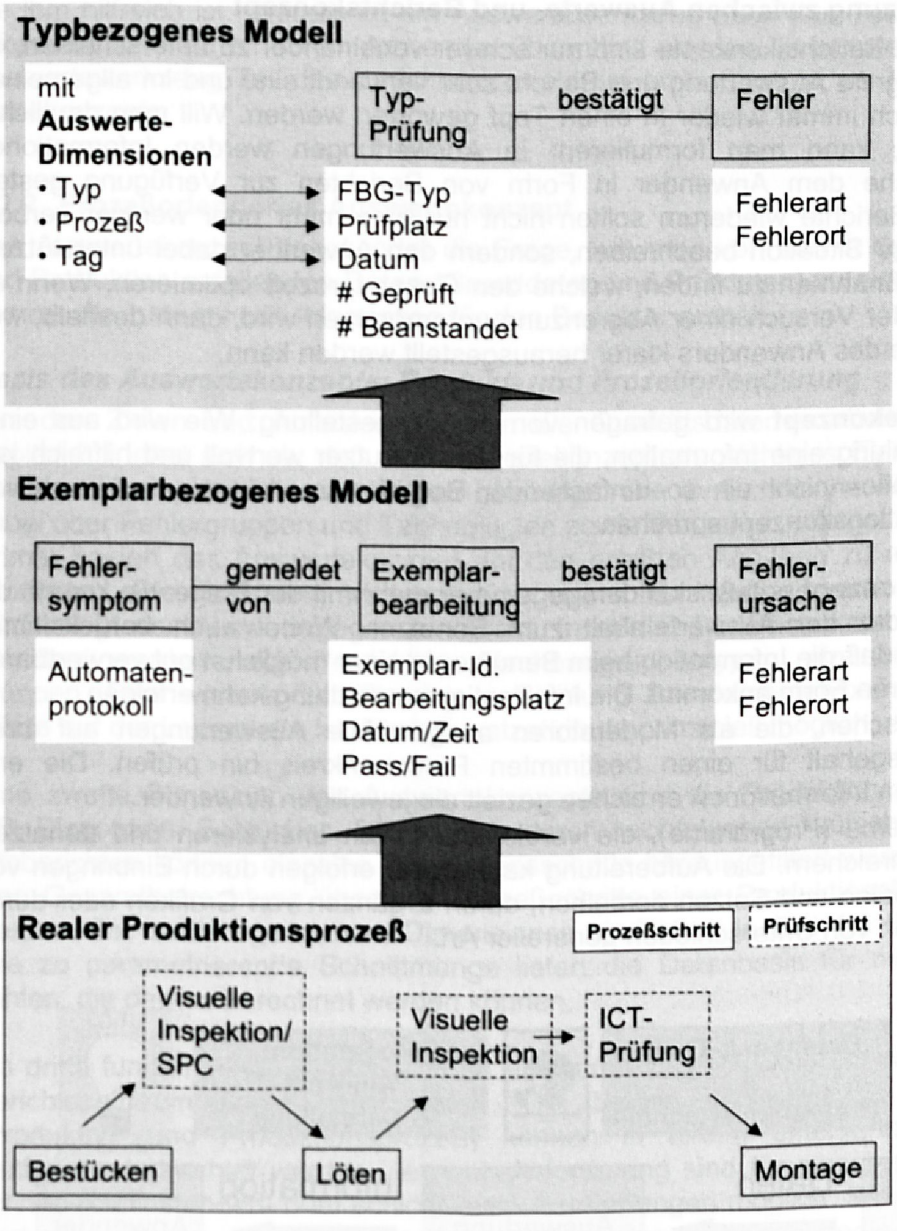


Bild 4.6: Datenorientierte Modellierung über 2 Abstraktionsstufen zu einem exemplarbezogenen und einem typbezogenen Datenmodell

4.2 Bedarfsgerechte Auswerte- und Berichtskonzepte

In diesem Abschnitt soll ein Konzept oder Ansatz für benutzer- u. prozeßorientierte Auswertungen und Berichte aufgezeigt werden. Dabei sollen die in Kapitel 2.3.3 angesprochenen Nachteile der als nicht bedarfsgerecht anzusehenden Qualitätsberichte (zu spät, zu wenig detailliert und dennoch unübersichtlich) überwunden werden.

4.2.1 Abgrenzung zwischen Auswerte- und Berichtskonzept

Auswerte- und Berichtskonzepte sind nur schwer voneinander zu unterscheiden, da bereits die Begriffe Auswertung und Bericht sehr verwandt sind und im allgemeinen Sprachgebrauch immer wieder in einen Topf geworfen werden. Will man deutlicher unterscheiden, kann man formulieren: In Auswertungen werden Informationen ermittelt, welche dem Anwender in Form von Berichten zur Verfügung gestellt werden. Die Berichte wiederum sollten nicht nur eine mehr oder weniger verbesserungswürdige Situation beschreiben, sondern den Anwender dabei unterstützen, geeignete Maßnahmen zu finden, welche den Gesamtprozeß optimieren. Wenn an dieser Stelle der Versuch einer Abgrenzung unternommen wird, dann deshalb, weil damit die Rolle des Anwenders klarer herausgestellt werden kann.

Das **Auswertekonzept** wird getragen von der Fragestellung: Wie wird aus einer Datenansammlung eine Information, die für den Benutzer wertvoll und hilfreich ist? Wenn Information nicht ein so umfassender Begriff wäre, könnte man auch von einem Informationskonzept sprechen.

Ein **Berichtskonzept** befaßt sich demgegenüber mehr mit der Frage wie kommt die Information oder der Auswerteinhalt zum Benutzer. Wobei auch berücksichtigt werden sollte, daß die Information beim Benutzer in einer möglichst gut verwertbaren und umsetzbaren Form ankommt. Die Informationsvermittlung kann erfolgen

- durch Menschen, die als Moderatoren ausgewählte Auswertungen auf ihren Informationsgehalt für einen bestimmten Personenkreis hin prüfen. Die entsprechenden Informationen erreichen gezielt die jeweiligen Anwender.
- durch Systeme (Programme), die verdichtete Daten analysieren und benutzerorientiert anreichern. Die Aufbereitung kann dabei erfolgen durch Einbringen von Ampelsymbolen und Setzen derselben, durch Ergänzen von Grafiken oder durch Hervorheben von Unterschieden genereller Art.

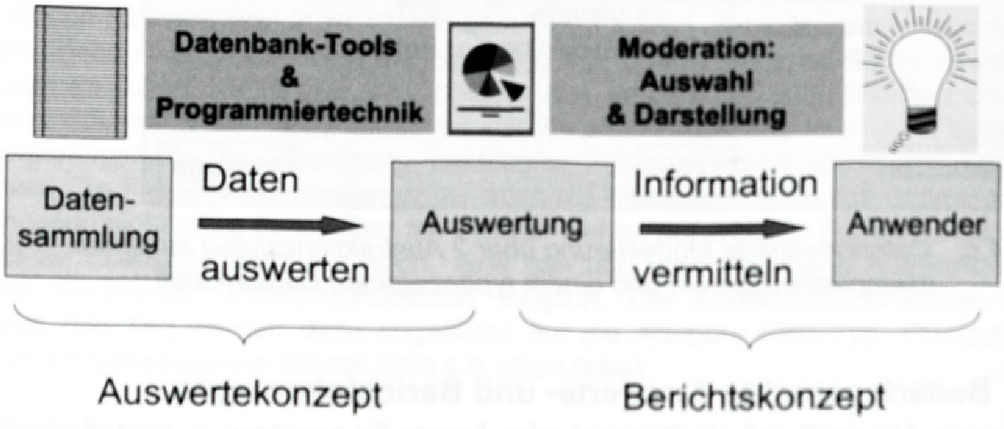


Bild 4.7: Abgrenzung der Konzeptbereiche und Zuordnung der jeweiligen Schwerpunkte

Auswertewerkzeuge spielen in beiden Konzepten eine verbindende Rolle (Bild 4.7). Ein Auswertewerkzeug kann aus einer Datensammlung einzelne Daten extrahieren und transformieren, daß sie für einen Benutzer eine Information darstellen können,

die ihm hilfreich ist. Oftmals ist ein Auswertewerkzeug auch das Tool, mit dem die informierenden Daten einem Anwender übermittelt werden. In letzerem Fall ist das Auswertewerkzeug Teil des Berichtskonzepts, im ersten Fall ist es Teil eines Auswertekonzepts.

4.2.2 Prozeßorientiertes Auswertekonzept

Das Auswertekonzept beantwortet die Frage, wie man von den in der Entwicklung und Produktion anfallenden Daten (Grunddaten und Prüfdaten) zu einer Auswertung kommt, die zudem noch Information für den Benutzer enthält.

Basis des Auswertekonzepts: Produkt- und Prozeßorientierung

Aus den Zielen und Anforderungen an die Qualitätsdatenverarbeitung (QDV) in Kapitel 3.1 leitet sich ab, daß ein Auswertekonzept als wichtiges Element in jedem Fall prozeßorientierte Auswertungen beinhaltet. Die dv-technische Abbildung kann dabei über Fehlergruppen und Technologien sowie Platzarten erfolgen.
Primär basiert das Auswertekonzept auf den erfaßten Angaben zu allen geprüften Produkten. Die Erfassung wird entweder exemplar- oder typgenau durchgeführt. Damit liegt der Auswertegegenstand fest. In den Q-Berichten kann grundsätzlich detailliert werden nach Produkten, Flachbaugruppentypen, einzelnen Flachbaugruppen. Eine weitere Detaillierung in Richtung Bauelementetypen oder Einbauplätze auf der Leiterplatte ist durch Zusatzattribute prinzipiell möglich.

Eine zweite Dimension des Auswertekonzepts sind die Produktionsprozesse (wie z.B. Dispensen, Bestücken, Löten) bzw. deren nachfolgende Prüfschritte. In Qualitätsberichten können einzelne Produktionsschritte herausgefiltert werden oder auch eine Gesamtbetrachtung über alle Prozeßschritte einer Produktionslinie angestellt werden. Die beiden genannten Dimensionen sind oben in Bild 4.8 dargestellt und ihre zu parametrierende Schnittmenge liefert die Datenbasis für mögliche Kennzahlen, die daraus berechnet werden können.

Als dritte fundamentale Dimension des Auswertekonzepts kann der Auswerte- oder Berichtszeitraum angesehen werden. Die beiden vorgenannten Dimensionen (Produkttyp und Produktionsprozeß) können in einem unterschiedlich großen Zeitfenster betrachtet werden. Je nach Anforderung sind für einzelne Produktionsschritte damit stunden- oder schichtweise Auswertungen möglich. Sehr gebräuchlich sind auch Tages-, Wochen- oder Monatsauswertungen, unabhängig davon, ob es um Schwerpunktanalysen oder Trendermittlung geht.

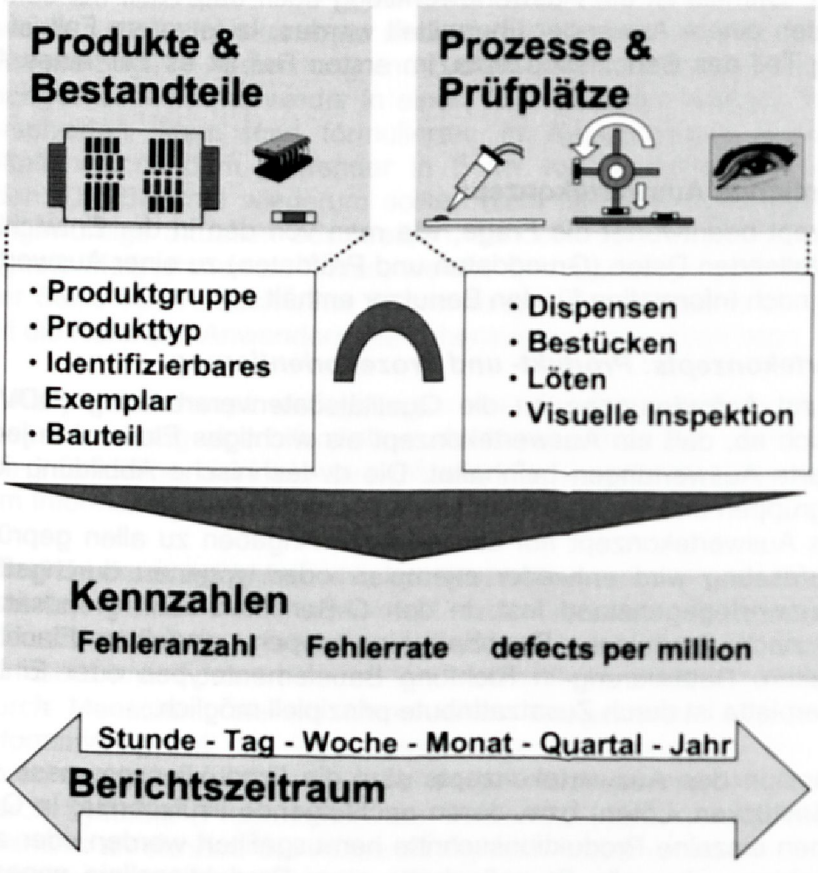


Bild 4.8: Produkt- und prozeßorientierte Kennzahlen auf flexiblem Zeitraster als Basis des Auswertekonzepts

Klassifizierung nach dem Auswertezweck

Betrachtet man die Summe aller Auswertungen, so lassen sich mehrere Varianten hinsichtlich des Anwendungsfalles unterscheiden. In Bild 4.9 sind vier Einsatzmöglichkeiten dargestellt, die nicht nur für Qualitätsinformationssysteme eine Rolle spielen, sondern auch in allgemeinen Führungsinformationssystemen von Bedeutung sind */125/*. Sie werden gemäß ihrem Charakter klassifiziert in überwachende und reagierende Auswertungen auf der einen und in vorbereitende und probierende Auswertungen auf der anderen Seite.

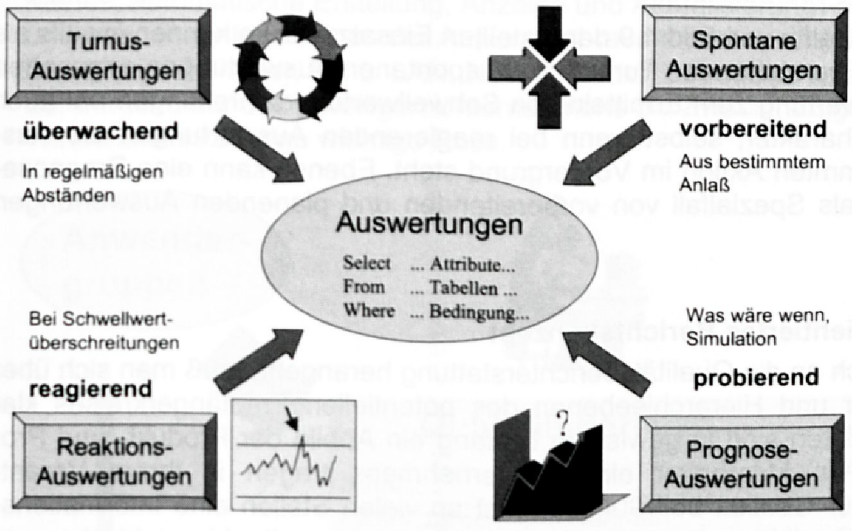


Bild 4.9: Charakterisierung von Auswertungen nach dem Einsatzzweck

Werden Auswertungen in regelmäßigen Abständen (z.B. täglich, wöchentlich oder monatlich) durchgeführt und haben sie überwachenden Charakter, dann kann man von Turnus-Auswertungen sprechen. Diese Art der Auswertung zeichnet sich aus durch einen standardisierten inhaltlichen Rahmen mit bestimmten Kennzahlen und Grafiken. Von interessierten Mitarbeitern kann über bestimmte Parameter vorab vereinbart werden, welches Produkt an welchem Prozeßschritt über welchen Berichtszeitraum in welchem Turnus ausgewertet werden soll. Typische Einsatzfälle sind laufende Beobachtung der Produkt- und Prozeßqualität und die Erhöhung der Transparenz in der Produktion. Als zweite Art von Auswertungen seien die Schwellwertauswertungen oder reagierenden Auswertungen genannt. Sie sollen helfen, bei Schwellwertüberschreitungen oder in anderen Ausnahmefällen die Ursachen oder Hintergründe aufzudecken.

Eine dritte Kategorie von Auswertungen stellen die sogenannten „spontanen Auswertungen" dar. Sie dienen der Befriedigung von Informationsbedarf, der sich unvermittelt aus einem bestimmten Anlaß ergeben kann. In diese Kategorie fallen Auswertungen mit planendem oder vorbereitendem Charakter im Vorfeld neuer fertigungstechnischer Vorhaben. Meist handelt es sich dabei um vergleichende Auswertungen: z.B.

- ein Produkttyp an zwei unterschiedlichen Auswertungszeiträumen oder
- ein bestimmter Prozeß und mehrere Produkttypen oder
- ein bestimmter Prozeß an mehreren Produktionstagen, ...

Als Ziele stehen hinter dieser und der nächsten Klasse von Auswertungen eine Erhöhung der Eintreff-Wahrscheinlichkeit und abgesicherte Planungen.

Eine vierte Art von Auswertungen soll Prognosen für die Zukunft ermöglichen. Meist helfen sie, um Fragestellungen der Art „was wäre, wenn ..." zu beantworten oder ein Szenario abzurunden. Auch Simulationen können in dieser Kategorie von experimentellen oder probierenden Auswertungen vertreten sein.

Die in der unteren Hälfte von Bild 4.9 dargestellten Einsatzzwecke können jeweils als Spezialfall der darüberstehenden Turnus- bzw. spontanen Auswertungen angesehen werden. Eine Auswertung zum Ermitteln von Schwellwertüberschreitungen hat auch überwachenden Charakter, selbst wenn bei reagierenden Auswertungen die Auslösung einer bestimmten Aktion im Vordergrund steht. Ebenso kann eine Prognoseauswertung auch als Spezialfall von vorbereitenden und planenden Auswertungen betrachtet werden.

4.2.3 Benutzerorientiertes Berichtskonzept

Bevor man inhaltlich an die Qualitätsberichterstattung herangeht, muß man sich über Aufgaben, Struktur und Hierarchieebenen des potentiellen Empfängerkreises klar werden. Qualitätsdaten sind in gewissem Umfang ein Abbild der Produkt- und Produktionsqualität. Alle Mitarbeiter eines Unternehmens tragen in ihrem Verantwortungsbereich zur Qualität bei /90/. Dazu ist an vielen Stellen eine Informationsmöglichkeit über Qualität notwendig. So verschieden nun die hierarchische und funktionelle Einbettung eines Mitarbeiters in das Unternehmen sein kann, so unterschiedlich sind auch die Anforderungen an Auswertungen über Qualitätsdaten.

Das Berichtskonzept basiert auf dem Auswertekonzept und ist stark abhängig von ihm. Ein Schlüsselthema des Berichtskonzepts ist die Zusammenstellung und Darstellung der ausgewerteten Kennzahlen in einem Qualitätsbericht. Der Inhalt und Aufbau eines Qualitätsberichts wird von einer Reihe von Kriterien beeinflußt. Wenn man während der Konzipierung die Bedarfsorientierung in den Vordergrund stellen will, dann zielt das beim Berichtswesen auf ein benutzerorientiertes Konzept. Damit ergeben sich die in Bild 4.10 dargestellten Gestaltungsaspekte:

- Zuschnitt auf Anwendergruppen (Entwickler, Planer, Maschinenbediener, Manager, Meister). Hierbei ist wichtig, daß die Berichte für alle Zielgruppen sich auf die gleiche Datenbasis abstützen.
- Auswahl optimaler Darstellungsformen (Text, Grafik): Hier ist einmal wichtig, daß neben einem Textteil, der Detaildaten enthalten kann, die Bedeutung grafischer Anteile in den Qualitätsberichten berücksichtigt wird. Wesentliche Informationen in Zahlenkolonnen erreichen schnell und sicher den Anwender, wenn Besonderheiten in grafischer Form (z.B. als Histogramm) hervorgehoben werden. Unabhängig davon, ob Kennzahlen, Maßnahmen oder Rohdaten den Inhalt des Berichts ausmachen, sind Zeitreihen und Pareto-Darstellung zwei wesentliche Darstellungsformen, die den Informationsgehalt steigern helfen.
- Aktualität bedeutet, daß die Inhalte in den Q-Berichten nicht zu alt sein dürfen, um aus ihnen noch wirkungsvolle Maßnahmen ableiten zu können. Damit wird die Aktualität zu einem relativen Kriterium. Für den Einrichter an der Bestücklinie kommt eine tagesaktuelle Auswertung zu spät, wenn er versucht, mit Daten des Q-Berichts Automatenstörungen innerhalb der Schicht zu erkennen und zu beseitigen. Für einen Mitarbeiter im Planungsbereich kann eine Wochenauswertung zu neu sein oder zu wenig Daten enthalten, wenn er aus einer möglichst großen Grundgesamtheit Erkenntnisse für eine neu zu planende Bestücklinie ziehen will. (..., Monat, Woche, Tag, Schicht, Stunde, Minute, ...)
- Die Bedienung und der Umgang mit Qualitätsberichten muß unter Nutzung aller technischen und softwaretechnischen Möglichkeiten (Tastatur, Maus-gestützte

Menüs, automatische Erstellung, Anzeige und Aktualisierung) gestaltet werden, und zwar so einfach wie es der Anwender braucht und es das Medium zuläßt.

- Das Medium (Papier, PC u. LAN, NC u. Intranet) betreffend spielt abhängig von der Infrastruktur des jeweiligen Unternehmens die Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle.

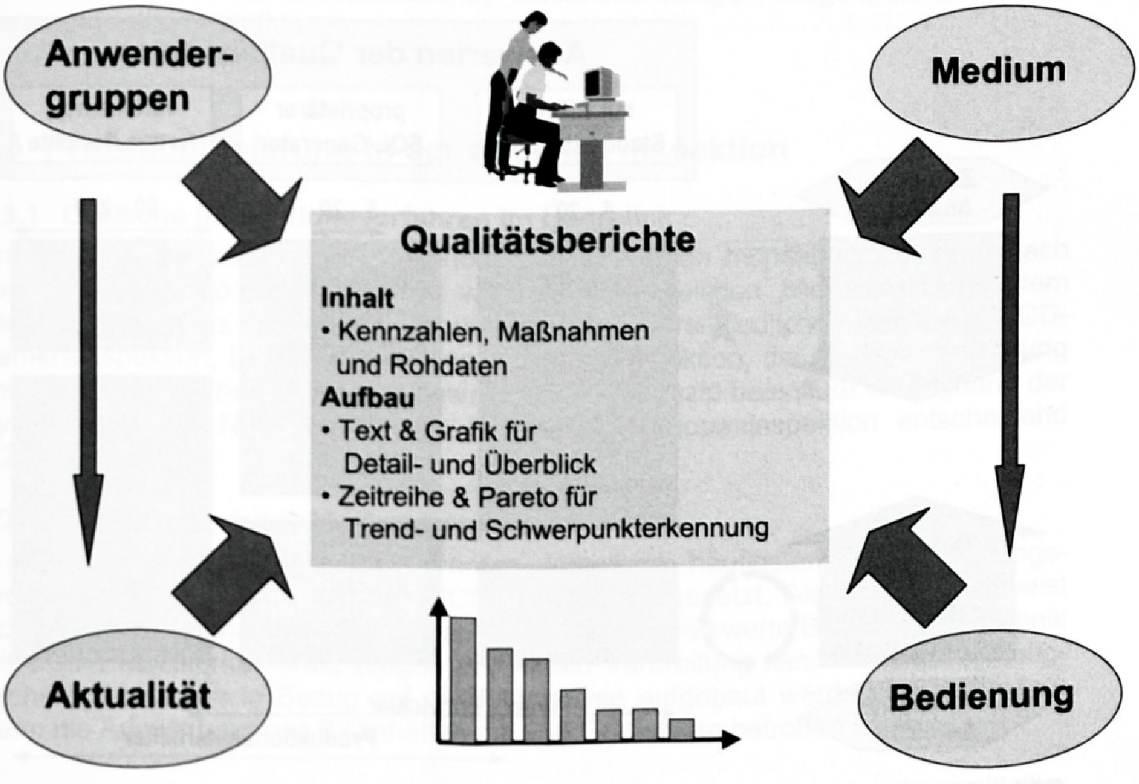


Bild 4.10: Einflußgrößen hinsichtlich Zusammenstellung und Darstellung von Qualtitätsberichten

Die Erkenntnis, daß es unterschiedliche Anwendergruppen geben wird /125/ und die aufgeführten Variationsmöglichkeiten deuten darauf hin, daß sowohl bei den Q-Berichten als auch den Auswertewerkzeugen Flexibilität ein wichtiges Kriterium sein wird. Die geforderte Flexibilität erstreckt sich mindestens auf die Bereiche: Datenselektion (Inhalt), Nutzung, Datensicht.

Dies spricht dafür, ein Berichtskonzept zusammenzustellen, welches aus mehreren Bausteinen besteht. Die Bausteine selbst haben einen individuellen Zuschnitt, sind jedoch im Kern (Datenhaltung) mit allen anderen Bausteinen integriert. Flexibilität bleibt ein Thema, selbst wenn z.B. je Anwendergruppe ein eigenes Werkzeug geschaffen würde, weil innerhalb der Gruppe wiederum unterschiedliche Aspekte berücksichtigt werden müssen. Zeitreihenauswertungen (Trendanalysen) und Pareto-Analysen (ABC-Analysen) sind Bestandteil jedes Bausteins.

Bei der Auswertung von Qualitätsdaten können mehrere Klassen von Auswertewerkzeugen unterschieden werden, die ihrerseits das Berichtskonzept prägen.

Welche Auswerteklasse von welchem Anwender benutzt wird, hängt letztlich ab von der Qualifikation des Anwenders und seinen Ansprüchen in Bezug auf Inhalt und Aufbereitung des Auswerteergebnisses. Die in Bild 4.11 vorgenommene Klassifizierung der Auswertungen unterscheidet vornehmlich nach den für ihre sachgerechte Nutzung erforderlichen Kenntnissen.

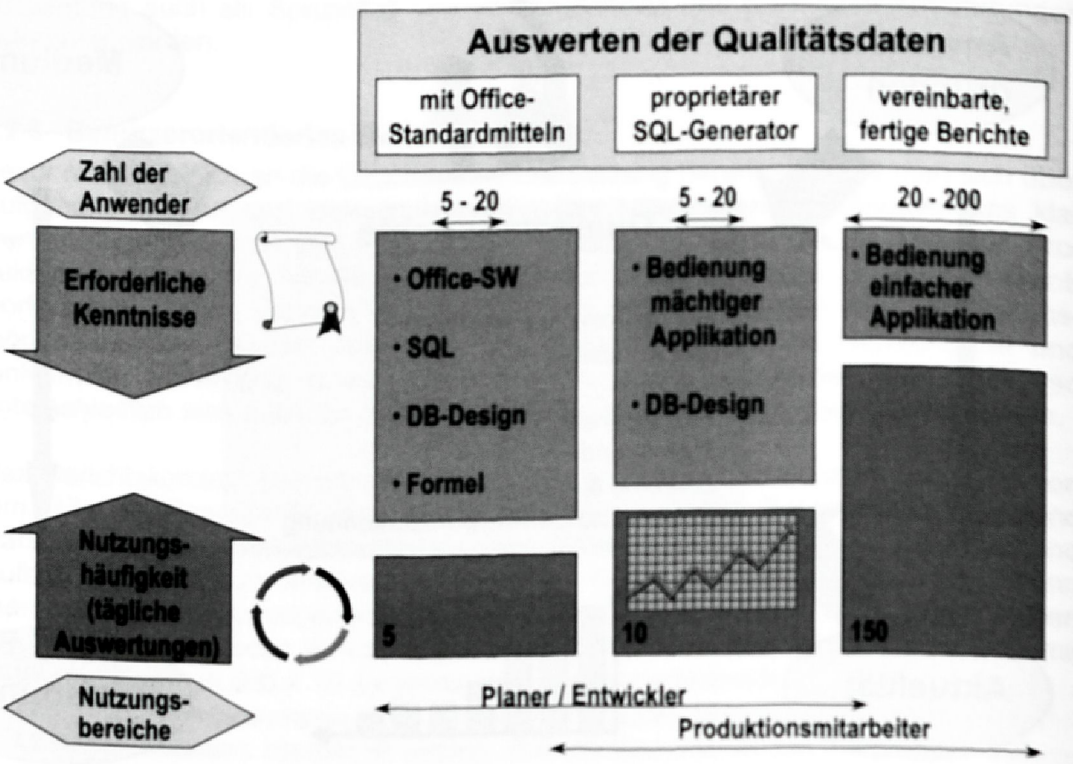


Bild 4.11: Auswertungsklassen bei Qualitätsdaten in der betrieblichen Praxis

Standardmäßig ist in den meisten Office-Paketen ein kleines Datenbanksystem oder ein Abfragewerkzeuge enthalten. Einige davon bieten damit dem qualifizierten Anwender die Möglichkeit, sich individuell und sehr flexibel seine Auswertungen zusammenzustellen. Doch dazu sind neben Grundkenntnissen im Bereich der Datenbankprogrammierung auch fundierte Kenntnisse über das den Daten zugrundeliegende Datenbankdesign und die Formeln zur Kennzahlenberechnung erforderlich. Als Nachteil nimmt man in Kauf, daß man dazu bei jeder neuen Fragestellung wieder programmieren muß.

Da jedoch viele Anwender nicht für jede Auswertung neu programmieren können oder wollen, müssen sehr einfach zu bedienende Lösungen angeboten werden, um an Qualitätsberichte zu kommen. Einmal gibt es die Möglichkeit sich einen Auswerte-Pool mit fertigen Berichten einzurichten, die vorher vereinbart werden müssen. Dazu müssen die Anwender alle Fragestellungen, die sie immer wieder beantwortet haben wollen, als Anforderung bekanntgeben. Dann können entsprechende Auswertewerkzeuge ständig diese Auswertungen aktualisieren und den Anwendern zur Verfügung stellen. Nachteilig wirkt sich hierbei aus, daß nicht kurzfristig auf neue Fragestellungen reagiert werden kann. Dafür sind bei den bekannten Auswertungen keine Wartezeiten zu befürchten.

Eine deutlich flexiblere Variante, die bereits genutzt werden kann, wenn einem Anwender die Bedienung eines mächtigen Parametrierungsmenues zugemutet werden kann, ist ein proprietärer SQL-Generator mit nachgeschalteter Grafikkomponente. Auch Anwender ohne Programmierkenntnisse können sich relativ flexibel und aufwandsarm ihre Fragestellungen mit diesem SQL-Generator beantworten lassen, wenn sie über ein Grundverständnis der Zusammenhänge verfügen, die sie mit der Parametrierung beeinflussen.

4.3 Prozeßoptimierung in der visuellen Inspektion

4.3.1 Optische Inspektionsverfahren im Überblick

Am besten kann man die im folgenden beschriebenen Inspektionsverfahren nach dem Sensorprinzip unterscheiden, welches im jeweiligen bildgebenden System verwendet wird. Es sind in der Hauptsache die unterschiedlichen Arten von CCD-Kamerainspektion, Laserinspektion und Röntgeninspektion, die die Automatisierung der Sichtprüfaufgabe prägen. Das jeweilige Sensorprinzip beeinflußt die Eignung der Systeme für die Nutzung bei der Elektronikbaugruppeninspektion entscheidend /121/.

2D-Bilderfassung mit CCD-Kamerasystem

In der automatisierten Inspektion werden derzeit am häufigsten Bildverarbeitungssysteme mit Grauwert oder Farb-CCD-Kameras eingesetzt. Als vorteilhaft erweist sich bei diesen Systemen die ausgereifte und relativ preiswerte Bildaufnahmetechnik mit CCD-Halbleiterkameras. Wegen der weiten Verbreitung kann auch auf umfangreiche Erfahrungen in Bezug auf die Bildanalyse aufgebaut werden, insbesondere wenn die Auswertung von Bildinhalten mit 256 Graustufen betroffen ist /86/.

Als nachteilig für eine gesicherte Bildaufnahme erweisen sich jedoch extreme Helligkeitsunterschiede, wie sie in der Elektronikbaugruppeninspektion z.B. durch Reflexionen an spiegelnden bzw. teilweise matt glänzenden Lötstellen hervorgerufen werden können. Besonders die Erkennungssicherheit bei der Lötstelleninspektion ist davon negativ beeinflußt. Daher wird versucht, die nachteiligen Lichtverhältnisse mit aufwendigen Beleuchtungseinrichtungen auszuschalten /93/ oder durch Einsatz von verschiedenfarbiger Beleuchtung für Neigungswinkelauswertungen nutzbar zu machen /126/.

Laserinspektion für räumliche Strukturen

Neben den Vorteilen der topometrischen Erfassung räumlicher Strukturen bietet die Inspektion mittels Laser auch noch den Vorteil einer aktiv messenden Beleuchtung. Es kann mit diesem Verfahren zwar eine größere Bandbreite unterschiedlicher Oberflächen erfaßt werden, doch wirken Sekundärreflektionen an spiegelnden Oberflächen auch bei der topometrischen Meßwerterfassung mittels 3D-Laserinspektion als Störgröße. Durch eine aufwendigere Technologie läßt sich dieser Nachteil weitgehend eliminieren. Doch die Lasertechnologie stößt noch an andere Grenzen: Es ist der für die Laserinspektion erforderliche ungehinderte visuelle Zugang zur prüfenden Stelle, der wegen der fortschreitenden Miniaturisierungsbestrebungen nicht immer gegeben sein wird.

Volumetrische Analyse mittels Röntgeninspektion

Besonders für den Bereich der Lötstelleninspektion elektronischer Baugruppen bietet der Einsatz der Röntgentechnologie wesentliche Vorteile gegenüber den bisher genannten Verfahren. Speziell bei SMD-Lötstellen gibt es qualitätsrelevante Kriterien, die lichtoptisch selbst bei hoher Vergrößerung nicht einwandfrei beurteilt werden können oder die visuell nicht zugänglich sind. In diesen Fällen bietet der Einsatz von Röntgensystemen eine Inspektionsmöglichkeit, mit der sich sogar die Dicke des durchstrahlten Materials relativ genau messen läßt. Darüber hinaus bietet die Röntgeninspektion einen sehr guten Bildkontrast und ist relativ robust gegenüber Helligkeitsschwankungen und Reflexionen. Damit wird eine automatische Bildanalyse zuverlässig und eine darauf aufbauende Diagnose sehr treffsicher /120/. Den genannten Vorteilen steht als Nachteil ein höherer gerätetechnischer Aufwand für die Röntgenfernsehkette (Röntgenröhre, Bildverstärker, CCD-Kamera) und für den Strahlenschutz gegenüber. Trotz der damit verbundenen höheren Kosten wird die röntgenoptische Inspektion ihren Einsatzschwerpunkt dort finden, wo derzeit ihre schlagenden Vorteile liegen: bei der Lötstelleninspektion von Bauelementen mit sehr kleinen Rastermaßen /40/ und bei Ball-Grid-Array-Gehäusen /64/.

Visuelle Inspektion mit personeller Sichtprüfung

Die von Menschen durchgeführte visuelle Inspektion kann sehr flexibel eingesetzt werden. Allerdings ist darauf zu achten, daß bestimmte Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit (Sehschärfe, Konzentrationsfähigkeit) nicht überschritten werden. Zudem eröffnet sie Prüfmöglichkeiten mit geringen Einstiegskosten. Visuelle Inspektion wird, wie Befragungen zeigen, körperlich und geistig als Belastung empfunden /51/. Die personelle Sichtprüfung hat ihre Grenzen. Innerhalb dieser Grenzen sind jedoch auch Vorteile zu verzeichnen.

Für einen zusammenfassenden Vergleich wesentlicher Aspekte der personellen und der automatisierten Sichtprüfung (Bild 4.12) wird als Vertreter der automatisierten Prüfsysteme die Röntgeninspektion herangezogen, da sie sich im Gegensatz zu Systemen mit CCD-Kameras oder Lasern relativ robust gegenüber Reflexionen und Abschattungsproblemen zeigt.
Konkrete Berechnungen von aussagefähigen Kennzahlen für den auftretenden Schlupf bei der jeweiligen Prüfmethode (visuell bzw. automatisiert) oder die dabei auftretenden Kosten je Baugruppe werden erschwert durch die Abhängigkeit von einer Vielzahl von Einflußgrößen. Zudem wird ein aussagefähiger Kostenvergleich erschwert durch die rasanten Fortschritte bezüglich der Leistungsfähigkeit der automatischen Inspektionssysteme und die damit einhergehenden Preisänderungen für diese Systeme. Ein direkter Vergleich z.B. der Röntgeninspektion mit einem visuellen Sichtprüfplatz liefert derzeit für beide Varianten in etwa die gleichen Prüfkosten je Baugruppe. Zwar verursacht ein Röntgeninspektionssystem (RIS) in der Stunde etwa die dreifachen Kosten eines personellen Sichtprüfplatzes, jedoch prüft ein Röntgensystem etwa die dreifache Menge an Lötstellen (und damit an Baugruppen) je Zeiteinheit.
Auch die Ermittlung abgesicherter und allgemeingültiger Daten zu Schlupf und Pseudofehlern (irrtümliche Fehlerzuweisung) gestaltet sich extrem aufwendig. Hintergrund ist hier die Abhängigkeit der Kennzahlen sowohl vom Technologiemix und von der Packungsdichte auf der Baugruppe als auch von Prüfinhalt und Fehlerniveau am Prüfplatz. Bei automatischen Inspektionssystemen variieren

Schlupf und Pseudofehler in Abhängigkeit von der Sensorart (CCD-Kamera, Laser, Röntgen) und bei der personellen Sichtprüfung beeinflußt das Schulungsniveau des Prüfpersonals die genannten Kennzahlen.

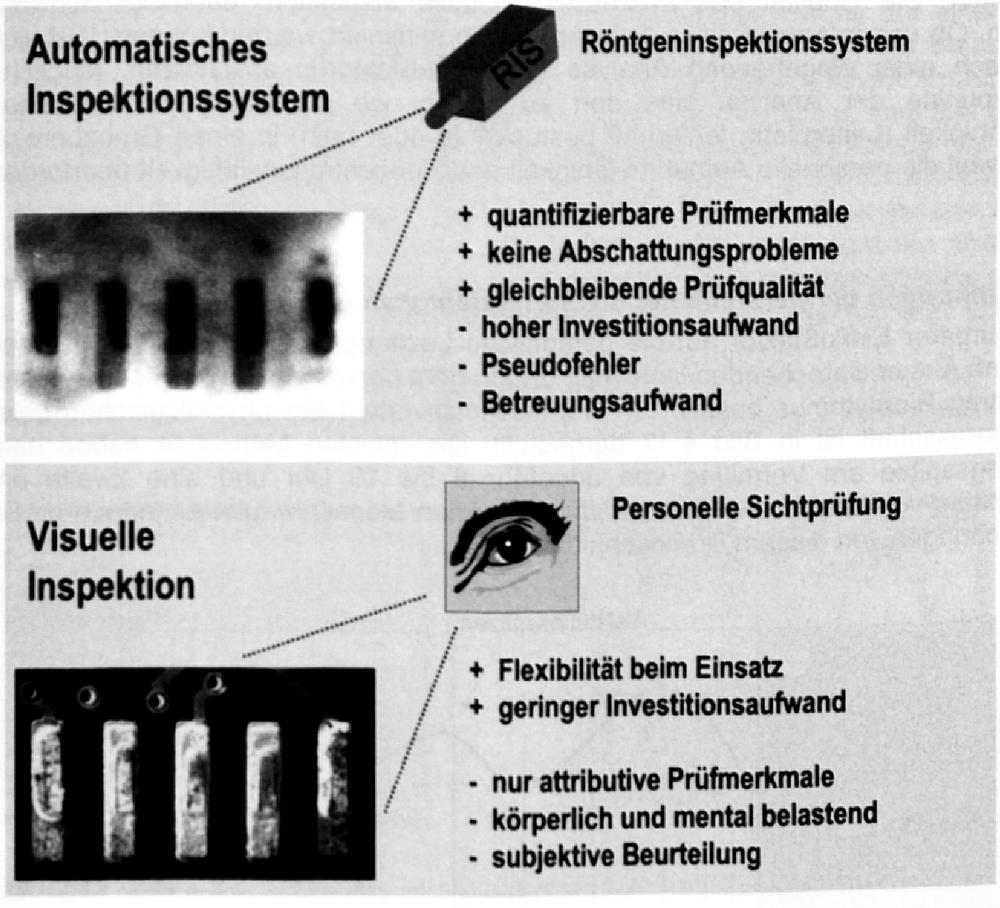


Bild 4.12: Zusammenfassende Gegenüberstellung wesentlicher Aspekte der automatisierten und der personellen Sichtprüfung

Bei der Sichtprüfung in der Elektronik befinden sich im wesentlichen die in diesem Abschnitt vorgestellten Verfahren im Einsatz. Mit Ausnahme der visuellen Inspektion sind sie alle umfassend automatisierbar und liefern nicht nur qualitative sondern auch quantitative Prüfergebnisse. In folgenden Teilbereichen ist jedoch auch die visuelle Inspektion automatisierbar:

- Prüfplanversorgung
- Typermittlung und Prüfplanzuordnung
- Qualitätsdaten generieren und weiterleiten
- Reparaturunterstützung durch Bauteilinformationen und Bauteilversorgung

4.3.2 Analysekriterien zur Qualität der personellen Sichtprüfung

Die personelle Sichtprüfung oder visuelle Inspektion wird noch geraume Zeit in der Leiterplattenbestückung eine Rolle spielen, wenn auch vielleicht mit abnehmender Tendenz. Dennoch wird sie noch an deutlich mehr als 50% der Sichtprüfplätze eingesetzt. Die Qualität des Prozesses "visuelle Inspektion" unterliegt Schwankungen. Ob und inwieweit diese Schwankungen minimiert werden können, läßt sich erst nach einer eingehenden Analyse der Einflußfaktoren abschätzen. Mögliche Ansatzpunkte der Analyse sind dort zu sehen, wo die menschliche Beurteilungsfähigkeit (Leiterplatte fehlerhaft bestückt? ja oder nein) in einen Grenzbereich gerät, weil die personelle Aufnahmefähigkeit und Konzentrationsfähigkeit überfordert wird.

Schwankungen der persönlichen Leistungsfähigkeit im Tagesverlauf

Als spürbarer Einflußfaktor auf die persönliche Leistungsfähigkeit ist die Tageszeit bekannt. Aus entsprechenden Untersuchungen geht hervor, daß jeder Mensch einen meßbaren Biorhythmus besitzt. Ein Durchschnittsverlauf der physiologischen Leistungsbereitschaft ist in Bild 4.13 dargestellt. Die meisten Menschen haben eine Leistungsspitze am Vormittag von ungefähr 8 bis 10 Uhr und eine zweite am Nachmittag von ungefähr 17 bis 19 Uhr. Bei vielen Menschen gibt es jedoch große Abweichungen von diesem Durchschnittsverlauf.

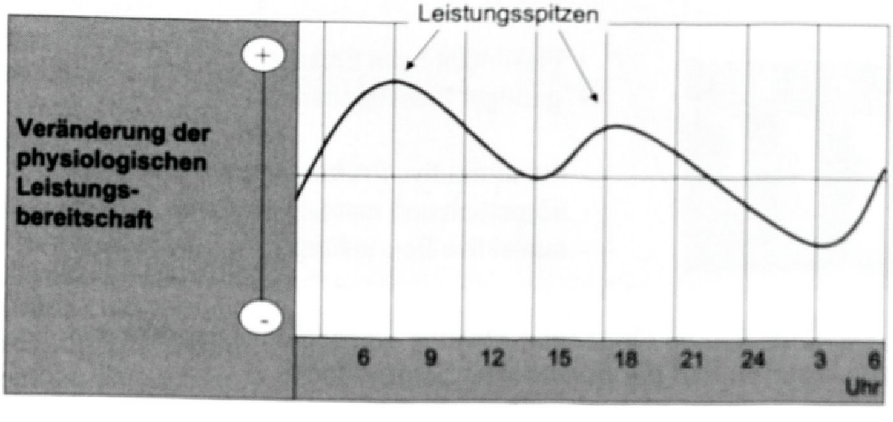


Bild 4.13: Biologische Tagesrhythmik über 24 Stunden nach /106/

Technologiemix auf den Flachbaugruppen

Beim Bestücken und Löten von Bauelementen auf elektrischen Baugruppen kommen eine Reihe unterschiedlicher Produktionstechnologien zum Einsatz. Je nach Prozeßschritt (Lotpastenauftrag, Kleberauftrag, Bestücken, Löten) sind unterschiedliche Prüfkriterien relevant und je nach Prüfkriterium und Fehlerhäufigkeit ist die visuelle Inspektion als Prüfmethode mehr oder weniger geeignet

Solange ein ungehinderter visueller Zugang zu den zu prüfenden Stellen gegeben ist und auf (für den Menschen) leicht erkennbare Kriterien geprüft werden muß (z.B. vorhanden sein, Versatz oder Polung), kann sie grundsätzlich eingesetzt werden. Vor allem auf Baugruppen, auf denen Bauelemente mit mehreren Produktions-

technologien bestückt oder gelötet werden, wird die visuelle Inspektion ihre Flexibilität als Stärke einbringen können.

Bauteildichte auf der Flachbaugruppe

Die Anzahl Bauelemente, die innerhalb einer bestimmten Fläche auf einer Leiterplatte bestückt werden, soll als Bauteildichte verstanden werden. Die Bauteildichte und ihre unterschiedlichen Auswirkungen auf den Prüfablauf und den Prüfer stellen ein nicht zu unterschätzendes Problem dar. Unter der Annahme, daß alle Bauteile auf den Leiterplatten zu prüfen sind, liegt bei einer Leiterplatte mit hoher Bauteildichte die Prüfzeit über dem Wert einer gleich großen Leiterplatte mit niedrigerer Bauteildichte. Zusammen mit den meist kleineren Bauteilen auf solchen Baugruppen kann der Prüfvorgang als für den Prüfer anstrengender angesehen werden. Kleinere Bauteile liegen zwar im Trend der zunehmenden Miniaturisierung, doch für den Prüfer sind z.B. Polungskennzeichen und mangelhafte Lötstellen schwerer zu erkennen (Bild 4.14).
Die durchschnittliche Bauteildichte weist eine hohe Bandbreite auf mit Werten zwischen 0,3 und 3 Bauelementen pro cm². Die Dichte stieg in den letzten Jahren kontinuierlich an.

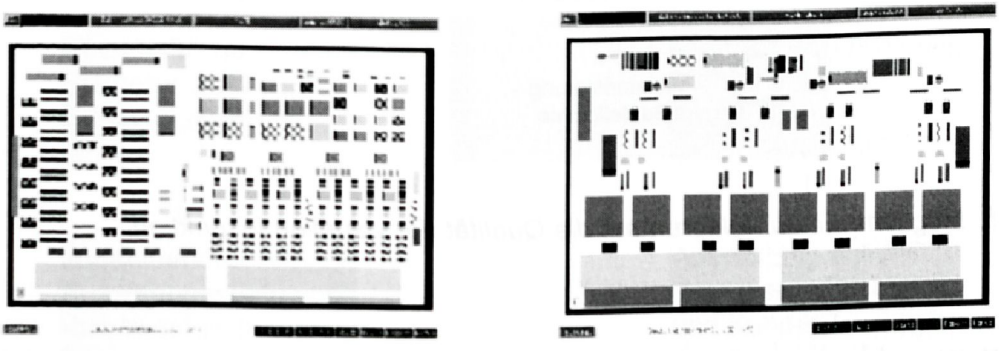


Bild 4.14: Schemabild zweier Baugruppen mit unterschiedlicher Bauteildichte

Qualitätslevel der Flachbaugruppen

Auch der Qualitätslevel einer Flachbaugruppe und sein Einfluß auf die Qualität der Sichtprüfung verdient eine kurze Betrachtung. Die Erwartungshaltung mit der ein Mensch an seine Arbeit geht, bestimmt wesentlich auch das Ergebnis der Arbeit. Wenn ein Prüfer eine Baugruppe prüft, die relativ häufig mal den einen, mal den anderen Fehler aufweist oder die immer wieder ähnliche Fehler aufweist, dann wird er diese Fehler mit hoher Wahrscheinlichkeit finden.
Wenn die Qualität der Bestück- und Lötprozesse bereits so gut ist, daß z.B. bei 2000 geprüften Leiterplatten nur noch 50 Fehler auftreten, dann kann man diesen Vorgang mit dem Suchen einer Stecknadel im Heuhaufen vergleichen. Denn konkret kann das bedeuten, daß der Prüfer 39 Prüfvorgänge mit fehlerfreien Baugruppen absolviert und evtl. nach 3 Stunden bei der Prüfung der 40. Baugruppen einen Fehler findet. Am Ende des Tages, nach acht Stunden konzentrierter Prüfarbeit kann ein Prüfer etwa 2-3 Fehler finden. Die Wahrscheinlichkeit, nach 39 guten Baugruppen, den Fehler auf der vierzigsten Baugruppe zu übersehen, ist relativ hoch. Daher

sollen die zur Verfügung stehenden Prüfergebnisse auch in Bezug auf das Qualitätsniveau der Baugruppen ausgewertet werden. In Bild 4.15 sind die wesentlichen Analysekriterien zusammengefaßt, nach denen die Prüfdaten untersucht werden sollen.

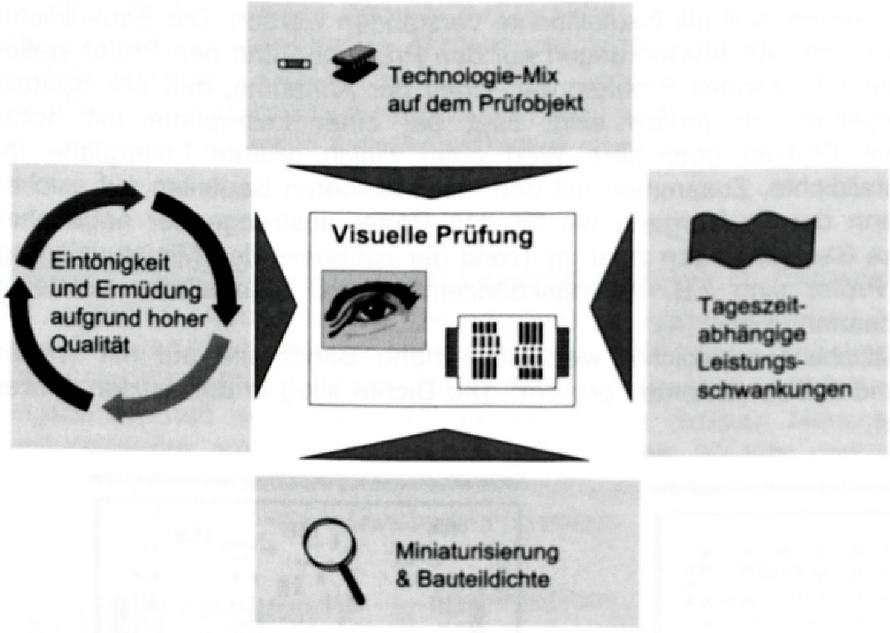


Bild 4.15: Mögliche Einflußfaktoren auf die Qualität der visuellen Inspektion

4.3.3 Weitergehende Optimierungsansätze

An dieser Stelle sollen zwei erstrebenswerte Ziele in den Fokus gerückt werden. Es geht um das frühzeitige Erkennen und Vermeiden von Fehlern sowie die Optimierung und Dynamisierung der Prüfaufgabe. Beide bringen wirtschaftliche Vorteile und verbessern die Qualität der Produkte /132/.

Das bislang vorgestellte Lösungskonzept kann helfen, den genannten Zielen näher zu kommen. Ein Kernpunkt des Konzepts ist eine rationelle und detaillierte (Prüf-) Datenerfassung für alle Fehler. Wenn alle Fehlerattribute bis hin zum Einbauplatz auf der Leiterplatte zur Verfügung stehen, dann können künftig

- Qualitätsprognosen bereits während der Entwicklungs- und Konstruktionsphase erstellt werden (durch eine Verbindung von Bauteildaten mit der Stückliste des neuen Produkts und eine geeignete Klassifizierung des Fehlerkatalogs)

- Prüfhinweise in allen Prüfplänen dynamisch den Prüfumfang optimieren (auf Basis von on-line Auswertungen aktueller Prüfdaten bis Einbauplatz-Ebene) und

- adaptierte SPC-Module bezüglich der Prüfschärfe ständig angepaßt werden.

5 Wirtschaftliche Qualitätsdatenerfassung

In seinen mittel- und langfristigen Auswirkungen kann die Rationalisierung der Qualitätsdatenerfassung als wichtige Voraussetzung für eine dauerhafte Einführung von TQM angesehen werden (Bild 5.1). Betrachtet man die wirtschaftliche und technische Seite, dann kann durch eine Rationalisierung der Q-Datenerfassung eine kostenneutrale Steigerung der Erfassungstiefe realisiert werden. Die so gewonnene Erfassungstiefe erlaubt im nächsten Schritt detailliertere Auswertungen. Damit ist die technische Voraussetzung gegeben für umfassende Qualitätsbetrachtungen.

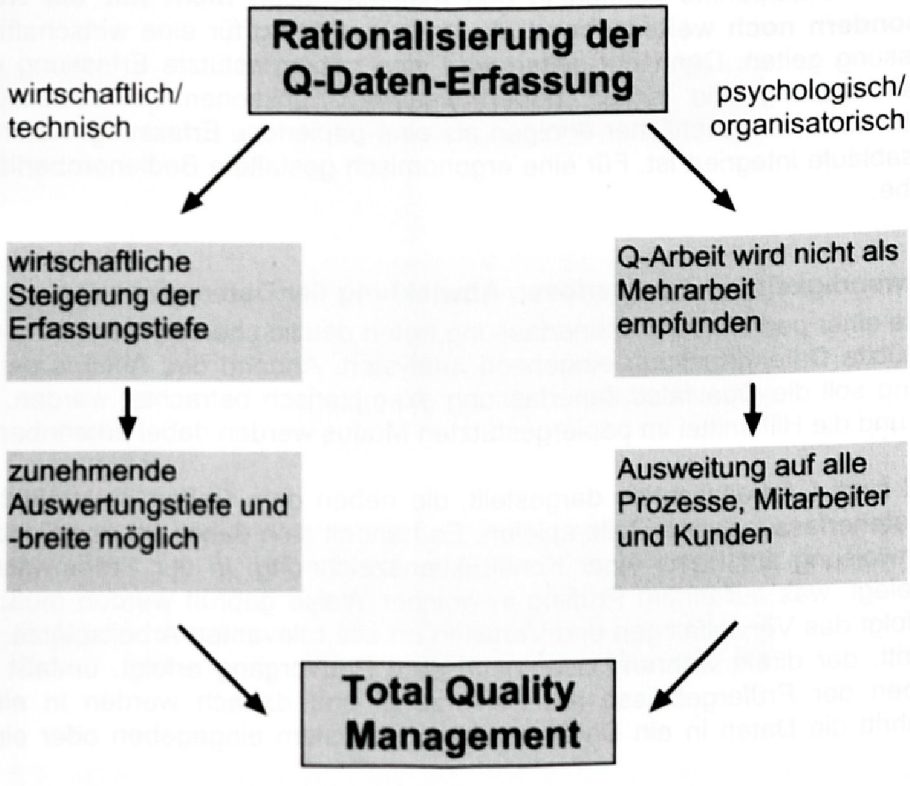


Bild 5.1: Rationalisierung als Ausgangspunkt eines technischen oder organisatorischen Weges zu Total Quality Management (TQM)

Wenn darüber hinaus die Datenerfassung so gestaltet werden kann, daß die Qualitätsarbeit von den betroffenen Mitarbeitern nicht als lästiger Mehraufwand empfunden wird, bieten sich dem Management des Unternehmens gute Voraussetzungen für eine Ausweitung der Qualitätsarbeit. Dann können Zug um Zug alle Produktionsprozesse, alle Mitarbeiter (als „Kunden") und auch die externen Kunden mit einbezogen werden. So ist die Rationalisierung der Erfassung mehr als eine flankierende Maßnahme für eine dauerhafte Einführung von TQM.

5.1 Kennzeichen einer wirtschaftlichen Datenerfassung

Eine bestimmte Art der Datenerfassung ist wirtschaftlicher als eine andere, wenn sie entweder schneller vonstatten geht oder bei gleichem Zeitaufwand eine detailliertere Erfassung des Prüf- und Fehlergeschehens ermöglicht. In diesem Kapitel wird näher auf drei Kennzeichen einer wirtschaftlichen Datenerfassung eingegangen. Es handelt sich hierbei um die papierlose Abwicklung der Datenerfassung und ihrer Randbereiche, unterstützt durch ergonomisch gestaltete Bedieneroberflächen. Noch rationeller wird der Ablauf, wenn die Datenerfassung in Kernfunktionen des jeweiligen Arbeitsplatzes integriert werden kann. Auch die Erfüllung der Forderung nach einem durchgängigen Datenfluß (vgl. /36/) kann zu Entlastungen der Bediener bei der Datenerfassung führen.

Die folgenden Unterpunkte können in den meisten Fällen **nicht nur als Kennzeichen sondern noch weitergehend als Voraussetzung** für eine wirtschaftliche Datenerfassung gelten. Denn nur selten wird eine papiergestützte Erfassung oder eine Datenerfassung, die isoliert neben weiteren Funktionen am Arbeitsplatz durchgeführt wird, wirtschaftlicher erfolgen als eine papierlose Erfassung, welche in die Arbeitsabläufe integriert ist. Für eine ergonomisch gestaltete Bedieneroberfläche gilt dasselbe.

5.1.1 Notwendigkeit einer papierlosen Abwicklung der Datenerfassung

Die Vorteile einer papierlosen Datenerfassung treten deutlich hervor, wenn man eine papiergestützte Datenerfassung eingehend analysiert. Anhand des Ablaufs bei der Sichtprüfung soll die Qualitätsdatenerfassung exemplarisch betrachtet werden. Der Datenfluß und die Hilfsmittel im papiergestützten Modus werden dabei erkennbar.

In Bild 5.2 sind 4 Arbeitsschritte dargestellt, die neben dem Prüfen im Umfeld der Qualitätsdatenerfassung eine Rolle spielen. Es handelt sich dabei um das Erstellen der Prüfanweisung auf Basis einer Konstruktionszeichnung. In der Prüfanweisung wird festgelegt, was auf einem Prüfling in welcher Weise geprüft werden muß. Als nächstes folgt das Vervielfältigen und Verteilen an alle relevanten Arbeitsplätze. Der dritte Schritt, der direkt während oder nach dem Prüfvorgang erfolgt, umfaßt das Aufschreiben der Prüfergebnisse auf Fehlerzettel und danach werden in einem vierten Schritt die Daten in ein Datenverarbeitungssystem eingegeben oder eingelesen.

Die Prüfanweisung, welche in den Schritten 1 und 2 erstellt und verteilt wird, betrifft die Erfassung zwar nicht unmittelbar aber sie ist für die Erfassung von besonderer Bedeutung, weil ohne sie nicht klar ist, was am Prüfplatz als Fehler erkannt und protokolliert werden muß und was nicht. Aus ihr können bzw. müssen die Daten übernommen werden, die aufgeschrieben und eingelesen werden.

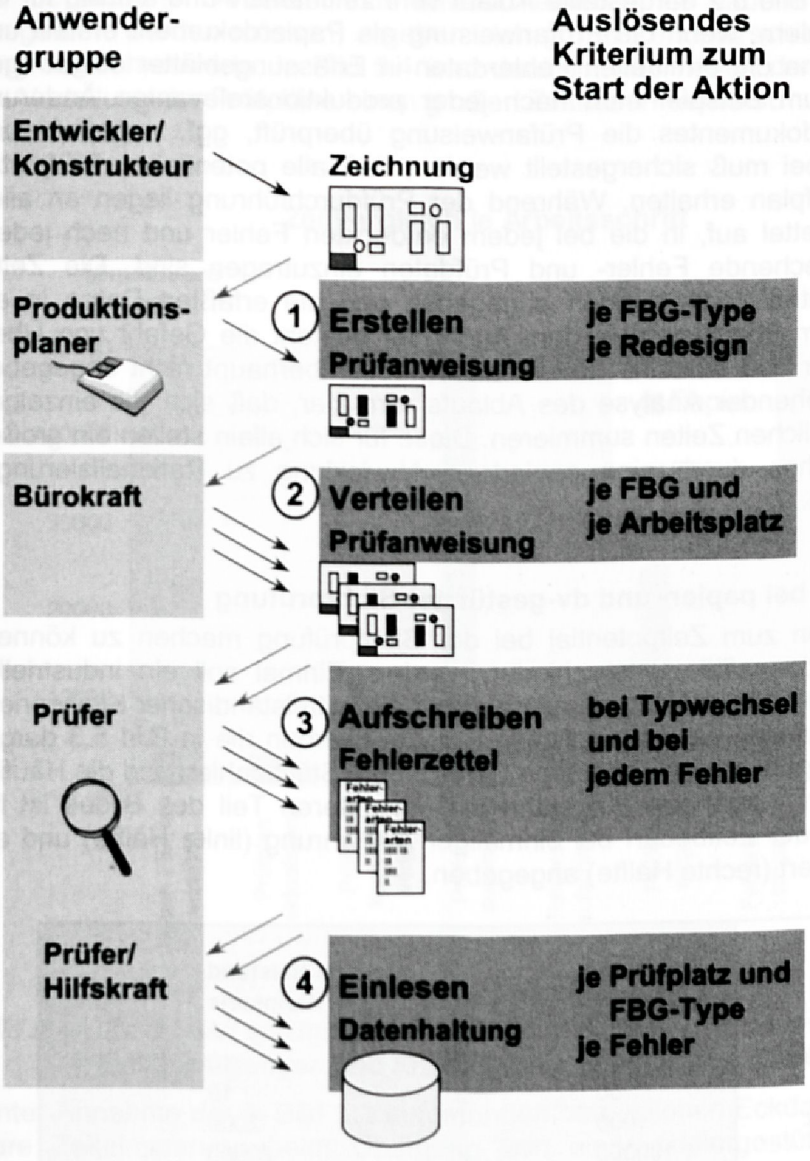


Bild 5.2: Ablauf der papiergestützten Sichtprüfung mit exemplarischer Darstellung von Datenfluß und Hilfsmitteln

Der Vorgang der Datenerfassung umfaßt 2 Teilaufgaben: Eine kann als Datenaufschreibung bezeichnet werden und sie beinhaltet das Mitschreiben, Protokollieren und Sammeln der Daten. Die zweite Teilaufgabe betrifft das reine Eingeben oder Einlesen der gesammelten Daten in ein Datenverarbeitungssystem. Wie im vorliegenden Fall ist die Datenerfassung häufig Teil eines Informationsflusses, wobei der Erfassung eine Komponente vorgelagert ist, welche Daten zur Erfassung beisteuert. In den allermeisten Fällen folgt der Datenerfassung im Informationsfluß noch eine Komponente, deren Schwerpunkt dann die Auswertung der erfaßten Daten darstellt.

Insgesamt ist der in Bild 5.2 dargestellte Ablauf sehr zeitintensiv und anfällig für die Entstehung von Fehlern, wenn die Prüfanweisung als Papierdokument erstellt und verteilt wird und wenn die ermittelten Fehlerdaten in Erfassungsblätter eingetragen werden müssen. Zum Beispiel muß nach jeder produktionsrelevanten Änderung eines Entwicklungsdokumentes die Prüfanweisung überprüft, ggf. angepaßt und verteilt werden. Dabei muß sichergestellt werden, daß alle potentiellen Prüfplätze einen aktuellen Prüfplan erhalten. Während der Prüfdurchführung liegen an allen Prüfplätzen Fehlerzettel auf, in die bei jedem entdeckten Fehler und nach jedem Typwechsel entsprechende Fehler- und Prüfdaten einzutragen sind. Die Zettel müssen in bestimmten Zeitabständen abgegeben und die erfaßten Daten in ein Datenhaltungssystem übertragen werden. Auch hier besteht die Gefahr von Übertragungsfehlern oder daß einzelne Zettel zu spät oder überhaupt nicht abgegeben werden. Nach eingehender Analyse des Ablaufs wird klar, daß sich die einzelnen Teilschritte zu erheblichen Zeiten summieren. Diese für sich allein stellen ein großes Potential dar, welches durch eine papierlose Abwicklung zu Rationalisierungseffekten führen kann.

5.1.2 Zeitpotential bei papier- und dv-gestützter Sichtprüfung

Um nähere Angaben zum Zeitpotential bei der Sichtprüfung machen zu können, sollen zwei Anwendungsfälle unterschieden werden. Einmal soll ein industrieller Großserienfertiger betrachtet werden und daneben ein mittelständischer Kleinserienproduzent. Für die beiden unterschiedlichen Betriebe werden die in Bild 5.3 dargestellten Eckdaten angenommen. Im oberen Bereich sind Stückzahlen und die Häufigkeit von bestimmten Vorgängen aufgeführt und im unteren Teil des Bildes ist für jeden Arbeitsschritt der Zeitbedarf bei einmaliger Ausführung (linke Hälfte) und als kumulierter Jahreswert (rechte Hälfte) angegeben.

Betriebliche Eckdaten	**Industrie Großserie**	**Mittelstand Kleinserie**
Neue Produkte jährlich	30	5
Produkt-Aktualisierung jährl.	60	10
Anzahl Prüfplätze	50	10
Typwechsel am Prüfplatz	1000	2000
erfaßte Fehler jährlich	100000	20000

Arbeitsschritte	**Zeitbedarf (in Minuten)**		**Jahreswerte für Großserie**	
	Papier	**DV-Lösung**	**Papier**	**DV**
Neuen Prüfplan erstellen	120	60	3600	1800
Prüfplan aktualisieren	60	30	3600	1800
Prüfplan kopieren u. verteilen	3	0,05	13500	225
Prüfdaten summieren	1	0	50000	0
Fehlerdaten aufschreiben	0,05	0	5000	0
Prüfdaten eingeben	0,5	0	25000	0
Fehlerdaten eingeben	0,1	0,05	10000	5000
Gesamt			**110700**	**8825**

Bild 5.3: Beispielhafte betriebliche Eckdaten von Groß- und Kleinserienfertiger

Da die einzelnen Arbeitsschritte unterschiedlich lange dauern und verschieden oft ausgeführt werden müssen, ergeben sich große Zeitunterschiede bei der Betrachtung der Jahreswerte. In Bild 5.4 wird deutlich, daß neben der Prüfdatenerfassung die Verteilung der Prüfpläne einen großen Zeitbedarf aufweist.

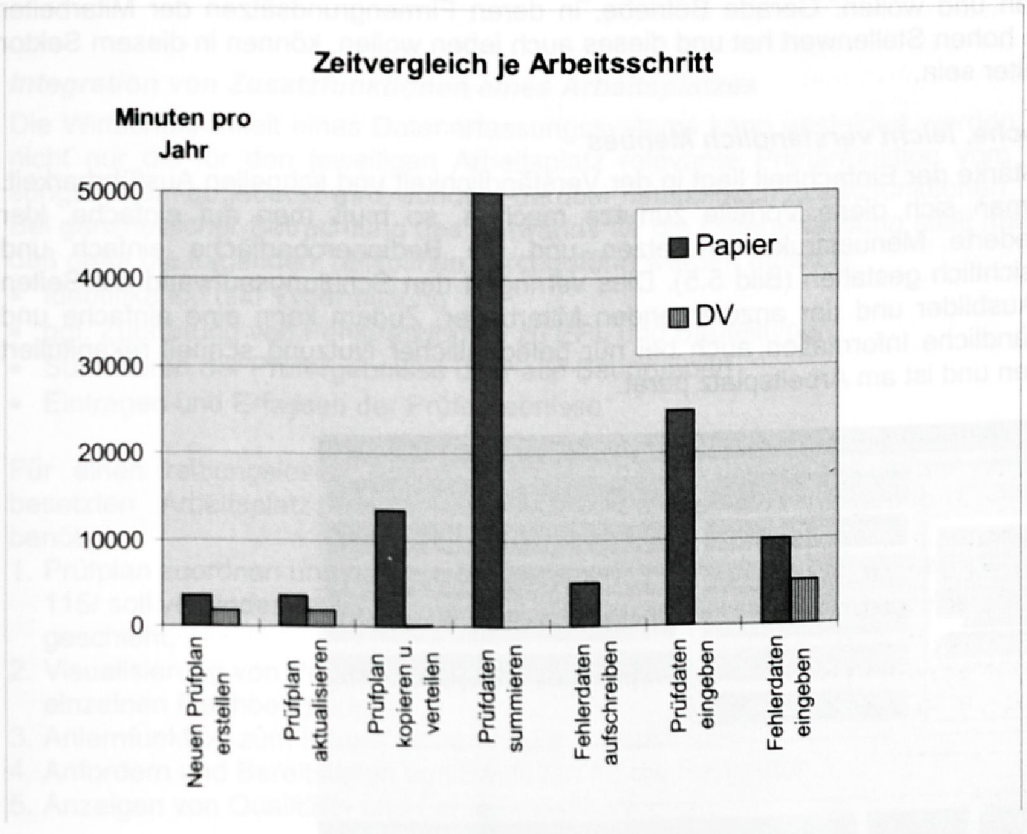


Bild 5.4: Zeitbedarf im Umfeld der visuellen Inspektion für das Handling von Prüfanweisungen und Prüfdaten bei industriellem Großserienfertiger

Unter Annahme der in Bild 5.3 aufgeführten betrieblichen Eckdaten liegt die erreichbare Zeiteinsparung beim Übergang von einer papiergestützten auf eine DV-gestützte Lösung bei etwa 100000 Minuten pro Jahr in der Großserienfertigung und etwa 33000 Minuten pro Jahr beim mittelständischen Kleinserienfertiger.

5.1.3 Ergonomisch gestaltete Bedienoberfläche

Die Wissenschaft von den Leistungsmöglichkeiten und -grenzen des arbeitenden Menschen sowie von der besten wechselseitigen Anpassung zwischen dem Menschen und seinen Arbeitsbedingungen wird als Ergonomik oder Ergonomie bezeichnet /137/.

Unter ergonomisch gestalteten Bedieneroberflächen kann man somit die Benutzerschnittstellen verstehen, die aus einer bestmöglichen wechselseitigen Anpassung zwischen dem Menschen als Prüfer oder Reparateur und seinen jeweiligen Arbeitsbedingungen entstehen.

Basis des Konzepts ist die Herbeiführung einer optimalen wechselseitigen Anpassung zwischen dem Menschen am Arbeitsplatz und seiner jeweiligen Arbeitsum-

gebung unter Berücksichtigung der Anforderungen und Erkenntnisse aus Kapitel 3 und 5.1. Die auf diese Art ergonomisch gestalteten Bedieneroberflächen gereichen Betrieben in mehrfacher Hinsicht zum Vorteil: Direkt über kürzere Erfassungsprozesse und indirekt über zufriedene und motivierte Mitarbeiter, die an einfach und sinnvoll gestalteten Bedieneroberflächen auch fehlerfreier arbeiten können und wollen. Gerade Betriebe, in deren Firmengrundsätzen der Mitarbeiter einen hohen Stellenwert hat und dieses auch leben wollen, können in diesem Sektor Vorreiter sein.

Einfache, leicht verständlich Menues

Die Stärke der Einfachheit liegt in der Verständlichkeit und schnellen Ausführbarkeit. Will man sich diese Vorteile zunutze machen, so muß man auf einfache, klar gegliederte Menuestrukturen setzen und die Bedieneroberfläche einfach und übersichtlich gestalten (Bild 5.5). Dies verringert den Schulungsaufwand auf Seiten der Ausbilder und der anzulernenden Mitarbeiter. Zudem kann eine einfache und verständliche Information auch bei nur gelegentlicher Nutzung schnell rekapituliert werden und ist am Arbeitsplatz parat.

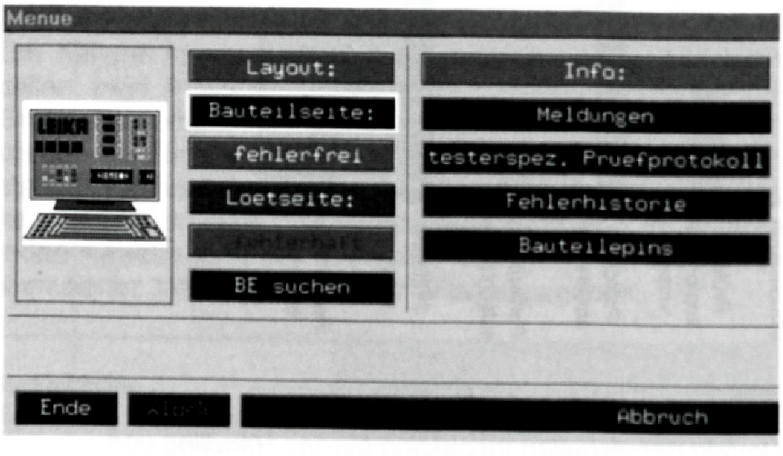


Bild 5.5: Einfaches und klar strukturiertes Menue

Um Unsicherheiten und Fehlbedienungen auf Anwenderseite zu vermeiden darf nur das anwählbar sein, was in der jeweiligen Situation Sinn macht. Auch eine dynamische Farbgebung in den Menuedarstellungen kann dem Anwender wichtige Informationen vermitteln. Ein weiterer wichtiger Punkt betrifft die Begriffswahl für die einzelnen Menuepunkte. Wenn die einzelnen Begriffe dem Sprachgebrauch der Anwender entnommen sind, dann ist dies einer schnellen Einarbeitung sehr förderlich.

Bedienung allein mit Maus und Scanner

Eine Maus und ein Scanner als Eingabemedium bieten unverzichtbare Vorteile gegenüber einer Eingabe mittels Tastatur: Nach kurzer Einarbeitung geht die Erfassung schneller und fehlerfreier von der Hand, als dies über eine Tastatur erfolgen kann. Ein weiteres positives Kriterium ist der geringere Platzbedarf einer Maus. Die zur Verfügung stehende Arbeitsfläche auf dem Tisch wird nicht unnötig durch eine Tastatur verkleinert.

Der Verzicht auf eine Tastatur setzt allerdings voraus, daß keine Freitexteingabe erforderlich sein darf. Alle erforderlichen Texte müssen über Auswahlmenues anwählbar sein und auf diese Weise erfaßt werden können. Erfüllbar ist diese

Voraussetzung wenn alle bei Erfassung und Anzeige erforderlichen Identifikationsprozesse (z.B. bei Bauteilen, Einbauplätzen, Fehlerarten) über den Einsatz anderer Mittel erfolgen können:

- Informationsanzeige und -erfassung über graphische Abbilder
- Strichcode und Scanner zur Identifizierung und Typerkennung

Integration von Zusatzfunktionen eines Arbeitsplatzes

Die Wirtschaftlichkeit eines Datenerfassungssystems kann gesteigert werden, wenn nicht nur die für den jeweiligen Arbeitsplatz relevante Primärfunktion vom Erfassungssystem abgedeckt wird, sondern darüber hinaus noch Zusatzfunktionen.
Bei ganzheitlicher Betrachtung des Aufwands für die Datenerfassung stellt man fest, daß dafür die folgenden Teilschritte durchgeführt werden müssen:

- Identifikation und Typermittlung
- ggf. Zuordnung von Fehlerattributen zu EPL und Bauteiltypen
- Summieren der Prüfergebnisse über alle Baugruppen
- Eintragen und Erfassen der Prüfergebnisse

Für einen reibungslosen Ablauf der Sichtprüfung werden an einem personell besetzten Arbeitsplatz neben der Datenerfassung noch folgende Funktionen benötigt:

1. Prüfplan zuordnen und aktuelle Version anzeigen: Im Sinne von Poka Yoke /57, 115/ soll verhindert werden, daß eine Verwechslung von ähnlichen Typen geschieht.
2. Visualisierung von Prüfanweisungen (allgemein zur Sichtprüfung und speziell zu einzelnen Flachbaugruppen)
3. Anlernfunktion zum Kennenlernen neuer Produkttypen
4. Anfordern und Bereitstellen von Bauteilen für die Reparatur
5. Anzeigen von Qualitäts- und Fehlerstatistiken

Bei näherer Betrachtung der einzelnen Funktionen stellt man fest, daß eine Identifikation und Typermittlung auch bei der ersten der oben erwähnten Funktionen stattfinden muß. Bei der Zuordnung von Fehlerattributen zu Bauteiltypen muß ebenso wie bei der zweiten der oben erwähnten Funktionen eine Typermittlung von Bauteilen erfolgen. Letztlich muß vor dem Anzeigen von Fehlerstatistiken (Funktion 5) eine Summation der Prüfergebnisse vorgenommen werden, wie es auch eine Summierung von Prüfergebnissen bei der Datenerfassung gibt. Mit diesen Beispielen wird deutlich:
Wenn es gelingt, die Erfassung von Qualitätsdaten in eine oder mehrere der aufgeführten Funktionen zu integrieren, so kann der Aufwand für die Datenerfassung minimiert werden. Denn die aufgeführten Teilfunktionen der Datenerfassung brauchen nicht mehrfach, sondern nur einmal durchgeführt werden.

5.2 Konsequenzen für das Erfassungskonzept

5.2.1 Konzeptelemente aufgrund wirtschaftlicher Überlegungen

Erkenntnisse für ein Anwendungskonzept aus der Betrachtung des Gesamtablaufs bei der Sichtprüfung

Kennzeichnend für den (in Bild 5.2 dargestellten) Ablauf der Sichtprüfung auf der Basis von Prüfplänen auf Papier sind folgende Aspekte:

- Es existieren 2 unterschiedliche Dokumentenflüsse auf Papier. Das eine Dokument, die Prüfanweisung, wird in der Produktionsplanung erstellt und gepflegt und nach jeder Änderung an die entsprechenden Arbeitsplätze in der Produktion verteilt (Arbeitsschritte 1 und 2 im Bild 5.2). Die Prüf- und Fehlerzettel, die an den Prüfplätzen geschrieben werden und danach eingesammelt und in eine Datenhaltung eingelesen werden, stellen den zweiten Dokumentenfluß dar.
- Bei der Durchführung der Prüfung erfolgt ein Übergang von einem Dokumentenfluß zum anderen: Einsatzort und Ende der Prüfanweisung und zugleich Ausgangspunkt und Erstellungsort der Prüf- und Fehlerdokumentation.
- Beide Dokumentenflüsse und ihr Inhalt unterliegen ständigen Änderungen und Aktualisierungen. Bei den Prüfanweisungen sind es Änderungen am Inhalt und im Verteiler. Bei den Prüf- und Fehlerdokumenten müssen täglich welche mit aktuellen Daten erstellt und gesammelt werden, damit Ausgangsdaten für Auswertungen und Qualitätsberichte vorliegen.

Kernpunkt eines Vorgehens, welches Erleichterungen und Vereinfachungen im Umgang mit beiden Dokumentenflüssen bringen kann, ist eine dv-technische Verknüpfung beider Datenströme auf einer gemeinsamen Datenbasis. Darauf kann eine kombinierte Anzeige- und Erfassungssoftware aufgesetzt werden, die aus dieser Datenbasis alle Daten erhält, die sie braucht, um dem Prüfpersonal die Prüfanweisungen anzuzeigen und Fehlereingaben zu ermöglichen.

Die Prüfanweisung wird erstellt unter Zuhilfenahme von Daten aus Entwicklung und Konstruktion. Diese Daten gibt es als Zeichnung und Stückliste auf Papier und in DV-Systemen. Der Aufwand für die Neuerstellung und Pflege von Prüfplänen kann durch die Bereitstellung eines Editors für die Prüfplanerstellung deutlich verringert werden. Der Editor muß befähigt sein, die Konstruktionsdaten on-line zu übernehmen und dabei mit wiederkehrenden Standardelementen anzureichern.

Die Prüfanweisung wird in aktueller Ausführung an allen Prüfarbeitsplätzen benötigt, an denen die jeweilige FBG geprüft werden muß. Beim Verteilen von Papierplänen kann die Aktualität leiden. Durch folgende Maßnahmen können die Probleme im Zusammenhang mit der Aktualisierung, Duplizierung und Verteilung der Prüfpläne stark verringert bzw. vollständig beseitigt werden:

- Einrichtung oder Nutzung eines zentralen Datenservers im LAN
- Erstellung einer Anzeige-Software für Sichtprüfarbeitsplätze
- Ausrüstung aller Prüfarbeitsplätze mit einem PC

Der Datenserver muß von allen Arbeitsplätzen aus erreichbar sein und ausfallsicher konzipiert werden. Denn Stillstandszeiten des Datenservers würden Ausfälle an allen Prüfplätzen bedeuten und so die geplanten Einsparungen schnell aufzehren. Die Anzeigesoftware muß das schnelle Aufblenden des richtigen Prüfplanes zur jeweils

zu prüfenden Einheit gewährleisten. Der PC oder das Terminal muß die vollständige Anzeige des Prüfobjekts in einer ausreichenden Auflösung unterstützen. In Bild 5.6 ist das Datenflußschema einer entsprechenden Versorgung von vielen Prüfplätzen mit aktuellen Daten dargestellt.

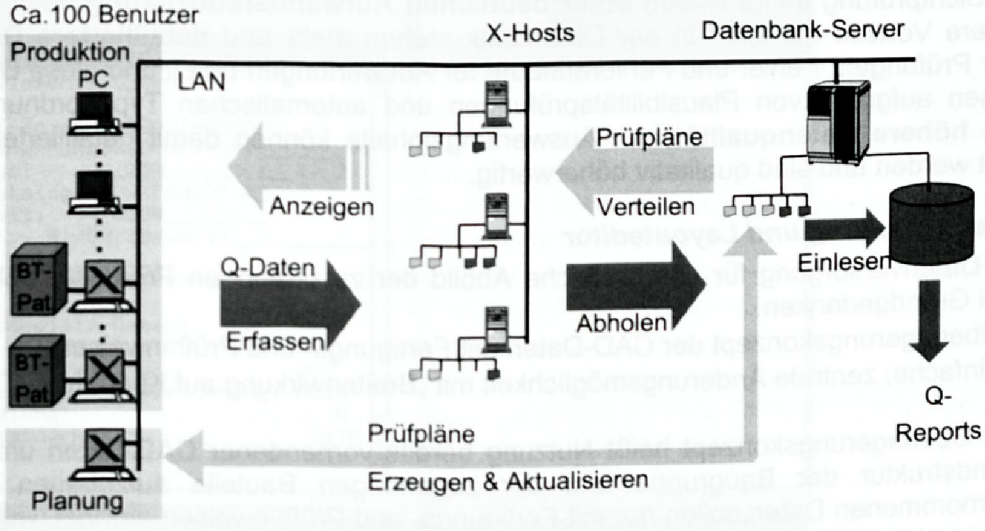


Bild 5.6: Datenflußschema zur Versorgung aller Sichtprüfplätze mit aktuellen Prüfplänen

Für jeden Prüfplatz und jeden FBG-Typ muß das Prüfergebnis protokolliert werden. Die in Bild 5.2 betrachtete Papierlösung erfordert dazu einen großen Zeitaufwand bei geringer Erfassungstiefe in Bezug auf Fehlerdetails und birgt zudem die Gefahr einer falschen Zuordnung von Fehlern oder Stückzahlen zu anderen Typen. Auch Rechenfehler können bei erforderlichen Additionen nicht ausgeschlossen werden. Ein wesentlicher Baustein, der hier Abhilfe schaffen kann, ist die Bereitstellung einer Erfassungs-Software, die dem Prüfer die Konzentration auf das wesentliche seiner Prüfaufgabe ermöglicht.

Das genannte Erfassungsmodul muß dazu folgenden Anforderung genügen:

- Fehlerauswahl und -zuordnung zu Einzelteilen des Prüfobjekts grafisch und menügeführt unterstützen
- Korrekte Fehler- und Stückzahlzuordnung zum jeweiligen FBG-Typ sicherstellen
- Systembekannte Detaildaten (Einbauplatz, Datum, etc.) automatisch zur Fehlerinformation dazu generieren

Bei der manuellen Protokollierung auf Papier müssen die Prüfergebnisse eingesammelt und schließlich über Tastatur eingegeben oder über einen Belegleser einem DV-System zur weiteren Nutzung zugeführt werden. Hauptnachteile sind dabei wiederum der Zeitbedarf und in dessen Folge ein Zeitverzug zwischen dem Erkennen eines Fehlers und dem Verfügbarmachen in Auswertungen. Um diesen Nachteilen abzuhelfen braucht man eine schnelle und flexible Einlese-Software und eine geeignete Datenbank

Die Einlese- oder Import-Software muß dazu die protokollierten Prüf- und Fehlerdaten von allen Prüfplätzen selbständig und schnell übernehmen. Beim Einlesen in

die Datenbank sind Plausibilitätsprüfungen durchzuführen, die fehlerhafte Daten korrigieren oder abweisen. Die Daten müssen kurzfristig in Auswertungen bereitgestellt werden können.

Das eben vorgestellte viergliedrige Anwendungskonzept für eine Datenerfassung bei der Sichtprüfung bringt **neben einer deutlichen Aufwandsreduzierung** noch zwei weitere Vorteile mit sich: In der Datenbank stehen mehr und **detailliertere Daten** über Prüfungen, Fehler und Fehlerattribute für Auswertungen bereit und diese Daten weisen aufgrund von Plausibilitätsprüfungen und automatischen Typzuordnungen eine **höhere Datenqualität** auf. Auswertungsinhalte können damit detaillierter erstellt werden und sind qualitativ höherwertig.

Datenanbindung und Layouteditor

Die Datenversorgung für das grafische Abbild der zu prüfenden Produkte fußt auf zwei Grundgedanken.

- Überlagerungskonzept der CAD-Daten mit Fertigungs- und Prüfhinweisen
- einfache, zentrale Änderungsmöglichkeit mit „Breitenwirkung auf Knopfdruck"

Das Überlagerungskonzept heißt Nutzung bereits vorhandener CAD-Daten um die Grundstruktur der Baugruppe und der zugehörigen Bauteile aufzubauen. Die übernommenen Daten sollen nur mit Fertigungs- und Prüfhinweisen ergänzt werden, um den Aufwand bei Neuerstellung und Änderungen möglichst klein zu halten. Damit sind die Daten sowohl bei der Prüfplanung als auch bei der Prüfdurchführung schnell, leicht und fehlerfrei einsetzbar.
Die zentrale Änderungsmöglichkeit ist ein wichtiges Kriterium, wenn aufwandsarm alle Prüfplätze mit aktuellen Daten versorgt werden sollen. Sie bietet den Vorteil einer einfachen Verwaltung, Aktualisierung und Gewährleistung korrekter Daten, auch wenn die Prüfplätze nicht lokal zusammengefaßt sind, sondern über den gesamten Fertigungsbereich verstreut sind.

5.2.2 Unterstützend integrierte Funktionen des Arbeitsplatzes

Bauteilinformation für den Benutzer darstellen

Gerade an Prüf- oder Reparaturarbeitsplätzen kann es vorkommen, daß zu einem bestimmten Bauelement auf der Baugruppe die zugehörigen technischen Daten benötigt werden. In solchen Fällen ist es hilfreich, wenn der Anwender nicht erst das Terminal oder die Applikation wechseln muß, um die entsprechende Information zu erhalten. Durch Integration der entsprechenden Funktion in die Bedieneroberfläche kann der Anwender direkt und einfach über seine ihm vertraute Arbeitsplatzsoftware die von ihm gewünschten Angaben erhalten. Je nach Bauteiltyp können unterschiedliche Daten angezeigt werden. Bei den meisten Bauteilen werden die für das Prüfpersonal relevanten Beschriftungen oder Herstellerkennzeichen angezeigt und bei Widerständen werden die Farbringe dargestellt (Bild 5.7). Auf diese Art kann auch gewährleistet werden, daß an den Produktionslinien alle Mitarbeiter über die gleichen aktuellen Daten verfügen und sich niemand auf schnell veraltete Listen oder Ausdrucke verlassen muß.

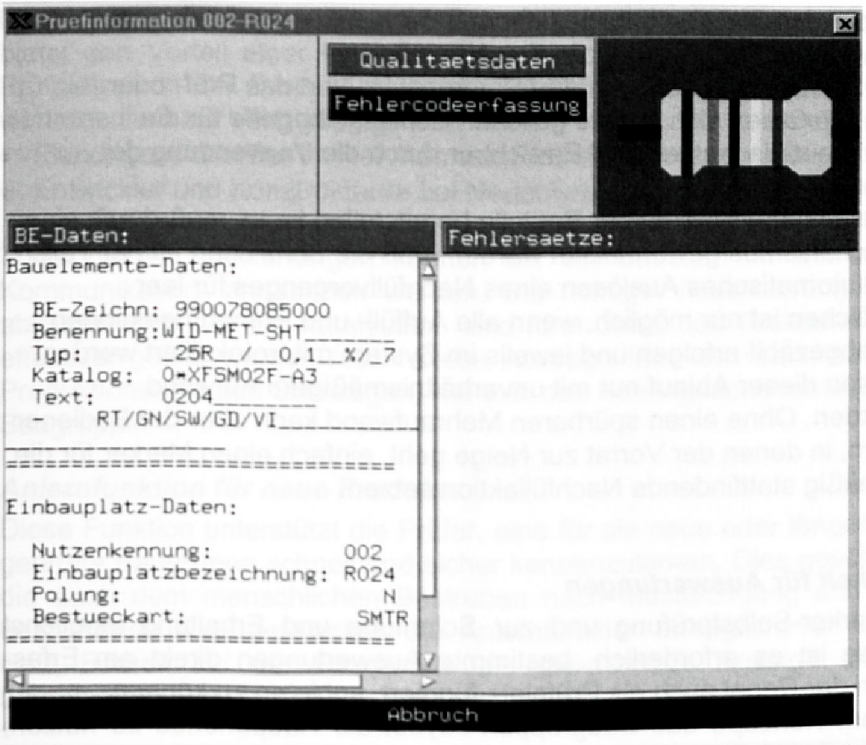


Bild 5.7: Aktuelle Bauteilinformationen sind zu allen Bauteilen auf der zu prüfenden Baugruppe abrufbar

Bauteilabruf und -bereitstellung an allen Reparaturplätzen

Hierbei wird das Ziel verfolgt, den Bediener in einem Arbeitsablauf zu unterstützen, bei dem jetzt ein Identifizieren, Zuordnen in einer Liste und Heraussuchen aus Regalen erforderlich ist. Bei jedem der genannten Teilschritte bestehen neben dem teilweise erheblichen Zeitbedarf noch zusätzlich Fehlerquellen durch Verwechslung oder veraltete Listen oder falsche Beschriftung von Regalfächern.
Wenn der Bediener nicht wegen jedem Bauteil, das er für eine Reparaturaktion benötigt, erst lange in Listen und Regalen suchen muß, dann läßt sich auf diese Weise wertvolle Such- und Wegezeit sparen. Sehr effektiv wird der Vorgang, wenn der Bediener seine gewohnte Reparatur-Bedienoberfläche verwenden kann und er das erforderliche Bauteil über den gleichen einfachen Identifizierungsvorgang erhalten kann, der dem Bediener schon geläufig ist und mit dem er schon kurz vorher ein bestimmtes Fehlerattribut zuordnen konnte. Damit sich diese Konzept verwirklichen läßt, müssen mehrere Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Die Bevorratung der benötigten Bauteile kann nicht mehr in einfachen Regalen geschehen. Es muß ein System eingesetzt werden, das es ermöglicht, einzelnen Bauelementen zugeordnete Lagerorte direkt anzusprechen und das auf kleinstem Raum in unmittelbarer Nähe zu den Arbeitsplätzen untergebracht werden kann. Für diesen Zweck können Paternoster mit kleinen Schälchen eingesetzt werden, die über eine Datenschnittstelle verfügen.
2. Die Verwaltung der Rüstdaten der einzelnen Paternostersysteme muß in das Gesamtsystem integrierbar sein oder in ihm nachgebildet werden. Im einfachsten

Fall ist eine Zuordnungstabelle erforderlich, aus der hervorgeht, in welchem Paternoster in welcher Fachnummer liegt welches Bauteil.

3. Das System zur Bauteilverwaltung in den Paternostern und das Prüf- oder Reparatursystem müssen sich auf die gleichen Schlüsselbegriffe für die Benennung der Bauteile verwenden. Erreichbar durch die Verwendung der gleichen Datenquellen.
4. Damit das Paternostersystem immer Bauteile bereitstellen kann, muß durch einen geeigneten Mechanismus gewährleistet werden, daß die Schälchen immer Teile enthalten. Ein automatisches Auslösen eines Nachfüllvorganges für leer werdende Schälchen ist nur möglich, wenn alle Auffüll- und Entnahmeaktionen immer korrekt abgezählt erfolgen und jeweils im System mitprotokolliert werden. In der Praxis kann dieser Ablauf nur mit unverhältnismäßigem Aufwand erzwungen werden. Ohne einen spürbaren Mehraufwand kann aber der Bediener bei den Fächern, in denen der Vorrat zur Neige geht, einfach einen Merker für die nächste regelmäßig stattfindende Nachfüllaktion setzen.

Anzeigemöglichkeit für Auswertungen

Im Sinne der Werker-Selbstprüfung und zur Schaffung und Erhaltung möglichst kurzer Regelkreise ist es erforderlich, bestimmte Auswertungen direkt am Erfassungsplatz , der in der Regel auch als Prüfplatz fungiert, anbieten zu können. Basierend auf dem Konzept, das Baugruppen-Layout als Hauptmenue zu nutzen, lassen sich gerade Detailauswertungen, die dem Prüfpersonal wertvollen Aufschluß über die zu prüfenden Baugruppen geben, einfach vermitteln (Bild 5.8).

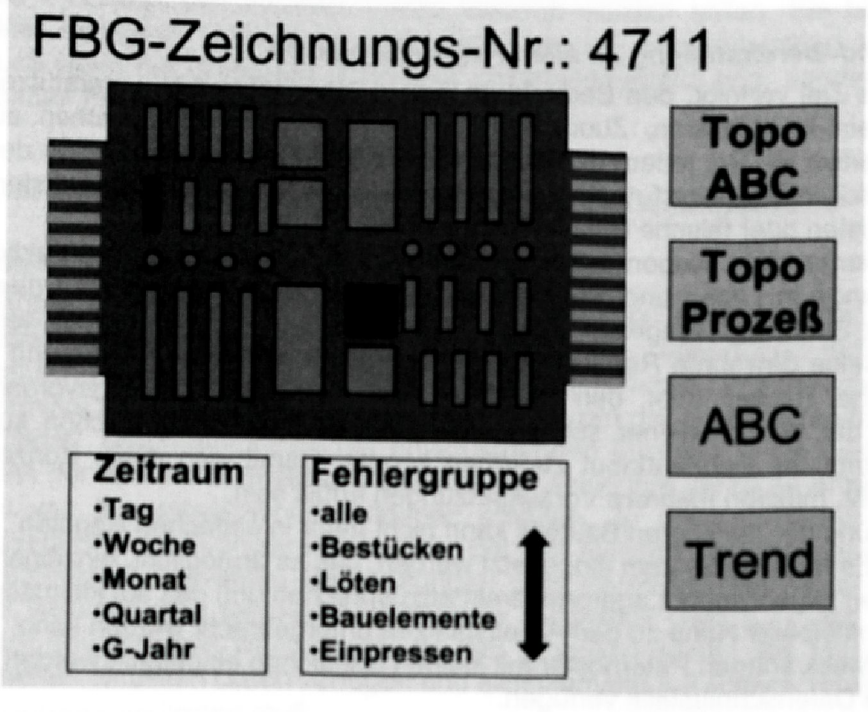


Bild 5.8: Parametrierung und Darstellung einer topologische Auswertung über das grafische Abbild der Baugruppe

Die Nutzung des vorhandenen grafischen Abbildes für topologische Auswertungen bietet den Vorteil einer einfachen und „anschaulichen" Nutzung nicht nur an den Prüfplätzen in der Produktion. Auch anderen Anwendergruppen kann dieses Auswertemedium zur Verfügung gestellt werden:

- Planungsmitarbeiter im Rahmen von Prozeßverbesserungen
- Entwickler und Konstrukteure bei Neuentwicklung und Redesign von Baugruppen

Topologische Auswertungen können als ein Baustein im Sinne einer „visuellen Kommunikation" angesehen werden. Die richtige Visualisierung von Produktionsabläufen wirkt wie ein Katalysator und führt dazu, daß Probleme zielstrebiger und effektiver gelöst werden /49/. Diese Aussage läßt sich auch auf Ergebnisse von Produktionsabläufen übertragen, wie z.B. das Fehlergeschehen einer elektronischen Baugruppe.

Anlernfunktion für neue Produkte

Diese Funktion unterstützt die Prüfer, eine für sie neue oder längere Zeit nicht mehr geprüfte Baugruppe schnell und sicher kennenzulernen. Dies geschieht auf eine Art, die auch dem menschlichen Bestreben nach Musterbildung und Strukturensuche beim Prüfen entgegenkommt. Die Anlernfunktion ermöglicht für jedes unterschiedliche Bauteil auf der Baugruppe die gleichzeitige Anzeige aller Bauteile des betreffenden Typs (Bild 5.9).

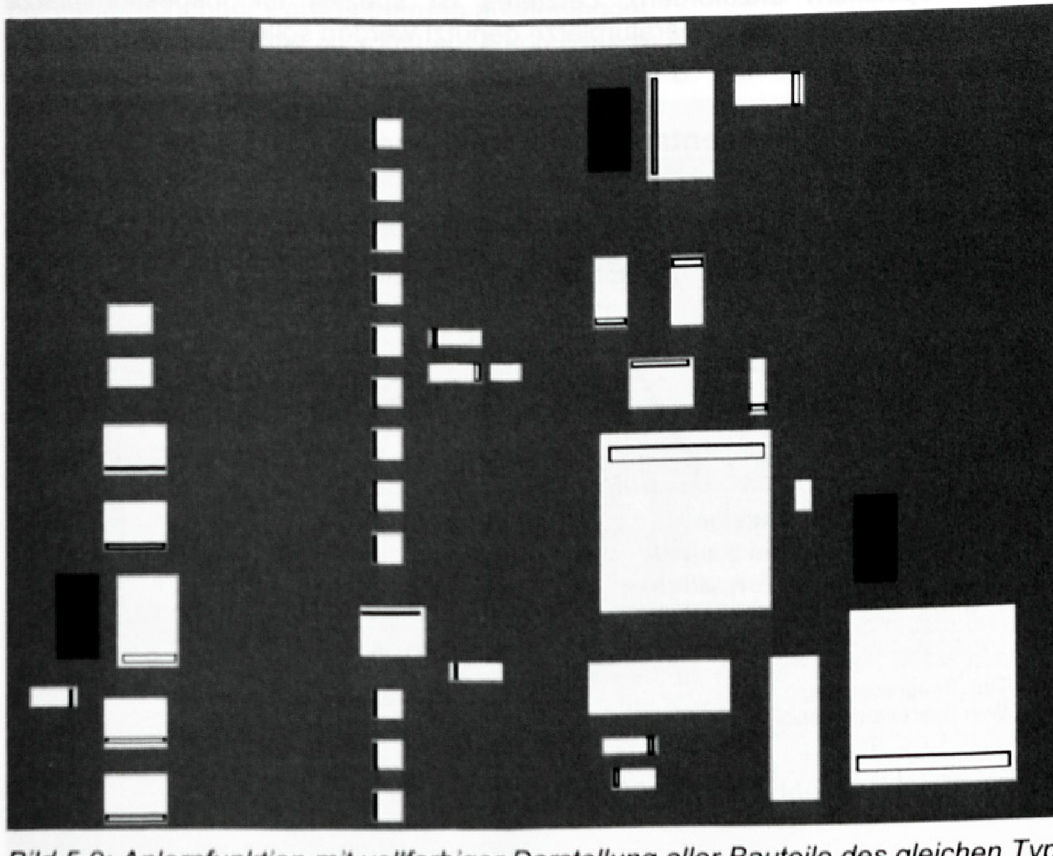


Bild 5.9: Anlernfunktion mit vollfarbiger Darstellung aller Bauteile des gleichen Typs

5.2.3 Resultierendes Erfassungskonzept

Das resultierende Erfassungskonzept fußt auf einem aus CAD-Daten generierten Abbild der zu prüfenden Baugruppen, welches als „Informations-Drehscheibe" bezeichnet werden könnte. Denn über das grafische Abbild soll das Prüfpersonal die Möglichkeit erhalten, sowohl Daten (z.B. Prüf- und Fehlerdaten) zu erfassen als auch Daten und Informationen zu Bauteilen und der gesamten Baugruppe zu erhalten.

Grafische Darstellung am Monitor als Informationsdrehscheibe

Als Grundfunktionen an einem Sichtprüfarbeitsplatz können damit die Anzeige der jeweiligen Prüfanweisung und die Erfassung von Prüf- und Fehlerdaten abgedeckt werden. Als Schlüsselkriterien werden zur Darstellung der richtigen Prüfanweisung der Baugruppentyp und die Arbeitsplatzkennung (Bea) benötigt. Bei der Prüfdatenerfassung werden als Schlüsselkriterien die Exemplaridentifikation (aus der der Typ ermittelt werden kann), die Arbeitsplatzkennung des jeweiligen Prüfplatzes und ein Datumseintrag (mit Zeitstempel) genutzt (Bild 5.10).

Neben den elementaren Funktionen der visuellen Inspektion bietet das System die Möglichkeit typ- und arbeitsplatzabhängig ein Anlernprogramm zu nutzen oder Auswertungen der erfaßten Prüfdaten vorzunehmen. Daneben ist es noch möglich, sich Bauteilinformationen anzeigen zu lassen oder Bauteile aus naheliegenden Paternoster-Speichern anzufordern. Letzteres ist speziell für Inspektionsplätze interessant, die zugleich als Reparaturplätze genutzt werden sollen.

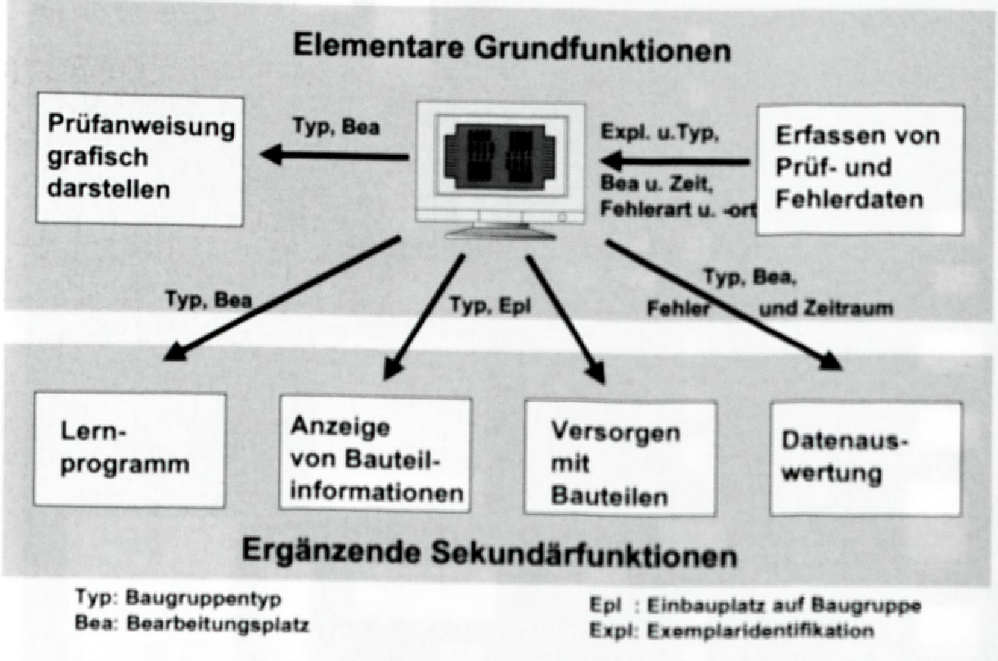


Bild 5.10: Grafisches Abbild des Prüfobjekts als Informationsdrehscheibe

5.3 Anwendung in der Praxis

5.3.1 Datenerfassung an Sichtprüfplätzen

Sichtprüfung von bestückten Leiterplatten

Folgende Kriterien kennzeichnen den Arbeitsgang Sichtprüfen von bestückten Leiterplatten in der Elektronikproduktion:

- Häufiger Wechsel der zu prüfenden Baugruppentypen
- Stark variierende Zahl zu prüfender Bauteile
- Erfassungsintensiv mit Fehlerraten zwischen 2% und 20%

Um diese Anforderungen in der betrieblichen Praxis gut erfüllen zu können, ist ein schnelles, intuitives Aufnehmen der Prüfanweisung durch den Prüfer gefordert. Im Kern des Konzepts steht dabei ein schematisiertes Abbild des Prüfobjekts, in das die Prüfanweisung durch eine geeignete Farbgebung eingearbeitet ist (Bild 5.11). Je nach Prüfkonzept kann es sinnvoll sein, daß an bestimmten Prüfplätzen nur bestimmte Bauelemente auf der Baugruppe geprüft werden. Über vollfarbig dargestellte Bauelemente kann das System dem Prüfpersonal anzeigen, was an diesem Prüfplatz Prüfinhalt sein soll. Bereits bestückte, aber am betreffenden Prüfplatz nicht zu prüfende Bauteile könnten umrandet (ohne Füllung) dargestellt werden und noch nicht bestückte Bauteile werden überhaupt nicht dargestellt, sondern vom System bei entsprechender Parametrierung ausgeblendet.
Für den geübten Prüfer ist somit auf einen Blick zu erkennen, welche Objekte auf der Leiterplatte in welcher Weise zu prüfen sind (z.B. nur auf Vorhandensein oder Polung bzw. Lage eines Bauteils).

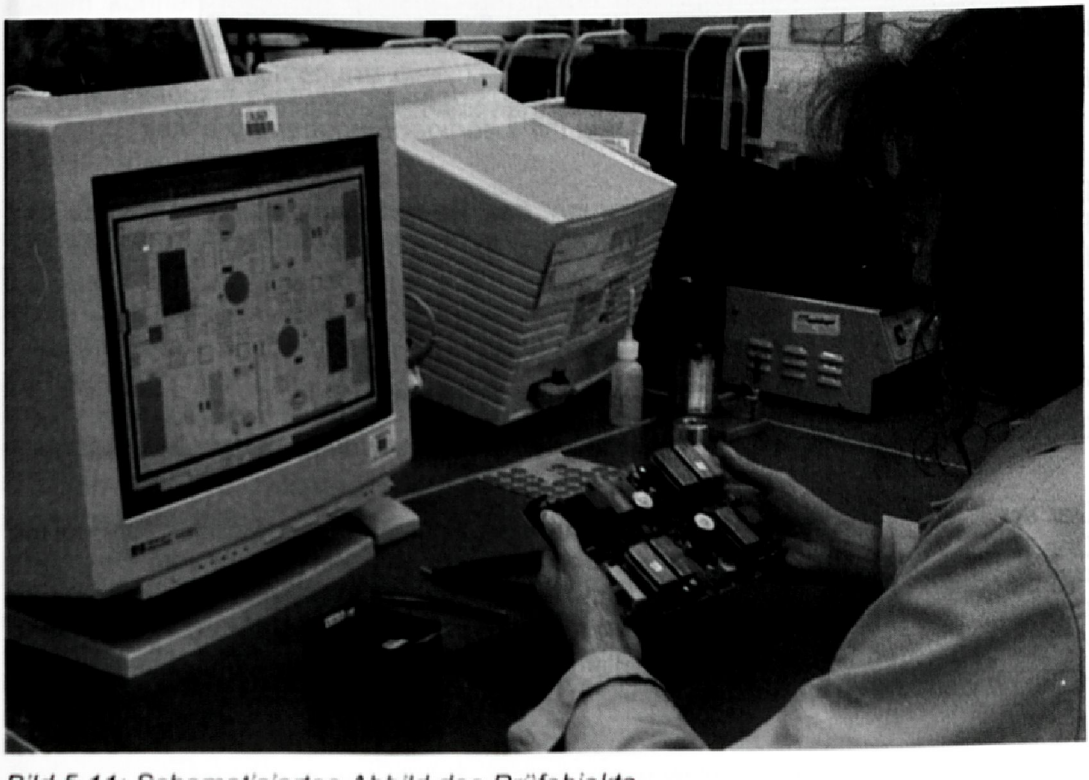


Bild 5.11: Schematisiertes Abbild des Prüfobjekts

Neben der Anzeige der Prüfanweisung in grafischer Form unterstützt das konzipierte System noch eine zweite Grundfunktion an visuellen Prüfplätzen in der Elektronikproduktion: Die detaillierte Erfassung von Fehlern wird schnell und einfach ermöglicht (Bild 5.12).

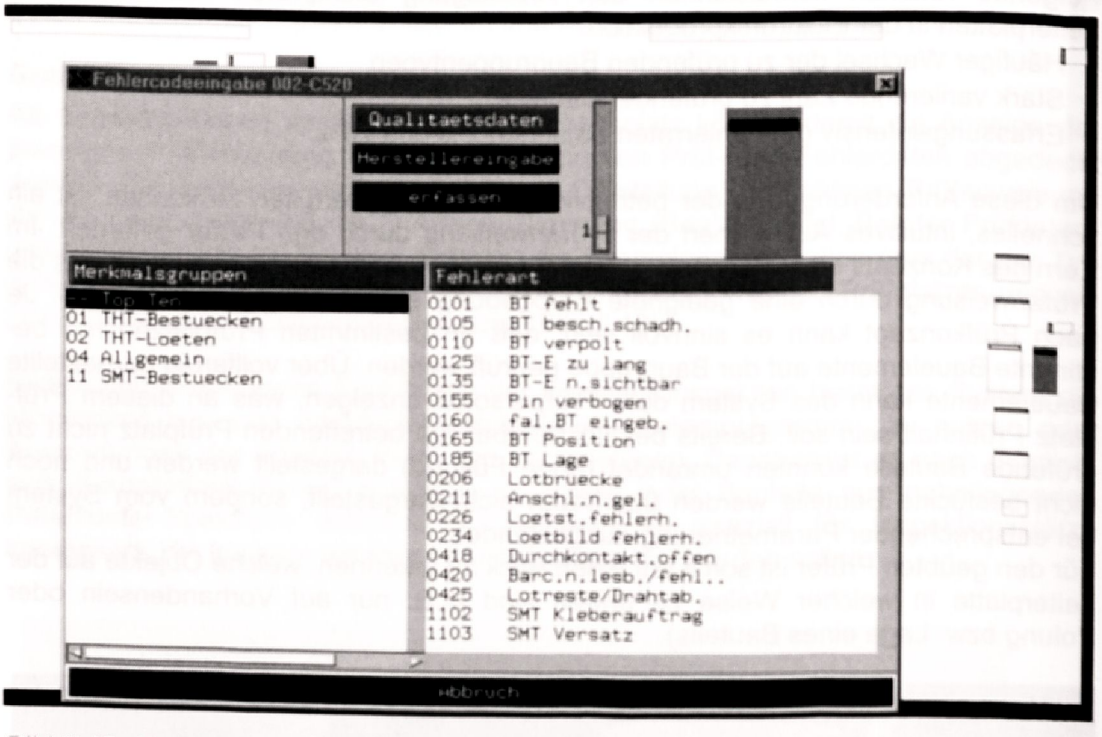


Bild 5.12: Unmittelbar nach dem Anklicken eines defekten Bauteils erscheint ein Auszug aus dem Fehlerkatalog mit sofortiger Eingabemöglichkeit

Durch die zunehmende Miniaturisierung der Bauteile kommt es während des Prüfvorgangs immer wieder zu Situationen, in denen das Prüfpersonal eine der folgenden Funktionen benötigt:

1. Zoomen von Ausschnitten der Baugruppe,
2. Umrisse der Bauteile auf der anderen Seite anzeigen lassen
3. Suche nach Einbauplätzen, von denen nur der Name und nicht der Ort bekannt ist

Der erste Punkt ist wichtig, wenn extrem kleine Bauteile gut anwählbar sein sollen. Der dritte Punkt, die Suche nach Einbauplätzen auf der Leiterplatte hilft dem Prüfpersonal, in Fällen ohne Leiterplattenbeschriftung die richtigen Bauelemente zu finden und zu prüfen. Auch der Punkt 2 dient der Orientierung auf den zunehmend dichter gepackten Baugruppen, vor allem dann, wenn es gilt, auf der Unterseite die richtigen Bauteile zu identifizieren (Bild 5.13).

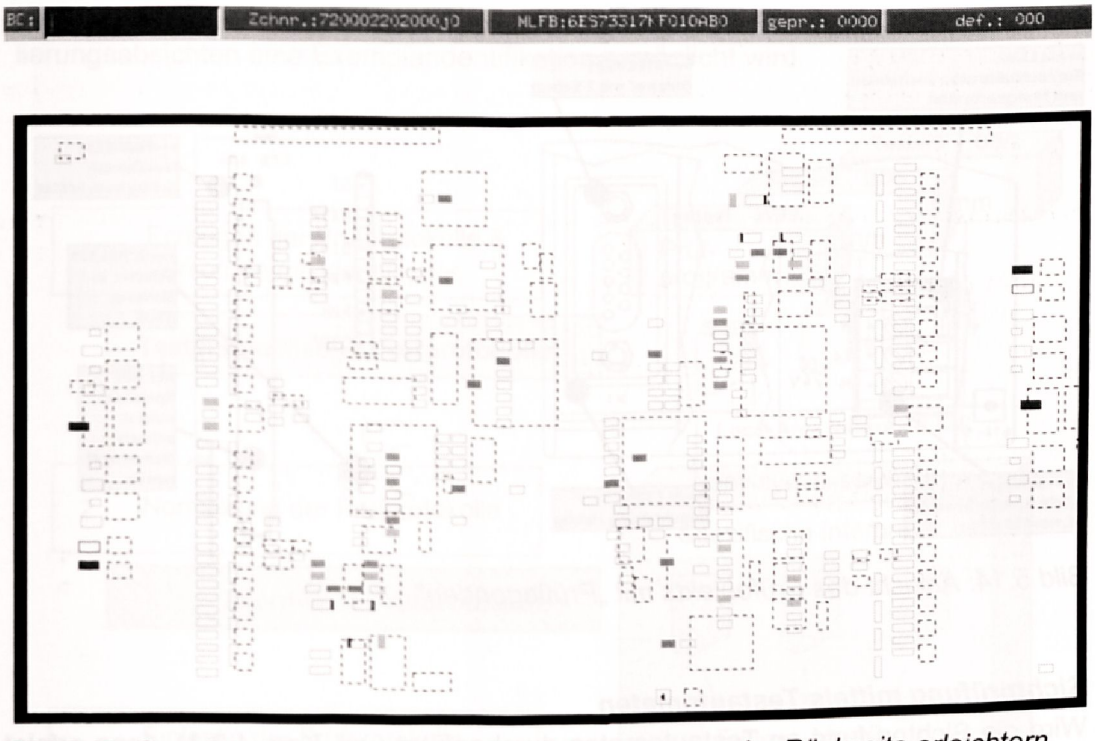


Bild 5.13: Gestrichelt eingezeichnete Bauteilumrisse von der Rückseite erleichtern Orientierung auf der Baugruppe

Zudem können folgende weitere Funktionen über das Abbild einfach aufgerufen werden:

- Abruf von Bauteildaten aus einem zentralen Bauteilkatalog
- Anfordern von Ersatzbauteilen aus nahestehenden Bauteilpaternostern

Sichtprüfung von Geräten nach der Montage

Bei dieser Prüfung geht es darum, am fertig montierten Gerät (vor der Verpackung) an einigen wenigen Stellen eine abschließende Sichtprüfung vorzunehmen. Diese wenigen Details sind jedoch in der Regel nach völlig unterschiedlichen Kriterien zu prüfen.

Der Arbeitsplatz ist von folgenden Umgebungsbedingungen geprägt:

- geringe Fehlerraten 0% - 1%
- oft kombiniert mit Montage- oder Verpackungsplatz
- kurze Prüfzeiten

Im Zentrum der Überlegungen zum Konzept steht hier also die Anforderung, die unterschiedlichen Prüfanweisungen zu den Objektdetails möglichst auf einen Blick zu vermitteln. Basis des Realisierungskonzepts ist hierbei eine aus Konstruktionsdaten automatisch generierte Ansicht des Prüfobjekts, die um „Legenden" ergänzt wird (Bild 5.14).

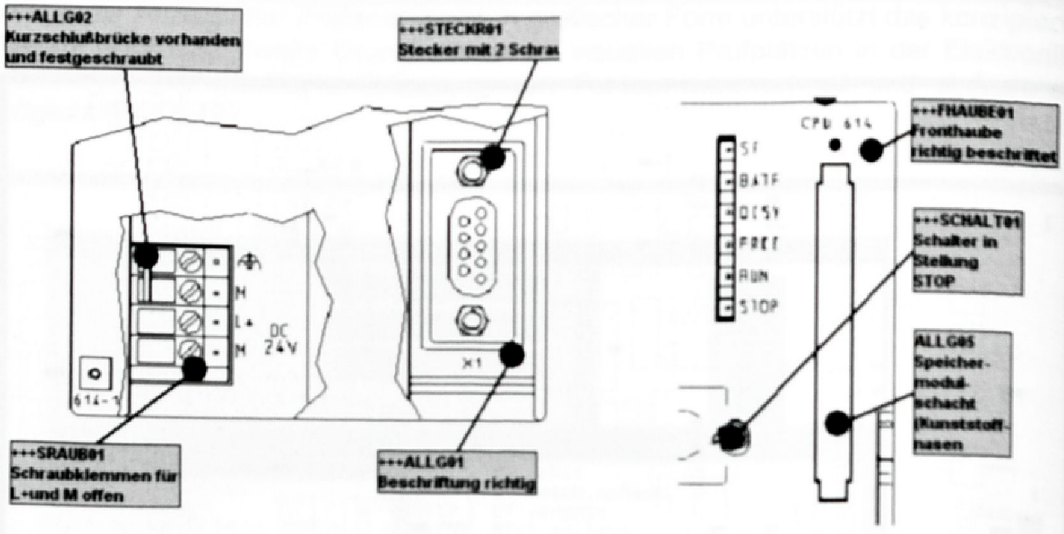


Bild 5.14: Ansicht des Prüfobjekts mit „Prüflegenden"

Sichtprüfung mittels Testautomaten

Wird die Sichtprüfung an Testautomaten durchgeführt (vgl. Kap. 4.3.1), dann erfolgt die Ermittlung der Prüf- und Fehlerdaten über die Erfassung und Weiterverarbeitung der jeweiligen Testerdaten, die je Prüfung anfallen. Die Datenerfassung von Prüf- und Fehlerdaten an Testautomaten im Bereich der Sichtprüfung unterscheidet sich jedoch prinzipiell nicht von der Datenerfassung an belieben Testautomaten im Verlauf der Produktion elektronischer Baugruppen. Wie dieser Ablauf im einzelnen gestaltet wurde, wird in Abschnitt 5.3.2 erläutert.

5.3.2 Datenerfassung von Testautomaten

Betrachtungsgegenstand sollen nicht nur In-Circuit-Tester für elektrische Prüfungen sein, sondern auch optische Inspektionssysteme. Die Überlegungen sind getrieben von dem Gedanken, daß ohne zusätzliche personelle Veredelungschritte alle Daten sicher zuordenbar und aktuell in die Datenhaltung gelangen können. Dabei soll es von nachgeordneter Bedeutung sein, welche Art von Prüfautomat eingesetzt wird. Die Realisierung stützt sich dazu auf eine dreischichtige Software-Architektur, wobei die mittlere Ebene noch einmal modular unterteilt ist, wie in Bild 5.15 schematisch dargestellt.

In einer Produktion können Testautomaten unterschiedlicher Hersteller eingesetzt sein, die möglicherweise noch mit unterschiedlichen Betriebssystemen ausgestattet sind. Die Prüfautomaten erzeugen Prüfprotokolle, die Angaben dazu enthalten, ob die Prüfung erfolgreich bestanden wurde oder das Produkt fehlerbehaftet ist. Je nach Testautomat können die Fehler mehr oder weniger detailliert beschrieben sein. Vorteilhaft für die weitere Verarbeitung ist es, wenn je Prüfling ein eigenes Prüfprotokoll erstellt wird und nicht für eine Menge typgleicher Prüflinge ein Prüfbeleg mit Summendaten zu mehreren vorangegangenen Prüfungen. Das erzeugte Prüfprotokoll muß zwingend einen Identifikator enthalten, mit dem in den folgenden Verarbei-

tungsschritten zumindest eine Typklassifizierung oder je nach weiteren Detaillierungsabsichten eine Exemplaridentifikation ermöglicht wird.

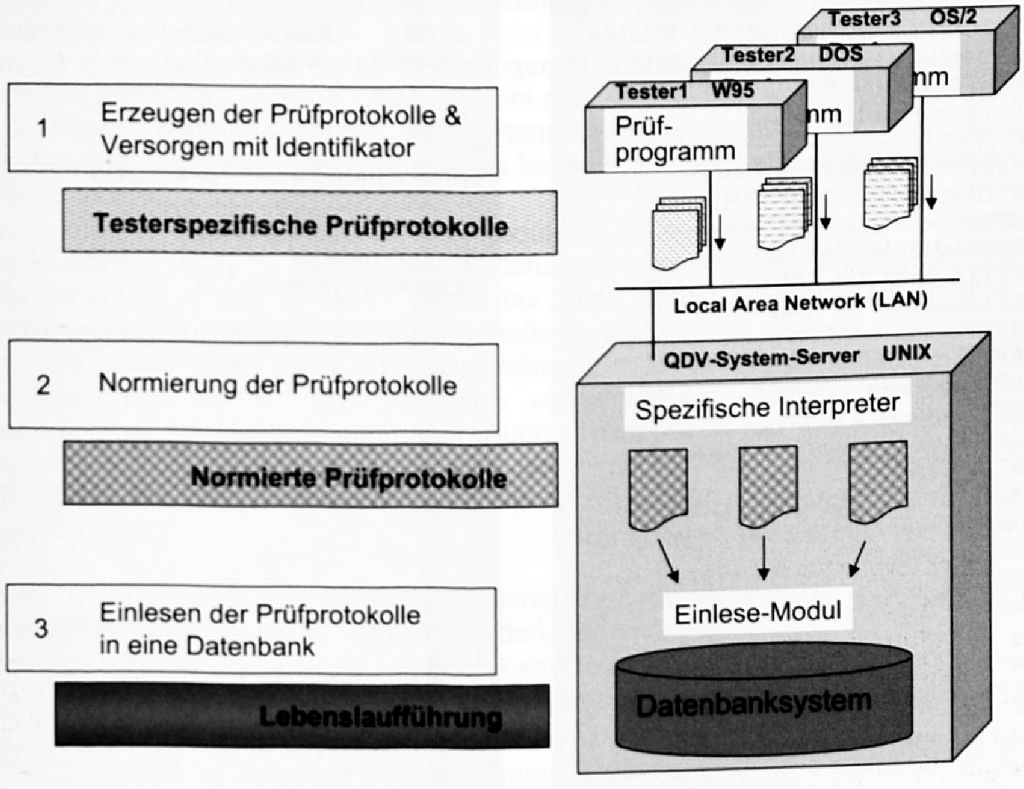


Bild 5.15: Automatische Prüfsysteme mit Datenerfassung über modulare testerspezifische Normierungsmodule

Die technische Anbindung der Testautomaten an ein QDV-System kann erreicht werden durch ein lokales Netzwerk (LAN), über das mittels Standardübertragungsprotokollen (wie FTP oder NFS) ein Dateitransfer erfolgen kann. Die dafür erforderlichen Treiberprogramme sind für alle gängigen Betriebssysteme verfügbar. Als Dateiformat werden einfache, schlüsselwortorientierte ASCII-Dateien gewählt, weil diese von den meisten Testern erzeugt und von allen gängigen Servern verarbeitet werden können.

Die Prüfprotokolle werden nach ihrer Übertragung auf den Server-Rechner des QDV-Systems jeweils von ihren spezifischen Interpretermodulen in Empfang genommen und nach einer Syntaxprüfung in eine testerunabhängige Standardform transformiert. Die Ergebnisdateien werden als normierte Prüfprokolle an das Einlesemodul weitergereicht. Alle an das Einlesemodul weitergeleiteten Dateien weisen eine einheitliche syntaktische Struktur auf, einzig die inhaltlichen Aussagen können je nach Leistungsvermögen der einzelnen Tester unterschiedlich detailliert ausfallen (Bild 5.16).

Originalprotokoll von In-Circuit-Tester HP 3070 zu Fehler an Einbauplatz R318

```
{@BATCH|811109202000a0||0|1||81110925101|
940201144416|548|Q710H001|cp548b|RevA
{@BTEST|E1234158|06|940201152110|000014|
0|failures||n|n|940201152124||1
{@RPT|----------------------------------------}
{@RPT|CP5480DA00 4 fach Nutzen}
{@RPT|Tue Feb 01 15:21:19 1994}
{@RPT|----------------------------------------}
{@RPT|02r318 HAS FAILED}
{@RPT|LS_SMD_A01.3-F4}
{@RPT|Measured:   9.7945k}
{@RPT|Nominal:    10.000k}
{@RPT|High Limit: 10.197k}
{@RPT|Low Limit:  9.8360k}
{@RPT|Resistance in OHMS}
{@RPT|----------------------------------------}
{@BLOCK|02r318|01
{@A-RES|1|+9.794486E+03{@LIM3|
+1.000000E+04|+1.019700E+04|+9.836000E+03}}
{@RPT|HP3070_1}
{@RPT|}
{@RPT|}
{@RPT|}
{@RPT|}
{@RPT|}
}
}}
```

Originalprotokoll von In-Circuit-Tester Factron 303 zu Fehler an Einbauplatz U040

```
E1227081        0281105720200010      *A50530J/
01-28-94/07:11:44///00.00
!/
%F/155
%P
"F/U40-SFH610-2.4-A4***OPK/ 1.201V
/OVER RANGE/2220
< * PROGRAMMABBRUCH *
> BOARD DEFEKT
@A50530J/01-28-94/07:12:34
```

Bild 5.16: Syntaktisch unterschiedliche Originalprotokolle verschiedener Prüfsysteme stellen hohe Anforderungen an das Reparaturpersonal

Ein Programm, das man als Einlesemodul bezeichnen könnte, überträgt alle Einzeldaten aus den Prüfprotokollen in eine zentrale Datenbank. Dieses Modul kann testerunabhängig realisiert sein, da es nur normierte Prüfprotokolle verarbeiten muß. Eine wichtige Anforderung an dieses Einleseprogramm ist eine ausreichende Verarbeitungsgeschwindigkeit. Auch wenn alle angeschlossenen Tester kontinuierlich prüfen, darf es an dieser zentralen Stelle zu keinen zeitlichen Verzögerungen im Verarbeitungsprozeß kommen, weil sonst die Aktualität der Daten nicht mehr gewährleistet werden kann.

Vorteile der vorgestellten Testeranbindung

Die Vorteile einer 3-Schicht-Architektur im Datenfluß des Erfassungsteil beruhen in der Hauptsache darauf, daß technologische Weiterentwicklungen auf Tester- und auf Datenbankseite entkoppelt betrachtet werden können.
Im Detail bewirkt eine daten- und ablauftechnische Trennung der Verarbeitungsfolge in mehrere Teilschritte, daß auf Testerseite kein oder nur geringer Anpassungsaufwand erforderlich ist, um einen neuen Testertypen als Prüfdatenerzeuger einzurichten. Falls es noch nicht zu den Standardfunktionen des Testsystems gehört, muß

z.B. der Identifikationsname des Prüflings mit in das Prüfprotokoll aufgenommen werden. Da sich die einzelnen testerspezifischen Interpretationsmodule wegen ihrer datentechnischen Entkopplung jeweils nur auf einen Testertyp konzentrieren brauchen, sind an dieser Stelle leistungsfähige aber dennoch kleine und kompakte Interpretermodule entwickelbar.
Auf die Wirtschaftlichkeit eines langfristigen Betriebs wirkt sich die beschriebene Software-Architektur in mehrfacher Hinsicht positiv aus. Man kann davon ausgehen, daß kleine testerspezifische Interpretermodule preiswerter in Konzpierung, Realisierung und Betreuung sind, als dies bei einem universellen, alle Protokolltypen verarbeitenden Modul der Fall wäre.
Hinzu kommt, daß auch das Einlesemodul nur einmal als zentrale Komponente erstellt werden muß. Es ist nicht den Änderungszyklen der testerspezifischen Protokolle unterworfen und braucht selbst bei Anschaffung neuer Tester oder einer Ablösung alter Tester nicht ständig angepaßt werden.
Ein sehr gewichtiger, nicht zu unterschätzender Vorteil besteht darin, daß das gezeigte Vorgehen für das Anbinden von Testautomaten konzeptionell nich beschränkt ist auf Sichtprüfaufomaten. Auch elektrische Tester wie In-Circuit-Tester oder Funktionstester können nach dem gleichen Schema zu vollwertigen Datenlieferanten und bzgl. papierloser Prüfung zu integralen Bestandteilen des QDV-Systems werden.

Wenn Testautomaten gemäß dem beschriebenen Konzept an ein Qualitätsdatenverarbeitungssystem angeschlossen werden, dann können

- einzelne Tester unabhängig von Betriebssystemzwängen angeschlossen werden
- aktuelle Prüfprotokolle und Daten empfangen und verarbeitet werden
- die erhaltenen Daten flexibel auswertbar bereitgestellt werden
- zur Datenhaltung beliebige Standard-Datenbanken eingesetzt werden.

5.3.3 Datenerfassung an Reparaturplätzen

Soll der Erfassungsaufwand auch an Reparaturplätzen minimal gehalten werden, dann muß

- die Suche nach dem richtigen Prüfprotokoll durch den Anwender
- die Suche und das Eingeben von Bauteilbezeichnungen
- das Abschreiben der Meßwerte durch das Reparaturpersonal

entfallen können. Dazu stützt sich die Erfassung grundsätzlich auf eine Datenhaltung mit Exemplarbezug. Aus diesen Daten sind am Reparaturplatz dann alle Informationen abrufbar, die aus vorangegangenen Prüfschritten für die anstehende Reparatur behilflich sein können.

Das Konzept basiert grundsätzlich auf dem gleichen Ansatz wie bei der Sichtprüfung. Hinzu kommt einzig, daß ein eindeutiger Bezug zwischen dem zu reparierenden Objekt und einem entsprechenden Prüfprotokoll immer gegeben sein muß. Als Folge davon wird zwingend benötigt:

- Eindeutige Strichcode-Identifizierung über alle geprüften/reparierten FBG
- Führung eines Lebenslaufes zu allen FBG mit Verwaltung der zugehörigen Prüfprotokolle

Um auch im Bereich der Reparaturplätze die Vorteile einer einfachen und verständlichen Benutzerschnittstelle einbringen zu können, werden in das aus der Sichtprüfung bekannte Konzept noch folgende Erweiterungen eingebracht:

- Normierung der Syntax der Prüfprotokolle auf ein einheitliches testerunabhängiges Format
- Erweiterung der über das Layout anzeigbaren Information um
  - ⇒ Markierung der defekten Bauteile (Bild 5.17)
  - ⇒ Anzeigemöglichkeit aller Bauteilpins gleichen Potentials
  - ⇒ Anzeigemöglichkeit der originalen Testerprotokolle
  - ⇒ Anzeigemöglichkeit aller vorangegangen Reparaturversuche

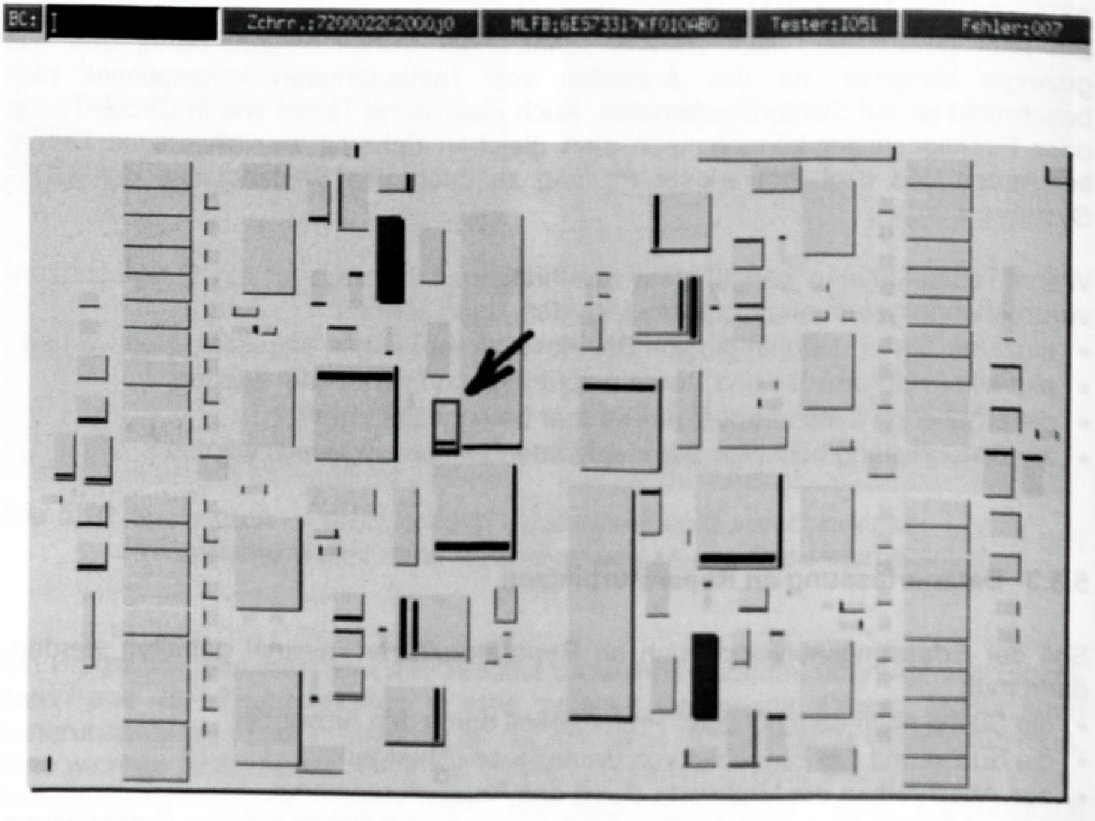


Bild 5.17: Grafisches Abbild einer zu reparierenden Baugruppe, in dem die vom Prüfautomaten beanstandeten Bauteile farbig umrandet blinken

Eindeutige Strichcode-Identifizierung

Die eindeutige Identifizierung der Flachbaugruppen ist eine Grundvoraussetzung für die Einführung einer "papierlosen Reparatur". Wenn das Begleitpapier mit dem Prüfergebnis der FBG entfällt, dann muß am Reparaturplatz eine andere Möglichkeit angeboten werden, das Prüfergebnis der FBG zu erhalten. Das wiederum setzt eine eindeutige Namensgebung für alle Flachbaugruppen voraus, die es erlaubt, am Reparaturplatz genau die Information abzurufen, die bei der Prüfung dieser FBG erzeugt wurde.

Durch das Aufbringen des Namens in Form von Strichcode auf die FBG kann der Name sehr einfach und schnell mit Scannern abgelesen werden. Doch damit allein ist es noch nicht getan. Damit der gescannte Name in die für die Weiterarbeit erforderliche Information umgesetzt werden kann, muß eine Infrastruktur zur Verfügung stehen, die folgende Funktionen umfaßt:

- Fertigungsidentifikator erzeugen und verwalten
- Flachbaugruppen (FBG) kennzeichnen
- Schilder für Fertigprodukte und Verpackung bedrucken
- Auftrags- und Prozeßdaten verknüpfen
- Anfragenden System Auskunft geben zu FID's

Führung eines Lebenslaufes zu allen FBG

Die Lebenslaufführung einer FBG mit Angaben zum jeweiligen Bearbeitungsschritt, Datum und Status der FBG nach der Bearbeitung ist z.B. eine wichtige Grundlage für eine automatische Generierung von Qualitätsdaten. Damit kann die aufwendige Qualitätsdatenmitschreibung und -eingabe ersetzt werden. Darüber hinaus ermöglicht die Speicherung des Lebenslaufes aller Flachbaugruppen auch Auskünfte darüber, wie oft eine bestimmte FBG bereits zu einem Reparaturplatz kommt oder welche Bearbeitungsschritte wann durchlaufen wurden. Damit läßt sich z.B. überwachen, ob eine bestimmte FBG alle geforderten Prüfschritte passiert hat.

Langfristige Speicherung oder Archivierung als weiteres Nutzenpotential

Wird die Lebenslaufführung ausschließlich für die papierlose Reparatur genutzt, dann können die angefallenen Daten nach dem letzten Produktionsschritt gelöscht werden. Werden sie jedoch nicht gelöscht oder geeignet archiviert, dann können die Lebenslaufdaten der gefertigten Produkte noch weiteren Nutzen bringen. Sie ermöglichen Langzeitauswertungen für die Optimierung von einzelnen Fertigungs- und Prüfschritten. Sie können auch wertvolle Dienste leisten, wenn Produkte vom Kunden zurückkommen und diese auf Fehler untersucht werden müssen. In solchen Fällen kann das Qualitätsmanagement interessante Erkenntnisse gewinnen, wenn die Einzeldaten der verschiedenen von diesem Produkt durchlaufenen Fertigungs- und Prüfschritte noch verfügbar sind.

Testerunabhängige Normierung der Prüfprotokolle

Ein weiterer wichtiger Punkt im Konzept ist die Normierung der testerspezifischen Prüfprotokolle auf ein einheitliches Format (rechte Hälfte von Bild 5.18). Zum einen verringern normierte Protokolle den Schulungsaufwand und mögliche Fehlinterpretationen auf Seiten des Reparaturpersonals. Zum anderen ermöglichen sie eine rationelle Programmpflege unabhängig von der Testersyntax und bindet das Werk nicht an ein bestimmtes Testerfabrikat. Somit können bei Bedarf je nach technologischer Anforderung und anderen Randbedingungen wie dem Preis-Leistungs-Verhältnis beliebige Testautomaten angeschafft und eingesetzt werden. Die Prüfprotokolle aller angeschlossenen Tester werden auf ein einheitliches Format gebracht, bevor sie weiterverarbeitet werden. Damit brauchen die Weiterverarbeitungsprogramme zum Einlagern der Daten in die Datenbank, zur Lebenslaufführung,

zur Qualitätsdatenerzeugung und zur Generierung einer Reparaturanweisung nicht für unterschiedliche Arten von Testerprotokollen erstellt und gepflegt werden.

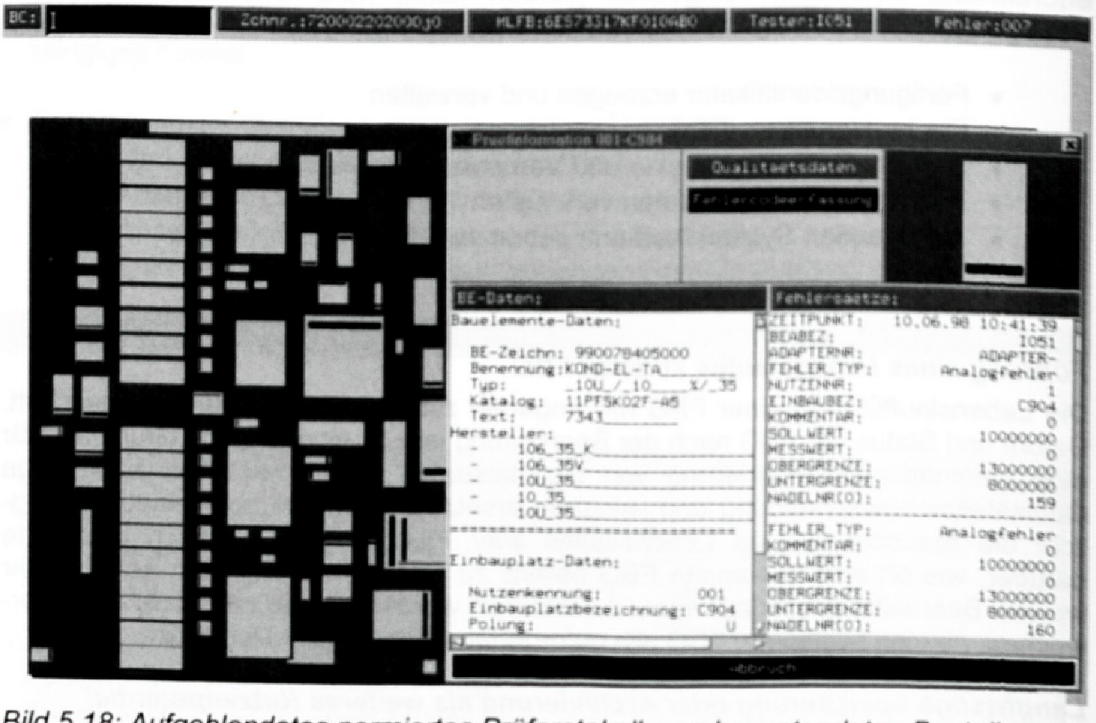


Bild 5.18: Aufgeblendetes normiertes Prüfprotokoll zum beanstandeten Bauteil am Reparaturplatz mit zugehörigen Bauteildaten

Erweiterung der über das Layout anzeigbaren Information

Wenn dem Reparateur sofort nach dem Aufblenden des Layouts gezeigt werden kann, wo auf der FBG der Tester einen Fehler bemerkt hat, dann kann unverzüglich mit der Reparatur begonnen werden, ohne noch Zeit mit der Suche nach dem Fehler zu verlieren. Indem man sowohl die CAD-Daten als auch die Prüfprotokolle über den gleichen Identifikator (z.B. den logischen Bauteilnamen) strukturiert, ist es möglich, die defekten Bauteile am Reparaturplatz-Terminal blinken zu lassen oder auf andere Weise kenntlich zu machen (vgl. Bild 5.17, links von der Mitte). Das Prüfprogramm braucht dazu je Prüfabschnitt (Messung) im Fehlerfall nur den Einbauplatz ins Fehlerprotokoll mit aufzunehmen. Auf dem Fehlerprotokoll basiert letztlich die Reparaturanweisung.

Wenn der Reparateur auf dem Layout ein als fehlerhaft markiertes Bauteil anklickt, so wird ihm ein Auszug aus dem Bauteilkatalog zu diesem Bauteil und der Inhalt des normierten Prüfprotokolls angezeigt (Bild 5.18). Hegt der Reparateur den Verdacht, daß bei der Normierung eines Prüfprotokolls wichtige Information nicht übertragen wurde, dann hat er die Möglichkeit, sich zusätzlich auch das testerspezifische Prüfprotokoll dieser FBG anzeigen zu lassen (Bild 5.19).

```
Testerspezifisches Pruefprotokoll
@
* FAIL *

Model:451R12IA.SD8
Bar. No. :81206760100010A
Serial No.:K5191263
Serial No.:81206760100010
DATE  98/05/25 06:51

Test time:15 s
Test ID :2
Index :81206760100010
@
"1    " 01 00223 "V400     " "-     " "THT          " "0.800 V "  +20%  -20% "0.636 V
"1    " 01 00229 "V500     " "5.6V  " "THT          " " 5.60 V "  +7%   -7% "No Test
```

Bild 5.19: Auszug aus testerspezifischem Prüfprotokoll wie es am Reparaturplatz aufgerufen werden kann

Weitere Arbeitserleichterungen und damit Zeiteinsparungen ergeben sich aus der Integration der im folgenden beschriebenen Funktionen:

Kurzschlussfehler können für den Reparateur zu einem zeitaufwendigen Problem werden. Der Tester stellt nur fest: Zwischen Signal VZ und XY gibt es einen Kurzschluß. Jetzt muß am Reparaturplatz herausgefunden werden, wo sich der Kurzschluß auf der Leiterplatte befindet. In den meisten Fällen ist ein Kurzschluß an einer der Stellen zu finden, an denen die Pins der beiden verschiedenen Signale sehr nahe beieinanderliegen. Doch die Suche nach diesen Stellen kann sich als sehr aufwendig und zeitraubend erweisen. In diesen Fällen stellt es für den Reparateur eine große Erleichterung dar, wenn er alle Pins, die zu einem bestimmten Signal gehören, farblich hervorheben kann. Durch eine unterschiedliche farbliche Darstellung der beiden Signale, zwischen denen ein Kurzschluß auftritt, lassen sich mögliche Fehlerkandidaten schnell finden und überprüfen. Diese gewählte Lösung mit einer farbigen Pin-Markierung stellt im Gegensatz zu einem Konzept mit vollständiger Leiterbahndarstellung keine so hohen Anforderungen an die CAD-Schnittstelle.

Kommt eine FBG zum wiederholten Male an einen Reparaturplatz, dann handelt es sich in der Regel um weniger triviale Fehler. Darauf wird das Reparaturpersonal sofort hingewiesen, indem der Fehler im grafischen Abbild der Baugruppe mit einer anderen Farbe kenntlich gemacht wird, als beim erstmaligen Auftreten eines Fehlers. In diesen Fällen ist es hilfreich, sich die erfolglos unternommenen Reparaturversuche ansehen zu können, um die Fehlerursache rascher aufzuspüren. Ansonsten könnte der Fall eintreten, daß ein und derselbe Reparaturversuch mehrmals durchgeführt wird.

Konzeptvorteile im Überblick

Die Konzipierung eines CAQ-Bausteins für automatisierte Prüfungen und papierlosen Reparaturbetrieb erfolgte ebenfalls auf der Basis des aus den CAD-Daten generierten Layouts des Prüflings. Das ist zusammen mit der integrierten Q-Datenerzeugung und Bauteilbereitstellung der Hauptunterschied zu anderen Konzepten /56/. Es gibt auch Entwicklungen, die als Layout eine photographierte bzw. gescannte Abbildung des Prüflings benutzen und die daher keinen Grunddatenbezug besitzen oder diesen erst manuell herstellen müssen. Das hier vorgestellte

Konzept beinhaltet neben einer modularen Interpreterschnittstelle zur Normierung der eingehenden Prüfprotokolle eine kombinierte Funktions- und Datenintegration.

Daher können

- alle Arten von Prüfplätzen, die ein Prüfprotokoll in einer Datei ablegen können, an das CAQ-System angeschlossen werden.
- alle zugehörigen Reparaturplätze vom CAQ-System bedient werden, unabhängig von der Prüfplatz- oder Testerart.
- alle angeschlossenen Prüfplätze - auch Sichtprüfplätze - einen papierlosen Reparaturbetrieb durchführen.

6 Anwenderorientierte Qualitätsberichterstattung

6.1 Notwendige Voraussetzungen

6.1.1 Konsistente Grunddaten

Zu den Grunddaten zählen alle produkt- und prüfbeschreibenden Daten. In diesem Abschnitt werden drei Arten von Stammdaten kurz vorgestellt:

- Die Produktdaten mit Summen- und Detailinformation zu den einzelnen Produkten.
- Der Fehlerkatalog mit einer Gesamtübersicht zu allen Fehlermerkmalen und deren Einteilung in Fehlergruppen.
- Die Prüfplatzübersicht mit Detailangaben je Prüfplatz.

Produktdaten

Innerhalb der Produktdaten lassen sich grob drei Arten von Informationen unterscheiden:
Die erste Gruppe von Daten enthält den Produktidentifikator (z.B. eine Konstruktions- oder Zeichnungsnummer), eventuell Angaben zu alternativen Kurzbezeichnungen und Zuordnungen zu Produkt- bzw. Fabrikategruppen und "Produktfamilien". Der Produktidentifikator ist ein Schlüsselbegriff in der gesamten zugrundeliegenden Datenhaltung und wird, wie viele andere Grunddaten, für Plausibilitätskontrollen benutzt.
Die gesamten Produkte lassen sich über die Felder Fabrikategruppen und "Produktfamilien" nach zwei unterschiedlichen Kriterien gruppieren, z.B. nach Leistungsspektren und nach funktionalen Gesichtspunkten. Da diese Felder als Verdichtungskriterium in Auswertungen benutzt werden können, sollten sie nach auswertungsrelevanten Kriterien vergeben werden.

Eine zweite Gruppe von Produktdaten umfaßt bauelementespezifische Detailinformationen aus der Konstruktionsabteilung. Dazu gehören z.B. die Leiterplattenabmessungen und je Bauelement Angaben zu

- Name des Einbauplatzes auf der Leiterplatte
- Bauelementesachnummer
- Lage und Größe auf der Leiterplatte (in x-y-Koordinaten)
- Polung des Bauelementes
- Art der Bestückung auf dieser Leiterplatte

Die angegebenen Detaildaten benötigt man, wenn detaillierte Auswertungen je Bauelement gefordert werden, um je Bauelement die entsprechende Grundgesamtheit zu berechnen.

Eine dritte Gruppe von Stammdaten umfaßt "Summendaten" je Produkt. Hierunter fällt die Anzahl der Lötstellen auf der FBG oder die Summe der Dip-, Axial-, Radial- oder SMT-bestückten Bauelemente. Diese Angaben sind z.B. Voraussetzung für die Berechnung einer Grundgesamtheit um prozeß- oder bauteilbezogene Kennzahlen (meist Relativwerte) zu ermitteln.

Fehlerkatalog

Ein Fehlerkatalog ist eine geordnete Liste aller Fehlermerkmale oder Fehlerarten, die bei der Erfassung und Auswertung von Prüfdaten unterschieden werden sollen. Es ist nützlich für Auswertungs- und Administrationsbelange, wenn ein Fehlerkatalog eine Strukturierungsmöglichkeit bietet. Sie erlaubt es, die Fehlerarten z.B. nach Prozeßschritten oder Fehlerursachen in sogenannten Fehlergruppen zusammenzufassen. Ein Fehlerkatalog ist daher in vielen Fällen mindestens 2-stufig nach "Fehlergruppen" und "Fehlerarten" strukturiert, wobei jede der Fehlerarten des Fehlerkataloges einer Fehlergruppe zugeordnet ist (Bild 6.1).

Fehlergruppe	**Fehler-code**	**Fehlerart**
THT-Bestücken	0101	BT fehlt
(THT: Through Hole Technology)	0105	BT beschädigt
	0110	BT verpolt
	0115	BT Abstand
THT-Löten	0201	Lotbrücke
	0211	Anschl. N. gelötet
	0221	Lötstelle fehlerhaft
Montage	0301	Gehäuse beschädigt
	0310	Gehäuse Montierung
	0321	Typschild fehlt
	0325	Typschild beschädigt
	0330	Bedruckung
...	...	...
SMT-Bestücken	1101	SMT BT fehlt
(SMT: Surface Mounted Technology)	1102	SMT Kleberauftrag fehlerhaft
	1103	SMT Versatz
	1105	SMT BT beschäd./schadhaft
	1110	SMT BT verpolt
	1155	SMT Pin verbogen
SMT-Loeten	1206	SMT Lotbruecke
	1211	SMT BT-Anschluss nicht geloetet
	1226	SMT Loetstelle fehlerhaft
SMT-Bauelemente	1602	SMT Sockel
	1610	SMT Drossel
	1614	SMT Quarz
	1616	SMT Widerstand
	1622	SMT Kondensator
...	...	...

Bild 6.1: Auszug aus 2-stufig aufgebautem Fehlerkatalog aus Fehlergruppen und Fehlerarten

Im Fehlerkatalog für die Flachbaugruppenfertigung findet man z.B. Fehlergruppen wie Bestücken, Löten und Montage. Die Fehlergruppen ihrerseits enthalten Fehlerarten wie "Bauteil fehlt" und "Lotbrücke". Die Strukturierung nach Prozeß-

schritten erleichtert Rückschlüsse auf die Arbeitsgänge, die mit hoher Wahrscheinlichkeit den Fehler verursacht haben.

Prüfplatzdaten

Für jeden logischen Prüfplatz muß ein Datensatz angelegt werden, in dem der betreffende Prüfplatz wenigstens hinsichtlich des Produktionsfortschrittes beschrieben wird. Dazu gehört die Benennung der bis zu diesem Prüfplatz erfolgten Bestück- und Lötvorgänge (Bild 6.2). Die Erfüllung dieser Forderung ist eine Grundvoraussetzung für die Berechnung einer korrekten Grundgesamtheit an Plätzen mit teilbestückten Prüflingen.

Kurztext	Platzart	Bestückung	Lötprozesse
LOTPA	Lotpasten-Prüfung		
REFBE	Reflowbestückung	SMT_TOP	
REFLO	Reflowlöten	SMT_TOP	REF
REFSP	Sichtprüfen-Reflow	SMT_TOP	REF
DIPBE	Prüfplatz DIP-Bestückung	DIP	REF
AXIBE	Prufplatz Axial-Bestückung	DIP+AXI	REF
RADBE	Prüfplatz Radial-Bestückung	DIP+AXI+RAD	REF
SMTBE	Bestückung SMT-Lötseite	SMT_BOTTOM	REF
NL_SP	Nachlöten/Sichtprüfen	THT+SMT	REF+SCHWALL
ICT	In-Circuit-Test	THT+SMT	REF+SCHWALL
ISO	Isolations-Spgs.-Prüfung	THT+SMT	REF+SCHWALL
FKT	Funktionstest	THT+SMT	REF+SCHWALL
RUNIN	Wärmeprüfung	THT+SMT	REF+SCHWALL

Bild 6.2: Beispiel für Prüfplatzdaten mit Angabe der vor dem Prüfplatz bereits erfolgten Bestück- und Lötprozesse

6.1.2 Detaillierte und korrekte Qualitätsdaten

Die Korrektheit der Prüf- und Fehlerdaten, die ausgewertet werden sollen, ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine wirkungsvolle Qualitätsdatenberichterstattung. Es ist erforderlich, die Korrektheit der Daten sowohl auf Seite der beteiligten Mitarbeiter, als auch systemseitig (Hard- und Software) sensibel zu betrachten und nach Möglichkeit abzusichern durch:

- gut geschultes und motiviertes Personal an den Prüfplätzen (Bild 6.3)
- Plausibilitätsprüfungen am Erfassungsplatz und bei Datenübernahme
- leistungsfähige Datenverbindungen zwischen den beteiligten Rechnersystemen
- abgesicherte Datenverbuchung in die Datenbank

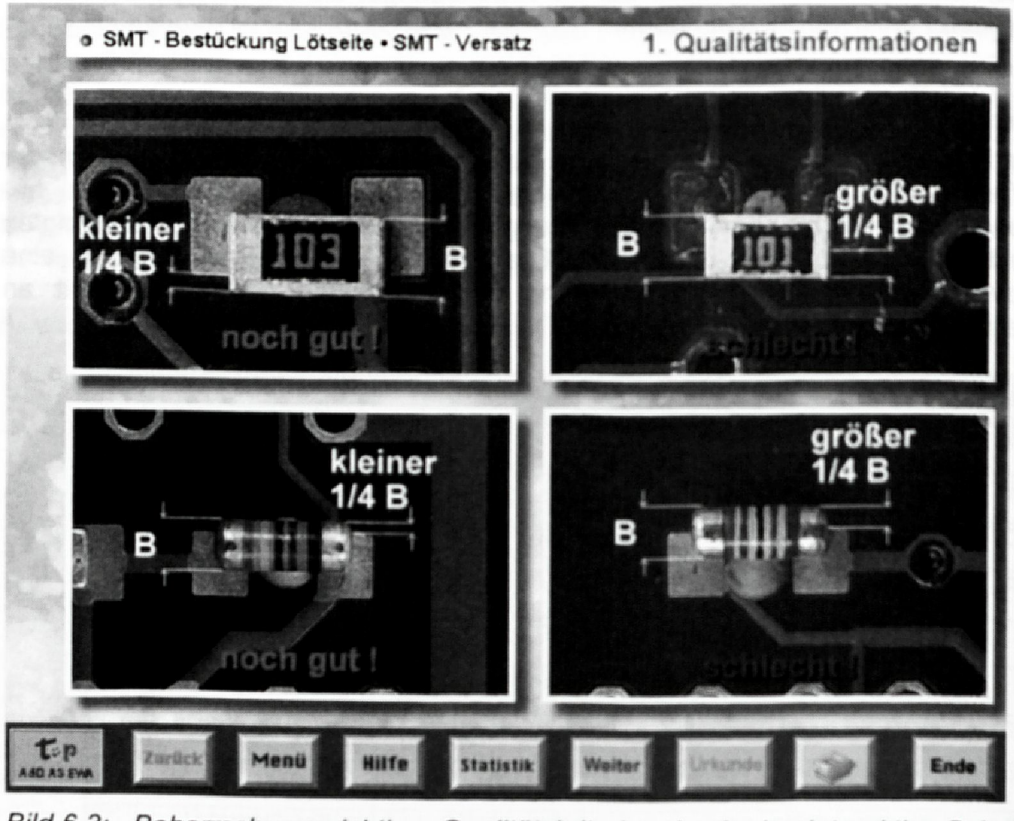


Bild 6.3: Beherrschung wichtiger Qualitätskriterien durch eine interaktive Schulung am PC mit Lerneinheiten zu allen Prozeßschritten der Produktion elektronischer Baugruppen /94/

Wie man ergonomisch und wirtschaftlich ausreichend detaillierte Daten erfassen kann, die hinreichend aussagefähige Auswertungen erst ermöglichen, wurde in Kapitel 5 betrachtet.

6.1.3 Aussagefähige Kennzahlen

Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten zur Beurteilung von Prozessen. Im Vorfeld der Produktion erlauben die Ergebnisse von Prozeß-FMEAs erste Prozeßbeurteilungen /27, 32/. In die jüngere Diskussion wurde der Wirkungsgrad eines Produktionsprozesses eingebracht /69/. Eine weit verbreitete Möglichkeit ist die Nutzung von Prozeßfähigkeitskennzahlen /48/.

Absolut- und Relativwerte

Die gebräuchlichen Kennzahlen in der Produktion lassen sich unterscheiden nach absoluten und relativen Werten. Beispiele für absolute Werte sind die Anzahl beanstandeter Einheiten an einem Prüfplatz oder die Anzahl der entdeckten Fehler. Würde man nur die absoluten Fehlerzahlen als Kennzahl für die Qualität benutzen, so würde das bedeuten, daß jemand der viel produziert ständig schlechtere Qualitätswerte hat, als jemand der deutlich weniger produziert und damit vermutlich etwas weniger Fehler macht. Um diesem Mißstand abzuhelfen, setzt man die

Absolutwerte in Beziehung zu anderen Werten und erhält damit Relativwerte. Bei den Relativwerten kann zwischen Prozent- und dpm-Werten unterschieden werden. Typische Kennzahlen, die als Prozentwerte angegeben werden, sind in Bild 6.4 dargestellt.

$$\text{Fehlerhafte Einheiten in \%} = \frac{\text{Anzahl beanstandete Einheiten}}{\text{Anzahl geprüfte Einheiten}} * 100\%$$

$$\text{Fehlerfreie Einheiten in \%} = \frac{\text{Anzahl fehlerfreie Einheiten}}{\text{Anzahl geprüfte Einheiten}} * 100\%$$

$$\text{Fehler in \%} = \frac{\text{Anzahl Einzelfehler}}{\text{Anzahl geprüfte Einheiten}} * 100\%$$

Bild 6.4: Gebräuchliche Kennzahlen und ihre Berechnungsformeln

Die in Bild 6.4 dargestellten Relativwerte sind nur bedingt für den direkten Vergleich unterschiedlicher Baugruppen oder Fehlergruppen nutzbar, da produktionstechnische Einflußgrößen nicht eingehen. Anders verhält es sich mit den im nächsten Abschnitt behandelten dpm-Werten. Die ermittelten Fehlerzahlen werden auf eine prozeßspezifische Bezugsgröße normiert. Bei Lötfehlern dient die Anzahl der Lötstellen als prozeßspezifische Bezugsgröße, bei Bestückfehlern die Anzahl der bestückten Bauteile.

Prozeßbeurteilung mit dpm-Werten

Hat man produktbezogene Qualitätsdaten mit prozeßspezifischer Fehleraufschreibung zur Verfügung, so können auch "dpm-Werte" zur Prozeßbeurteilung berechnet werden. Die Abkürzung "dpm" steht für "defects per million". Ein dpm-Wert kann als prozeßspezifische Fehlerrate bezeichnet werden. Zur Berechnung eines dpm-Wertes zu einem bestimmten Prozeßschritt (z.B.: Bestücken, Löten), setzt man die aufgetretenen prozeßspezifischen Fehler in Beziehung zu allen "Aktionen des Prozesses" (potentielle Fehlermöglichkeiten). Durch Normierung dieser Kennzahl auf 1 Million "Prozeßaktionen", erhält man die in Bild 6.5 dargestellten Formeln für prozeßspezifische Fehlerraten.

$$\textbf{dpm} = \frac{\textbf{Prozeßspezifische Fehleranzahl}}{\textbf{Bezugsgröße des Prozesses}} * 10^6$$

zum Beispiel:

$$\text{dpm THT-Bestücken} = \frac{\text{Anzahl THT-Bestückfehler}}{\text{Anzahl bestückte THT-Bauteile}} * 10^6$$

$$\text{dpm SMT-Löten} = \frac{\text{Anzahl SMT-Lötfehler}}{\text{Anzahl gelötete SMT-Lötstellen}} * 10^6$$

Bild 6.5: Berechnungsformeln für dpm-Werte

Drückt man die Qualität eines Prozesses in einem dpm-Wert aus, so kann der Wert sowohl mit einem Vortages- oder Vormonatswert verglichen werden, weil die Stückzahl in die Berechnung mit einfließt (ähnlich den %-Werten in Bild 6.4). Ein dpm-Wert kann aber auch mit dem dpm-Wert eines anderen Produktes verglichen werden, unabhängig davon ob eines der Produkte "schwierig" ist mit vielen Bauteilen oder Lötstellen und das andere eher "einfach" mit wenig Bauteilen und Lötstellen, da auch die Anzahl der insgesamt erforderlichen Prozeßschritte jeweils in die Berechnung mit Eingang findet.

6.1.4 Auswertegerechte Datenhaltung

Die geforderten Auswertemöglichkeiten und die zu verarbeitenden Daten legen einen Teil der Systemmerkmale bereits fest. Weitere Systemeigenschaften ergeben sich aus der Übertragung der allgemeinen Forderungen in den Bereich der Datenaufbereitung und -speicherung.

Inhalt der Qualitätsberichte sind meist verdichtete und mit Grunddaten verknüpfte Qualitätsdaten. In diesem Abschnitt sollen grundsätzliche Möglichkeiten untersucht werden, wie erfaßte Qualitätsdaten abgelegt und für Auswertungen bereitgehalten werden können. Dabei werden zwei extreme Vorgehensweisen erläutert, die noch um einen Reigen von Möglichkeiten ergänzt werden können, der sich dazwischen abzeichnet (Bild 6.6).

Bild 6.6: Möglichkeiten der Qualitätsdatenspeicherung

Erfassungsnahe Datenhaltung

Eine Qualitätsdatenhaltung kann als erfassungsnah bezeichnet werden, wenn die von Erfassungssubsystemen eintreffenden Qualitätsdaten entgegengenommen und nahezu 1:1 abgespeichert werden (unabhängig davon, ob das Abspeichern in einer Datenbank oder im normalen Verzeichnis- und Dateisystem erfolgt). Diese Form der Datenhaltung, die allenfalls noch eine Plausibilitätsprüfung durchführt, hat den Vorteil, daß keine Informationsverluste durch Verdichtungen oder sonstige Datenmodifikationen eintreten können. Als Nachteil dieses Vorgehens könnte sich herausstellen, daß damit nur eine sehr zeitaufwendige Auswertung und Datenverdichtung möglich ist, oder daß die entgegengenommenen Datensätze aufgrund ungünstiger Felddefinitionen und ungeeigneter Strukturierung unnötig viel Speicherplatz belegen.

Auswertungsnahe Datenhaltung

In diesem Fall werden mit jedem eintreffenden Datensatz die notwendigen Grunddatenberechnungen vorgenommen und laufend alle Auswertungen aktualisiert. Die Qualitätsdaten werden in "fertigen Qualitätsberichten" abgespeichert bzw. "eingearbeitet". Die dabei vorgenommenen Datenverdichtungen sind in der Regel nicht mehr rückgängig zu machen. Diese Methode hat den Vorteil, daß die Auswertezeit für einen Qualitätsbericht sich auf die Anzeigezeit reduziert. Voraussetzung ist jedoch, daß alle mit den erfaßten Qualitätsdaten vorgesehenen Auswertungen zum Zeitpunkt der Datenerfassung bekannt sein müssen. Das ist zusammen mit der Tatsache, daß auch dieses Verfahren verschwenderisch mit den Ressourcen an Plattenspeicher umgeht, der größte Nachteil der Methode und widerspricht der Grundanforderung nach Flexibilität.

Aus den genannten Gründen wird es sinnvoll sein, einen Weg zwischen den beiden Extremen zu wählen: Eine auswertungsoptimierte Datenhaltung wird sich an Variante 2, der auswertungsnahen Datenhaltung, orientieren und dabei versuchen, die Bekanntheitsvoraussetzung zu umgehen. Konkret könnte das heißen, daß ein konzeptionelles Datenbankschema mit einem auswertungsorientierten Primärschlüssel entworfen wird. Alle erfaßten Qualitätsdatensätze werden auf dieses Format gebracht, mit auswertungsrelevanten Grunddaten verknüpft und dann in der Datenbank so abgelegt, daß nur noch wenige und einfache Datenbankkommandos nötig sind, um die Qualitätsberichte fertigzustellen. Man könnte den Datenbankinhalt in diesem Fall auch als "platzsparende Halbfertigprodukte" bzw. "Auswertungsbausätze" bezeichnen.

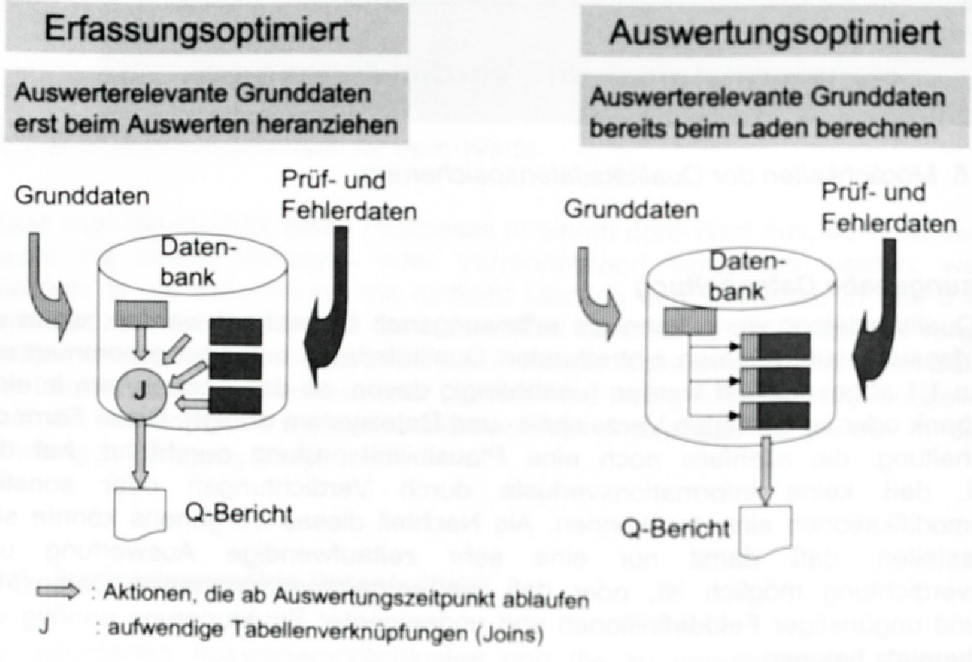


Bild 6.7: Gegenüberstellung der Auswertungsabläufe von erfassungs- und auswertungsoptimierter Datenhaltung

In Bild 6.7 ist dargestellt, daß im auswertungsoptimierten Konzept die erfaßten Prüf- und Fehlerdaten bereits beim Laden mit Grunddaten verknüpft und zusammen mit den Grunddaten in den Tabellen abgelegt werden, aus denen die Qualitätsberichte generiert werden. Aufwendige Tabellenverknüpfungen (joins), wie sie im erfassungsoptimierten Konzept bei jeder Auswertung anfallen, kann man sich damit während der Erstellung eines Qualitätsberichtes ersparen.

In Bild 6.8 ist ein Entity Relationship Modell (ERM) für eine Datenhaltung bei typbezogener Prüfung dargestellt, das eine abstraktere Beschreibung der Umwelt gestattet, als das Relationenmodell /30/. Eine Entität ist ein (Umwelt-) Gegenstand, der im Modell abgebildet werden soll. Die zentral dargestellte Entität „Typprüfung" steht in Beziehung zu den Entitäten „FBG-Typ", „Prüfplatz" und „Fehler". Die Relation „wird unterzogen" besagt dabei, daß ein bestimmter Baugruppentyp (FBG-Typ)

keiner, einer oder vielen Typprüfungen unterzogen wird. Die Konsistenzbedingungen werden dabei in Zahlenpaaren ausgedrückt, z.B. durch „(0,n)" bei der Relation „wird unterzogen". Die Abkürzung „(1,1)" auf der anderen Seite der Relation soll ausdrücken, daß jede durchgeführte Typprüfung sich genau auf einen FBG-Typ bezieht.

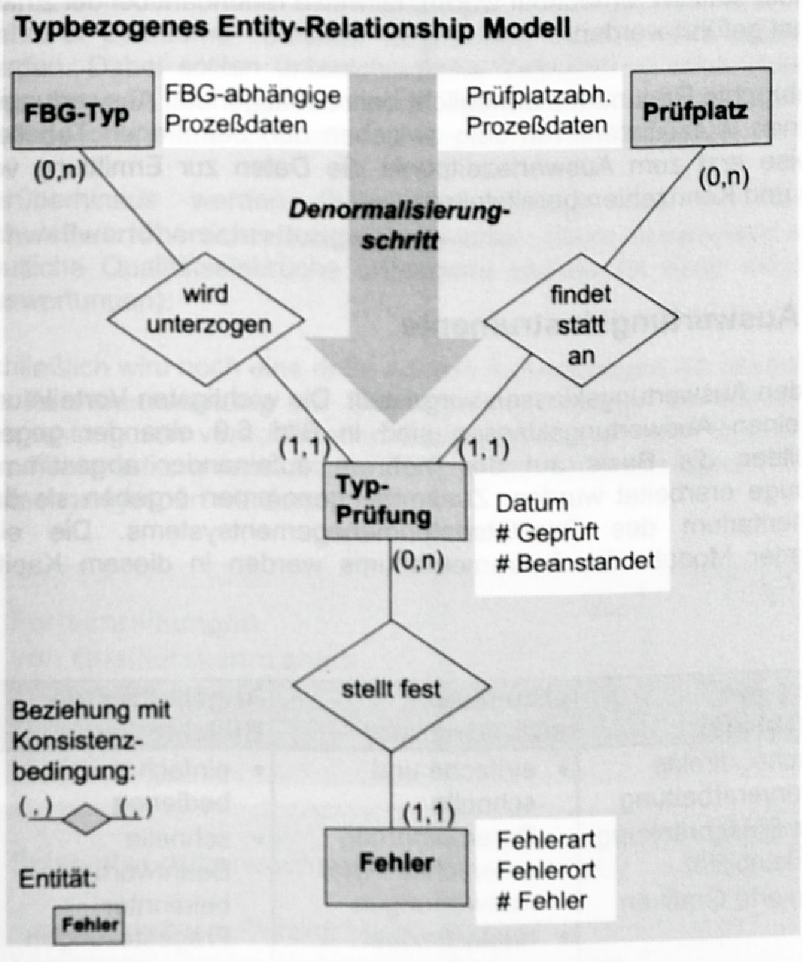


Bild 6.8: Kern des Entity Relationship Modells für typbezogene Prüfung mit Beziehungsarten und geplantem Denormalisierungsschritt

Die Relation zwischen Typprüfung und Prüfplatz besagt, daß jede Typprüfung an genau einem Prüfplatz stattfindet und daß ein Prüfplatz null-, einmal oder mehrmals bei Typprüfungen vorkommen darf. Weiter drückt die Relation zwischen Typprüfung und Fehler aus, daß bei einer Typprüfung keiner, einer oder mehrere Fehler festgestellt werden können. Auf der anderen Seite bezieht sich ein bestimmter festgestellter Fehler immer auf eine bestimmte Typprüfung.

Jeder Typprüfung können außer den in Bild 6.8 dargestellten Beziehungen auch noch Attribute zugeordnet werden. Sollen Typprüfungen tagesaktuell ausgewertet werden können, dann müssen als Attribute das Prüfdatum und die Anzahl der geprüften und davon beanstandeten Baugruppen geführt werden. Zu jedem FBG-

Typ sind FBG-abhängige Prozeßdaten (z.B. Art und Anzahl der Bauteile und Lötststellen auf der Baugruppe) als Attribute abgelegt und zu jedem Prüfplatz sind prüfplatzabhängige Prozeßdaten vorhanden. Ausgehend von dieser Situation wird eine auswertungsoptimierte Datenhaltung erreicht durch einen gezielten Denormalisierungsschritt im Datenbankdesign. Das heißt, daß baugruppen- und prüfplatzabhängige Daten, die für die Typprüfung relevant sind und über die Relationen „wird unterzogen" und „findet statt an" erreichbar wären, teilweise redundant bei der Entität „Typprüfung" nochmal geführt werden.

Diese bewußt eingebrachte Redundanz ermöglicht bei nachfolgenden Auswertungen den Verzicht auf einen laufzeitintensiven Join zwischen den betroffenen Tabellen, welche normalerweise erst zum Auswertezeitpunkt die Daten zur Ermittlung von Grundgesamtheiten und Kennzahlen bereitstellen.

6.2 Abgestufte Auswertungsinstrumente

In Kapitel 4.2.3 wurden Auswertungsklassen vorgestellt. Die wichtigsten Vorteile und Nachteile der einzelnen Auswertungsklassen sind in Bild 6.9 einander gegenübergestellt. Sie bilden die Basis auf der mehrere aufeinander abgestimmte Auswertungswerkzeuge erarbeitet wurden. Zusammengenommen ergeben sie das Auswertungsinstrumentarium des Qualitätsdatenmanagementsystems. Die einzelnen Bausteine oder Module des Instrumentariums werden in diesem Kapitel vorgestellt.

Auswerte-klasse	Nutzung von Office-Standard	proprietärer SQL-Generator	Angebot fertiger Berichte
Vorteile	• einfache, direkte Weiterverarbeitung • keine Einschränkung der Flexibilität • optimierte Grafiken	• einfache und schnelle Parametrierung unterschiedlicher Auswertungen • relativ flexibel • kurze Auswertezeiten	• einfach zu bedienen • schnelle Beantwortung bekannter Fragestellungen • keine Wartezeiten
Nachteile	• SQL-Kenntnisse erforderlich • Programmieraufwand je neuer Fragestellung • lange Auswertezeiten • Gefahr der Fehlinterpretation	• einmalig hoher Programmier-aufwand bei der Erstellung des Auswertetools	• nicht alle Auswerte-konstellationen abrufbereit

Bild 6.9: Auswerteklassen mit Gegenüberstellung ihrer Vor- und Nachteile

6.2.1 Grundfunktionalität des Auswerteinstrumentariums

Eine mit Mitarbeitern eines Elektronikunternehmens durchgeführte Informationsbedarfsanalyse läßt drei Arten von Qualitätsberichten erkennen, die im Bereich der attributiven Prüfung immer wieder benötigt werden (Bild 6.10):

Die Q-Berichte müssen **Trendanalysen** ermöglichen, d.h. die Q-Kennzahlen mehrerer Zeiträume müssen vergleichbar neben- oder untereinander aufgelistet werden. Dabei sollten unterschiedliche Zeitraster in einer Auswertung darstellbar sein, um z.B. die Tageswerte der laufenden Woche mit dem (entsprechenden) letzten Monats- oder Quartalswert vergleichen zu können.

Darüberhinaus werden Q-Berichte benötigt, die die Q-Daten hinsichtlich **Schwellwertüberschreitungen** auswerten. Diese Auswerteart soll verhindern, daß deutliche Qualitätseinbrüche unbemerkt bleiben (in einer möglichen Vielzahl von Auswertungen).

Schließlich wird noch eine dritte Art von Auswertungen als unverzichtbar angesehen: die **Paretoauswertung** zur Schwerpunktermittlung. Sie erlaubt die vergleichende Betrachtung von verschiedenen Baugruppentypen bzw. Bauelementen hinsichtlich des Fehleraufkommens. Mit ihr können die fehlerträchtigsten Produkte schnell und einfach aufgespürt werden.

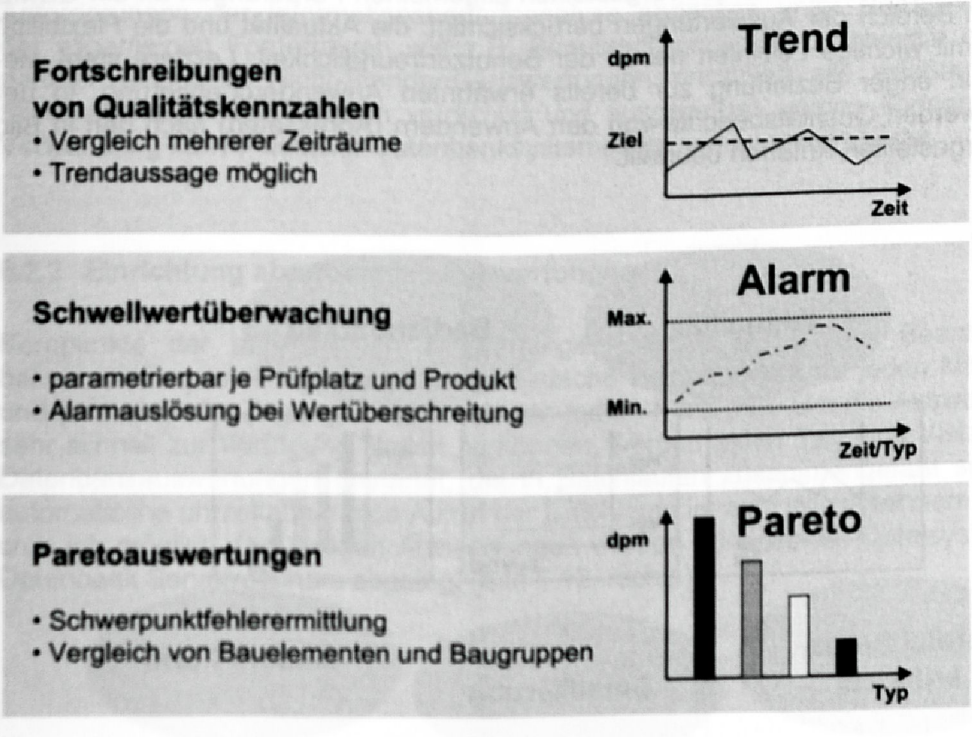


Bild 6.10: Grundlegende Auswertungsarten bei attributiven Prüf- und Fehlerdaten in der Elektronikproduktion

Jede der Berichtsarten muß einer Reihe von Anforderungen genügen, um einen möglichst breiten Benutzerkreis abdecken zu können. Dazu gehören folgende Eigenschaften:

- Umfassende Parametriermöglichkeiten nach Berichtszeitraum, Prüfplatz und Betrachtungseinheiten, sowie inhaltlicher Detaillierung
- Informationsbereitstellung nicht nur in einer schwer lesbaren Liste, sondern in graphisch unterstützter Form, die den Blick auf das Wesentliche lenkt und dabei hilft die Hauptaussagen in kurzer Zeit aufzunehmen
- ausgehend von Übersichts- und Summeninformation eine stufenweise Detaillierungsmöglichkeit anbieten, wobei die Detaillierung bis zum Fehlerort bzw. der Koordinate auf dem Prüfling möglich sein muß
- übersichtlich im Aufbau und der Informationsdarstellung
- dezentral abrufbar (z.B. an jedem vernetzten PC verfügbar)
- leicht verständliche Bedienung (auch für den gelegentlichen Benutzer geeignet)
- einfach in Papierform zu erhalten (druckbar)

In Kapitel 2.1 wurden die Grundpfeiler von TQM vorgestellt. Durch Übertragung der Aspekte "Kundenorientierung" und "Einbindung aller Mitarbeiter" erhält man ein tragfähiges Grundkonzept für das zu entwerfende Auswerteinstrumentarium: die Anwenderorientierung. Dieses Konzept kann noch verfeinert und konkretisiert werden, indem man die in 3.1 vorgestellten allgemeinen Forderungen an ein QDMS auch im Bereich der Auswertungen berücksichtigt: die Aktualität und die Flexibilität sind damit wichtige Leitlinien neben der Benutzerfreundlichkeit. Letztere steht wiederum in enger Beziehung zur bereits erwähnten Anwenderorientierung. In der Praxis werden Qualitätsberichte von den Anwendern (Adressaten) nach den in Bild 6.11 dargestellten Kriterien beurteilt:

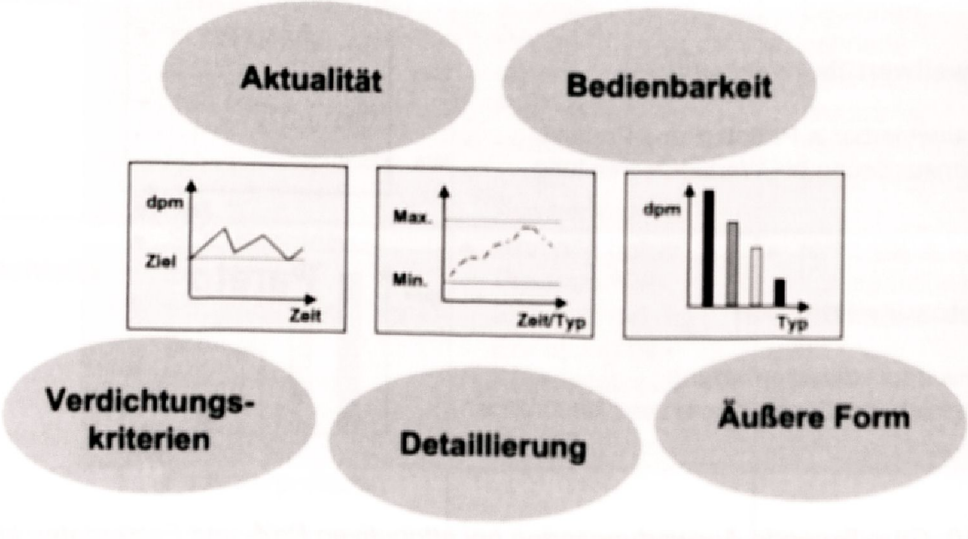


Bild 6.11: Anwenderkriterien für Qualitätsberichte

Die **Aktualität** von Qualitätsberichten spielt eine große Rolle, da viele Mitarbeiter sich Tagesproblemen stellen müssen. Längerfristige Trendauswertungen und Qualitätsberichte der letzten Wochen oder Monate sind meist nur für Planungsingenieure und das Management interessant.

Die **Bedienbarkeit** des Auswerteinstrumentariums hat einen hohen Stellenwert. Die Bedieneroberfläche der Qualitätsdatenverarbeitung muß so gestaltet sein, daß der Benutzer dem System nicht ängstlich oder ablehnend gegenübersteht. Eine ablehnende Haltung gegenüber dem Instrumentarium kann sich leicht auf die gesamte Qualitätsarbeit übertragen.

Ein Anwender mißt einen Q-Bericht auch daran, inwieweit die angebotenen und **möglichen Datenverdichtungen** seiner Aufgabenstellung bzw. Verantwortung (z.B. produkt- oder technologieorientiert) entgegenkommen. Eng verwandt mit diesem Kriterium ist der Detaillierungsgrad und die Auffächerung der Fehler in den Q-Berichten nach Fehlergruppen, Fehlermerkmalen, Einbauplätzen oder Leiterplattenkoordinaten.

Schließlich spielt auch die **äußere Form** eine große Rolle. Eine erkennbare Gliederung und Übersichtlichkeit sowie graphische Elemente (Histogramme) und textuelle Erläuterungen tragen hier wesentlich zum inhaltlichen Verständnis und damit zur Akzeptanz und effektiven Umsetzung der Information bei. Im Kapitel 5.3 werden vier in gewisser Weise standardisierte Auswertungen beschrieben, die die Anforderungen der Informationsbedarfsanalyse abdecken unter Berücksichtigung der allgemeinen Forderungen wie z.B. Benutzerfreundlichkeit, Aktualität etc. Daß darüber hinaus in Nicht-Standard-Auswertungen prinzipiell alle erfaßten Qualitätsdaten nach allen Kriterien verdichtet und ausgewertet werden können, ist bei Verwendung konventioneller Datenbanksysteme fast immer gewährleistet.

6.2.2 Einrichtung abrufbereiter Auswertungen

Kernpunkte der abrufbereiten Auswertungen sind eine schnelle Beantwortung bekannter Fragestellungen sowie eine einfache Bedienbarkeit für jeden Mitarbeiter und eine einfache Zugangsmöglichkeit von jedem Platz aus. Um die Auswertungen sehr schnell zur Verfügung stellen zu können, werden jeden Tag eine Vielzahl von Datenbankauswertungen gestartet, die in Batchläufen zusammengefaßt sind. Der automatische uhrzeitabhängige Aufruf der Batchläufe ist auf UNIX-Rechnern z.B. als cron job möglich. Die fertigen Auswertungen werden zunächst im Dateisystem des Datenbank Serverrechners abgelegt (Bild 6.12, rechts).

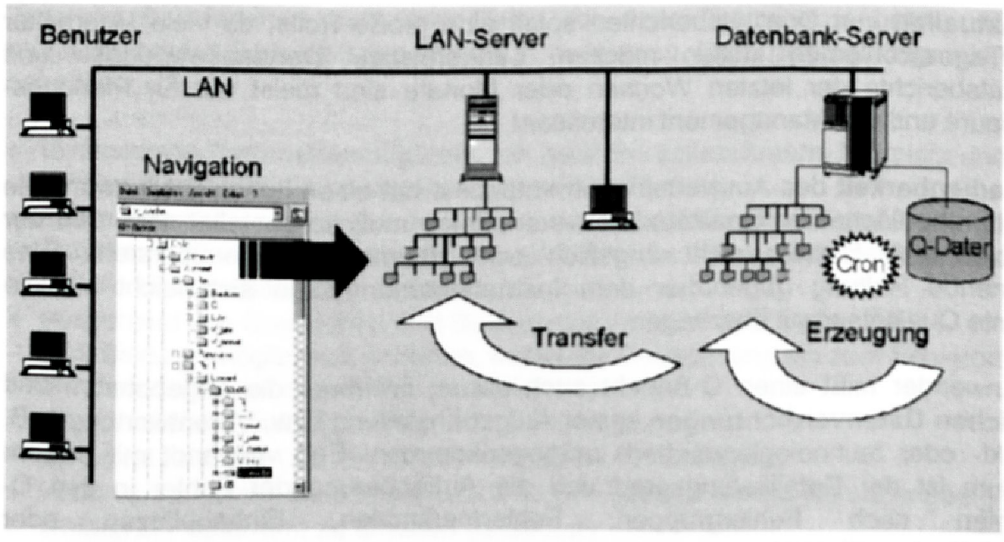


Bild 6.12: Ablauf von Erzeugung und Aktualisierung abrufbereiter Auswertungen

Damit jedoch nicht nur die wenigen Mitarbeiter mit einem direkten Zugang zum Datenbankrechner an die Auswertungsdateien gelangen können, werden die Ergebnisdateien von einem PC im LAN-Verbund auf einen LAN-Server transferiert, der von jedem der vielen Benutzer-PCs erreichbar ist. Der „Transfer-PC" und der angesprochene Kopiervorgang vom Datenbank-Server auf den LAN-Server kann entfallen, wenn der Datenbankrechner auf dem LAN-Server direkt in Bereiche schreiben darf, die von den Benutzer-PCs gelesen werden können. Aus Gründen der Informationssicherheit erlauben einige LAN-Server nur ihren angeschlossenen Client-PCs Daten auf ihren Platten abzulegen.

Nun stehen zwar alle Auswertungen abrufbereit zur Verfügung, aber der Anwender muß Möglichkeiten erhalten, aus einer Vielzahl von Auswertungen die richtige herausfinden zu können. Eine wichtige Voraussetzung dazu ist, daß die unterschiedlichen Auswertearten strukturiert im Dateisystem abgespeichert werden. Außerdem benötigt der Anwender ein Viewer- und Navigationsprogramm. Als Navigationsmittel und Suchhilfe kann ihm im einfachsten Fall ein Dateimanager dienen und mit Hilfe eines Editors kann er sich die Auswertung anzeigen lassen (Bild 6.12, links), da alle Ergebnisdateien den ASCII-Zeichensatz nutzen. Abhängig von der im Betrieb zur Verfügung stehenden Software sind an dieser Stelle sehr unterschiedliche und mehr oder weniger komfortable Lösungen möglich. Allen gemeinsam ist das einfache aber wirkungsvolle Grundprinzip.

Als noch verbesserungsfähig im vorgestellten Einsatzfall (Auswertungsbereitstellung auf Basis eines LAN-Servers) kann angesehen werden:

- Dateimanager als Navigationsmittel
- Datenbestand doppelt (auf LAN-Server und Datenbank-Server)
- Aktualisierungsrhythmus ausschließlich zentral gesteuert (unflexibel)

Wenn die Möglichkeit besteht, an Stelle des oben genannten LAN-Servers einen Web-Server und damit ein Intranet zu nutzen (vgl. Bild 6.13), ergibt sich noch folgendes weiteres Optimierungspotential:

- Navigation mit Browser
  Durch den Einsatz eines Browsers als Viewer für die Ergebnisdateien eröffnen sich weitere Möglichkeiten, die Ergebnisdarstellung bedienerfreundlicher zu gestalten. Neben Text können auch grafische Elemente, sowie Hyperlinks auf weitere Text-, Grafik-, Ton- und Videodokumente eingebracht werden, die auf beliebige Adressen im Intranet verweisen können. Ein weiterer Vorteil besteht in der Nutzungsmöglichkeit von Terminals, die keinen Zugriff auf Daten eines LAN-Servers bieten, z.B. X-Terminals, welche an einem Unix-System betrieben werden oder andere Thin Clients.

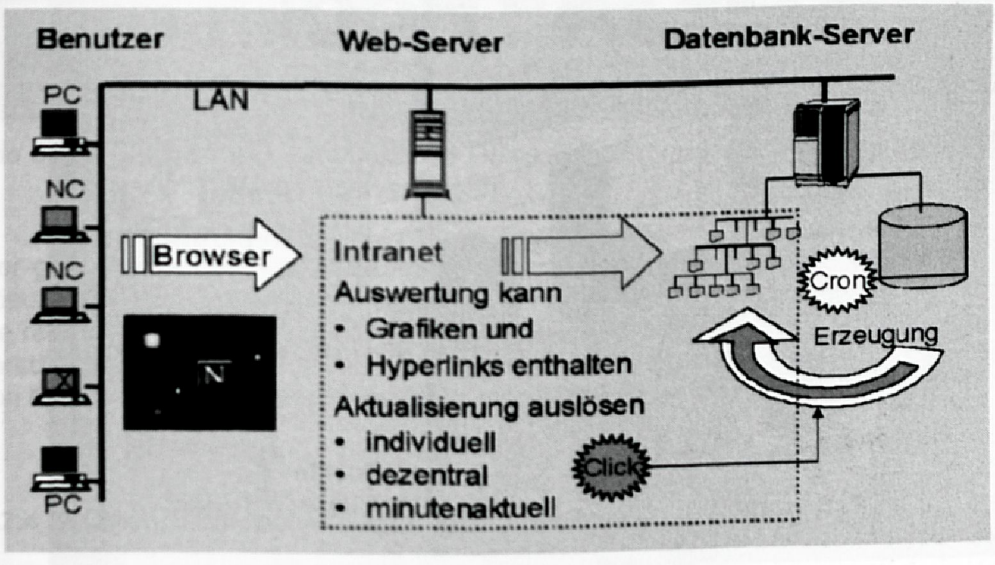


Bild 6.13: Abrufbereite Auswertungen auf einem Web-Server

- Verlagerung der Ergebnisdateien auf Web-Server
  Bei Einsatz eines LAN-Servers müssen die Auswertedateien auf dem Auswerterechner zur Abholung bereitgestellt werden, da der Auswerterechner nicht direkt auf den LAN-Server schreiben darf. Werden die Ergebnisdateien den Anwendern nicht mehr auf einem LAN-Server sondern auf einem Web-Server angeboten, hat der Auswerterechner die Möglichkeit, sie sofort nach Erstellung dort abzulegen und braucht sie nicht erst zur Abholung durch einen Transfer-PC bereitzustellen. Damit entfällt der Zwang, die Ergebnisdateien sowohl auf dem Auswerterechner als auch auf dem Server-Rechner abzulegen. Mit dem Wegfall des Transfers vom Auswerterechner zum Server kann auch der Transfer-PC entfallen.

- Aktualisierung auf Anforderung
  Durch den Wegfall des Gateway-PCs, der nur zu festgelegten Zeiten die Ergebnisdateien transferieren konnte und durch den Einsatz eines Intranet-Browsers kann dem Anwender eine entscheidende neue Funktion angeboten werden: Auf Anforderung kann eine bestimmte Auswertung, die er gerade betrachtet und die ihm nicht mehr aktuell genug ist, für ihn neu erstellt werden. Nach kurzer Zeit steht das neue Auswerteergebnis für den Anwender bereit, da keine umfassende Aktualisierung aller Auswertungen gestartet werden muß. Der

Anwender braucht nicht mehr auf die zyklische Aktualisierung von allen Auswertungen zu warten.

Die Nutzung der Intranet-Technologie bei den abrufbereiten Auswertungen bietet den zusätzlichen Vorteil, daß Informationen aus dem Umfeld der Qualitätsdatenberichte, wie Stammdaten, aktuelle Informationen, offene Reparaturen etc. an geeigneter Stelle einfach über Hyperlinks erreicht werden können (Bild 6.14).

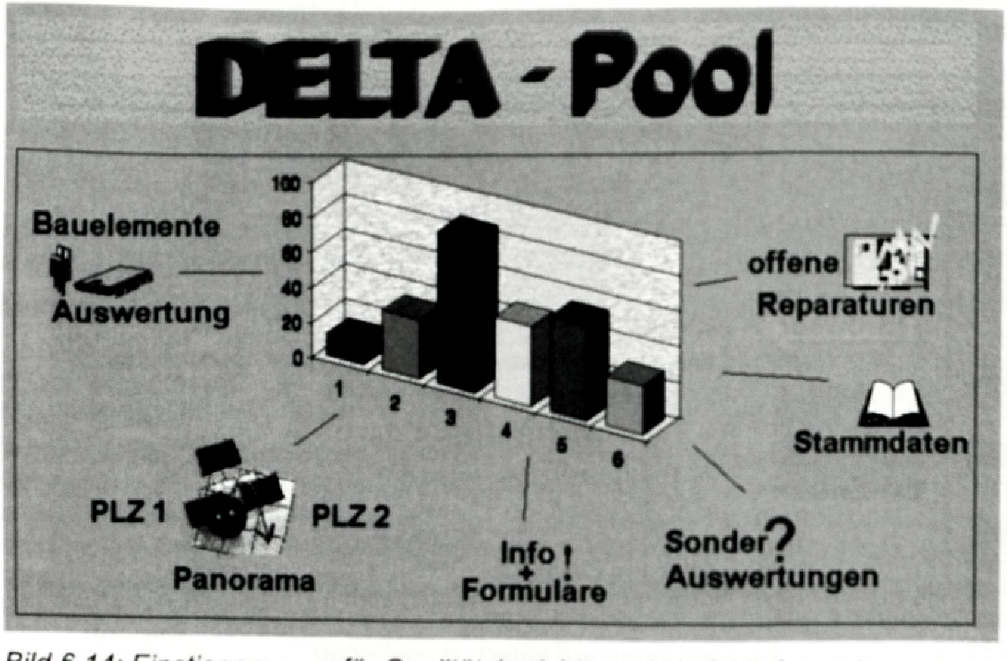


Bild 6.14: Einstiegsmenue für Qualitätsberichte und Umfeldinformationen

6.2.3 Nutzung von Office-Standardwerkzeugen

Um ein Office-Werkzeug im Zusammenspiel mit der Qualitätsdatenbank nutzen zu können, sind auf Seite des Datenbanksystems nur wenige Voraussetzungen erforderlich. Es stehen auf nahezu jeder Datenbank sehr verbreitete Datenbankschnittstellen (wie ODBC) zur Verfügung. Wenn das zum Office-Paket gehörende Auswertewerkzeug die gleiche Datenschnittstelle unterstützt wie das Datenbankmanagementsystem, auf welchem die Qualitätsdaten gehalten werden, dann sind die wichtigsten systemtechnischen Voraussetzung erfüllt.
Dennoch ist dieser „remote-Zugriff" nicht ganz unbedenklich, denn die betreffenden Anwender müssen unbedingt über entsprechende Datenbank- und Programmierkenntnisse verfügen. Es kann sonst vorkommen, daß ein unerfahrener Anwender durch ungeschickte Datenbankabfragen entweder das Datenbanksystem oder die Netzwerkverbindungen innerhalb des Betriebes so stark belastet, daß es zu Störungen kommt. Eine weitere Gefahr ist noch darin zu sehen, daß bei individueller Programmierung durch den Anwender, die Berechnungsformeln zur Ermittlung von Kennzahlen nur ungefähr bekannt sind und damit auch das errechnete Ergebnis nur „ungefähr" stimmt.

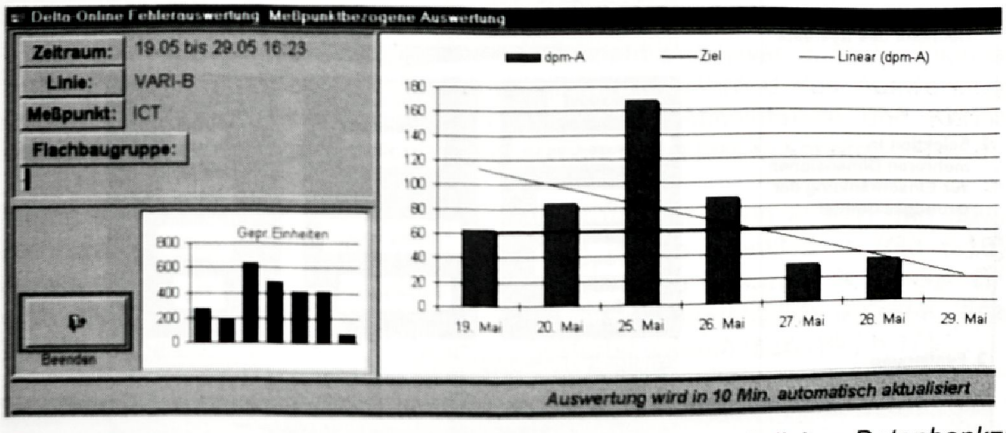


Bild 6.15: Datenbankanwendungen in Office-Paketen ermöglichen Datenbankzugriff und individuelle Auswertungen

Der große Vorteil bei der Nutzung von Standardwerkzeugen marktgängiger Office-Lösungen liegt in der Flexibilität und den ansprechenden grafischen Möglichkeiten, die relativ einfach eingebracht werden können (Bild 6.15). Als Nachteil kann sich bei verstärktem Übergang auf Thin Clients (vgl. Kap. 2) auswirken, daß nicht alle Arten von Office-Tools auf allen Arten von Thin Clients genutzt werden können.

6.2.4 Aufbau eines proprietären SQL-Generators

Um nicht bei jeder neuen Fragestellung programmieren zu müssen, aber dennoch ein hohes Maß an Flexibilität bei der Erstellung von Auswertungen zu erreichen, wurde ein SQL-Generator geschaffen, der es erlaubt auf einfache Weise ohne SQL-Kenntnisse eine Abfrage zu erzeugen. Zudem wird die im generierten SQL-Programm repräsentierte Auswertung in kurzer Zeit erstellt und in grafischer oder tabellarischer Form dargestellt.

Es gibt mehrere Möglichkeiten die Zeiten für das Erstellen einer Auswertung zu minimieren. Neben den rein technischen Möglichkeiten wie Hauptspeicherausbau und Erhöhung der Rechnerleistung (Prozessoren, Bussystem und Festplatten) können vor allem systemtechnische und programmiertechnische Maßnahmen zu deutlichen Verbesserungen im Laufzeitverhalten einer Auswertung führen.
Ein systemtechnischer Gestaltungsaspekt besteht darin, einen überschaubaren Teil der Datenbank, mit Inhalten, die man bei jeder Auswertung benötigt, direkt in das Auswerteprogramm einzulesen. Beim vorliegenden SQL-Generator werden die Grunddaten beim Programmstart von der Datenbank geholt und ins Programm eingelesen (Bild 6.16, oben). Damit können während des Auswertelaufes langwierige Joins über mehrere Datenbanktabellen vermieden werden. Doch bereits während der Parametrierung einer Auswertung macht sich ein weiterer Vorteil bemerkbar: Bei der menuegeführten Auswahl der einzelnen Selektionskriterien, die sich gegenseitig einschränken können, ist kein Datenbankzugriff erforderlich. Schließlich ist es möglich, die Selektionsmenues abhängig von den eingelesenen Grunddaten dynamisch zu gestalten.

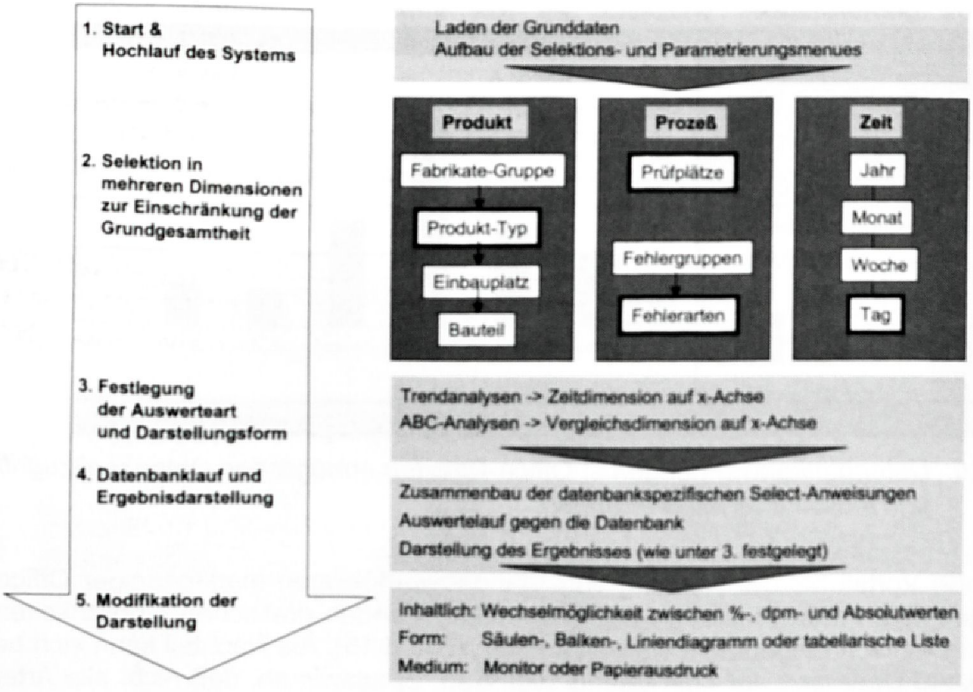


Bild 6.16: Ablaufstruktur eines SQL-Generators für flexible und einfache Erstellung von Auswertungen über Prüf- und Fehlerdaten

Nach dem Laden der Grunddaten (Punkt 1 in Bild 6.16), das nur einmal bei Programmstart erforderlich ist, folgen mit Punkt 2 bis 5 Ablaufschritte, die bei jeder neuen Fragestellung bzw. Auswertung in der abgebildeten Reihenfolge durchlaufen werden müssen.

Grundsätzlich beginnt eine Auswertung damit, daß man für die drei Dimensionen Produkt, Prozeß und Zeit die entsprechenden Parametrierungen und Einschränkungen vornimmt. Innerhalb der Produkt- und Prozeßdimension (bei Produkttypen und Fehlerarten) wird eine stufenweise Einschränkung der Attribute vom Auswertungsprogramm unterstützt. Die Abhängigkeiten und Einschränkungsmöglichkeiten der Zeitdimension werden bereits vom Datenbankmanagementsystem hervorragend unterstützt. Nach Abschluß von Punkt 2 ist die Grundgesamtheit für die Auswertung festgelegt.

Als nächstes kann man sich für eine Darstellungsform oder Auswerteart entscheiden. Über die Auswerteart wird entschieden, indem man festlegt, nach welchem Attribut gruppiert werden und auf der x-Achse aufgetragen werden soll. Legt man die Zeitdimension auf die x-Achse (egal ob Tag, Woche, Monat oder Jahr), so erhält man eine Trendanalyse. Alle anderen Attribute, unabhängig davon ob sie eher prozeß- oder produktbestimmend sind, können auch als Gruppierungskriterium ausgewählt und auf der x-Achse dargestellt werden. Sie führen dann meist zu Pareto-Auswertungen. An dieser Stelle (direkt vor dem Start des Auswertelaufs gegen die Datenbank) oder auch nach dem Auswertelauf hat der Benutzer die Möglichkeit, eine von vielen Kennzahlen zu bestimmen, die (auf der y-Achse) dargestellt werden sollen.

Mit den bisher festgelegten Parametern (in Punkt 2 und 3) kann bereits die Generierung der Select-Anweisung erfolgen, die letztlich aus der Datenbank die Ergebnismenge holt. Die Ergebnismenge bezieht sich zwar ausschließlich auf die unter Punkt 2 festgelegte Grundgesamtheit, aber während des Auswertungslaufs gegen die Datenbank werden grundsätzlich alle Absolutwerte und Kennzahlen berechnet, die der Benutzer sich theoretisch anzeigen lassen könnte.

Wenn dem Anwender das Auswerteergebnis vorliegt, kann er sich den gewählten Kennwert grafisch oder als Liste darstellen lassen (Punkt 5 in Bild 6.16). Der Anwender ist aber nicht auf die einmal ausgewählte Kennzahl festgelegt. Er kann sich alle weiteren Kennzahlen, die das System grundsätzlich anbietet, anzeigen lassen, ohne daß eine neue Auswertung gestartet werden muß (Bild 6.17).

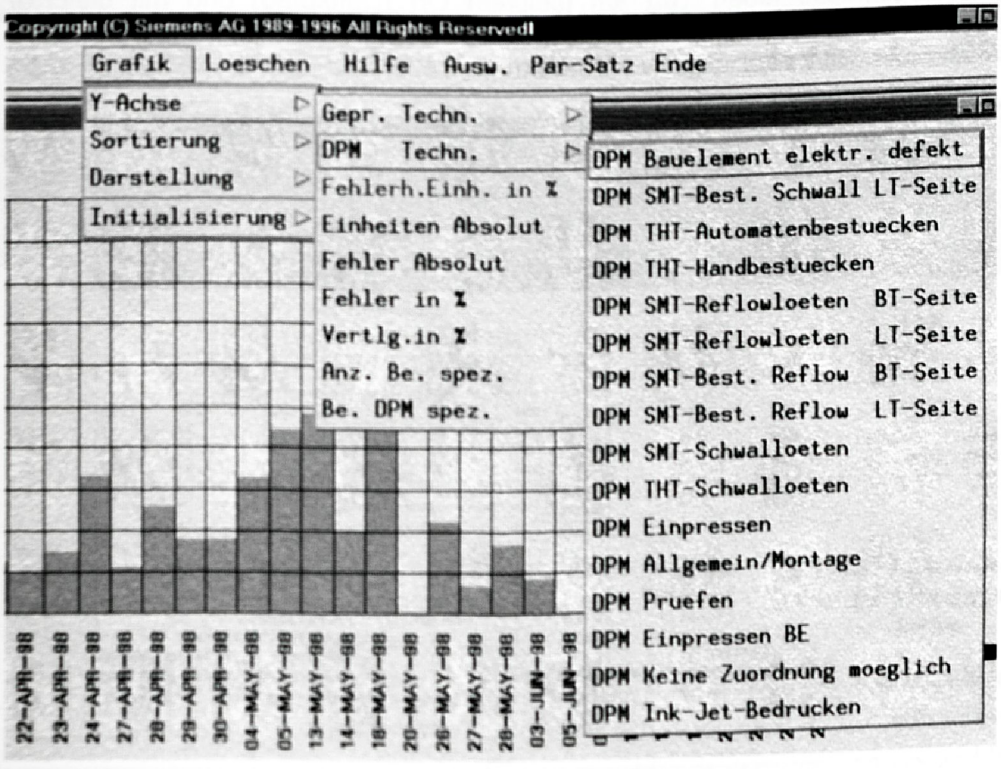


Bild 6.17: Auswertung mit eingeblendeter Y-Achsen-Auswahl

6.3 Einsatzmöglichkeiten und Erfolg der Berichtsmodule

6.3.1 Turnusauswertungen und reagierende Auswertungen

Bei Qualitätsberichten, die in einem bestimmten Turnus, z.B. täglich oder wöchentlich mit vorher vereinbarten Inhalten und Kennzahlen benötigt werden, bietet sich der Einsatz der unter Kapitel 6.2.2 beschriebenen abrufbereiten Auswertungen an. Voraussetzung ist, daß die vereinbarten Inhalte nicht ständig geändert werden müssen. Dann kommen die Vorteile der abrufbereiten Auswertungen voll zum Tragen: Die Auswertungen müssen nicht erst gestartet und eine Ergebnisermittlung abgewartet werden, sondern sie liegen zur sofortigen Nutzung bereit. Der Bediener findet die Ergebnisse jeden Tag am gleichen Ort (Dateipfad) und mit gleicher inhaltlicher Struktur, die ihm vertraut ist, auch wenn sich die einzelnen Kennwerte von Mal zu Mal positiv oder negativ verändern.

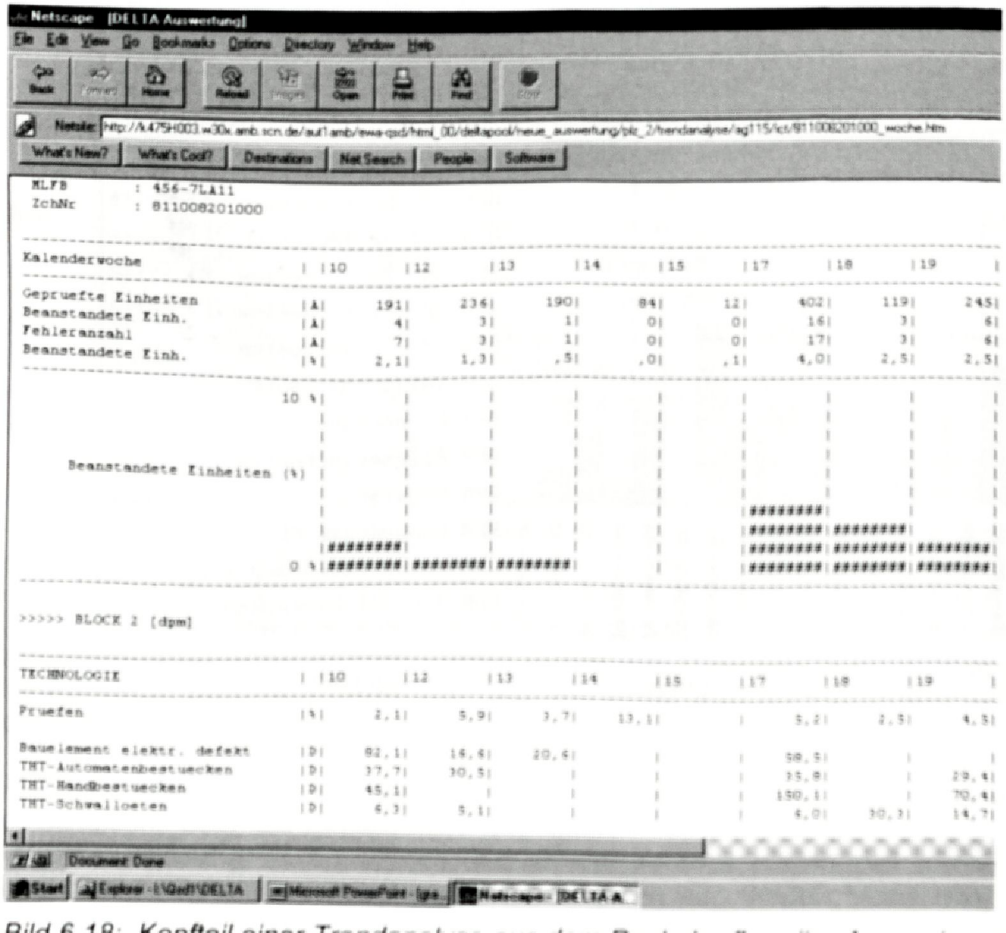


Bild 6.18: Kopfteil einer Trendanalyse aus dem Pool abrufbereiter Auswertungen

Zeichnet sich in Trendanalysen (Beispiel in Bild 6.18) eine positive Entwicklung ab, fühlen sich die verantwortlichen Planungs- und Produktionsmitarbeiter meist bestätigt. In solchen Fällen besteht selten weiterer Informationsbedarf. Anders verhält es sich, wenn die Qualität sich verschlechtert. Dann wollen die verantwortlichen

Mitarbeiter wissen, welche Fehler (mit entsprechenden Detailangaben) zu dieser negativen Entwicklung geführt haben. Für solche Fragestellungen liegen sehr umfangreiche und detaillierte Paretoauswertungen auf einem Server bereit, die in den meisten Fällen auch die passende Information enthalten (vgl. Bild 6.19).

>>>>>> PARETO-Analyse aus DELTA-Pool <<<<<<

P1 Zeitraum: 01.02.93 – 07.02.93 Produkt: ML
Platzart : Prüfplatz 1 Typ : CPU

P2 **Detaillierung der Prüfungen**

Produkt	Zeichnungs-Nr.	geprüfte Einheiten (absolut)	beanstandete Einheiten (absolut)	Einzel-Fehler (absolut)	beanstandete Einheiten (in %)	0 max
ML 1	ZNr 0001300-01	4309	289	625	6.71	
ML 2	ZNr 0001200-01	2201	106	272	4.82	
		6510	395	897		

P6 **Detaillierung nach Fehlerarten und Einbauplätzen**

Produkt	Zeichnungs-Nr.	Fehlerart	Einbau-platz	(1) %	(2) Dpm	(3) An-zahl	0 max
ML 1	ZNr 0001300-01	BT Lage	S001	1.74	167	75	
		BT beschädigt	X008	1.39	133	60	
		BT-Ende n. sichtbar	C025	.67	64	29	
		BT-Ende n. sichtbar	C023	.32	31	14	
		BT beschädigt	D008	.30	29	13	
		BT-Ende n. sichtbar	C024	.28	26	12	
		BT fehlt	X008	.23	22	10	
		BT verpolt	C002	.19	17	8	
		BT-Ende n. sichtbar	C026	.19	17	8	
		BT Abstand	R074	.16	15	7	
		BT-Ende n. sichtbar	C027	.12	11	5	
		Lötstelle fehlerh.	X004	1.39	27	60	
		Lotbrücke	X008	.56	11	24	
		Gehäuse beschädigt	GEHA	.77		33	
		Typschild fehlt	#005	.12		5	

(1) Fehler bezogen auf 100 geprüfte Flachbaugruppen
(2) Fehler bezogen auf 1 Million geprüfte Bauelemente bei Bauelementfehlern
bzw. auf 1 Million geprüfte Lötstellen bei Lötfehlern
(3) Absolute Fehleranzahl

Bild 6.19: Paretoauswertung mit weiteren Detailinformationen im abrufbereiten Auswertungspool

Neben den in Bild 6.19 dargestellten Detaillierungsblöcken (P2 und P6) sind noch eine Reihe weiterer Detaillierungen z.B. nach Fehlergruppen oder Produktgruppen möglich. Die innere Struktur der Auswertungen und die Ablagestruktur des Pools wurden so gestaltet, daß dem Anwender sowohl eine Produkt- als auch eine Prozeßsichtweise ermöglicht wird.

Da jedoch in den abrufbereiten Auswertungen nur die gängigen Zeitraster (wie Tag, Woche, Monat) zur Verfügung stehen, kann es im Einzelfall noch weiteren Informationsbedarf geben, wenn z.B. der Auswertezeitraum von Mittwoch letzter Woche bis Donnerstag dieser Woche reichen soll. Hier kann die Nutzung des SQL-Generators weiterhelfen, der sehr flexibel und individuell alle Parametrierungsmöglichkeiten anbietet.

Schwellwertüberwachung als Reaktionsunterstützung

Im Prinzip werden bei der in Bild 6.20 dargestellten Schwellwertauswertung alle in einem bestimmten Zeitraum geprüften Baugruppen in drei Kategorien eingeordnet. Nach der Anzeige der Aufrufparameter und des Erstellungsdatums werden zunächst diejenigen Baugruppen aufgeführt, bei denen ein voreingestellter Schwellwert einer Qualitätskennzahl (z.B. Fehlerrate) überschritten wurde. Danach werden Baugruppen aufgelistet, die sich gegenüber dem Vergleichszeitraum verschlechtert haben, ohne den Schwellwert zu überschreiten und schließlich Baugruppen, die sich gegenüber dem Vergleichszeitraum verbessern konnten.

Durch eine klare Trennung von Blöcken mit Schwellwertüberschreitungen von sonstigen Verschlechterungen oder Verbesserungen ist für den Anwender sofort ersichtlich, in welche Kategorie eine bestimmte Flachbaugruppe einzuordnen ist. Aus der Graphik rechts neben den Kennzahlen ist zudem erkennbar, wie sich die Fehlerrate des Berichtszeitraumes im Gegensatz zum angegebenen Vergleichszeitraum verändert hat. Der aktuell eingestellte Schwellwert wird in Form eines Ausrufezeichens im Histogramm ebenfalls angezeigt.

Die hier vorgestellte Schwellwertanalyse kann z.B. im Pool abrufbereiter Auswertungen für mehrere Prüfplätze stündlich aktualisiert bereitliegen und die Basis bilden für täglich oder schichtweise stattfindende „Fehlerabstellgespräche". Um richtige Schlüsse und rasche Entscheidungen zu unterstützen, sind bei jeder in der Auswertung angeführten Flachbaugruppen noch detaillierte Angaben zu den jeweils festgestellten Fehlersymptomen (in Form von Fehlermerkmalen mit Einbauplatz) ergänzt (Bild 6.20).

```
+-----------------------------------------------------------------------------+
|                    SCHWELLWERTÜBERWACHUNG UND QUALITÄTSTAGESWERT
|S1                                                          (10.10.93 06:43)
|   Platzart                      : Nachlöten/Sichtprüfen
|
|   Berichtszeitraum    (BerZ)  [redacted]: 09-Okt-93
|   Vergleichszeitraum  (VglZ)  [redacted]: 10-Aug-93  bis  08-Okt-93
|
| +-----------------------------------------------------------------------+
| | FBG-ZchNr |Aktion|Abweich.| Geprüfte|Beanst. | Fehlerrate (in %)      |
| |           |      | (in %) |  FBG    | FBG    |        0          25.0|
| +-----------------------------------------------------------------------+
|S2
| +-----------------------------------------------------------------------+
| | 4711-4811 |ALARM | -346.5 |     4   |     1  | 25.0 [redacted]
| |           |      |        |  1268   |    71  |  5.6 [redacted]
| +-----------------------------------------------------------------------+
|       Fehlermerkmal            Einbauplatz Absolut    %       DPM
|        Pin offen               | U402    |     1 | 25.0 |   192 |
|
| +-----------------------------------------------------------------------+
| | 4711-1234 |ALARM |  -43.5 |    68   |     7  | 10.3 [redacted]
| |           |      |        |  1338   |    96  |  7.2 [redacted]
| +-----------------------------------------------------------------------+
|       Fehlermerkmal            Einbaupl.   Absolut    %       DPM
|        BT fehlt                | N402    |     2 |  3.0 |   120 |
|        BT fehlt                | V042    |     1 |  1.5 |    60 |
|        BT verpolt              | N402    |     1 |  1.5 |    60 |
|        fal.BT eingebaut        | D033    |     1 |  1.5 |    60 |
|        fal.BT eingebaut        | N402    |     1 |  1.5 |    60 |
|
|        Pin offen               | D040    |     1 |  1.5 |    15 |
|S3
| +-----------------------------------------------------------------------+
| | 4711-1122 |      | -42.6  |   102   |     6  |  5.9 [redacted]
| |           |      |        |   824   |    34  |  4.1 [redacted]
| +-----------------------------------------------------------------------+
|       Fehlermerkmal            Einbaupl.   Absolut    %       DPM
|        BT fehlt                | C033    |     1 |  1.0 |    26 |
|        BT fehlt                | H010    |     1 |  1.0 |    26 |
|        BT fehlt                | R401    |     1 |  1.0 |    26 |
|        BT verpolt              | C412    |     1 |  1.0 |    26 |
|        BT Lage                 | X002    |     1 |  1.0 |    26 |
|
|        Pin offen               | C406    |     1 |  1.0 |     8 |
|
| . . .
|
| Information im Detaillierungsblock (je Fehlermerkmal und Einbauplatz EPL):
|  o Absolute Fehleranzahl
|  o Prozentwert mit Fehler bezogen auf 100 geprüfte FBG
|  o DPM-Wert, der je nach Fehlermerkmalsgruppe enthält:
|     - Fehler bezogen auf 1 Million geprüfte Bauelemente bei Bestückfehlern
|     - Fehler bezogen auf 1 Million geprüfte Lötstellen  bei Lötfehlern
|     - Fehler bezogen auf 1 Million geprüfte Bauelemente bei Bauelementefehlern
|
|  Wenn die Fehlerrate den vorgegebenen Zielwert überschreitet, dann wird der
|  Zielwert im Histogramm mit ! markiert und es erscheint ALARM im Aktionsfeld.
|  Bei Aktion ALARM muß eine Ursachenermittlung durchgeführt werden.
+-----------------------------------------------------------------------------+
```

Bild 6.20: Beispiel einer einfachen Schwellwertauswertung

Wenn die abgeprüften Schwellwertüberschreitungen oder Veränderungen der Fehlerrate nicht eintreten und ein Block (S2 bis S4 der Ablaufstruktur) in der Auswertung dann leer bliebe, dann wird der betreffende Block überhaupt nicht dargestellt.

Durch umfangreiche Parametrierungsmöglichkeiten, die vom auszuwertenden Prüfplatz über das Produktspektrum bis hin zum Zeitraster reichen, lassen sich Trend- und Paretoanalysen unterschiedlicher Zielrichtungen mit nur einem "Standardwerkzeug" durchführen. Die Unterstützung täglicher Fehlerbesprechungen auf der operativen Ebene mit Fortschreibungslisten im Tagesraster ist damit ebenso möglich, wie die Langzeitdokumentation von Qualitätskennzahlen im Monats-, Quartals- oder Jahresraster für Planungsabteilungen oder für die Unternehmensleitung /5, 6/.

6.3.2 Spontane Auswertungen und Prognoseauswertungen

Auswertungen aus diesem Umfeld besitzen eher vorbereitenden oder planenden Charakter. Sie erfordern mindestens die gleichen Datensichten wie die Turnusauswertungen, und darüber hinaus weitere Detaillierungs- und Darstellungsmöglichkeiten.

Bei den Auswertungen, aus denen Reaktionen auf bestimmte Anlässe abgeleitet werden sollen, spielen die Datenaktualität und die Auswertezeit eine große Rolle. Bei den vorbereitenden Auswertungen ist es eher die Flexibilität. Eine Nutzung des in 6.2.4 vorgestellten SQL-Generators eröffnet dem Anwender ein hohes Maß an Flexibilität und es lassen sich sehr viele der im Planungsumfeld spontan auftretenden Fragestellungen in einfacher Form in eine Abfrage umsetzen und in kurzer Zeit mit Hilfe einer Auswertung beantworten.

Wenn zum Beispiel ein Planungsmitarbeiter in einer Trendanalyse erkannt hat, daß bei einer bestimmten Produktgruppe mehr Fehler auftreten als gewöhnlich oder wenn er die Fehlersituation grundsätzlich verbessern und analysieren möchte, so kann er den SQL-Generator (D-Assist: Daten-Assistent) nutzen, um seine Informationen stufenweise zu verfeinern.

Eine Pareto-Auswertung, gruppiert nach Fehlerarten, kann ihm den oder die Fehlerschwerpunkte liefern, die bei den betrachteten Baugruppen das Fehlergeschehen am stärksten beeinflußen (Bild 6.21). Auf diese Weise kann man die Fehler oder Prozesse ermitteln, auf die man sich konzentrieren muß.

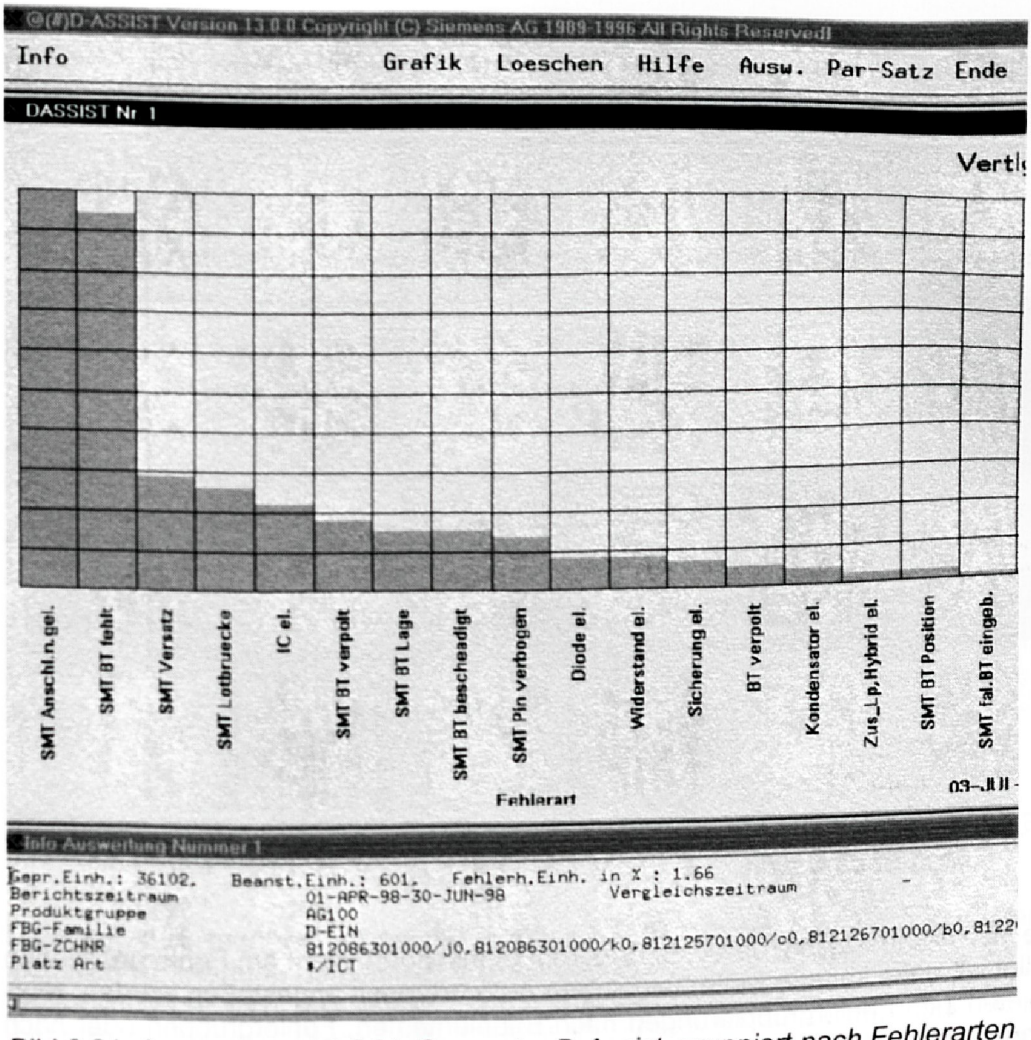


Bild 6.21: Auswertung mit SQL-Generator D-Assist, gruppiert nach Fehlerarten

Die Auswertung in Bild 6.21 läßt erkennen, daß zwei bestimmte Fehlerarten das Fehlergeschehen dominieren. Eventuell kann ein erfahrener Produktionsplaner oder Prozeßtechnologen bereits mit dieser Information mögliche Ursachen im Produktionsprozeß eingrenzen und Maßnahmen abwägen.

Sollte sich in der Auswertung nach Fehlerarten kein eindeutiger Fehlerschwerpunkt zeigen, kann durch eine weitere Paretoauswertung, gruppiert nach Baugruppen, festgestellt werden, ob alle Baugruppen etwa gleich betroffen sind oder ob eine Baugruppe besonders stark zum Fehleraufkommen beiträgt. Am Auswertungsbeispiel in Bild 6.22 läßt sich erkennen, daß die Bediener die Darstellung des Ergebnisses noch optisch aufwerten können, indem sie z.B. die Skalierung der Achsen verändern oder die Werte einzelner Histogrammbalken einblenden lassen.

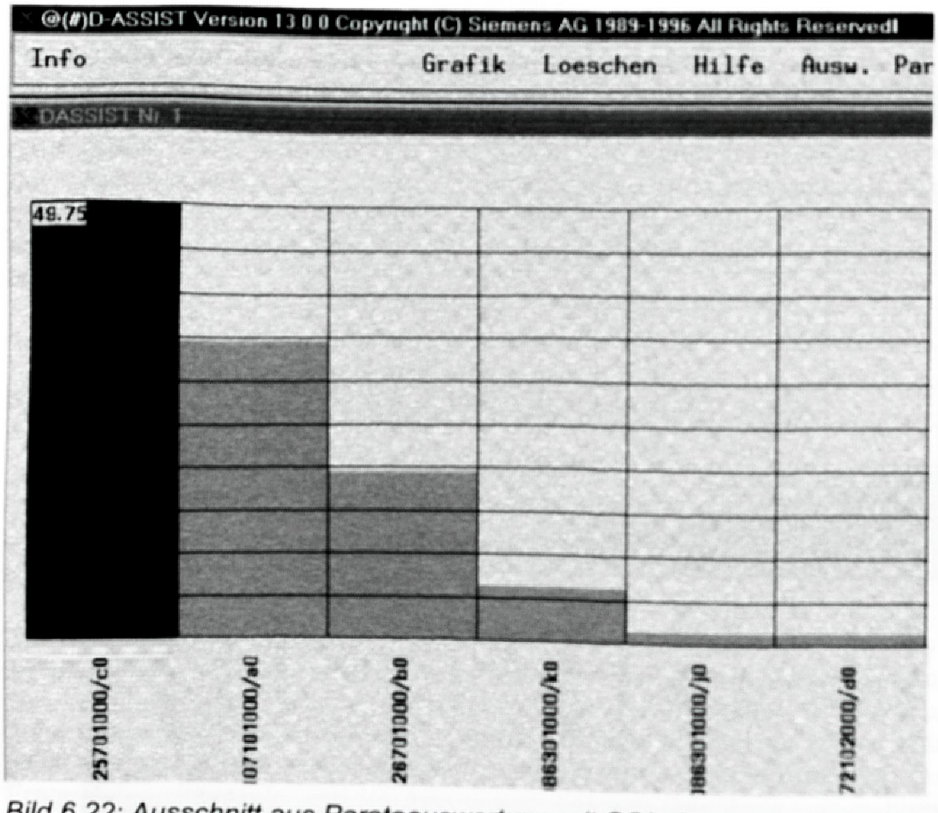


Bild 6.22: Ausschnitt aus Paretoauswertung mit SQL-Generator D-Assist gruppiert nach Baugruppen

Sollte sich herausstellen, daß eine Baugruppe besonders stark am Fehlergeschehen beteiligt ist, dann können weiter verfeinerte Auswertungen angestoßen werden. Hierbei bieten sich Fehlergruppierungen nach Bauelementen, Fehlergruppen oder nach Einbauplätzen (Bild 6.23) an. Diese Informationen können eine wichtige Basis bilden für Überlegungen zu Prozeß- und Produktoptimierungen. Sie können einfließen in ein geplantes Redesign zu alten Baugruppen oder helfen ein Redesign kurzfristig anzusetzen. Erkenntnisse aus den detaillierten Qualitätsdatenauswertungen können aber auch in Neuentwicklungen mit einfließen.

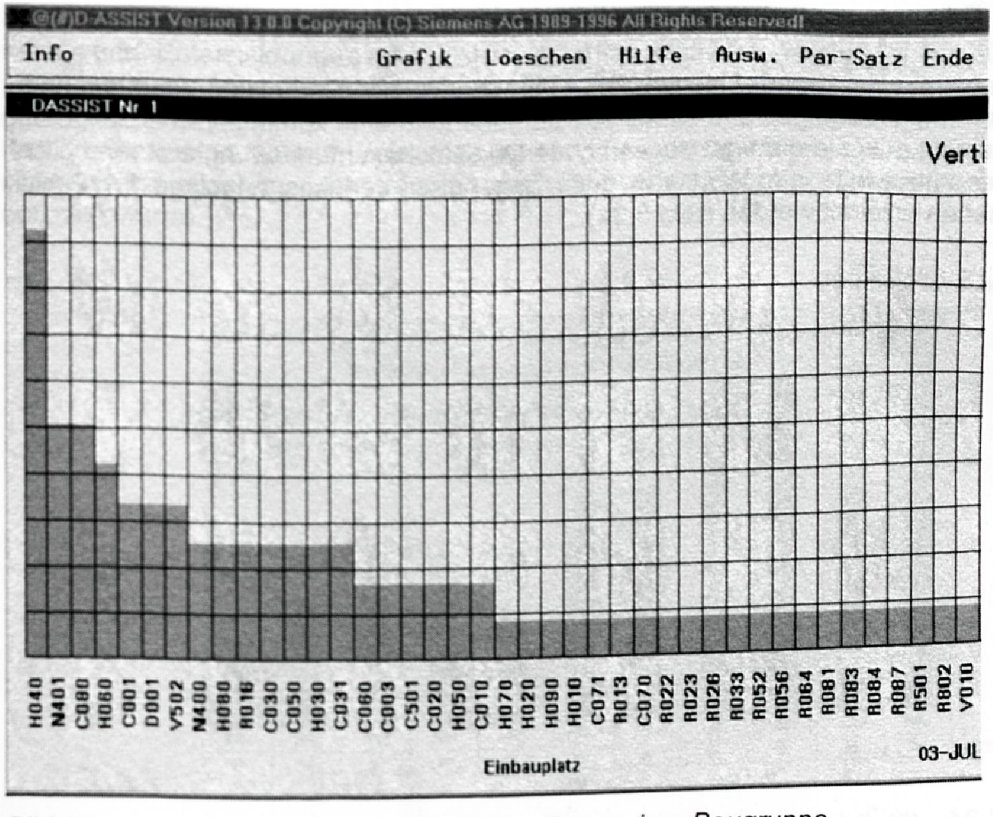


Bild 6.23: Paretoauswertung nach Einbauplätzen einer Baugruppe

Dadurch, daß man bei einem erneuten Auswertungswunsch die Parameter der aktuellen Auswertung defaultmäßig wieder angeboten bekommt, ist es auf einfache Weise möglich, sich aus einer Trendanalyse oder Paretoauswertung einen oder mehrere aggregierte Werte herauszupicken und diese (in einem neuen Auswertungslauf) zu verfeinern. Man könnte diese Eigenschaft als Vorstufe der in OLAP-Werkzeugen angebotenen Drill-Down Funktion bezeichnen /13/.

Prognoseauswertungen

Sie können als Spezialfall oder Fortsetzung von spontanen Auswertungen angesehen werden und sollen Fehlervorhersagen bei gezielt veränderten Rahmenbedingungen (Prozeßablösung, andere Bauteile, Wechsel der Bauteilseite) ermöglichen.

Dazu müssen die beschreibenden Szenarien parametriert und gespeichert werden können. Bei allen in 6.3.1 und 6.3.2 vorgestellten Fragestellungen kann bei Bedarf die Nutzung von Office-Lösungen das Angebot an benutzerorientierten Qualitätsberichten abrunden.

6.3.3 Erkennbarer Beitrag zu Qualitätssteigerungen

Die Fehlerentwicklung der letzten Jahre läßt schubweise Verbesserungen erkennen. Nur durch ein ständiges und intensives Bemühen um eine kontinuierliche Steigerung der Qualität, wie sie eine gut abgestimmte Qualitätsberichterstattung erst ermöglicht, konnte mittlerweile ein Wert von 11% gegenüber der Ausgangslage im Fehlergeschehen erreicht werden (Bild 6.24).

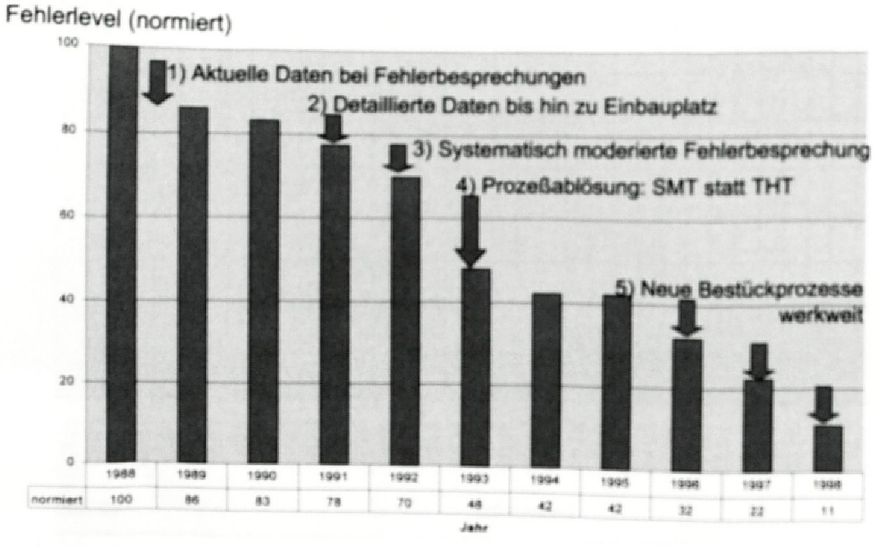


Bild 6.24: Jährliche Senkung des Fehleraufkommens und die wichtigsten Einflußfaktoren

Das vorgestellte Qualitätsdatenerfassungs- und -auswertungssystem wurde stufenweise entwickelt und in der betrieblichen Praxis eingeführt /7/. Daher ist es mit Einschränkungen möglich, aus der Betrachtung der Qualitätsentwicklung der letzten Jahre in etwa den Beitrag abzulesen, den die einzelnen Phasen der Qualitätsdatenverarbeitung beisteuern konnten.
Bemerkenswert ist, daß trotz steigenden Termin- und Kostendrucks und eines unaufhaltsamen Trends zur Miniaturisierung aller Bauteile das Fehleraufkommen ständig zurückging und die Funktionalität und Leistungsfähigkeit der gefertigten Produkte stieg.

Kurz nach Einführung der ersten Module im Jahr 1988 konnten erstmals eine Reihe von Mitarbeitern in der Produktion und in den Planungsabteilungen auf tagesaktuelle Daten zugreifen. Diese konnten dann in abteilungsübergreifenden täglichen Fehlerabstellgesprächen genutzt werden. Durch eine Verbesserung der Grunddatensituation und eine konsequente einbauplatzbezogene Fehlerdatenerfassung an allen Prüfplätzen konnten in einem zweiten Schritt in den Auswertungen zunehmend detailliertere Daten präsentiert werden.

Doch detailliertere und aktuellere Daten verbessern die Fehlersituation nicht aus sich alleine, wenn nicht konsequent mit ihnen gearbeitet wird. Als zu einem späteren Zeitpunkt begonnen wurde, systematisch moderierte Fehlerbesprechungen auf höheren Managementebenen durchzuführen, konnte der Fehlerlevel wiederum ein

Stück abgesenkt werden. Hierbei gewonnene Erkenntnisse führten zu weitreichenden Entscheidungen, die sich nicht mit Detailverbesserungen begnügten, sondern in die konsequente Ablösung fehlerträchtiger Fertigungsprozesse mündeten, die durch einfacher beherrschbare Produktionsprozesse abgelöst wurden.
Damit wird auch erklärbar, warum es immer wieder möglich ist, spürbare Verbesserungen zu erzielen, auch wenn in zurückliegenden Perioden bereits nachhaltig optimiert wurde.

7 Sichtprüfung in der Elektronikproduktion

Fehler kosten Geld: Im Betrieb werden Fehler zum Teil mit großem Aufwand repariert oder sie bedeuten Ausschuß. Beim Kunden angekommen kosten Fehler meist mehr und können obendrein noch zu einem Imageverlust führen, der selbst mit aufwendigen Marketingmaßnahmen nicht wieder zu bereinigen ist. Daher werden in der Produktion zwei grundsätzliche Ziele verfolgt: Einmal wird versucht, Fehler im Produktionsprozeß von vornherein zu vermeiden. Dies ist möglich über Fehleranalysen, Ursachenforschung und konsequente Einleitung von vorbeugenden Maßnahmen. (Ein wissensbasierter Ansatz dazu wird in Kapitel 8 vorgestellt.) Ein ebenso wichtiges Ziel besteht darin, die Fehler, die im Produktionsprozeß entstehen, möglichst alle und möglichst effektiv zu entdecken. Eine Möglichkeit hierzu ist die Sichtprüfung bzw. visuelle Inspektion /121/.

7.1 Beurteilung der Sichtprüfung als Produktionsprozeß

Da die personelle Sichtprüfung derzeit in der Elektronikproduktion noch weit verbreitet ist, soll sie im folgenden näher untersucht werden. Im Zentrum der Überlegungen steht dabei der Fehlerschlupf: Wieviele Sichtprüffehler wurden bei der visuellen Inspektion übersehen und werden von Prüfplätzen nach der Sichtprüfung entdeckt?
Eingesetzt wird dabei ein System der grafischen Analyse, welches beitragen kann, bereits im Vorfeld mathematischer und statistischer Ansätze Zusammenhänge zu erkennen, welche dann, wenn die Voraussetzungen für eine Regressionsanalyse gegeben sind, mit Hilfe einer Korrelationsanalyse erhärtet werden können /119/.

7.1.1 Umfeld und Einflußfaktoren der Sichtprüfung

In der Elektronikproduktion wird nach einzelnen Bestück- und Lötprozessen eine Sichtprüfung durchgeführt, bevor der nächste Prozeßschritt folgt. Die Sichtprüfung kann grundsätzlich personell oder mit automatischen Inspektionssystemen (AIS) erfolgen. Die AIS erfordern derzeit noch relativ hohe Investitionen in Hard- und Software. Eine Sichtprüfung kann dabei im Rahmen einer statistischen Prozessregelung (SPC) erfolgen oder aber auch als Sortierprüfung mit sofortiger Reparatur ausgelegt sein /25, 33/. Grundsätzlich kann bei einer personellen Sichtprüfung alles an Fehlern entdeckt werden, was mit dem Auge - unterstützt von technischen Hilfsmitteln - erkennbar ist. Diejenigen Fehler, die aus technischen oder physikalischen Gründen nicht erkannt werden können, bleiben in den weiteren Überlegungen (speziell in den Fehlerraten) unberücksichtigt.

Im Bereich der Elektronikproduktion gibt es kein allgemeingültiges Prüfkonzept, das alle Elektronikproduzenten anwenden, da im Rahmen der Prüfplanung jeweils werksspezifisch Ziele wie die Kosten- und Durchlaufzeitminimierung mit dem Ziel einer hohen Produktqualität in Einklang gebracht werden /21/. Welche Prüfschritte jeweils nach welchen Prozeßschritten durchgeführt werden, variiert von Produkt zu Produkt. Für die meisten Produkte trifft jedoch zu, daß sie nach dem Bestücken und Löten einer Sichtprüfung unterzogen werden, bevor sie danach noch automatische Inspektionssysteme (z.B. In-Circuit-Tester) durchlaufen (Bild 7.1).

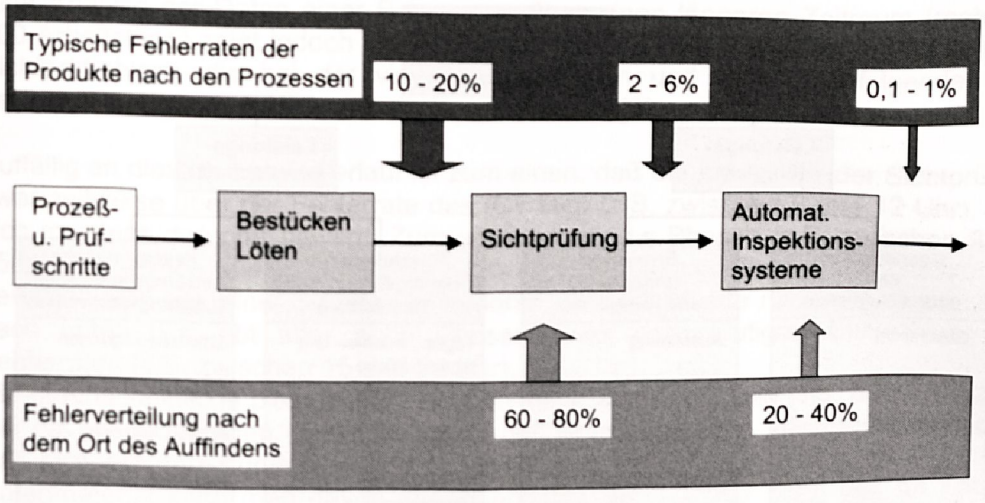


Bild 7.1: Typische Produktfehlerraten vor und nach der visuellen Inspektion

Abhängig vom Prüfkonzept werden unterschiedlich viele Fehler von der Sichtprüfung oder den automatischen Testsystemen entdeckt. Von der Gesamtzahl der Fehler werden zwischen 60 und 80% der Fehler von Sichtprüfplätzen entdeckt und der Rest von automatischen Testsystemen. Die Fehlerraten der Produkte bewegen sich dabei in folgenden Größenordnungen: Vor der Sichtprüfung sind etwa 10-20% der Produkte mit Fehlern behaftet. Nach der Sichtprüfung weisen noch ca. 2-6% der Produkte einen Fehler auf und nach den automatischen Inspektionssystemen nur noch etwa 0,1-1% der Produkte.

Einfluß auf die Höhe der Produktfehlerrate, die bei der Sichtprüfung ermittelt wird, haben vornehmlich die Bestück- und Lötprozesse, die von den geprüften Baugruppen durchlaufen werden. Doch auch der Sichtprüfprozeß an sich trägt mit zu der ermittelten Produktfehlerrate bei. Denn wenn z.B. ein Prüfer an einem visuellen Inspektionsplatz unkonzentriert arbeitet, dann wird er weniger Fehler entdecken als bei aufmerksamer Prüfdurchführung und damit die Fehlerrate besser erscheinen lassen, als sie in Wirklichkeit ist.

Nach /106/ lassen sich die Einflußfaktoren auf die menschliche Leistungsfähigkeit und -bereitschaft nach vier Aspekten unterscheiden (Bild 7.2). Da die Qualität der Sichtprüfung, als Prozeß betrachtet, in hohem Maße von der menschlichen Leistungsfähigkeit abhängt, wirken sich die genannten Aspekte auch auf die Sichtprüfung aus. Dabei stellt sich die interessante Frage, ob die genannten Einflußfaktoren die Qualität der Sichtprüfung nennenswert beeinflussen. Wenn, wie im vorliegenden Fall, die Ursachen für Schwankungen gefunden werden sollen, die sich im Stundenbereich abspielen, dann liegen diese Ursachen vermutlich weniger im Bereich der menschlichen Leistungsfähigkeit, da sich die darin aufgeführten Einflußfaktoren (wie Alter und Erfahrung) innerhalb von Stunden nur unwesentlich ändern. Die Ursachen sind eher in der physiologischen und psychologischen Leistungsbereitschaft zu suchen, die z.B. geprägt sind von tageszeitlichen Schwankungen, Arbeitsbedingungen und Arbeitsumgebung.

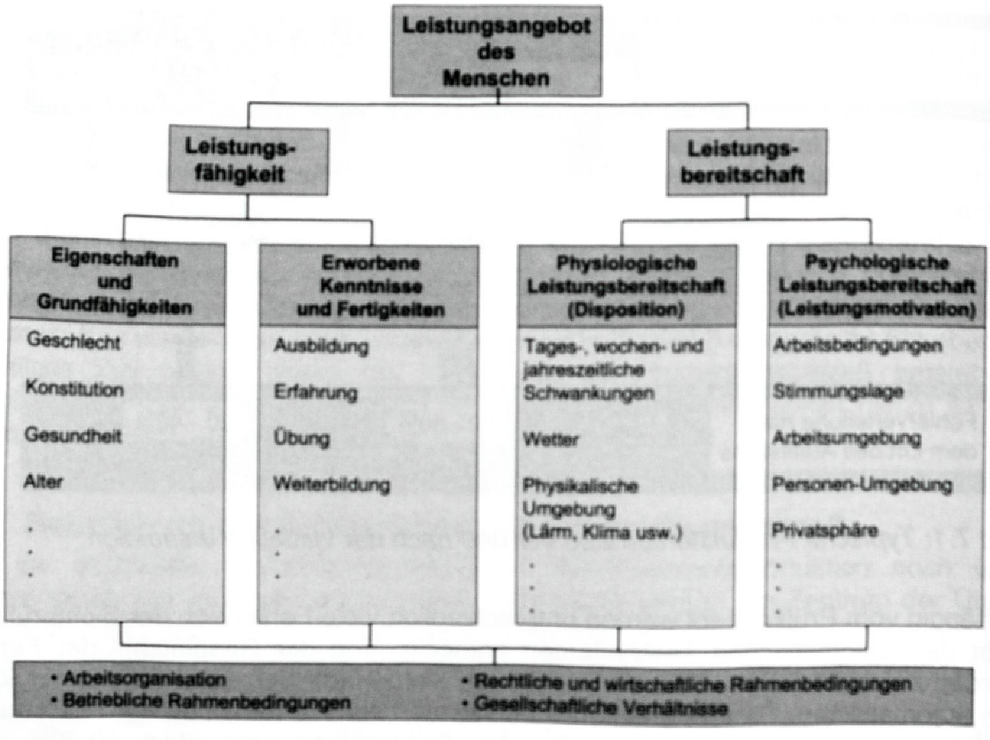


Bild 7.2: Wichtige Einflußfaktoren auf die menschliche Leistungsfähigkeit und -bereitschaft nach /106/

7.1.2 Auswertung tageszeitbezogener Prüfdaten

Grundsätzliche Überlegungen

Nach Realisierung und Einsatz des in Kapitel 5 beschriebenen Erfassungskonzepts fallen stündlich und täglich eine Vielzahl von Daten an. Zur Analyse der Haupteinflußfaktoren auf Schwankungen der Fehlerraten kann man die Produkt- und Prüfdaten des vorgestellten QDV-Systems heranziehen. Die Komplexität und Schwierigkeit der Arbeitsaufgabe spiegelt sich dabei in den Komplexitätszahlen der Produkte wider (Anzahl Bauteile bzw. Lötstellen je FBG), aber auch in den Angaben zur Herstellungstechnologie und in den Gesamtfehlerraten des Produkts. Die gespeicherten Prüfzeitpunkte erlauben eine Datenverdichtung bezüglich der Tageszeit einer Fehlerentdeckung. Die in den Diagrammen dargestellten Zahlen entstammen einem Betrieb der Elektronikproduktion, welcher täglich mehrere Tausend Leiterplatten bestückt. Damit stehen auch Daten von mehreren Tausend visuell geprüften Baugruppen täglich zur Verfügung.

Jeder Fehler wird unmittelbar nach seiner Entdeckung erfaßt. Zu jedem erfaßten Fehler an einem Sichtprüfplatz ist damit bekannt, an welchem Prüfplatz (nach welchem Prozeßschritt) und zu welcher Tageszeit er auftrat. Wenn man die Prüfdaten einer Baugruppe über einen langen Zeitraum auswertet und einen Mittelwert über die durchschnittliche Fehlerrate je Stunde bildet, so könnte man annehmen, daß in jeder Stunde des Tages etwa gleich viele Fehler auftreten und erfaßt werden.

Eine Analyse der Daten einer Baugruppe über einen längeren Zeitraum (mehr als 100 Arbeitstage) zeigt jedoch einen anderen Verlauf (Bild 7.3). Die Fehlerraten von Sichtprüffehlern, die bei der visuellen Inspektion und beim nachfolgenden ICT gefunden wurden, schwanken zwischen 0,3% und 4%.

Auffällig an diesem Kurvenverlauf ist zum einen, daß die Fehlerrate der Sichtprüfung zwar zeitweise über der Fehlerrate des ICT liegt (z.B. zwischen 9 und 12 Uhr), aber sich meistens darunter bewegt. Zum anderen gibt es Phasen (z.B. zwischen 9 und 15 Uhr), in welcher die beiden Kurven sich im Gleichklang befinden, d.h. beide Werte bewegen sich von einer Stunde zur anderen entweder beide nach oben oder beide nach unten. Es gibt aber auch Phasen einer gegenläufigen Entwicklung der Fehlerraten (z.B. zwischen 15 und 22 Uhr).
Die durchschnittliche biologische Tagesrhythmik des Menschen (vgl. Bild 4.12) bzw. die davon abhängigen Veränderungen der physiologischen Leistungsbereitschaft läßt sich mit den Kurven im Bild 7.3 nicht bestätigen. Beim zugrunde liegenden Datenmaterial kann man davon ausgehen, daß der ICT nur noch das an Fehlern findet, was die Sichtprüfung übersehen hat. Dann könnte man bei vorsichtiger Interpretation der Fehlerraten annehmen, daß die Prüfpersonen zwischen 9.00 Uhr und 11.59 Uhr sowie in der Stunde nach 14.00 Uhr und in der Stunde nach 20.00 Uhr ein Leistungshoch aufweisen, denn in diesen Zeiträumen liegt die Fehlerrate der visuellen Inspektion über der ICT-Fehlerrate.

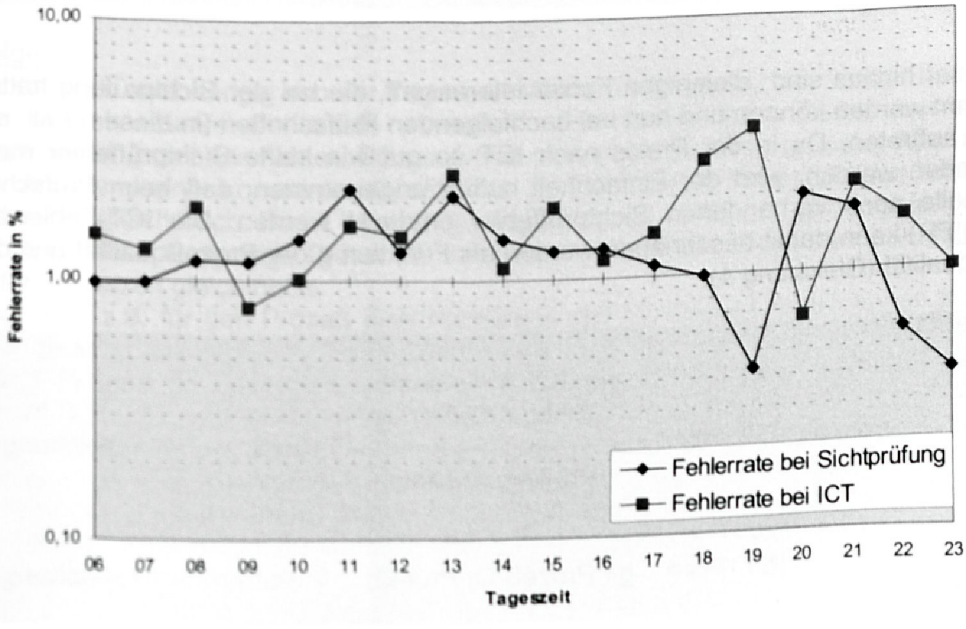


Bild 7.3: Langzeitauswertung der Sichtprüffehler einer Baugruppe

Um aus der Betrachtung der beiden Fehlerraten weitere Schlüsse ziehen zu können, werden zunächst die dargestellten Fehlerraten und ihre Berechnung erläutert und im Anschluß daran wird in Kapitel 7.2 ein theoretisches System zur grafischen Analyse solcher Kurvenverläufe entwickelt und vorgestellt.

7.1.3 Fehlerraten als Basiskennzahl

Ausgehend von den beteiligten Prozessen und deren Qualität werden einige Vorüberlegungen angestellt über die Entwicklung von Fehlerraten im Tagesverlauf.

Die Fehlerrate, die nach einem Prozeßschritt (z.B. Bestücken, Löten) bei der Sichtprüfung auftritt, hängt zum einen ab von der Prozeßqualität. Zum anderen spielt die Prüfung (als eigener Prozeß betrachtet) und mit ihr die Prüfqualität mit in das Fehlerergebnis hinein. Betrachtet man alle sonstigen Einflüsse auf den Prozeß als zum Prozeßschritt gehörend, dann hängt die Fehlerrate, die bei der Sichtprüfung entdeckt wird, nur von der Prozeß- und der Prüfqualität ab, d.h. von der Qualität des Sichtprüfprozesses an sich. Untersucht werden soll die Fehlerrate bei der Sichtprüfung (SP_FR) als Funktion f der Prozeßqualität und der Prüfqualität (Gleichung 2).

$$\text{Sichprüffehlerrate} = SP_FR = \frac{\text{Fehleranzahl}}{\text{Prüflingsanzahl}} * 100\ \% \qquad \text{(Gleichung 1)}$$

$$SP_FR = f\,(\text{Prozeß-Q, Prüf-Q}) \qquad \text{(Gleichung 2)}$$

Darüber hinaus sind diejenigen Fehler interessant, die bei der Sichtprüfung hätten erkannt werden können und nun bei nachfolgenden Prüfschritten (in diesem Fall: nur ICT) auftreten. Da in der Praxis nach ICT so gut wie keine Sichtprüffehler mehr gefunden werden, wird der Einfachheit halber angenommen, daß beim Prüfschritt ICT alle noch vorhandenen Sichtprüffehler entdeckt werden. Die ICT-Fehlerrate (ICT_FR) kann damit beschrieben werden als Funktion g der Prozeßqualität und der Prüfqualität (Gleichung 4).

$$\text{ICT-Fehlerrate} = ICT_FR = \frac{\text{von ICT gefundene Sichtprüffehler}}{\text{Prüflingsanzahl}} * 100\ \% \qquad \text{(Gleichung 3)}$$

$$ICT_FR = g\,(\text{Prozeß-Q, Prüf-Q}) \qquad \text{(Gleichung 4)}$$

7.2 System der grafischen Analyse

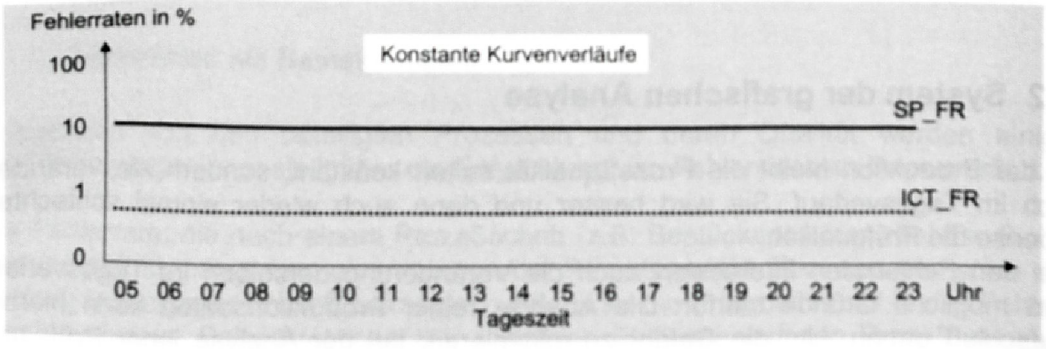
In der Produktion bleibt die Prozeßqualität selten konstant, sondern sie verändert sich im Tagesverlauf. Sie wird besser und dann auch wieder einmal schlechter. Ebenso die Prüfqualität.
Bei den Fehlerraten interessiert auch die Veränderung derselben im Tagesverlauf und mögliche Gründe hierfür. Die Analyse realer Produktionsdaten kann hierbei Aufschluß geben. Um die Gefahr zu minimieren, bei der Analyse jener Prüf- und Fehlerdaten falsche Schlüsse zu ziehen, sollen zunächst einige „Idealfälle" untersucht werden.

7.2.1 Fall 1: Gleichbleibende Prozeß- und Prüfqualität

Annahme:
Die Prozeßqualität schwankt nicht im Tagesverlauf und die Prüfqualität der Sichtprüfung schwankt ebensowenig im Tagesverlauf, das heißt:

Prozeß-Qualität = const. und Prüf-Qualität = const.

Folge:
Es kommen unabhängig von der Tageszeit ständig Prüflinge bei der Sichtprüfung an, die eine konstante Fehlerrate aufweisen. Die Sichtprüfung findet nun einen bestimmten Anteil der Fehler. Dieser Anteil muß nicht 100 Prozent sein. Aber unter der Annahme einer konstanten Qualität der Sichtprüfung ist der gefundene Anteil zu jeder Zeit gleich hoch. Damit ist auch zwangsläufig der Anteil der später gefundenen Sichtprüffehler festgelegt. Dieser ist unter den getroffenen Annahmen ebenfalls zu jeder Tageszeit gleich hoch.
Legt man z.B. für den Prozeß eine Fehlerrate von 11 Prozent zugrunde, so könnte sich diese aufteilen in eine Sichtprüffehlerrate von 10 Prozent und eine Fehlerrate von 1 Prozent an Sichtprüffehlern, die bei nachfolgenden automatischen Testsystemen (z.B. ICT) entdeckt werden (Bild 7.4, oben). Die erwähnte Sichtprüffehlerrate bedeutet im Klartext, daß in jeder Stunde durchschnittlich auf jeder 10. FBG ein Fehler von der Sichtprüfung gefunden wurde. Die ICT-Fehlerrate zu einer bestimmten Uhrzeit steht für diejenigen Sichtprüffehler, die später beim ICT noch auf denjenigen FBG gefunden wurden, welche zu eben jener Uhrzeit an der visuellen Inspektion geprüft wurden.



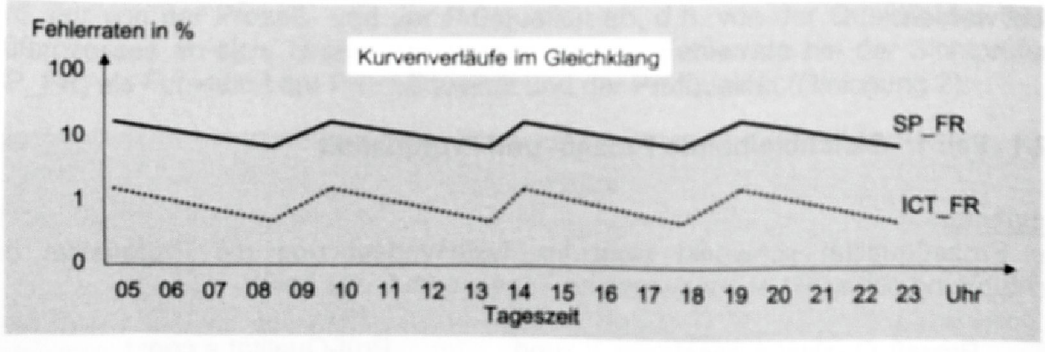


Bild 7.4: Fehlerraten im Tagesverlauf, unter der Annahme einer konstanten Prüfqualität bei visueller Inspektion

7.2.2 Fall 2: Schwankende Prozeßqualität bei konstanter Prüfqualität

Annahme: Die Prozeßqualität schwankt im Tagesverlauf aber die Prüfqualität der Sichtprüfung ist nach wie vor konstant über den Tagesverlauf.

Folge: Die Qualität der Prüflinge, bei der Sichtprüfung ankommen, schwankt auch im Tagesverlauf. Bei gleichbleibender Qualität der Sichtprüfung führt das zu ebenfalls schwankenden Werten bei der gefundenen Fehlerrate. Die Sichtprüfung findet bei mehr vorhanden Fehlern auch mehr Fehler. Das muß nicht heißen, daß sie alle Fehler finden wird. Es werden bei einer Zunahme an Fehlern auf dem Prüling auch mehr Fehler von nachfolgenden Prüfschritten entdeckt. (Bild 7.4, unten). In diesem Fall sind die Kurvenverläufe nicht mehr konstant. Zwar immer noch parallell, aber mal steigend, mal fallend.

7.2.3 Fall 3: Konstante Prozeßqualität bei schwankender Prüfqualität

Annahme: Die Prozeßqualität schwankt nicht im Tagesverlauf aber die Prüfqualität der Sichtprüfung schwankt im Tagesverlauf (evtl. durch nachlassende Konzentration vor den Pausen oder gegen Schichtende).

Folge: Es kommen unabhängig von der Tageszeit ständig Prüflinge bei der Sichtprüfung an, die eine konstante Fehlerrate aufweisen. Veränderungen der SP_FR rühren damit aus Veränderungen der Prüfqualität. Davon ist auch zwangsläufig der Anteil der später gefundenen Sichtprüffehler betroffen: Wenn die Sichtprüfung nicht mehr soviele Fehler entdeckt, obwohl konstant viele vorhanden sind, dann wird der

nachfolgende Prüfschritt mehr Fehler finden (Bild 7.5, oben). In diesem Fall sind die Kurvenverläufe gegenläufig.

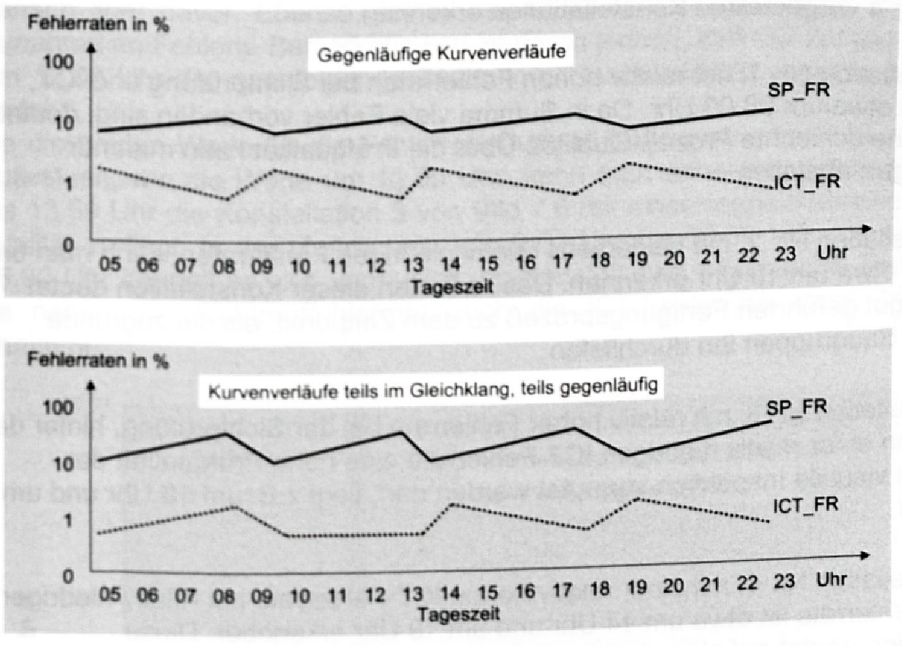


Bild 7.5: Fehlerraten im Tagesverlauf, unter der Annahme einer schwankenden Prüfqualität bei visueller Inspektion

7.2.4 Fall 4: Schwankende Prozeß- und Prüfqualität

Annahme: Die Prozeßqualität schwankt im Tagesverlauf und die Prüfqualität der Sichtprüfung schwankt im Tagesverlauf.
Folge: Die Qualität der Prüflinge, die bei der Sichtprüfung ankommen, und die Prüfqualität verändern sich im Tagesverlauf.
In der SP_FR und der ICT_FR wirken sich die Folgen einer schwankenden Prozeß-Q und einer sich verändernden Prüf-Q aus. Beide Faktoren unterliegen eigenen Gesetzmäßigkeiten und werden sich in ihrem Einfluß auf die SP_FR und auf die ICT_FR überlagern (Bild 7.5, unten). In diesem Fall entwickeln sich die Kurvenverläufe zeitweise parallell, teilweise divergieren oder konvergieren sie auch.

In der folgenden Tabelle (Bild 7.6) sind elementare Konstellationen und mögliche Ursachen zusammengestellt.

K-Nr.	ICT_FR	SP_FR	mögliche Ursachen	
1	rel. hoch	rel. hoch	niedrige Prozeß-Q	?
2	rel. niedrig	rel. niedrig	hohe Prozeß-Q	?
3	rel. niedrig	rel. hoch	?	hohe Prüf-Q
4	rel. hoch	rel. niedrig	?	niedrige Prüf-Q

Bild 7.6: Elementare Konstellationen

Die in der Tabelle mit Nr. 3 und 4 bezeichneten Konstellationen sind vermutlich am interessantesten für die Belange der Sichtprüfung. In der unteren Hälfte von Bild 7.5 kann man alle 4 vorgestellten Konstellationen erkennen.

- Die Konstellation Nr. 1, mit relativ hohen Fehlerraten bei Sichtprüfung und ICT, findet man etwa um 08.00 Uhr. Da in Summe viele Fehler vorhanden sind, deutet dies auf eine schlechte Prozeß-Qualität. Über die Prüfqualität kann man nur Vermutungen anstellen.

- Die Konstellation Nr. 2, mit beiderseits relativ niedrigen Fehlerraten, kann man um 5 Uhr und etwa um 10 Uhr erkennen. Das Auftreten dieser Konstellation deutet auf einen gut geführten Fertigungsprozeß zu dem Zeitpunkt, als die zugrunde liegenden Baugruppen ihn durchliefen.

- Die Konstellation Nr. 3, mit relativ hoher Fehlerrate bei der Sichtprüfung, hinter der aber wegen einer relativ niedrigen ICT-Fehlerrate eine hohe Prüfqualität des Prozesses visuelle Inspektion vermutet werden darf, liegt z.B. um 18 Uhr und um 23 Uhr vor.

- Die Konstellation Nr. 4, mit einer relativ hohen ICT-Fehlerrate bei relativ niedriger Sichtprüffehlerrate ist etwa um 14 Uhr und um 19 Uhr erkennbar. Diese Konstellation deutet auf eine niedrige Prüfqualität, da der ICT überdurchschnittlich viele Fehler findet, obwohl die Sichtprüfung nur vergleichsweise wenig entdeckte.

7.3 Diskussion realer Produktionsdaten

Bei der Vorstellung und Diskussion der folgenden Daten aus der Elektronikproduktion interessiert die Frage, ob man die in Kapitel 7.2 theoretisch erläuterten 4 Konstellationen auch in solchen Auswertungen ablesen kann, die Daten aus einem längeren Auswertungszeitraum heranziehen. Ein zweiter interessanter Gesichtspunkt sind möglicherweise die Tageszeiten, an welchen die unterschiedlichen Konstellationen auftreten.

7.3.1 Langzeitauswertung vieler verschiedener Baugruppen

In Bild 7.7 erfolgt eine Gegenüberstellung der zu verschiedenen Tageszeiten bei visueller Inspektion und ICT gefundenen Sichtprüffehler vieler Baugruppen. Der Auswertung liegen Prüf- und Fehlerdaten von etwa 3 Monaten zugrunde, wobei an jedem Tag in Summe mehr als 4000 elektronische Baugruppen unterschiedlicher Art gefertigt und geprüft wurden.

Die mit Rauten gekennzeichneten Werte der Sichtprüffehlerrate schwanken um die 10%-Marke. Etwa ab 09.00Uhr bis zum Ende des Arbeitstages fällt die Fehlerrate der Sichtprüfplätze von ca. 12,1% auf 8,2% ab. Wenn die nachfolgenden Testautomaten (ICT) nicht im gleichen Maße mehr Fehler finden, könnte das bedeuten, daß sich die Produktionsprozesse im Tagesverlauf immer besser einschwingen.

Die Fehlerrate der visuellen Inspektion (Raute) um 09.00 Uhr (Durchschnittswert für die Zeit zwischen 09.00Uhr und 09.59 Uhr) ist höher als die Werte in der Stunde danach oder davor. Ebenso gibt es um 12.00 Uhr und um 15.00 Uhr eine kleine Zunahme an Fehlern. Bemerkenswert ist daran jedoch, daß nur bei dem Fehlergipfel um 12.00 Uhr der nachfolgende Testautomat auch wirklich weniger Sichtprüffehler findet.
Da die beiden Werte für die Fehlerraten um 13.00 Uhr eine ähnliche Charakteristik aufweisen, wie die Werte um 12.00 Uhr, kann man annehmen, daß von 12.00 Uhr bis 13.59 Uhr die Konstellation 3 von Bild 7.6 mit einer vergleichsweise hohen Prüfqualität vorliegt. In den Zeiträumen von 9.00 Uhr bis 10.00 Uhr und von 15.00 bis 16.00 Uhr handelt es sich vermutlich um Konstellation 1 (schlechte Prozeßqualität), da neben der Sichtprüffehlerrate auch die ICT-Fehlerrate einen höheren Wert annimmt.

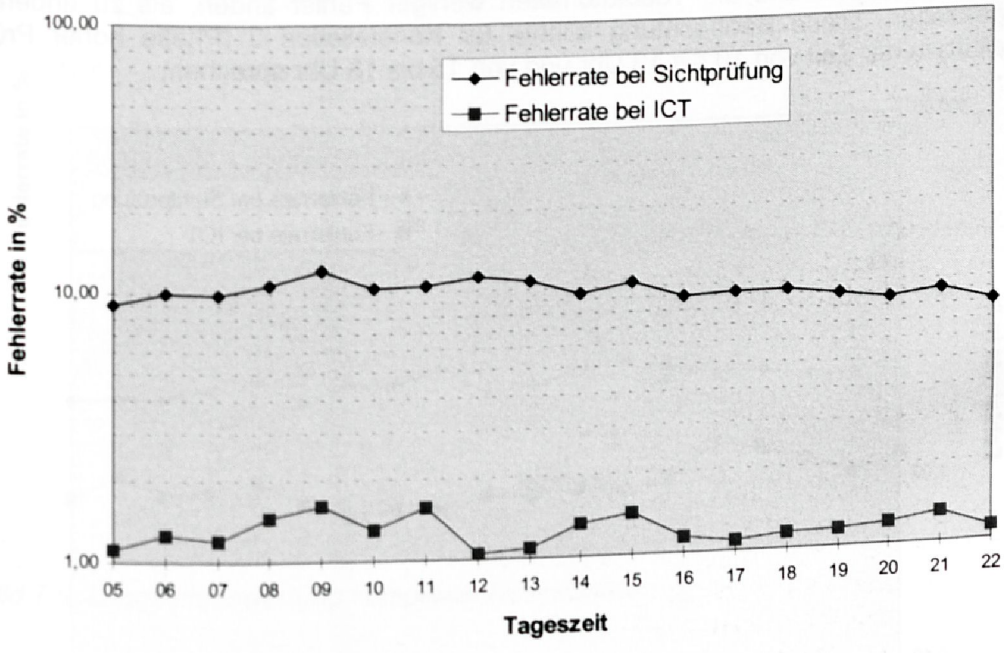


Bild 7.7: Langzeitauswertung vieler Baugruppen über gefundene Sichtprüffehler im Stundenraster

Beim Aufspüren der Ursachen für den Fehlergipfel um 15 Uhr ist es hilfreich zu wissen, wieviel Minuten nach dem Durchlaufen der Bestück- oder Lötprozesse verstreichen, ehe die Baugruppen einer Sichtprüfung unterzogen werden. Sind es ca. 30 - 90 Minuten, dann könnten die Ursachen für den Fehlergipfel um 15 Uhr bei Schichtwechselproblemen liegen. Ist die Zeitspanne größer, dann könnte es Sinn machen, den Einfluß der Mittagspause auf die Produktionsprozesse näher zu untersuchen.

7.3.2 Langzeitauswertung über Baugruppen mit relativ hoher Qualität

Fokussiert man in der letzten Auswertung (Bild 7.7) nur auf Baugruppen hoher Qualität, dann ergibt sich ein anderer Kurvenverlauf.
In Bild 7.8 ist zu sehen, wie die Fehlerrate der Sichtprüfung um die 4%-Marke schwankt. Die Fehlerrate des ICT bewegt sich jetzt nicht mehr auf der 1%-Linie, sondern sie liegt zwischen 13 und 19 Uhr auch komplett darunter.
Beim Rückgang der Sichtprüffehlerrate um 18.00 Uhr (Mittelwert für die Zeit von 18.00 Uhr bis 18.59 Uhr) ist deutlich zu erkennen, daß der ICT deutlich mehr Fehler findet als in der Stunde davor.

Zwischen 09.00 Uhr und 10.00 Uhr und zum Schichtwechsel zwischen 14.00 Uhr und 15.00 Uhr werden kleine Pausen oder Besprechungen abgehalten. Es fällt auf, daß jeweils in den Zeiten nach diesen Pausen bei der Sichtprüfung mehr Fehler gefunden werden und die Testautomaten weniger Fehler finden, als zu anderen Tageszeiten. Diese Beobachtung könnte für Konstellation 3 (Phase hoher Prüfqualität) in der Zeit von 10 bis 13 Uhr und von 15 bis 18 Uhr sprechen.

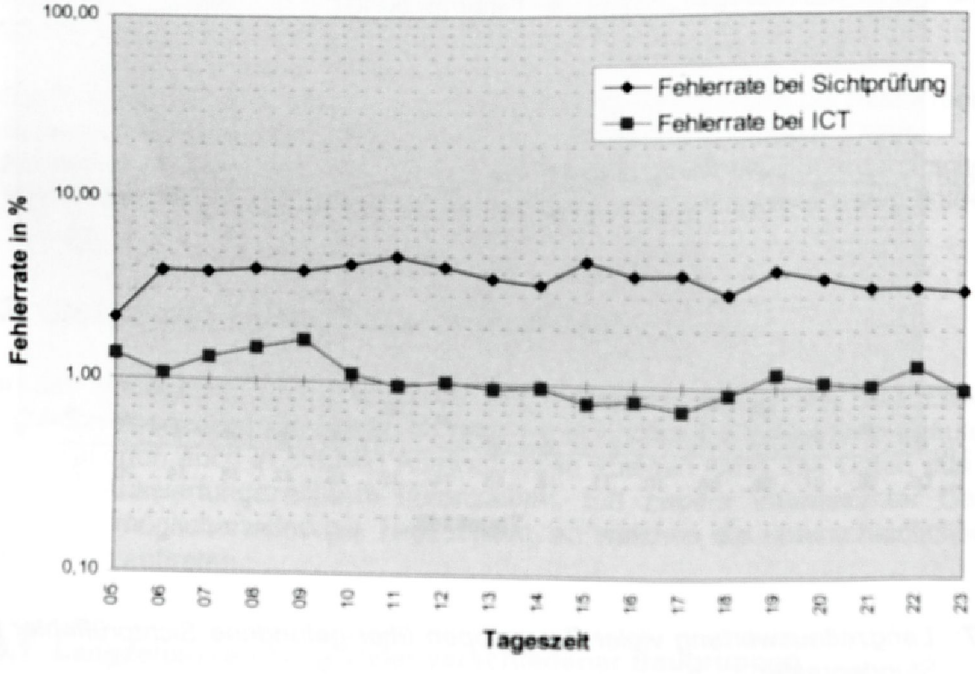


Bild 7.8: Gegenüberstellung der bei visueller Inspektion und ICT gefundenen Sichtprüffehler von Baugruppen mit hoher Qualität

7.3.3 Langzeitauswertung über komplexe Baugruppen

Die in Bild 7.9 dargestellte Auswertung beinhaltet nur relativ komplexe Baugruppen. Als Maß für die Komplexität kann dabei die Anzahl der Bauteilanschlüsse auf einer Baugruppe dienen. In der vorliegenden Auswertung sind nur Baugruppen mit mehr als 1900 Anschlüssen enthalten.

Auffallend in dieser Auswertung ist wieder die relativ hohe Sichtprüffehlerrate um 09.00 Uhr, sowie ein zweiter hoher Wert um 13.00 Uhr.
Beim Anstieg um 09.00 Uhr findet der ICT weniger, um 13.00Uhr findet er mehr Sichtprüffehler als jeweils in der Stunde vorher. Zwischen 9 und 10 Uhr kann man daher auf eine vergleichsweise hohe Prüfqualität schließen, während zwischen 13 und 14 Uhr Baugruppen geprüft wurden, bei denen vermutlich die Prozeßqualität einen Einbruch hatte.

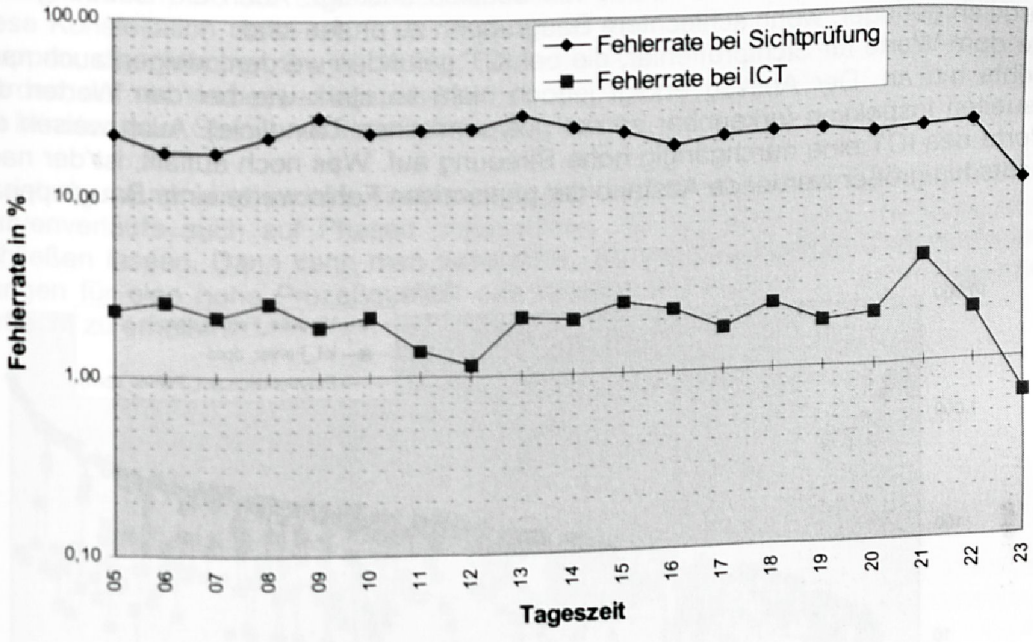


Bild 7.9: Langzeitauswertung komplexer Baugruppen

7.4 Folgerungen für die Bedeutung der Sichtprüfung

Derzeit ist die Sichtprüfung noch an vielen Produktionslinien im Einsatz. In den meisten Werken hat sie eine stärkere Bedeutung für die Fehlerentdeckung als die automatischen Testsysteme. Es zeigen sich jedoch Gründe, daß sich dieser Zustand zugunsten von AIS verschieben wird. Erwähnenswert sind an dieser Stelle die zunehmende Miniaturisierung, die höheren Packungsdichten auf den Baugruppen und daß dadurch immer mehr Bauteile von anderen verdeckt werden.

Ein weiterer nicht zu unterschätzender Grund ist der erreichte Qualitätslevel in der Produktion. Wie auch die vorangegangen Überlegungen in Kapitel 4.3 belegen, ist es für den Menschen sehr schwierig, auf guten Leiterplatten mit sehr wenigen Fehlern diese wenigen Fehler zu finden. Umgekehrt kann man festhalten, daß mit schlechter werdendem Qualitätswert einer Baugruppe der Anteil der Fehler, die bei

der visuellen Inspektion gefunden werden, überproportional ansteigt. Diese Aussage wird in der folgenden Analyse von Bild 7.10 belegt.

In Bild 7.10 sind für viele unterschiedliche Baugruppen je 2 dpm-Werte aufgetragen: Der dpm-Wert aus den Sichtprüffehlern, die bei visueller Inspektion gefunden wurden, ist als Raute eingetragen und der jeweilige dpm-Wert von Sichtprüffehlern, die beim ICT gefunden werden, ist als Quadrat dargestellt. Links im Diagramm finden sich eher gute Baugruppen und nach rechts hin werden die Baugruppen zunehmend schlechter (erkennbar an den höheren Fehlerwerten).
Betrachtet man die Menge der Rautenmarkierungen, so fällt auf, daß sie annähernd eine Kurve bilden, die nach rechts hin deutlich ansteigt. Auch die Streuung wird merklich geringer, wenn schlechtere Baugruppen zu prüfen sind.
Die dpm-Werte für Sichtprüffehler, die bei ICT gefunden werden, steigen auch nach rechts hin an. Der Anstieg erfolgt jedoch nicht so stark wie bei den Werten der visuellen Inspektion (erkennbar an der polynomischen Trendlinie). Auch weisen die Werte des ICT eine durchgängig hohe Streuung auf. Was noch auffällt, ist der nach rechts hin größer werdende Abstand der paarweisen Fehlerwerte einer Baugruppe.

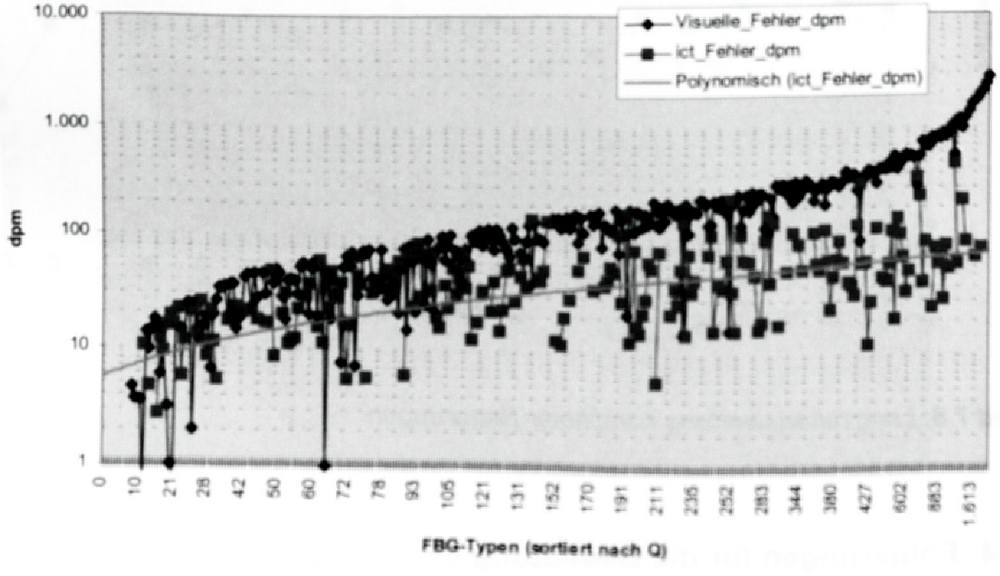


Bild 7.10: Gegenüberstellung der dpm-Werte von Sichtprüfung und ICT je Baugruppe (sortiert nach abnehmender Qualität)

In Entwicklung, Produktion und Planung wird daran gearbeitet, daß die Produkte fehlerfreier gefertigt werden können und daß die Produktionsprozesse stabiler werden. Wenn die Qualität künftig weiter steigen wird, dann wird es immer weniger Leiterplatten und Prüfplätze geben, an denen der Mensch als Prüfer die wenigen vorhandenen Fehler noch entdecken kann. Dann sind andere Methoden notwendig, um den erreichten Qualitätslevel zu halten und weiter zu verbessern. Dies können weitere Verbesserungen und direkte Überwachungen an den Produktionsprozessen

und/oder der Einsatz leistungsfähigerer automatischer Inspektionssysteme (z.B. Röntgen) sein.
In Elektronikwerken jedoch, die noch auf absehbare Zeit mit visueller Inspektion prüfen werden, lohnt sich eine genauere Betrachtung und Analyse der tageszeitlichen Fehlerschwankungen bei ICT und an Sichtprüfplätzen.

Eine mögliche Strategie, die vorgestellten Kurvenverläufe auszuwerten, besteht darin, nach Fehlerhäufungen zu suchen, Zeiten schlechter Prozeßqualität auszumachen und deren Ursachen aufzudecken.
Sucht man in den Kurvenverläufen von Bild 7.3, Bild 7.7, Bild 7.8 und Bild 7.9 nach Zeitabschnitten, die auf eine schlechte Prozeßqualität hindeuten, so fällt auf, daß diese Konstellation meist um 9 Uhr und um 21 Uhr auftritt. Damit weisen die Baugruppen, die zwischen 9 und 10 Uhr und zwischen 21 und 22 Uhr visuell geprüft werden, auf ein Verbesserungspotential an den Bestück- und Lötprozessen hin, die sie Minuten oder Stunden vorher durchlaufen haben.

Es ist aber auch eine andere Analysestrategie möglich. Man kann die vorgestellten Kurvenverläufe auch auf Phasen untersuchen, die auf eine hohe Prozeßqualität schließen lassen. Dann kann man versuchen, die dabei ermittelten Rahmenbedingungen für eine hohe Prozeßqualität und niedrige Fehlerraten zu jeder Tageszeit aufrecht zu erhalten.

8 Wissensbasierte Fehlerursachenermittlung

Die bisherigen Ausführungen, speziell in Kapitel 2.1 und 3.1 zeigen, daß es von strategischer Bedeutung ist, nicht nur die Fehlersymptome zu berücksichtigen, sondern informationstechnisch den Weg in Richtung Fehlerursachen und Abhilfemaßnahmen zu beschreiten. Es wird ein Ansatz vorgestellt, der sich nicht mit Berichterstattung über Fehlersymptome begnügt, sondern den Weg in Richtung Fehlerursachenermittlung einschlägt. Damit wird die Sammlung und Verdichtung von Information über Fehlerauswirkungen ergänzt um die Verarbeitungsmöglichkeit von Fehlerursachen und geeigneten Abhilfemaßnahmen.

Wo es vom Aufwand her vertretbar und vom Ablauf her sinnvoll ist, wird man die Information über die Fehlerursache und Abhilfemaßnahme für jeden Fehler bei dessen Auftreten bzw. beim Einleiten der Maßnahme erfassen. Nun gibt es in der Praxis auch Fälle, bei denen die Erfassung dieser Angaben bei jedem Fehler zu einem untragbaren Aufwand führen würde. Dazu sind im folgenden zwei Ansätze aufgeführt, die helfen können, den Eingabeaufwand zu minimieren ohne alle Auswertungsmöglichkeiten zu verlieren.

- Jeder Fehler wird erfaßt, jedoch nur mit einem Teil der Fehlerattribute.
- Zu jedem Fehler werden alle Fehlerattribute erfaßt, jedoch nur für einen begrenzten Zeitraum.

Im ersten Fall können zwar über die erfaßten Attribute sehr exakte Aussagen getroffen werden, zu den restlichen Attributen sind ohne Kenntnis irgendwelcher Abhängigkeiten keinerlei Auswertungen möglich.

Der zweite Ansatz erlaubt einfache Auswertungen nach allen Fehlerattributen. Diese Auswertungen sind jedoch nur für einen begrenzten Berichtszeitraum gültig. Langzeitauswertungen können nur mittels Hochrechnungen über der Stückzahl erstellt werden, wobei man Gefahr läuft, veränderte Fehlerschwerpunkte aufgrund von Fehlerabstellmaßnahmen nicht zu erkennen.

Die Nachteile der beiden vorgestellten Ansätze können durch ihre Kombination weitgehend kompensiert werden. Der daraus resultierende dritte Lösungsweg ist in Bild 8.1 dargestellt.

Wie im 2. Fall werden für einen begrenzten Zeitabschnitt zu allen Fehlern alle Fehlerattribute erfaßt. Dabei wird versucht, alle Abhängigkeiten und Zusammenhänge zwischen möglichst rationell erfaßbaren Fehlerattributen und den restlichen Attributen zu erkennen und in einer geeigneten Wissensbasis abzulegen. Damit sind die Voraussetzungen gegeben, zu jedem Fehler nur einen Teil seiner Attribute erfassen zu müssen, aber durch die Informationen in der Wissensbasis die fehlenden Attribute generieren zu können.

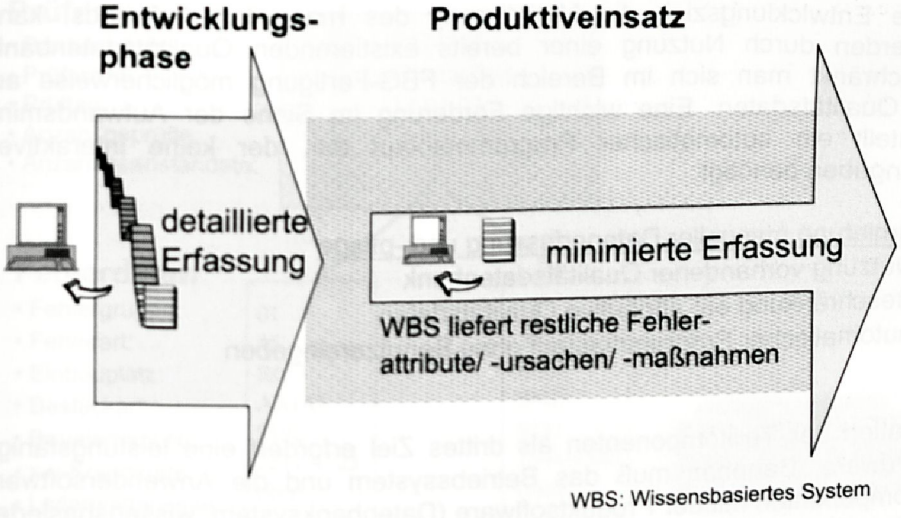


Bild 8.1: Reduzierung erfaßter Fehlerattribute nach einer Phase detaillierter Erfassung

8.1 Entwicklungsziele und Aufbau eines Qualitätsregelkreises

8.1.1 Entwicklungsziele

Die Anforderungen an den aufzubauenden Qualitätsregelkreis und das wissensbasierte System ergeben sich aus den Entwicklungszielen:

1) Fehlerreduzierung in der Produktion

2) Minimierung manueller Datenerfassung und -pflege

3) Zusammenführung aller am Qualitätsregelkreis beteiligten Teilkomponenten auf einer Systemumgebung (Integration)

Beiträge zur Fehlerreduzierung können geliefert werden von einer systematischen Planung von Abhilfemaßnahmen auf der Basis bekannter Fehlerursachen. Dazu muß vorher eine Fehlerursachenermittlung stattfinden. Schließlich kann durch eine Überwachung der positiven Auswirkung der Maßnahmen eine Fehlerreduzierung sichergestellt und die Wirksamkeit unterschiedlicher Maßnahmen beurteilt werden. Damit ergeben sich für das erste Entwicklungsziel die folgenden Teilziele:

<u>Fehlerreduzierung in der Produktion</u>
⇒ Diagnose von Fehlerursachen
⇒ Planung von Abhilfemaßnahmen
⇒ Überwachung der Qualitätsverbesserung

Das zweite Entwicklungsziel, die Minimierung des manuellen Aufwands, kann erreicht werden durch Nutzung einer bereits existierenden Qualitätsdatenbank. Damit beschränkt man sich im Bereich der FBG-Fertigung möglicherweise auf attributive Qualitätsdaten. Eine wichtige Forderung im Sinne der Aufwandsminimierung stellt ein automatischer Programmablauf dar, der keine interaktiven Benutzereingaben benötigt.

Minimierung manueller Datenerfassung und -pflege
⇒ Nutzung vorhandener Qualitätsdatenbank
⇒ Beschränkung auf attributive Qualitätsdaten
⇒ automatischer Programmablauf ohne Benutzereingaben

Die Integration der Teilkomponenten als drittes Ziel erfordert eine leistungsfähige Systemhardware. Daneben muß das Betriebssystem und die Anwendersoftware aller Teilkomponenten mit der Produktsoftware (Datenbanksystem, wissensbasiertes System) abgestimmt sein.

Integration der Teilkomponenten
⇒ leistungsfähige Systemhardware
⇒ Einsatz abgestimmter Softwaremodule

Die Vorteile der ersten beiden Entwicklungsziele liegen auf der Hand. Beide dienen einer Aufwands- und Kostenreduzierung. Das letzte Ziel ermöglicht einen vereinfachten Informationsaustausch zwischen Teilkomponenten.

8.1.2 Aufbau eines Qualitätsregelkreises

Der Qualitätsregelkreis verfolgt das Ziel, durch Beobachtung des Prozeßverhaltens (ablesbar an den Produkt- und Fehlerdaten) geeignete Maßnahmen abzuleiten, die den Fertigungs- und Montageprozeß in einem positiven Sinne beeinflussen. Anschaulich dargestellt ist dieser Zusammenhang im Regelkreismodell der Produktion in Bild 3.21.

Um effektive Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung ergreifen zu können, muß bekannt sein, welche Fehlerursachen sich hinter den Fehlern verbergen. Die Fehlerdaten enthalten aus Gründen des Erfassungsaufwandes meist keine expliziten Angaben zu den Fehlerursachen. Eine Qualitätsdatenbank zur attributiven Qualitätsdatenverarbeitung enthält in der Regel eine große Zahl von Prüf- und Fehlerdaten.

Die Prüfdaten enthalten Angaben zur Grundgesamtheit der geprüften Produkte, wie z.B. Produkt-Typ, Prüfschritt, Prüfdatum und Stückzahlen. Die Fehlerdaten enthalten neben einem Verweis auf die zugehörigen Produktdaten noch Angaben zum Fehlersymptom und zu den Fehlerattributen (Bild 8.2). Die Begriffe *Prüfschritt* und *Prüfstufe* können im folgenden synonym zum Begriff *Prüfplatzart* verwendet werden.

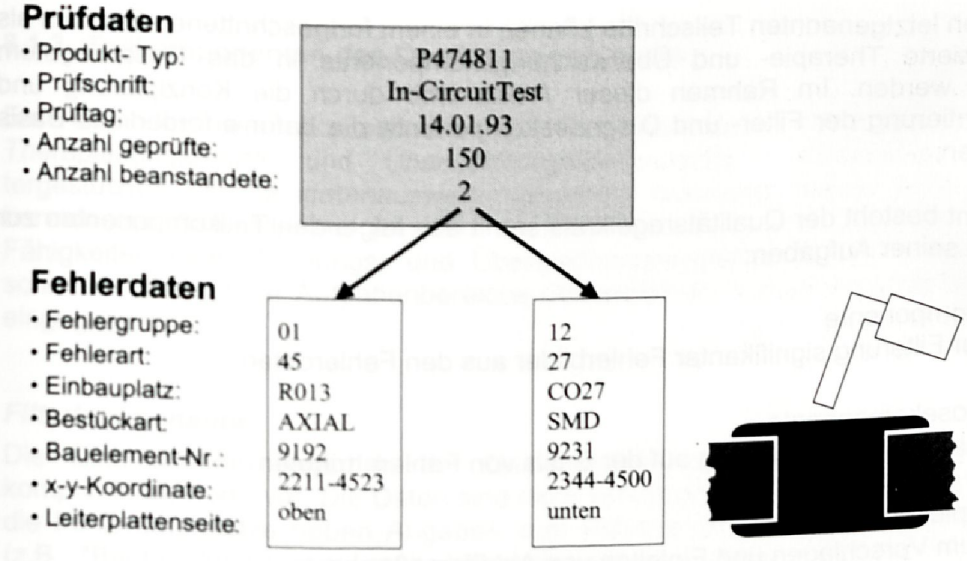


Bild 8.2: Strukturbeispiel zu Prüf- und Fehlerdaten

Da täglich Tausende solcher Datensätze neu in die Datenbank aufgenommen werden, kann man ohne computerunterstützte Auswerteverfahren sehr schnell den Überblick verlieren. Durch eine umfassende Auswertung der Fehlersymptome, wie sie etwa mit einem wissensbasierten System möglich ist, können Relationen zwischen den einzelnen Fehlersätzen hergestellt werden, die auf Schwerpunkte bei den Fehlerursachen hinweisen. Sind die wichtigsten Fehlerursachen bekannt, so können gezielte Maßnahmen eingeleitet werden, um sie zu beseitigen.

Die Schwierigkeit liegt nun darin, von den Fehlerdaten auf die Fehlerursachen zu schließen. Unter der Voraussetzung, daß nicht alle Fehler den gleichen Aussagewert besitzen und daß Kombinationen von Fehlerattributen Hinweise auf mögliche Fehlerursachen geben, läßt sich die Komplexität in zwei Stufen reduzieren:

1) Steigern der Übersichtlichkeit durch Konzentrierung auf die wesentlichen Fehlersätze (Herausfiltern signifikanter Fehlerbilder)

2) Sammeln von Hinweisen auf bestimmte Fehlerursachen durch Analysieren der Fehlerattribute

Durch Einführung von 2 Zwischenschritten kommt man damit von den Fehlerdaten über "signifikante Fehlerbilder" (Ausschluß aller unwichtigen Fehlerdaten) auf die vermutlichen Fehlerursachen durch eine umfassende Berücksichtigung aller Fehlerattribute. Sind erst einmal die Fehlerursachen bekannt und den einzelnen Fehlern zugeordnet, dann können vom System Abhilfemaßnahmen vorgeschlagen werden. In einem weiteren Schritt sollte der Erfolg der vorgeschlagenen Abhilfemaßnahmen überwacht werden.

Die beiden letztgenannten Teilschritte können in einem fortgeschrittenen Stadium als automatisierte Therapie- und Überwachungskomponente in das Gesamtsystem integriert werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird durch die Konzipierung und Implementierung der Filter- und Diagnosekomponente die dafür erforderliche Basis geschaffen.

Insgesamt besteht der Qualitätsregelkreis somit aus folgenden Teilkomponenten zur Erfüllung seiner Aufgaben:

- Filterkomponente
  zur Filterung signifikanter Fehlerbilder aus den Fehlerdaten
- Diagnosekomponente
  zur Ursachenermittlung auf der Basis von Fehlerattributen
- Therapiekomponente
  zum Vorschlagen und Einleiten von Abhilfemaßnahmen
- Überwachungs- oder Optimierungskomponente
  zur Verfolgung der Effektivität der Maßnahmen

Das Zusammenwirken der vier Komponenten in einem Regelkreis ist in Bild 8.3 anschaulich dargestellt und wird im Abschnitt 8.1.3 erläutert.

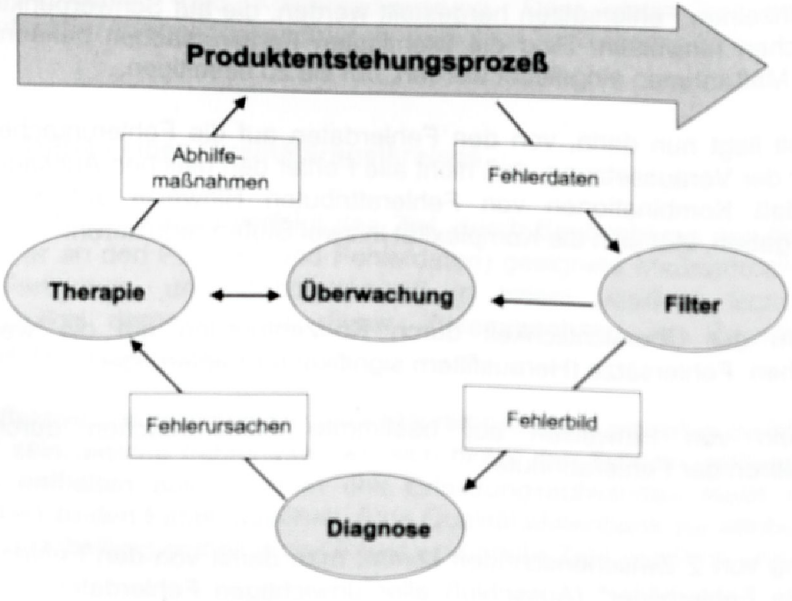


Bild 8.3: Zusammenwirken eines Qualitätsregelkreises mit Filter-, Diagnose- und Therapiekomponente

8.1.3 Teilkomponenten des Qualitätsregelkreises

Ein aus den vier Komponenten - *Filterkomponente, Diagnosekomponente, Therapiekomponente* und *Überwachungskomponente* - bestehendes computergestütztes Qualitätsdatenauswertungssystem beinhaltet neben dem Problembereich der Datenfilterung (signifikante Datenextraktion) und Diagnose auch die Fähigkeiten eines Planungs- und Überwachungssystems. In den folgenden Abschnitten wird auf die Aufgabenbereiche der einzelnen Komponenten jeweils näher eingegangen.

Filterkomponente

Die Qualitätsdaten liegen in der Qualitätsdatenbank in detaillierter und nicht komprimierter Form vor. Die Daten sind nicht vorinterpretiert. Insbesondere enthalten die Fehlerdatensätze neben Angaben zum Fehlercode, der ein Symptom darstellt (z.B. "Bauteil fehlt"), nur noch Informationen zu einigen Fehlerattributen. Eine Minimalforderung an die benötigten Ausgangsdaten sind die Prüfergebnisse jeder geprüften Produkteinheit für jede durchlaufenen Prüfplatz.

Aufgabe der Filterkomponente ist es, die datenmäßigen Voraussetzungen zu schaffen, um die Ursachendiagnose starten zu können. Dazu müssen die Qualitätsdaten der Produkttypen selektiert werden, die an einer bestimmten Prüfstufe und bezogen auf einen bestimmten Prüfzeitraum ein *auffälliges Fehlerbild* aufweisen. Unter einem *Fehlerbild* eines Produkttyps versteht man eine Kombination von Einzelfehlern des betrachteten Produkttyps. Die Signifikanz eines Fehlerbildes ist u. a. von der persönlichen Haltung des Benutzers und vom Einsatzumfeld abhängig. Deshalb ist es wichtig, daß die Kriterien für signifikante Fehlerbilder parametrierbar sind. In Kapitel 8.2 wird ein Konzept vorgestellt, das der Ermittlung auffälliger Fehlerbilder dient und diese im Detail erläutert.

Schließlich müssen die vom Filtersystem ermittelten Fehlerbilder der Diagnosekomponente zur Weiterverarbeitung in geeigneter Weise bereitgestellt werden.

Diagnosekomponente

Aufgabe der Diagnosekomponente ist es, für die von der Filterkomponente gefundenen signifikanten Fehlerbilder die verantwortlichen Ursachen aufzuspüren. Die potentiellen Ursachen für jeden einzelnen Fehler sind dabei bekannt (Bild 8.4). Durch Analyse der aus den Fehlerdaten erhebbaren Informationen - Fehler am Produkt (bzw. Fehlersymptome) und zugehörige Fehlerattribute - gilt es, die Anzahl der in Frage kommenden Ursachen einzuschränken und eventuell exakt zu bestimmen.

Grundsätzlich können als Ursachensymptome die vom Qualitätsdatenverarbeitungsystem erfaßten spezifischen Fehlermerkmale und vom Benutzer zu erfragende äußere Umstände des Fertigungsprozesses herangezogen werden. Bei der angestrebten vollautomatischen Ursachendiagnose kann jedoch nur auf die in der Qualitätsdatenbank erfaßten Fehlermerkmale zurückgegriffen werden.

Fehler-code	Fehlertext	Ursachen-Nr.	Ursachentext
0101	Bauteil fehlt	11	Automatenjustierung, Positioniersicherheit
		15	Bestückprogramm nicht auf neuestem Stand
		19	Bedienung des Bestückautomaten
		35	Fehlerhafte Fertigungsunterlagen
		41	Löthilfe fehlt oder mangelhaft
		49	Bedienung der Lötanlage
		...	
0170	Schalter Lage	6	Bauteilschlüssel ungünstig gewählt
		39	Personeller Fehler Handbestückung
		41	Löthilfe fehlt oder mangelhaft
		51	Erschütterung bei Transport
		...	
0215	Durchkontaktierung	41	Löthilfe fehlt oder mangelhaft
		59	Handhabung, Handling
		61	Bauteil-Fehler
		...	
0410	LP beschädigt	11	Automatenjustierung, Positioniersicherheit
		19	Bedienung des Bestückautomaten
		39	Personeller Fehler Handbestückung
		41	Löthilfe fehlt oder mangelhaft

Bild 8.4: Fehlermerkmale mit potentiellen Fehlerursachen

Aufgrund des nicht verfügbaren externen Wissens, aber auch wegen unterschiedlicher Ansichten oder mangelnden Kenntnissen und Erfahrungen bezüglich der Symptombewertung (Beziehungen zwischen Symptomen und ihren Ursachen sind oft vage und mehrdeutig) ist es nicht immer möglich, die exakten Ursachen zu ermitteln. In manchen Fällen können auch zu hohe Kosten einer exakten Ursachenermittlung im Wege stehen. Das Ergebnis der Diagnose ist dann eine eingegrenzte Ursachenliste je Fehlerbild, die mit "Wahrscheinlichkeitswerten" gewichtet ist. Am Ende der Diagnose stehen die ermittelten Ursachen dann zur Verfügung. Sie können entweder von der Therapiekomponente für die Planung von Abhilfemaßnahmen benutzt werden oder vom Systemanwender ausgewertet werden. Bei Rückmeldung der wirklichen Ursachen durch den Anwender kann das Regelkreismodell im Sinne einer adaptiven Diagnose /142/ ergänzt werden und es kann mit den Vorteilen eines solchen Konzepts betrieben werden.

Therapie- und Überwachungskomponente

Nach dem Aufspüren der Fehlerursachen kann die Therapiekomponente Maßnahmen zur Fehlerbehebung vorschlagen. Bei der Planung von Abhilfemaßnahmen spielt die Ausnutzung und Einbeziehung von Nebenbedingungen der Problemlösung eine wichtige Rolle. Exakte Kenntnisse über die realen Konstruktions-, Planungs- und Fertigungsprozesse der einzelnen Produkte sind deshalb erforderlich.

Die Therapiekomponente benötigt neben den Fähigkeiten eines Planungssystems auch die Fähigkeiten eines Prognosesystems. Damit können aus der gegebenen Situation heraus Vorhersagen über die Konsequenzen von geplanten Fehlerbehebungsmaßnahmen gemacht und die vorgeschlagene Therapie durch ihr voraussichtliches Verhalten begründet werden. In diesem Zusammenhang ist auch der Einsatz von Simulationssystemen denkbar, um durch die Betrachtung von unterschiedlichen Szenarien die einzelnen Maßnahmen evaluieren zu können.

Eine Überwachungskomponente vervollständigt das vorliegende Q-Auswertesystem zu einem selbständig-"lernenden" System. Modifikationen von Programmen und Wissensbasen durch den Wissensingenieur oder Fachbereichsexperten sind lediglich eine Wissensfortschreibung bzw. eine Wartungstätigkeit, aber kein "maschinelles Lernen" /124/.

Die Überwachungskomponente hat die Wirkung aller vorgeschlagenen Maßnahmen zu bewerten. Dazu wird die aus den Fehlerdaten ablesbare tatsächliche Qualitätsveränderung mit der von der Therapiekomponente prognostizierten Veränderung verglichen.

Bei späteren Entscheidungen über Abhilfemaßnahmen in ähnlichen Fehlersituationen können die gesammelten Erfahrungen bereits von Nutzen sein. Auf diese Weise ist es möglich, den Qualitätsregelkreis aufzuwerten und nachfolgende Durchläufe des Qualitätsregelkreises auf einer höheren Ebene der Problemlösungskompetenz ablaufen zu lassen. Dadurch erfolgt beim wiederholten Durchlaufen der QRK-Elemente der Einstieg in eine neue Dimension: von einer Kreisbewegung in der Ebene zu einer schraubenden Bahn im dreidimensionalen Raum.

8.2 Entwurf der Filterkomponente

Die vorgestellten Komponenten des Qualitätsregelkreises können sequentiell ablaufen, basierend jeweils auf dem Ergebnis der vorangegangenen Komponente. Eine Ausnahme bildet die Filterkomponente, die als Ausgangsdaten die verfügbaren Qualitätsdaten (Produkt- und Fehlerdaten) benutzt. Die einzelnen Bearbeitungsschritte müssen zeitlich jedoch nicht unmittelbar nacheinander ausgeführt werden. Daher können die einzelnen Komponenten in selbständigen, voneinander unabhängigen Programmen realisiert werden. Damit bietet dieses Konzept die Möglichkeit, entsprechend den spezifischen Eigenschaften des jeweiligen Problembereiches die jeweils optimalen Softwaretechnologien und Hilfsmittel einzusetzen.

In komplexen Problembereichen ist das direkte Schließen von Symptomen auf Diagnosen schwierig. Es wird deshalb oft der Weg über einen *diagnostischen Mittelbau* gewählt /104/. In Bild 8.5 ist dargestellt, wie man ausgehend von einer groben Interpretation der aktuellen Fehlerbilder (Filterkomponente) entlang einer Diagnosehierarchie zu immer präziseren Diagnosen gelangt (Diagnosekomponente).

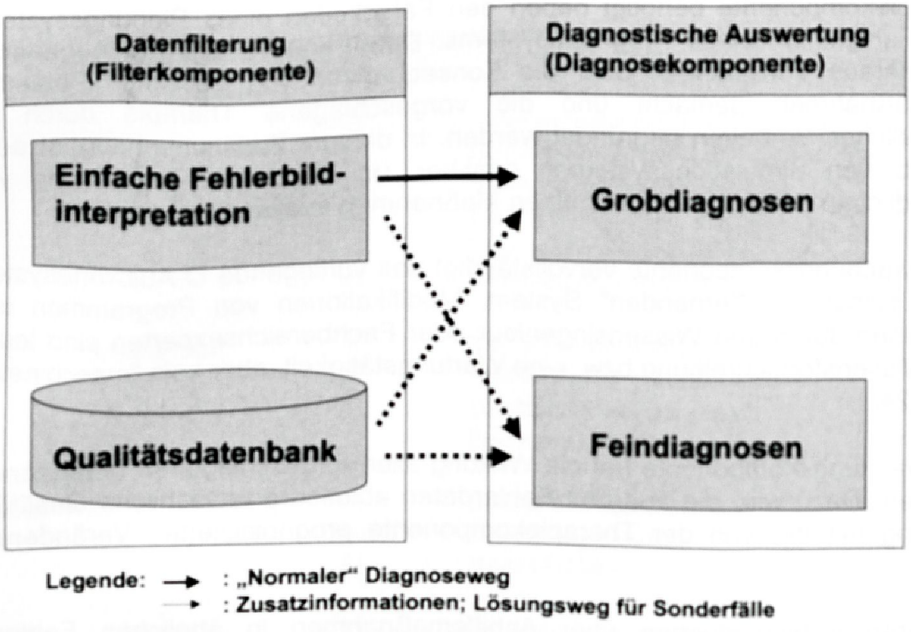


Bild 8.5: Struktur des diagnostischen Mittelbaus

Zu den einfachen Fehlerbildinterpretationen, die bei der Selektion der Rohdaten von der Filterkomponente ausgeführt werden gehören:

- **Abstraktion von quantitativen zu qualitativen Daten.** Die Einteilung von Qualitätsdaten in "verbessert", "unverändert" und "verschlechtert" bildet eine erste wichtige Basis für die weitere Verarbeitung der Rohdaten bis zur Enddiagnose.

- **Arithmetische Berechnungen.** Dazu gehört die Ermittlung von Fehlersummen und Kennzahlen wie Fehlerraten und dpm-Werte.

- **Gruppierung der Einzelfehler.** Ein Beispiel ist die Zusammenfassung aller Einzelfehler je Flachbaugruppe.

Für die beschriebene einfache Fehlerbildinterpretation werden aus der unverdichteten Menge aller Qualitätsdaten nur diejenigen berücksichtigt, die bezogen auf einen bestimmten Betrachtungszeitraum ein signifikantes Fehlerbild aufweisen.

8.2.1 Signifikante Fehlerbilder

Die Signifikanz eines Fehlerbildes ist in starkem Maße abhängig von den betrachteten Produkttypen, vom Verwendungszweck der Fehlerdiagnose und nicht zuletzt von den persönlichen, subjektiven Maßstäben, des jeweiligen Benutzers.

Ein Fehlerbild soll als auffällig, beachtenswert oder eben signifikant gelten, wenn es Einzelfehler enthält, die

- deutlich häufiger oder geringer als üblich auftreten
- besonders unangenehme Folgen nach sich ziehen
- aus bestimmten Gründen eine besondere Aufmerksamkeit verdienen.

Die letzten beiden Fälle können durch eine Kennzeichnung im Fehlerkatalog und eine einfache Selektion unproblematisch behandelt werden. Im ersten Fall spricht man von signifikanten Fehlerbildveränderungen. Ob sie zutreffen muß jedesmal aufs neue überprüft werden. Konzepte hierfür werden im Rest dieses Abschnitts vorgestellt.

Zunächst wird eine Reihe von Filterkriterien erläutert, die zur Ermittlung von Fehlerbildveränderungen entweder für sich allein oder auch in Kombination mit anderen verwendet werden können. Die Aufzählung erhebt wegen der bereits erwähnten subjektiven Maßstäbe keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

1) Aussagewert der geprüften Produkteinheiten: Falls dem Fehlerbild eines Produkttyps nur wenige geprüfte Produkteinheiten zugrunde liegen, so besitzt dieses Fehlerbild nur geringe Aussagekraft.

2) Fehleranzahl: Durch die Anzahl der Fehler auf den fehlerhaften Produkteinheiten wird das Ausfallverhalten in absoluten Werten beschrieben.

3) Fehlerrate: Sie wird durch das Verhältnis zwischen der Anzahl der fehlerhaften und geprüften Produkteinheiten definiert.

4) Rangverschiebung der Fehlergruppen: Für jede Fehlergruppe ist eine Rangnummer ermittelbar, je nach dem Fehleranteil der Fehlergruppe am Gesamtfehleraufkommen. Ändert sich diese Rangnummer, so kann dies als Filterkriterium benutzt werden.

5) Rangverschiebung der Fehlerarten: Innerhalb einer Fehlergruppe wird je Fehlerart eine Rangnummer berechnet.

6) Schwerpunkt-Fehlergruppe: Den Schwerpunkt aller Fehlergruppen bildet diejenige Fehlergruppe, der prozentual die meisten Einzelfehler des betrachteten Produkttyps zuzuordnen sind.

7) Schwerpunkt-Einzelfehler: Ermittelt wird dabei derjenige Einzelfehler, der unter allen aufgetretenen Einzelfehlern eines Produkttyps den größten Fehleranteil aufweist.

8) Schwerpunktfehler einer Fehlergruppe: Es wird je Fehlergruppe ein Haupt- oder Schwerpunktfehler ermittelt.

9) Schlupf: Unter einem Schlupf ist die Weitergabe von nicht entdeckten Fehlern, bezogen auf einen Prüfplatz zu verstehen. Die Schlupfwerte geben Hinweise auf mangelhaftes Arbeiten einzelner Prüfschritte.

Alle Punkte liefern einer Ursachendiagnose spezifische Informationen, die der Weiterverarbeitung dienen können. Die Punkte 1) bis 5) weisen darüber hinaus noch auf besonders betrachtenswerte Produkttypen hin.

Die beiden kennzeichnenden Bestandteile eines Einzelfehlers - Fehlergruppe und Fehlerart - bilden neben dem Fehler selbst die Grundlage für die soeben aufgeführten Filterkriterien. Es besteht die Möglichkeit, die Einzelfehler neben Fehlergruppe und Fehlerart bei Bedarf zusätzlich noch nach Bearbeitungsschritten zu untergliedern. Dies entspräche einer weiteren Verfeinerung der Filterkriterien.

Das erste Kriterium - Aussagewert der geprüften Einheiten - ist für alle Filterkriterien von grundsätzlicher Bedeutung und wird meistens zusammen mit einem oder mehreren anderen Kriterien verwendet.

Zum häufig verwendeten Begriff Fehlerrate noch einige grundsätzliche Anmerkungen: Mit "Produktfehlerrate" wird die Fehlerrate eines Produkttyps an einer bestimmten Prüfstufe bezeichnet. Von ihr abzugrenzen ist die "Einzelfehlerrate". Unter ihr versteht man die Fehlerrate eines Einzelfehlers unter Zugrundelegung eines Produkttyps und einer bestimmten Prüfstufe.

Die Berechnung von Fehlerraten bezieht sich immer auf einen bestimmten Zeitraum, den sogenannten Bezugszeitraum. Wertet man z.B. die Qualitätsdaten der letzten Woche aus und vergleicht dabei die Fehlerrate der letzten Woche mit der Fehlerrate des letzten Quartals, so kann man die letzte Woche als Berichtszeitraum und das letzte Quartal als Vergleichszeitraum bezeichnen. Der Berichtszeitraum und der Vergleichszeitraum sind demnach die jeweiligen Bezugszeiträume für die beiden gegenübergestellten Fehlerraten.

Das Fehlerbild eines Produkttypen ist durch seine spezifischen Einzelfehler charakterisiert. Genau genommen liegt eine Fehlerbildveränderung eines Produkttyps immer dann vor, wenn sich mindestens eine Einzelfehlerrate des Produkttyps verändert hat. Der Aufwand zur Ermittlung der signifikanten Fehlerbilder kann auf dieser Basis jedoch enorme Ausmaße annehmen. In diesen Fällen kann durch die Verwendung der Produktfehlerrate anstelle der Einzelfehlerrate der Auswertungsaufwand deutlich reduziert werden.

In diesem Fall werden bei einer veränderten Produktfehlerrate und einem ausreichendem Aussagewert der geprüften Produkteinheiten die Einzelfehler dieses Produkttyps an die Diagnosekomponente zur Ursachendiagnose weitergegeben. Da die Fehlerdaten eines Produkttyps grundsätzlich prüfstufenspezifisch ausgewertet werden, beziehen sich die übergebenen Fehlerdaten wiederum auf eine Prüfstufe und nicht auf den gesamten Fertigungsprozeß (Bild 8.6).

Prüfdaten	Berichtszeitraum	Vergleichszeitraum
Auswertezeit	01.07.93	01.03.93 - 30.06.93
Produkt-Typ	P474811	P474811
Prüfplatz	Sichtprüfen/Nachlöten	Sichtprüfen/Nachlöten
Anzahl der geprüften Produkt-Einheiten	200	10000
Anzahl der beanstandeten Produkt-Einheiten	42	1300
Produktfehlerrate	**0,21**	**0,13**

Bild 8.6: Produktfehlerrate

Wird als Filterkriterium die Produktfehlerrate anstelle der Einzelfehlerrate verwendet, so kann es dazu kommen, daß Fehlerbildveränderungen unentdeckt bleiben. Dies ist dann der Fall, wenn sich die Fehlerrate eines bestimmten Produkttyps nicht verändert hat und somit der Produkttyp nicht als betrachtenswert selektiert wird, obwohl sich z.B. einige Einzelfehlerraten dieses Produkttyps verändert haben (Bild 8.7).

Verursacht werden kann dieser Fall z.B. durch das vermehrte Auftreten von Einzelfehlern auf einem beanstandeten Prüfling. Anders formuliert: es treten mehr Einzelfehler auf, doch diese konzentrieren sich auf weniger Flachbaugruppen.

Aufgrund des möglichen Auftretens von unentdeckten Fehlerbildveränderungen ist als Filterkriterium die Einzelfehlerrate der Produktfehlerrate vorzuziehen. Was unter "Veränderung einer Fehlerrate" zu verstehen ist, läßt sich allgemein durch die folgenden Ungleichungen beschreiben:

a) Fehlerrate im Berichtszeitraum >(=) (Schwellwert + Toleranzbereich) der Vergleichsfehlerrate

b) Fehlerrate im Berichtszeitraum <(=) (Schwellwert - Toleranzbereich) der Vergleichsfehlerrate

Ungleichung a) greift bei einer Verschlechterung und Ungleichung b) bei einer Verbesserung der Fehlerrate. Das Hauptaugenmerk liegt wohl in den meisten Fällen auf der Ungleichung a) für die Fehlerratenverschlechterungen. Aber auch für die Fehlerbildverbesserungen kann eine Ursachendiagnose interessant sein, um z.B. die Wirksamkeit einer durchgeführten Verbesserungsmaßnahme zu verfolgen.

Prüfdaten	Berichtszeitraum	Vergleichszeitraum
Auswertezeit	01.07.93	01.03.93 - 30.06.93
Produkt-Typ	P474811	P474811
Prüfplatz	Sichtprüfen/Nachlöten	Sichtprüfen/Nachlöten
Anzahl der geprüften Produkt-Einheiten	200	10000
Anzahl der beanstandeten Produkt-Einheiten	26	1300
Produktfehlerrate	**0,13**	**0,13**
Fehlerbild mit Einzelfehler und Einzelfehlerrate in %	Bauteil fehlt **20** Pin verbogen 3 Lotbrücke 33	Bauteil fehlt **13** Pin verbogen 3 Lotbrücke 33 Durchkontakierung 7 Bauteilende zu lang 2

Bild 8.7: Veränderung der Einzelfehlerrate

Die folgende Überlegung basiert auch auf Fehlerbildverbesserungen. Durch die Kenntnis der Ursachen für Qualitätsverbesserungen können die betreffenden Ursachen noch stärker gefördert werden und tragen so zu weiteren Qualitätsverbesserungen bei. Da diese Art der Diagnose primär zum Aufgabengebiet einer Überwachungskomponente gehört und für die Fehlerursachenermittlung von untergeordneter Bedeutung ist, werden sich die folgenden Ausführungen auf die Fehlerbildverschlechterung beschränken.

Beim oben erwähnten Schwellwert kann es sich grundsätzlich um einen konstant vorgegebenen oder dynamisch aktualisierten (variablen) Wert handeln. Gleiches gilt auch für den Toleranzbereich, der jedoch nur in Verbindung mit einem variablen Schwellwert sinnvoll ist, da bei Verwendung eines konstanten Schwellwertes der Toleranzbereich vorab mit eingerechnet werden kann. In Bild 8.8 sind die möglichen Kombinationen anhand eines Beispiels erklärt. Bei Verwendung eines variablen Schwellwertes (berechnet aus der Fehlerrate des Vergleichszeitraumes) von 10% und bei konstant vorgegebenem Toleranzbereich (8%) wird eine Fehlerrate von weniger als 18% nicht als signifikante Fehlerbildveränderung angesehen und nicht der Fehlerursachenermittlung zugeführt.

	10 % (a)	Fehlerrate des Vergleichszeitraumes (b)	
Schwellwert:	konstant	variabel	
Toleranzbereich:		konstant	variabel
		10 % (c)	10% von der Fehlerrate des Vergleichszeitraumes (d)

Eine auffällige Fehlerbildverschlechterung liegt vor,
wenn z.B.:
(a) die Fehlerrate größer als 10% ist
(b) die Fehlerrate des Berichtszeitraumes größer als die des Vergl.-Zeitraumes ist
(c) die Fehlerrate des Berichtszeitraumes um mehr als 10% (Toleranzbereich) von der Fehlerrate des Vergleichszeitraumes (Schwellwert) abweicht
(d) die Fehlerrate des Berichtszeitraumes um mehr als 10% der Fehlerrate von der Fehlerrate des Vergleichszeitraumes (Schwellwert) abweicht

Bild 8.8: Beispiele zu Arten von Schwellwerten und Toleranzbereichen

Wegen der von unterschiedlichen und zum Teil subjektiven Bedingungen abhängigen Bewertung einer signifikanten Fehlerbildverschlechterung ist die Parametrierbarkeit von Schwellwert und Toleranzbereich wichtig. Je nach Bedarf können diese dadurch den besonderen Erfordernissen des jeweiligen Anwendungsgebietes angepaßt werden.

8.2.2 Statistische Vergleichswerte

In den bisherigen Betrachtungen wurde die Fehlerrate eines Vergleichszeitraumes als variabler Schwellwert vorgestellt. Aufgrund der großen Masse an Qualitätsdaten, die täglich neu erzeugt werden, liegt es nahe stattdessen den Erwartungswert der Fehlerrate (je Berichtszeitraum) als variablen Vergleichswert zu verwenden. Damit böte sich die Möglichkeit als variablen Toleranzbereich ein Vielfaches der Standardabweichung - dem Maß der Streuung für die einzelnen Fehlerraten einer Stichprobe - einzusetzen.

So besagt die "Zwei-Sigma-Regel" unter der Annahme, daß es sich um eine normalverteilte Grundgesamtheit handelt, daß die Wahrscheinlichkeit für die Abweichung von Einzelwerten um mehr als 2σ vom Erwartungswert gleich 0,046, also kleiner 5% ist /14/. Fehlerraten außerhalb dieses Toleranzbereichs von 2σ sind demnach relativ selten und verdienen deswegen eine besondere Betrachtung.

Der Erwartungswert der Fehlerrate wird über das arithmetische Mittel der Fehlerraten der Stichprobe berechnet. Als Zeiteinheit für die Ermittlung der einzelnen Fehlerraten der Stichproben wird der jeweils gewünschte Berichtszeitraum verwendet, damit den zu vergleichenden Fehlerraten die gleiche Zeiteinheit zugrunde liegt. Im vorliegenden Fall handelt es sich beim Berichtszeitraum meist um einen Tag.

Die Bedeutung und Aussagekraft des arithmetischen Mittels kann nur im Zusammenhang mit dem Wert der Standardabweichung richtig abgeschätzt werden. Der Wert der Standardabweichung hängt als Absolutwert stark vom Wert des arithmetischen Mittels ab. Ohne Zusatzangaben ist sie als Maß für die Streuung nicht zu gebrauchen. Die Streuung läßt sich besser durch den sogenannten Variationskoeffizienten (CV) ausdrücken, bei dem die Standardabweichung relativiert wird durch das arithmetische Mittel:

$$\text{Variationskoeffizient CV} = \frac{\text{Standardabweichung}}{\text{arithmetisches Mittel}} * 100$$

Eine Faustregel besagt, daß Variationskoeffizienten von mehr als 50% eine starke Inhomogenität der „statistischen Masse" erkennen lassen und dies in einem Ausmaß, das die Verwendung des arithmetischen Mittels kaum noch für gerechtfertigt erscheinen läßt. In solchen Fällen könnte nur "mit Gewalt" ein Mittelwert gebildet werden. Mittelwerte sind demnach sinnvoll, wenn ein Minimum von Ähnlichkeiten innerhalb der statistischen Grundgesamtheit gegeben ist /123/.

Eine weitere interessante Frage stellt sich im Zusammenhang mit dem Mittelwert: Mit welcher Wahrscheinlichkeit liegt das arithmetische Mittel der statistischen Grundgesamtheit innerhalb des relativ engen Streubereiches des arithmetischen Mittels der Stichprobe? An dieser Stelle hilft das "zentrale Grenzwerttheorem" weiter: Unabhängig von der Verteilung der Grundgesamtheit wird das Stichprobenmittel normalverteilt sein, wenn nur der Stichprobenumfang eine gewisse Mindestgröße umfaßt. Als Mindestumfang der Stichprobe (n) kann dabei etwa n = 30 angesehen werden, wenn es lediglich um die Feststellung des wahren Mittels der Grundgesamtheit geht. Soll auch die Streuung der Grundgesamtheit berechnet werden können, dann muß der Stichprobenumfang mindestens n = 100 betragen /123/.

Im Rahmen einer Voruntersuchung kann für den jeweiligen Anwendungsfall festgestellt werden, ob und inwieweit statistische Vergleichswerte in der Filterkomponente sinnvoll eingesetzt werden können. Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß die Verwendung von Mittelwert und Standardabweichung bei der Auswertung von statistischen Daten gerechtfertigt ist, wenn

1. der Variationskoeffizient kleiner als 50% ist und

2. der Stichprobenumfang mindestens n=30 bzw. n=100 beträgt.

Bei einer konkreten Voruntersuchung in einem Elektronikwerk für speicherprogrammierbare Steuerungen stellte sich heraus, daß die Produktfehlerraten eine

sehr starke Streuung aufweisen. Für jede Kombination aus Produkttyp und Prüfstufe wurde der Erwartungswert und der Variationskoeffizient der Produktfehlerrate für einen Bezugszeitraum von einem Tag ermittelt. Die Auswertung basierte auf einem Zeitraum von einem halben Jahr. In einer Ergebnisübersicht (Bild 8.9) ist die Anzahl der Betrachtungseinheiten (Produkttyp, Prüfstufe) aufgeschlüsselt, die hinsichtlich der Häufigkeit ihres Auftretens (Stichprobenumfang n) und des Variationskoeffizienten die jeweiligen Bedingungen erfüllen.

Variations-koeffizient (CV) / Umfang der Stichprobe (n)	CV < 50	CV >= 50	Summe
n < 30	106	185	291
30 <= n < 100	20	85	105
n >= 100	7	16	23
Summe	133	286	419

Verwendung von Mittelwert gerechtfertigt

Verwendung von Mittelwert und Standardabweichung gerechtfertigt

Bild 8.9: Analyse der statistischen Grundgesamtheit

Die Analyse der statistischen Grundgesamtheit zeigt deutlich, daß die Verwendung von Mittelwert und Standardabweichung nur für wenige Betrachtungseinheiten (7 von insgesamt 419) gerechtfertigt ist. Problematisch ist vor allem die Überschreitung des Grenzwertes CV = 50 durch den Variationskoeffizienten in einer Vielzahl von Fällen. Der teilweise zu geringe Stichprobenumfang könnte durch eine Erweiterung des Gesamtauswertungszeitraumes vergrößert werden. Eine Verringerung des Variationskoeffizienten kann auf diese Art jedoch nicht erreicht werden. Dies ist nur durch eine ausgeglichenere Fertigungsqualität möglich.

Ein weiteres Problem, das aus Bild 8.9 nicht hervorgeht aber doch die Voruntersuchung erschwert, ist die stark schwankende Anzahl der geprüften Einheiten je Betrachtungseinheit und Bezugszeitraum. Wurden z.B. an einem Tag wenig Einheiten geprüft, so fallen dabei aufgetretene Fehler relativ stark ins Gewicht. Die Voruntersuchung kann auch dadurch erschwert werden, wenn aus Gründen der Datenkomprimierung Daten der Betrachtungseinheiten von Tages- auf Monatswerte verdichtet werden. Die Analyse der Grundgesamtheit in einem Elektronikwerk hat gezeigt, daß der Gebrauch von Erwartungswert und Standardabweichung als Schwellwert bzw. Toleranzgrenze beim Filterkriterium Fehlerrate in den meisten

Fällen nicht gerechtfertigt ist. Die Verwendung von statistischen Methoden bei den Filterkriterien hat nur dort eine praktische Bedeutung, wo die Voraussetzungen für das statistische Datenmaterial gegeben sind.

8.3 Entwurf einer wissensbasierten Diagnosekomponente

Nachdem die signifikanten Fehlerbildveränderungen bekannt sind, müssen nun deren Ursachen diagnostiziert werden. Aufgrund der strukturellen Eigenschaften des Problemfeldes - unsicheres Wissen, individuelle Lösungswege usw. - bietet sich für die Entwicklung des Diagnosesystems der Einsatz wissensbasierter Methoden an /44, 79, 96/.

Die wissensbasierte Diagnose ist der bisher erfolgreichste Anwendungsbereich von Expertensystemen. Es ist einer der Bereiche, in dem wissensbasierte Techniken bereits im praktischen Einsatz und nicht nur an Modellbeispielen erfolgreich angewendet werden.
Nach /104/ bezeichnet Diagnostik einen Lösungsprozeß mit folgenden Eigenschaften:

- Der Problembereich besteht aus zwei explizit gegebenen, disjunkten Mengen von Problemmerkmalen (Symptomen) und Problemlösungen (Diagnosen) und aus typischerweise unsicherem, vagem Wissen über Beziehungen zwischen Symptomen und Diagnosen.
- Ein Problem ist durch eine eventuell unvollständig gegebene Teilmenge der Symptome charakterisiert.
- Die Lösung eines Problems besteht aus einer oder mehreren Diagnosen.
- Wenn die Qualität der Problemlösung durch Erfassung zusätzlicher Symptome verbessert werden kann, so ist eine Teilaufgabe der Diagnostik zu bestimmen, ob und welche zusätzlichen Symptome angefordert werden sollen (vgl. Kapitel 8.4.2 und 8.4.3).

8.3.1 Grundtypen wissensbasierter Diagnoseverfahren

Bei der Darstellung und Auswertung diagnostischen Wissens kann man drei wesentliche Verfahren unterscheiden: Die statistische, die assoziative und die modellgestützte Diagnose.

Die Wissensbasis **statistischer Diagnosesysteme** besteht im wesentlichen aus einer Historie von bekannten, erfolgreichen Diagnosen. Mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren, beispielsweise des Theorems von Bayes oder der Dempster-Shafer-Theorie, läßt sich die Wahrscheinlichkeit des Zutreffens einer Diagnose beim Vorliegen bestimmter Symptome berechnen. Diese Methode hat nur eingeschränkte praktische Bedeutung, da zu viele Voraussetzungen für das statistische Datenmaterial erfüllt sein müssen. Es muß eine ausreichend große Historie von Symptomen, Ursachen und Maßnahmen erfaßt sein und die Einzelsymptome dürfen nicht miteinander korrelieren. /103/

Assoziative (heuristische) Diagnostik-Expertensysteme basieren auf Erfahrungswissen von Experten statt auf statistisch ausgewerteten Daten. Ihre Validierbarkeit ist aufgrund des subjektiven Wissens der Experten wesentlich schwieriger als bei statistischen Ansätzen. Von Vorteil ist jedoch, daß sie alle Aspekte des diagnostischen Problemlösens behandeln können und breit einsetzbar sind, da weit schwächere Voraussetzungen zu ihrer Anwendbarkeit erfüllt sein müssen, als dies bei statistischen Ansätzen der Fall ist /104/.

Das Wissen assoziativer Diagnostik besteht hauptsächlich aus Symptom-Diagnose-Assoziationen. Demgegenüber beruhen **modellbasierte Systeme** auf kausalem Ursache-Wirkung-Wissen, das heißt auf den exakten Zusammenhängen bezüglich der Struktur und Funktion der zu untersuchenden Komponenten. Ein Vergleich der drei Diagnosemodelle ist in Bild 8.10 dargestellt.

	Statistische Ansätze	**Assoziative Ansätze**	**Modellbasierte Ansätze**
Wissen	Falldaten	Erfahrungsregeln	kausale Modelle
Lösbarkeit komplexer Probleme	-	0	+
Anwendungs-spektrum	- (+)	+	0
Effizienz	0	+	-
Qualität Erklärung	-	0	+
Objektivier-barkeit	+ (-)	-	0

(- : gering, 0 : mittel, + : hoch)

Bild 8.10: Vergleich von Diagnostikmodellen nach /104/

Da im vorliegenden Anwendungsfall der Qualitätsdatenauswertung die Bedingungen für einen modellbasierten oder statistischen Ansatz nicht erfüllt sind, ist die assoziative Diagnose als alleiniges Diagnoseverfahren einsetzbar.

8.3.2 Diagnosebewertung

Bisher haben weder die theoretischen Studien noch die existierenden Systeme die Überlegenheit eines bestimmten Ansatzes zur Evidenzverknüpfung bei der Diagnosebewertung zeigen können. Hinzu kommt, daß in vielen Fällen eine kategorische Diagnosebewertung nicht möglich ist. Selbst wenn alle Fakten für oder gegen eine Fehlerursache sprechen, bleibt oft ein Rest an Unsicherheit, der es verbietet, eine Diagnose völlig auszuschließen oder mit letzter Sicherheit anzunehmen. Deshalb werden in assoziativen Diagnosesystemen den Hypothesen meist Gewichtungen zugeordnet, die den Grad des Vertrauens in ihre Richtigkeit ausdrücken sollen /82/. Probabilistische Gewichtungen sind eine Art Notbehelf, wenn es keine sicheren, kategorischen Begründungen für eine Diagnose gibt. Quantifiziert werden die Gewichtungen meist mit Zahlen, die als Wahrscheinlichkeitsgewichte, Evidenzwerte, Sicherheits- oder Konfidenzfaktoren bezeichnet werden und deren genaue Bedeutung vom Berechnungsschema abhängt.

Menschen schätzen Wahrscheinlichkeiten in der Regel nur sehr grob und jeder legt bei der Beurteilung des gleichen Sachverhaltes andere Maßstäbe an. Die zugrundeliegenden Verrechnungsmethoden sind deshalb entsprechend einfache, an die Anforderungen der Anwendung angepaßte "Ad-hoc-Verfahren". Mit Ausnahme der statistischen Verfahren besteht ihre Rechtfertigung kaum in einer theoretischen Fundierung sondern in Erfolgen in der Praxis. Neben den probabilistischen Sicherheitsfaktoren wird zur Verarbeitung von unsicheren Informationen bei der Entwicklung von Expertensystemen auch die sogenannte symbolische Methode eingesetzt. Sie bringt die Unsicherheit nicht durch Gewichte sondern verbal zum Ausdruck. Ein drittes Verfahren, welches unsicheres Wissen mit wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden behandelt, findet bei Problemen kleiner und mittlerer Komplexität kaum Anwendung /41/.

Weitere Techniken zur Etablierung von Diagnosen sind das Vorgehen über einen gut strukturierten **diagnostischen Mittelbau** (vgl. Kap. 8.2) oder die Anwendung unterschiedlicher Formen nicht-monotoner Logik, welche sich vor allem zur Darstellung von unvollständigen Wissens eignen /104/.

8.3.3 Kontrollstrategien

In Bild 8.11 sind die wichtigsten Strategien für die wissensbasierte Diagnose zusammengefaßt /104/:

- Vorwärts-Schließen (Forward-Reasoning): Ausgehend von den eingegebenen Symptomen werden alle anwendungsbereiten Produktionsregeln ausgewertet und somit alle grundsätzlich möglichen Schlußfolgerungen gezogen.

- Rückwärts-Schließen (Backward-Reasoning): Ausgehend von einem Ziel (z.B. mögliche Fehlerursache) werden alle Regeln ausgewertet, die das vorgeschlagene Ziel untermauern können. Falls Symptome zur Auswertung der Regeln fehlen, werden sie vom Benutzer oder anderen Quellen (z.B. Datenbank) erfragt.

- Stufenweises (hierarchisches) Verfeinern (Establisch Refine): In einer baumartigen Diagnosehierarchie arbeitet sich das Expertensystem von einer groben Einordnung des Problems (Grobdiagnosen) über Verfeinerungsstufen (Zwischendiagnosen) zur endgültigen Lösung vor (Enddiagnosen).

- Hypothesen generieren und testen (Hypothesize-and-Test): Aus den Beschwerden des Benutzers werden durch Vorwärts-Schließen Verdachtshypothesen generiert, die anschließend gezielt durch Rückwärts-Schließen überprüft werden.

- Differentialdiagnostik: Die Idee der mit allen anderen Diagnostik-Strategien kombinierbaren Differentialdiagnostik besteht darin, Diagnosen mit ähnlicher Symptomatik relativ zueinander zu bewerten. Die letztendlich gewählte Diagnose muß sowohl um ein bestimmtes Maß besser sein als ihre Konkurrenten wie auch ein gewisses Minimalgewicht aufweisen. Dies erfordert, daß sämtliche Differentialdiagnosen daraufhin überprüft werden müssen, ob sie noch nicht gefeuerte spezielle Diagnoseregeln besitzen, deren potentieller Evidenzzuwachs ausreicht, die momentane Diagnose zu überbieten.

Strategie	Komplexitätsreduktion	Beschreibung
Vorwärtsschließen und Rückwärts-schließen	**keine**	**Erschöpfende Breiten- bzw. Tiefensuche**
Stufenweises Verfeinern	**hierarchisches Vorgehen**	**Hierarchischen Lösungsbaum abarbeiten**
Hypothesen generieren und testen	**Direktes Aktivieren der interessantesten Hypothesen (flexibles und stufenweises Verfeinern)**	Initialisierung → Verdachtsgenerierung ⇄ Verdachtsüberprüfung
Differential-diagnostik	**Reduktion eines Problems auf eine geschlossene Menge von Alternativen**	**Diffe-renzial-diagnosen** D1 D2 D3 D4 **ausgeschlossen** **etabliert**

Bild 8.11: Problemlösungsstrategien für Diagnostik-Expertensysteme

8.4 Symptome und Diagnosestrategie

In Kapitel 8.3 wurde erwähnt, daß der Problembereich der Diagnostik durch zwei explizit gegebene disjunkte Mengen von Problemmerkmalen - den Symptomen und Diagnosen - charakterisiert ist. Ein zu analysierendes Problem ist durch eine eventuell unvollständige Teilmenge der Symptome gekennzeichnet. Die Lösung des Problems besteht dabei aus einer oder mehreren Diagnosen.

8.4.1 Symptome

Die Symptome bei der Ursachendiagnose in der Qualitätsdatenauswertung können grundsätzlich in die durch das Qualitätsdatenverarbeitungssystem erfaßten spezifischen Fehlermerkmale eines Produkttypen und in die vom Benutzer zu erfragenden äußeren Umstände des Fertigungsprozesses untergliedert werden. Wenn wie im vorliegenden Fall die computerunterstützte Auswertung vollautomatisch durchgeführt werden soll, scheidet die zweite Gruppe von Symptomen zur Bestimmung der

Diagose von vornherein aus (vgl. Bild 8.12). Zur vollautomatischen Diagnose kann diese Gruppe von Symptomen dann herangezogen werden, wenn Eingangs- und Umweltparameter des Fertigungsprozesses in der Qualitätsdatenbank zusätzlich mit erfaßt werden. Dies wäre eine Grundvoraussetzung für eine effektive und detaillierte Fehlerursachendiagnose. Bei einer vollautomatischen Diagnose bieten die zur Verfügung stehenden Daten nur die Möglichkeit, eine grobe Eingrenzung aller in Frage kommenden Ursachen vorzunehmen. Die endgültige, feine Diagnose ist danach vom jeweiligen Fachexperten vorzunehmen.

Die vom Qualitätsdatenverarbeitungssystem erfaßten Symptome lassen sich unterscheiden nach "Leitsymptomen", die eine Diagnose auslösen und "Zusatzsymptomen", die vom Diagnoseprozeß zur Eingrenzung der möglichen Ursachen zusätzlich erhoben werden (Bild 8.12).

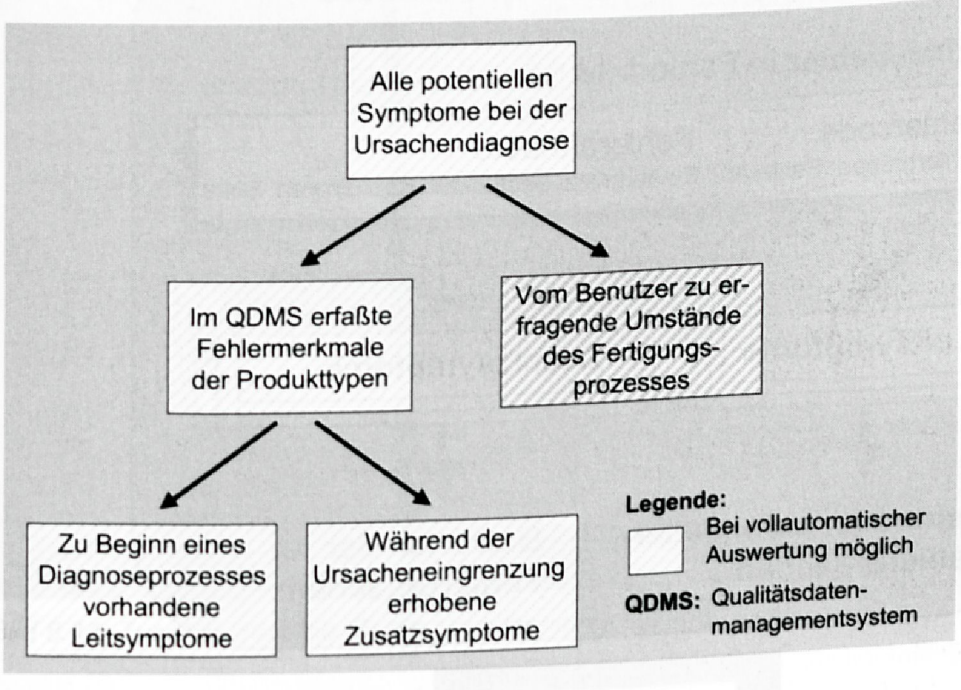


Bild 8.12: Klassifizierung der potentiellen Symptome

Leitsymptome sind die zu Beginn einer Diagnosesitzung vorhandenen Symptome und in der Regel besonders charakteristisch. Sie grenzen bereits zu Beginn der Analyse den Suchraum der möglichen Ursachen ein. In der Qualitätsdatenauswertung lassen sich die potentiellen Leitsymptome durch die Menge aller unterschiedlichen Fehlerarten (Einzelfehler) definieren, die bei der Fertigung der einzelnen Produkteinheiten auftreten können (Bild 8.13). Sämtliche Fehlerarten sind in einem Fehlerkatalog (vgl. Kapitel 6.1) zusammengefaßt, der wiederum in verschiedene Fehlergruppen untergliedert ist.

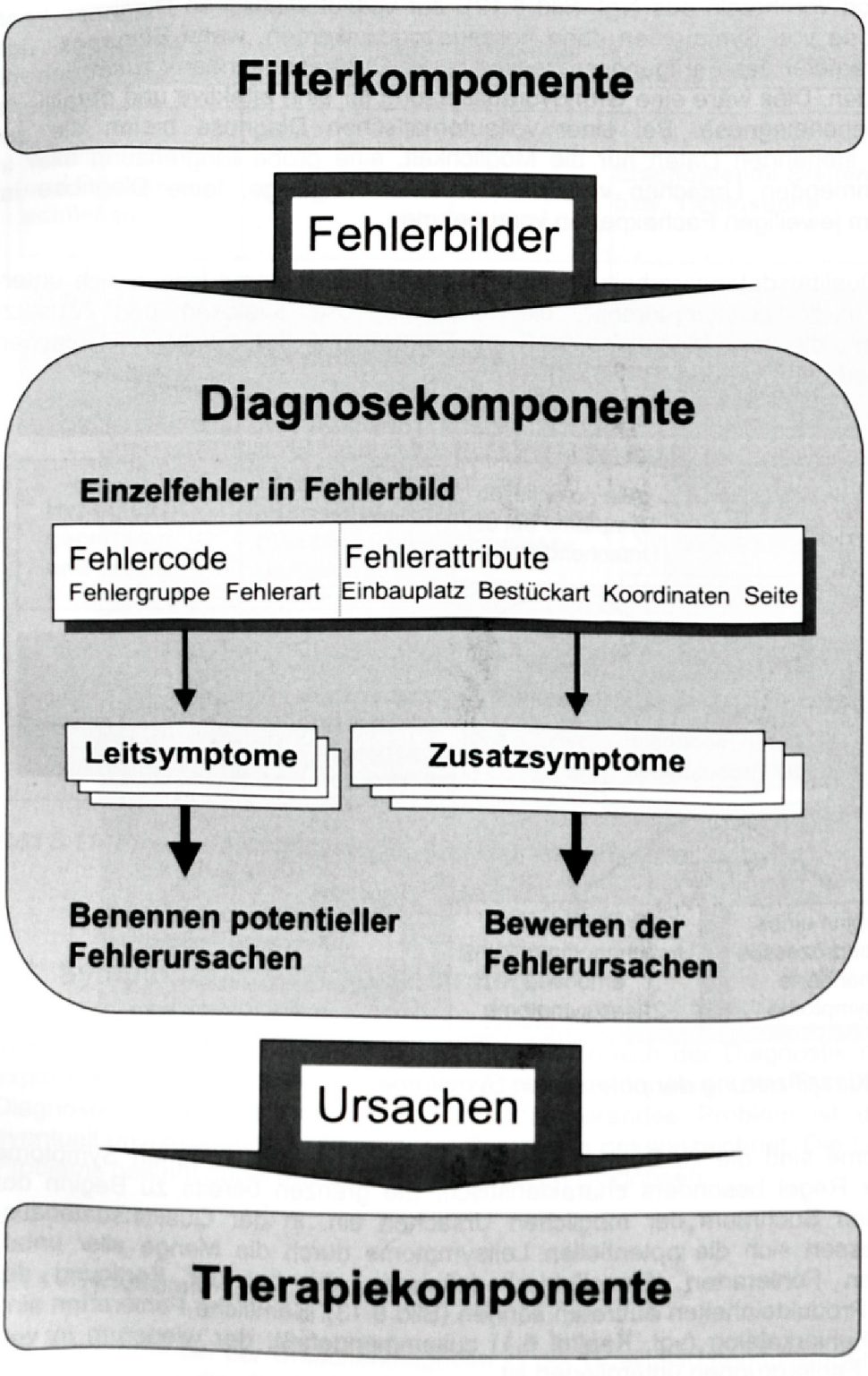


Bild 8.13: Fehler-Symptom-Zusammenhang

Neben den Leitsymptomen gibt es eine Reihe von Symptomen, die während des Diagnoseprozesses je nach Bedarf zur Bewertung der Ursachen ermittelt werden. All diese Symptome werden anhand der in der Qualitätsdatenbank vorhandenen Fehlerattributen ermittelt. Diese Symptome werden Zusatzsymptome genannt und sind in Bild 8.14 zusammengefaßt.

Kurz-bezeichnung	Zusatzsymptome
A1	Fehler trat erstmals an diesem Einbauplatz auf
A2	Fehler trat wiederholt an diesem Einbauplatz auf
B1	Fehler nur auf einem Einbauplatz der FBG
B2	Fehler nur auf wenigen verschiedenen Einbauplätzen der FBG
B3	Fehler auf vielen verschiedenen Einbauplätzen
C1	Fehler auch auf anderen FBG-Typen aufgetreten
C2	Fehler nicht auf anderen FBG-Typen aufgetreten
D1	Fehler betrifft nur eine Bestückart (Dip, Axial, Radial...)
D2	Fehler betrifft mehrere Bestückarten der FBG
E1	Fehler nur an handbestückten Teilen der FBG
E2	Fehler nur an automatenbestückten Teilen der FBG
E3	Fehler an hand- und automatenbestückten Teilen der FBG
F1	Fehlerrate niedrig (<= 5% bezogen auf geprüfte Einheiten)
F2	Fehlerrate hoch (5% - 99% bezogen auf geprüfte Einheiten)
F3	Fehlerrate 100% (bezogen auf geprüfte Einheiten)
G1	Fehler nur an einem Bauteiltyp (Bauteilsachnummer)
G2	Fehler an mehreren Bauteiltypen

Bild 8.14: Zusatzsymptome für die Ursacheneingrenzung

In den Definitionen der Zusatzsymptome werden noch Formulierungen wie "wenige" oder "viele" verschiedene Einbauplätze (vgl. B2 und B3) oder "niedrige" bzw. "hohe" Fehleranzahl (vgl. F1 und F2) verwendet. Aufgrund mangelnder Erfahrung und fehlender statistischer Daten sind die vorliegenden, aus dem Erfahrungsschatz von Mitarbeitern festgesetzten Definitionen mit Vorsicht zu genießen. Sobald nach einer gewissen Einführungszeit mehr Erfahrungen vorliegen, sind diese Definitionen zu überprüfen. Vor allem kann sich eine Parametrierung bezüglich der einzelnen Produkttypen als sinnvoll und notwendig erweisen.

8.4.2 Diagnosen und ihre Beziehung zu Symptomen

Grundsätzlich kann man Diagnosen ähnlich wie Symptome in mehrere Arten einteilen. In vielen Fällen wird ein stufenweises Vorgehen über einen diagnostischen Mittelbau gewählt (siehe Bild 8.5): Ausgehend von Grobdiagnosen gelangt das System über Zwischendiagnosen zu den Enddiagnosen, die das Ergebnis der Diagnose darstellen.

Im vorliegenden Fall sind die Grobdiagnosen zugleich die Enddiagnosen. Zwischendiagnosen sind nicht vorhanden. In Zukunft kann sich aufgrund zusätzlicher Untersuchungen und eines erweiterten Erfahrungsschatzes eine Untergliederung der Diagnosen als sinnvoll erweisen. Die Menge der möglichen Diagnosen ist durch alle in Frage kommenden Ursachen für die verschiedenen Einzelfehler bestimmt. In einem Ursachenkatalog sind alle möglichen Ursachen zusammengefaßt.

Durch das Zusammenfallen von Grob- und Enddiagnosen ergeben sich Symptom-Diagnose-Zusammenhänge entsprechend Bild 8.15. Ausgehend von den aktuellen, auffälligen Einzelfehlern (Leitsymptomen) werden jedem dieser ermittelten Einzelfehler alle in Frage kommenden Ursachen (Diagnosen) zugeordnet.

Für jede zu Beginn einer Diagnosesitzung zugeordnete Ursache gibt es bestimmte Zusatzsymptome. Je nachdem welche Zusatzsymptome bestätigt werden, wird die momentan betrachtete Ursache abgeschwächt, verworfen, erhärtet oder bestätigt. Der Einfachheit halber wird angenommen, daß die Zuordnungsrelationen zwischen den Zusatzsymptomen und diesen vier Überprüfungskategorien einer Ursache (abschwächen, verwerfen, erhärten und bestätigen) unabhängig von der Art des zu untersuchenden Einzelfehlers sind. Welches Zusatzsymptom welchen der vier Überprüfungseffekte erzielt, hängt demnach nur von der auszuwertenden Ursache ab. Folglich handelt es sich um eine zweistellige Zuordnungsrelation (Überprüfungskategorie, Zusatzsymptom) und nicht um eine dreistellige Relation (Einzelfehler, Überprüfungkategorie, Zusatzsymptom). Der Erfolg einer beliebigen Symptomerhebung wird durch die Fehlerattribute des zu untersuchenden Fehlers bestimmt. Inwieweit die einzelnen Zuordnungsrelationen von den jeweiligen Einzelfehlern abhängig sind, ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

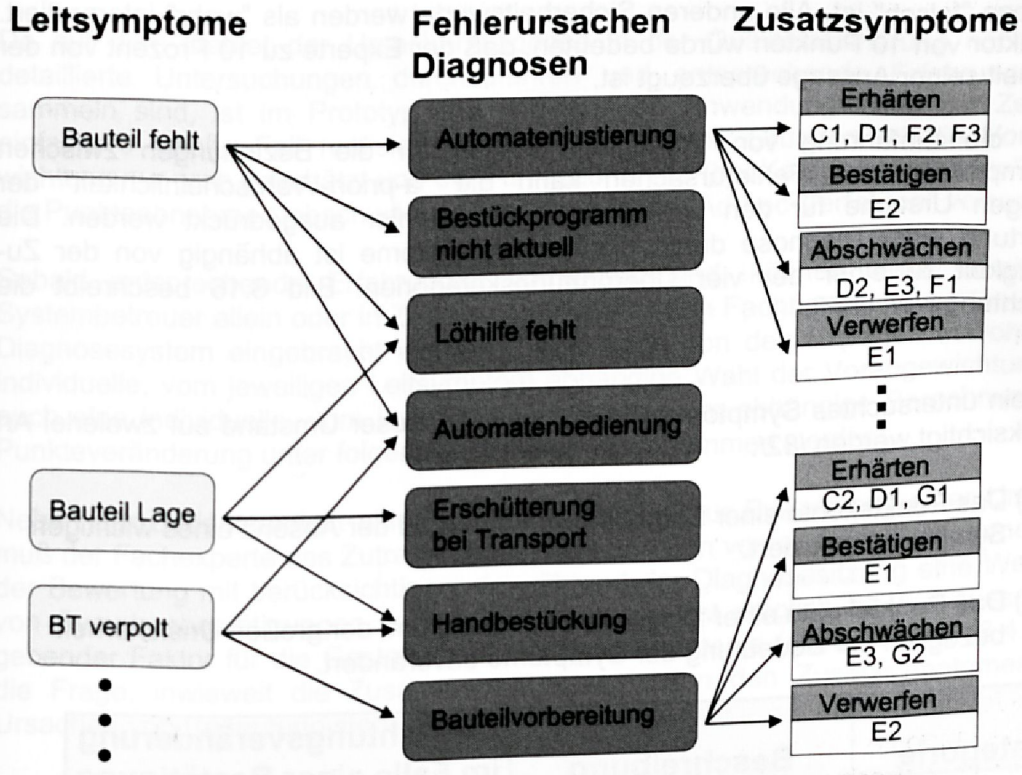


Bild 8.15: Beispiel für Diagnose-Symptom-Zusammenhänge

In Bild 8.15 sind die Beziehungen zwischen Leitsymptomen und Diagnosen sowie zwischen Diagnosen und Zusatzsymptomen anhand eines Beispiels beschrieben. Möglicherweise gibt es Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Einzelfehlern eines Fehlerbildes, die sich für die Ursachenzuordnung ausnutzen lassen. Diese werden zur Zeit nicht berücksichtigt. Bislang wird jeder Einzelfehler unabhängig von anderen Einzelfehlern betrachtet. Bezüglich dieser Gesichtspunkte müssen die notwendigen Erfahrungen erst noch gesammelt werden.

8.4.3 Bewertung der Symptome-Diagnosen-Beziehungen

Bei den vorliegenden Diagnosen handelt es sich nicht um kausales bzw. statistisches, sondern um unsicheres Erfahrungswissen, bei dem sich ein Rest an Unsicherheit nie ausschließen läßt. Diese Ungewißheit verbietet es, eine Diagnose völlig zu verwerfen oder mit letzter Sicherheit anzunehmen. Den einzelnen Symptom-Diagnose-Beziehungen werden deshalb Gewichtungen als eine Art Sicherheitsfaktor zugeordnet (vgl. Kap 8.3.2).

Ein Sicherheitsfaktor ist ein Zahlenwert, mit dem der Experte ausdrückt, wie sicher er sich seiner Aussage ist oder inwieweit er an das Zutreffen seiner Aussage glaubt. Dem Zahlenwert können unterschiedliche Skalen zugrunde liegen, z.B. von 0 bis 1, von 0 bis 100 oder von -1 bis +1. In vorliegenden Fall wird eine Skala von 0 bis 100 Punkten verwendet. Nur der Wert 0 bedeutet, daß nach Meinung des Experten die

Diagnose "falsch" ist. Alle anderen Sicherheitswerte werden als "wahr" interpretiert. Ein Faktor von 10 Punkten würde bedeuten, daß der Experte zu 10 Prozent von der Wahrheit seiner Aussage überzeugt ist.

Durch die Einführung von Vorabgewichtungen für die Beziehungen zwischen Leitsymptomen und Fehlerursachen kann die "a-priori-Wahrscheinlichkeit" der jeweiligen Ursache für den vorliegenden Einzelfehler ausgedrückt werden. Die Bewertung einer Diagnose durch die Zusatzsymptome ist abhängig von der Zugehörigkeit zu einer der vier Überprüfungskategorien. Bild 8.16 beschreibt die Gewichtungsvorschrift.

Trifft ein untersuchtes Symptom nicht zu, so kann dieser Umstand auf zweierlei Art berücksichtigt werden /82/:

1) Das Punktekonto einer Diagnose wird aufgrund der Absenz eines wichtigen Symptoms reduziert.

2) Das Punktekonto einer Diagnose bleibt aufgrund der großen Unsicherheit bezüglich der Bedeutung der Symptome unverändert.

Kategorie	Beschreibung	Gewichtungsveränderung im Falle einer Bestätigung
verwerfen	K.o.-Kriterium für die untersuchte Ursache	Gewichtung wird auf 0 Punkte gesetzt
abschwächen	„Wahrscheinlichkeit" für das Zutreffen der untersuchten Ursache sinkt	Gewichtung wird um 10% der Vorabgewichtung verringert
erhärten	„Wahrscheinlichkeit" für das Zutreffen der untersuchten Ursache steigt	Gewichtung wird um 10% der Vorabgewichtung erhöht
bestätigen	Untersuchte Ursache wird bestätigt	Gewichtung wird auf 100 Punkte gesetzt

Bild 8.16: Überprüfungskategorien und Endursachenbewertung

Da auf dem Gebiet der Ursachendiagnose in der Qualitätssicherung noch viele detaillierte Untersuchungen durchzuführen und entsprechende Erfahrungen zu sammeln sind, ist im Prototyp des vorliegenden Anwendungsfalles zur Zeit der einfachere zweite Fall realisiert. Aus den genannten Gründen ist die Vorabgewichtung nur grob geschätzt und die Punktezunahme (bei Kategorie "erhärten") bzw. die Punkteabnahme ("abschwächen") wird durch ein "Ad-hoc-Verfahren" verrechnet.

Sobald entsprechende Erfahrungen vorhanden sind, können diese durch den Systembetreuer allein oder in Zusammenarbeit mit den Fachbereichsexperten in das Diagnosesystem eingebracht werden. Dabei kann von den Experten sowohl eine individuelle, vom jeweiligen Leitsymptom abhängige Wahl der Vorabgewichtung als auch eine individuelle, vom jeweiligen Zusatzsymptom abhängige Berechnung der Punkteveränderung unter folgenden Kriterien vorgenommen werden:

Neben der Bedeutsamkeit eines Zusatzsymptomes zur Evaluierung einer Ursache muß der Fachexperte das Zutreffen bzw. Nichtzutreffen von anderen Symptomen bei der Bewertung mit berücksichtigen, da während der Diagnosesitzung eine Wertung von Symptombestätigungen durch den Benutzer nicht möglich ist. Ein ausschlaggebender Faktor für die Gestaltung der Diagnosestrategie (siehe Kapitel 8.4.4) ist die Frage, inwieweit die Zusammenhänge zwischen den Zusatzsymptomen der Ursachen von Bedeutung sind.

Nach Abschluß der Überprüfung aller Zusatzsymptome drückt die errechnete Gewichtung den Erklärungswert der untersuchten Ursache aus.

8.4.4 Diagnosestrategie

Für die Ursachendiagnose von veränderten Fehlerbildern in der Qualitätsdatenverarbeitung empfiehlt sich eine dem Anwendungsfall angepaßte, in der Diagnostik bereits in vielen Einzelfällen bewährte hypothetisch-deduktive Kontrollstruktur: Nach der Fehlererhebung werden durch Vorwärts-Schließen Verdachtshypothesen generiert (alle Ursachen des jeweils zu analysierenden Fehlers) und anschließend jede einzelne Hypothese (Ursache) gezielt durch Rückwärts-Schließen überprüft (siehe Kapitel 8.3.3). Das Flußdiagramm in Bild 8.17 illustriert in groben Zügen das Verhalten der Diagnosekomponente während des Diagnosevorganges.

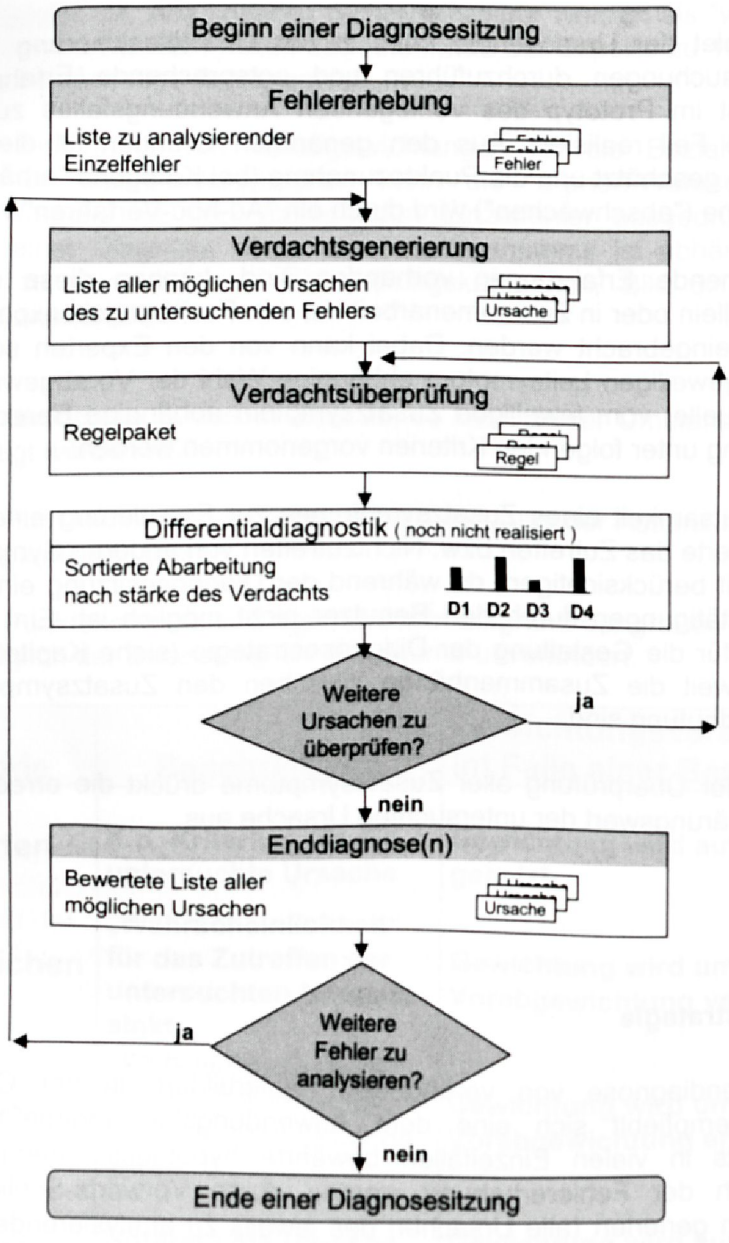


Bild 8.17 : Diagnosestrategie

Eine typische Diagnosesitzung beginnt mit der Erhebung der zu analysierenden Einzelfehler. Die von der Filterkomponente vorselektierten Fehlerdaten (aus signifikanten Fehlerbildern) werden in die Wissensbasis geladen (Bild 8.18). Die einzelnen Fehler werden im Anschluß daran sequentiell und unabhängig voneinander untersucht. Für jeden Fehler wird eine Liste aller potentiellen Ursachen (Agenda) generiert (Bild 8.19, oben). Das für diese Verdachtsgenerierung benötigte Wissen ist explizit in der Qualitätsdatenbank abgespeichert.

Prüfdaten

Produkt-Typ	Datum	Geprüft	Beanstandet	Fehlerrate
00704110101	16.08.93	154	75	48.7

Fehlerdaten

Produkt-Typ	Datum	Fehlercode	Fehlertext	Fehleranzahl
00704110101	16.08.93	01 01	Bauteil fehlt	3
00704110101	16.08.93	01 25	Bauteil Ende zu lang	7
00704110101	16.08.93	01 35	BT-Ende n. sichtbar	32
00704110101	16.08.93	01 60	BT in falscher Pos.	5
		⋮		

Wissensbasis

Bild 8.18: Signifikantes Fehlerbild mit Fehlerdaten

Nach der Verdachtsgenerierung werden die in der Agenda vorhandenen möglichen Ursachen ebenfalls sequentiell und unabhängig voneinander überprüft. Die für die Überprüfung einer potentiellen Ursache zuständigen Regeln sind dabei zu Regelpaketen zusammengefaßt. Mit Hilfe dieser Produktionsregeln werden die Zusatzsymptome hergeleitet, die für die Verdachtsüberprüfung benötigt werden (Bild 8.19, mitte). Dabei kann wegen der vollautomatischen Diagnose nur auf die im Qualitätsdatenmanagementsystem vorhandenen Fakten zurückgegriffen werden.

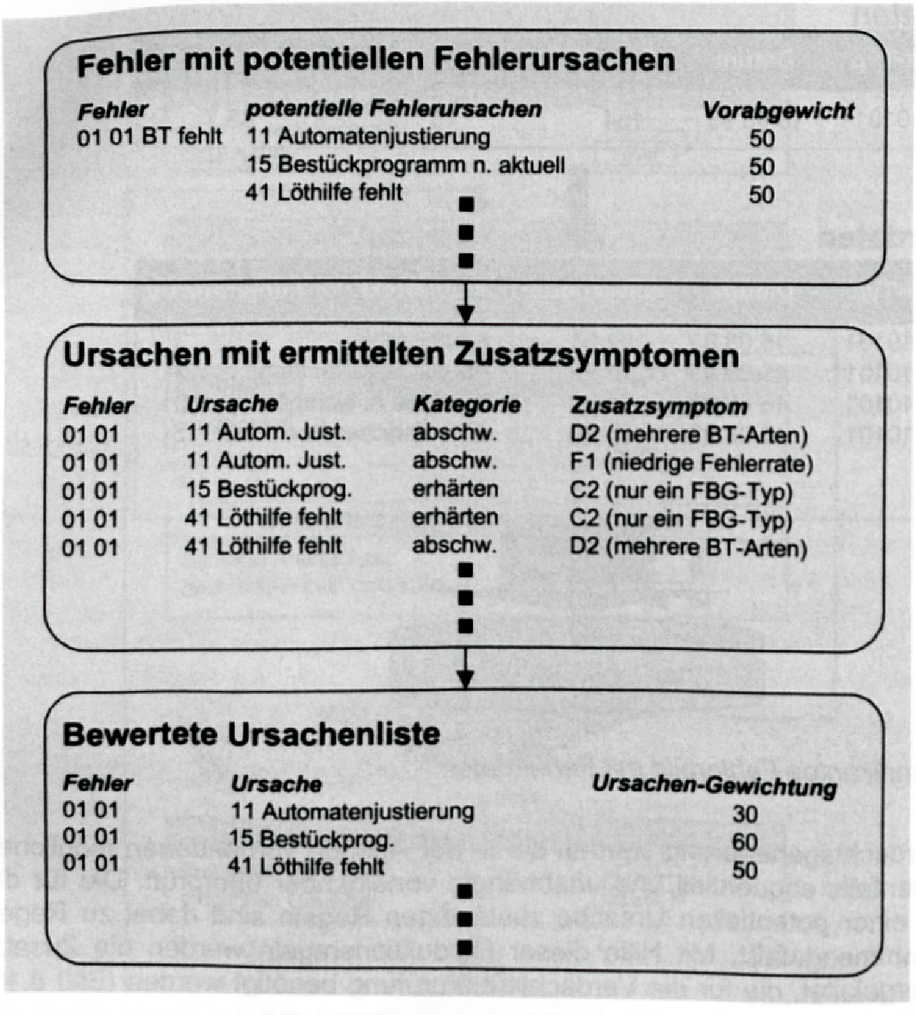


Bild 8.19: Zwischenergebnisse im Diagnoseablauf

Wegen der erwähnten Beschränkung bei der Ermittlung von Zusatzsymptomen können nicht alle Ursachen je Fehler bestätigt oder verworfen werden. In der Agenda der potentiellen Ursachen können demnach neben bestätigten und verworfenen Ursachen auch solche enthalten sein, die zwischen 0 und 100 Punkten bewertet sind und möglicherweise durch bestimmte Zusatzsymptome erhärtet oder abgeschwächt wurden (Bild 8.19, unten). Diese bewertete Ursachenliste bedarf daher in bestimmten Fällen noch einer endgültigen Auswertung durch die jeweiligen Experten, die über das zusätzlich notwendige, externe Diagnosewissen verfügen (vgl. Kapitel 8.4.3).

Eine denkbare Erweiterung der hypothetisch-deduktiven Diagnosestrategie ist die nach der Stärke ihres Verdachts sortierte Abarbeitung der Agenda (Differentialdiagnostik). Sie ist dann in Betracht zu ziehen, wenn im Expertensystem auch Zusammenhänge zwischen den Symptomen berücksichtigt werden. Dabei wird nach jeder Überprüfung einer potentiellen Ursache eine Zwischenbilanz gezogen und die Agenda aktualisiert. So wird festgestellt, ob der bisherige Spitzenreiter etabliert,

weiter untersucht oder zugunsten einer anderen Hypothese zurückgestellt werden kann. Dieser Zyklus terminiert, wenn alle Ursachen überprüft worden sind.

Das in Kapitel 6 vorgestellte Verfahren zur Qualitätsberichterstattung ist eine konkrete Möglichkeit, den in Kapitel 3 vorgestellten Qualitätsregelkreis über eine konventionelle Prüfdatenanalyse zu schließen (Bild 8.20, mitte). Die erzeugten Qualitätsberichte (wie Trendanalysen und Paretoanalysen) enthalten zwar für die Produktions-, Planungs- und Entwicklungsabteilungen wertvolle Informationen, aber sie müssen sich prinzipiell auf die Wiedergabe von (mehr oder weniger) aufbereiteten Fehlersymptomen beschränken.

Die in diesem Kapitel entwickelte wissensbasierte Fehlerursachenanalyse ermöglicht einen deutlichen Schritt hin zu einer automatisierten Ermittlung bzw. Bewertung von Fehlerursachen. Wie in Bild 8.20 dargestellt, führt der Weg dabei über signifikante Fehlerbilder und Leitsymptome, denen potentielle Fehlerursachen zugeordnet sind. Schließlich gelangt man über eine Zusatzsymptomerhebung auf Basis von Fehlerattributen zu bewerteten Fehlerursachen.

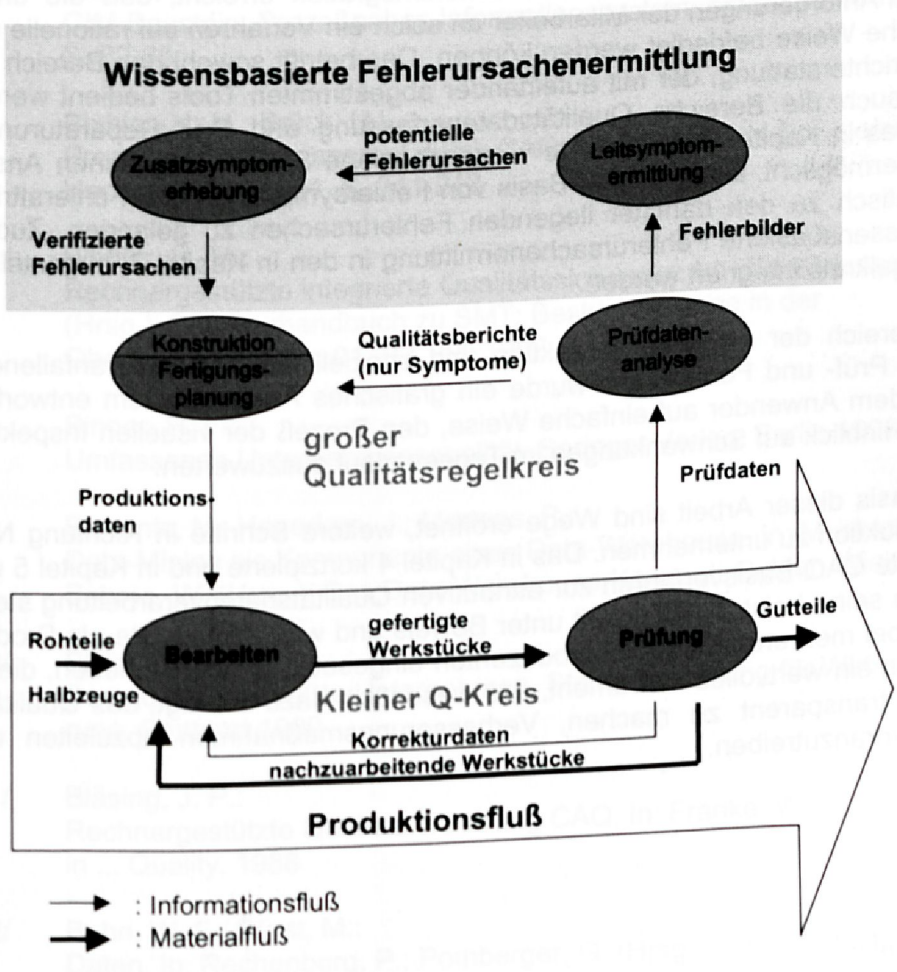


Bild 8.20: Wissensbasierte Ursachenermittlung im Qualitätsregelkreis

9 Zusammenfassung

Den steigenden Anforderungen, die an die Qualität von Produkten gestellt werden, kann auf mehrfache Art und Weise begegnet werden. Ein Ansatz besteht in der konsequenten Anwendung von Qualitätsmanagementmethoden, die sowohl die Produktentstehungsphasen, als auch die Aspekte des Qualitätsmanagements abdecken. Dazu wurde eine Grundausrüstung von Verfahren zusammengestellt, die einen Einstieg in eine umfassendere Qualitätsarbeit ermöglichen.

Auf der Grundlage von Erkenntnissen aus dem Regelkreis-Szenario und der systemkybernetischen Modellbildung wird ein Schema für einen Qualitätsregelkreis entworfen. Dieses Schema findet bei der Konzipierung der Erfassungs- und Auswertekomponente eines Qualitätsdatenmanagementsystems und zum Teil beim Entwurf einer wissensbasierten Diagnose seine Anwendung.

Bei der Entwicklung eines Basisverfahrens zur Qualitätsdatenverarbeitung wurde durch eine kombinierte Funktions- und Datenintegration erreicht, daß die unterschiedlichen Anforderungen der Mitarbeiter an solch ein Verfahren auf rationelle und ergonomische Weise befriedigt werden können. Das betrifft sowohl den Bereich der Qualitätsberichterstattung, der mit aufeinander abgestimmten Tools bedient werden kann, als auch die Bereiche Qualitätsdatenerfassung und Prüf-/Reparaturunterstützung. Das in Kapitel 8 vorgestellte wissensbasierte System zeigt einen Ansatz auf, der es ermöglicht, allein auf der Basis von Fehlersymptomen und Fehlerattributen automatisch zu den dahinter liegenden Fehlerursachen zu gelangen. Zudem kann die wissensbasierte Fehlerursachenermittlung in den in Kapitel 3 vorgestellten Qualitätsregelkreis integriert werden.

Für den Bereich der visuellen Inspektion und speziell für die dabei anfallenden detaillierten Prüf- und Fehlerdaten wurde ein grafisches Analysesystem entworfen. Es erlaubt dem Anwender auf einfache Weise, den Prozeß der visuellen Inspektion speziell im Hinblick auf Schwankungen im Tagesverlauf auszuwerten.

Auf der Basis dieser Arbeit sind Wege eröffnet, weitere Schritte in Richtung Null-Fehler-Produktion zu unternehmen. Das in Kapitel 4 konzipierte und in Kapitel 5 und 6 vorgestellte CAQ-Basisverfahren zur attributiven Qualitätsdatenverarbeitung stellte als Prototyp seine Leistungsfähigkeit unter Beweis und wird mittlerweile als Produkt erfolgreich bei mehreren Elektronikproduzenten eingesetzt. In den Betrieben, die es nutzen ist es ein wertvolles Instrument, das wesentlich dazu beiträgt, das Qualitätsgeschehen transparent zu machen, Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten und erfolgreich voranzutreiben.

10 Literaturverzeichnis

/1/ AIF Arbeitsgemeinschaft industr. Forschungsvereinigungen e. V. (Hrsg.): Initiative Qualitätssicherung - Handlungsbedarf in Forschung und Entwicklung. Köln 1988

/2/ ANSI/X3/SPARC Study Group on Data Base Management Systems: Interim Report 75-02-08. FDT (Bulletin of ACM-SIGMOD)7, No. 2

/3/ Berger, K.; Brauer, J.-P.: Mitarbeiterorientierung als Bestandteil eines ganzheitlichen Qualitätsmangements. ZWF 90 (1995) 12, S. 615-617

/4/ Berthel, J.: Betriebliche Informationssysteme. Poeschel, Stuttgart 1975

/5/ Biehler, H.-M.: CIM-Baustein: Prozeßnahes Informationssystem. productronic 12 (1992) 4, S. 62-65

/6/ Biehler, H.-M.; Brück, U.: Prozeßqualität transparent durch CAQ. CAD/CAM/CIM-Supplement, Carl Hanser Verlag 1991, S. 241-243

/7/ Biehler, H.-M.: Rechnergestützte integrierte Qualitätssicherung. In: VDI Bildungswerk (Hrsg.): Seminarhandbuch zu SMT: Bestücksysteme in der Oberflächentechnik, 01.-02. Juli 1992

/8/ Binner, H. F.: Umfassende Unternehmensqualität. Springer Verlag, Berlin 1996

/9/ Bissantz, N.; Hagedorn, J.; Mertens, P.: Data-Mining als Komponente eines Data-Warehouse. In: Mucksch, H.; Behme, W. (Hrsg.): Das Data-Warehouse-Konzept. Gabler, Wiesbaden 1996

/10/ Bläsing, J. P.: Das qualitätsbewußte Unternehmen. Steinbeis-Stiftung für Wirtschaftsförderung, Stuttgart 1990

/11/ Bläsing, J. P.: Rechnergestützte Qualitätssicherung CAQ. In: Franke, W. D. (Hrsg.): Made in ... Quality. 1988

/12/ Bohn, W. F.; Dürst, M.: Daten. In: Rechenberg, P.; Pomberger, G. (Hrsg.): Informatik-Handbuch. Hanser, München 1997, S. 149 ff.

/13/ Born, A..:
Würfelspiele - Der turbulente OLAP-Markt formiert sich. IX (1997) 5, S. 132-135

/14/ Bosch, K.:
Elementare Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung. Braunschweig 1984

/15/ Brauer, S.; Schnauber, H.:
Zur verbesserten Kommunikation. QZ 41 (1996) 12, S. 1368

/16/ Braun, K.:
TQM-Trainer: Ziele vereinbaren, Werte identifizieren, Benchmarks festlegen, kontinuierliche Verbessserung. Hanser, München 1997

/17/ Bullinger, H.-J. (Hrsg.):
IAO-Studie F+E-heute - Industrielle Forschung und Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland. München 1990

/18/ Bullinger, H.-J.; Fähnrich, K.-P.:
Betriebliche Informationssysteme: Grundlagen und Werkzeuge der methodischen Softwareentwicklung. Berlin 1997

/19/ Butterbrodt, D.:
Die ökologische Dimension des Total Quality Management. QZ 40 (1996) 6, S. 682-685

/20/ Chen, P.:
The Entity-Relationship Model - Towards a Unified View of Data. ACM Transactions on Database Systems, Vol. 1, No. 1, 9-36

/21/ Crostack, H.-A.; Heinz, K.; Nürnberg, M.; Nusswald, M.; Schwerdtfeger, A.:
Prüfplanung optimieren - Simulationsbasierte Bewertung von Prüfstrategien. QZ 42 (1997) 4, S. 400

/22/ Czeranowsky, G.; Unger, O.:
Qualität in der Produktion. QZ 42 (1997) 3, S. 313-318

/23/ DeMarco, T.:
Structured Analysis and System Specification. Englewood Cliffs, New Jersey 1979

/24/ Deming, W. E.:
The New Economics. MIT Press, Cambridge, MA 1993

/25/ DGQ Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V. (Hrsg.):
SPC 1 - Statistische Prozeßlenkung; DGQ-Schrift 16-31. Beuth Verlag GmbH, Berlin 1990

/26/ DGQ Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V. (Hrsg.):
TQM - eine unternehmensweite Verpflichtung; DGQ-Schrift 14-13. Beuth Verlag GmbH, Berlin 1990

/27/ Dierkes, M. J.:
Quality Function Deployment als Teil des TQC - Pionieranwendungen bei Ford. In: Bläsing, J. P. (Hrsg.): Praxishandbuch Qualitätssicherung; Band 5. GFMT-Verlag, München 1989

/28/ DIN 55350 Teil 11 / 05.87:
Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik. Grundbegriffe der Qualitätssicherung. Beuth, Berlin 1987

/29/ DIN ISO 8402 / E 03.92:
Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung; Begriffe; identisch mit ISO/DIS 8402 /1991

/30/ Dittrich, K.:
Datenbanksysteme. In: Rechenberg, P.; Pomberger, G. (Hrsg.): Informatik-Handbuch. Hanser, München 1997, S. 745-774

/31/ Dworatschek, S.:
Grundlagen der Datenverarbeitung. Walter de Gruyter, Berlin 1989

/32/ Edenhofer, B.; Köster, A.:
Systemanalyse: Die Lösung, FMEA optimal zu nutzen. QZ 36 (1991) 12, S. 699-704

/33/ Ersue, E.:
Das elektronische Auge. Vollständigkeitskontrolle und Sichtinspektion. EEE (Elektronik-Technol./-Anwend./-Marketing) 28 (1990) 13, S. 26-27

/34/ Eversheim, W.; u. a.:
Produktionstechnik: Auf dem Weg zu integrierten Systemen. AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium (Hrsg.), VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987

/35/ Feigenbaum, A. V.:
Total Quality Control. McGraw-Hill, New York 1991

/36/ Feldmann, K.; Franke, J.:
Von CAD zu CAM - ein steiniger Weg. Probleme und Lösungen für das Koppeln von Rechnern und Fertigungsmaschinen. Elektronik 39 (1990) 16, S. 48-56

/37/ Feldmann, K.; Geiger, M. (Hrsg.):
Sonderforschungsbereich 356 - Produktionssysteme in der Elektronik. Erlangen 1995

/38/ Feldmann, K.; Götz, K.; Wilke, P.:
Prozeßbegleitende Qualitätssicherung in der Elektronikproduktion. In: Transferstelle Mikroelektronik (Hrsg.): Anwendung von Fuzzy Technologien und neuronalen Netzen (Tagungsband), Aachen 1996, S.41-48

/39/ Feldmann, K.; Sturm, J.:
Qualitätssicherung in der Elektronikbaugruppen-Produktion durch prozeßbegleitende Prüfung. VDI-Ber. 966. VDI-Verlag, Düsseldorf 1992

/40/ Feldmann, K.; Sturm, J.:
Röntgenographische Analyse von Fine-Pitch-Lötstellen. In: Verbindungstechnik in der Elektronik, VTE (1993) 4, S.158-163

/41/ Fischer, R.:
PC-Expertensysteme. Künstliche-Intelligenz-Technologie wird für alle verfügbar. Markt und Technik, München 1989

/42/ 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

/43/ Garvin, D. A.:
Managing Quality - The Strategic and Competitive Edge. The Free Press, New York 1988

/44/ Gogoll, A.:
Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten industrieller Qualitätstechniken im Dienstleistungsbereich. Berlin 1996

/45/ Gogoll, A.; Theden, P.:
Techniken des Quality Engineering. In G. F. Kamiske (Hrsg.): Die hohe Schule des Total Quality Management. Springer, Berlin 1994, S.329-369

/46/ Golücke, H.; Steinbach, W.:
Qualität und Qualitätssicherung als Verkaufsargument. QZ 33 (1988) 2, S. 101-104

/47/ Grabowski, S. P.:
Qualitätssicherung in einem Unternehmen der Computer-Branche. Feinwerktechnik & Messtechnik 90 (1982) 8, S.385-388

/48/ Graf, M.:
Statistische Prozeßregelung SPC für variable und attributive Merkmale. QZ 34 (1989) 3, S. 135-137

/49/ Greif, M.:
Teamerfolge in der Produktion durch Visualisierung. Verlag Moderne Industrie, Landsberg 1996

/50/ Gröner, U.:
Qualitätssicherung: Von CAQ zu CIQ. Computer Magazin 10/90, S. 32-43

/51/ Habenich, G.; Holzner, G.; Janker, A.; Würmseher, H.:
Baugruppeninspektion in der automatisierten Fertigung. In: Addendum zum Tagungsband SMT/ASIC/Hybrid'92, 2.-4. Juni 1992, vde-Verlag, Berlin 1992

/52/ Harmon, P.; Maus, R.; Morrissey, W.:
Expertensysteme: Werkzeuge und Anwendungen. Oldenbourg Verlag, München 1989

/53/ Haußmann, U.:
Planen und Regeln des Fertigungsprozesses als Bausteine der Unternehmenspolitik. QZ 35 (1990) 5, S. 253-258

/54/ Heinrich, L. J.:
Grundlagen der Wirtschaftsinformatik. In: Rechenberg, P.; Pomberger, G. (Hrsg.): Informatik-Handbuch. Hanser, München 1997, S. 859 ff.

/55/ Herrmann, J.; Walter, T.:
TQM - Verständnis und Umsetzung. QZ 40 (1995) 8, S. 922-925

/56/ Hidde, A. R.; Zöllner, B.:
Der rechnergestützte manuelle Arbeitsplatz in der flexiblen Fabrik. CAD/CAM/CIM-Supplement, Carl Hanser Verlag 1990, S. 125-130

/57/ Hirano, H.:
Poka Yoke - Verbesserung der Qualität durch Vermeiden von Fehlern. Verlag moderne industrie, Landsberg/L. 1992

/58/ Hoch, D.:
Voraussetzungen für die erfolgreiche Implementierung moderner Management-Informationssysteme. In: Hichert, R.; Moritz, M. (Hrsg.): Management-Informationssysteme: Praktische Anwendungen. Springer, Berlin 1992, S. 117-126

/59/ Hummeltenberg, W.:
Bewertungsmodelle für TQM. In: Preßmar, D.B. (Hrsg.): Total Quality Management I. Gabler, Wiesbaden 1995, S. 137-184

/60/ Imai, Masaaki:
Kaizen. München 1992

/61/ ISO/TC 176/SC 2/WG 10/N 109, Juli 1991.
Draft revision of clause 4 of ISO 9000

/62/ Juran, J. M.:
Qualität in den USA. QZ 35 (1990) 4, S. 195-198

/63/ Juran, J. M.:
Quality Control Handbook. Mc. Graw-Hill Book Company, New York 1988

/64/ Kaiser, Ch.; Sturm, J.; Wolter, K.-J.:
Automatische Röntgeninspektion von BGA. In: Tagungsband SMT/ES&S/Hybrid, 03.-05. Mai 1995, vde-Verlag, Berlin 1995. S. 143-153

/65/ Kamiske, G. F.:
Die hohe Schule des Total Quality Management. Springer, Berlin 1994

/66/ Kamiske, G. F.:
Rentabel durch Total Quality Management. Springer, Berlin 1996

/67/ Kamiske, G. F.; Brauer, J.:
Qualitätsmanagement von A-Z. Hanser, München 1995

/68/ Kamiske, G. F.; Hummel, T.; Malorny, C.:
Quality Function Deployment - oder das systematische Überbringen der Kundenwünsche. Marketing, Zeitschrift für Forschung und Praxis, 16 (1994) 3, S.181-190

/69/ Kamiske, G. F.; Tomys, A.-K.:
Die Rationalisierungspotentiale des TQM. QZ 38 (1993) 7, S.403-405

/70/ Karabatsos, N. A.:
Dr. Kaoru Ishikawa, Quality Organizer. In: Quality Progress (1989) 6, S. 20

/71/ Kippels, D.:
Innovationen stärken teure Standorte. VDI nachrichten (5. Dez. 1997) 49, S. 13

/72/ Kirstein, H.:
Regelkreise für die Produkt-Kunden-Beziehung. QZ 36 (1991) 12, S. 694-698

/73/ Kirstein, H.:
TQM: Total Quality Marathon. QZ 40 (1995) 2, S. 161-166

/74/ Kluge, J.; u.a.:
Wachstum durch Verzicht - Schneller Wandel zur Weltklasse. Schäffer-Pöschel, Stuttgart 1994

/75/ Kobayashi, I.:
Die Japan-Diät: 20 Schlüssel zum schlanken Unternehmen. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/L. 1994

/76/ Kochan, A.; Paulus, K.:
Qualitätsmanagement: Führungsmodell oder Vision in der Ernährungswirtschaft. QZ 37 (1992) 9, S. 529-533

/77/ Köhl, E.:
Optimale Datenintegration bei rechnerintegrierter Produktion. Springer Verlag, Berlin 1990

/78/ Köhl, E.; Esser, U.; Kemmner, A.; Förster, H.-U.:
CIM zwischen Anspruch und Wirklichkeit. Erfahrungen, Trends und Perspektiven. Eschborn, Köln 1989

/79/ Kurbel, K.:
Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen. Springer-Verlag, Berlin 1989

/80/ Kurz, E. F.:
Das MUDA-Programm. Wirtschaftsverlag Langen Müller Herbig, München 1997

/81/ Lix, B.:
Controlling und Informationsmanagement als Kernsysteme der Führungsteilsysteme im Unternehmen. In: Hichert, R.; Moritz, M. (Hrsg.): Management-Informationssysteme: Praktische Anwendungen. Springer, Berlin 1992, S. 135-153

/82/ Lödel, D.:
Entwicklung eines prototypischen Expertensystems zur Unterstützung des technischen Kundendienstes bei der Diagnose schlechter Reinigungsergebnisse von Geschirrspülmaschinen. Diplomarbeit Universität Erlangen-Nürnberg, 1989

/83/ Luft, A. L.:
Informatik - eine moderne Wissenstechnik. BI-Wiss.-Verlag, Mannheim 1994

/84/ Mack, M.:
Total Quality Management (TQM) in USA. In: Zink, K. J. (Hrsg.): Qualität als Managementaufgabe. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech 1989

/85/ Madnick, S. E.:
The Voice of the Customer: Innovative and Useful Research Directions. In: Agrawal, R.; Baker, S.; Bell, D. (Hrsg.): Proceedings of the 19th VLDB Conference, Dublin 1993, S. 701 ff.

/86/ Mahon, J.; Gunning, J.:
Sub-Pixel resolution for low cost SMT component placement inspection systems. Journal of Electronics Manufacturing (1993) 3, S.61-67

/87/ Malik, F. F.:
Strategie des Managements komplexer Systeme. Haupt Verlag, Bern 1992

/88/ Malorny, C.:
TQM erfolgreich umsetzen. QZ 41 (1996) 7, S. 781-787

/89/ Malorny, C.:
TQM umsetzen - Der Weg zur Business Excellence. Schäffer-Pöschel Verlag, Stuttgart 1996

/90/ Masaaki, Imai:
Kaizen - Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb. München 1992

/91/ Masing, W.:
Qualität als Mittel zur Differenzierung. In: VDI Berichte 616 (Hrsg.): Wege zur Branchenspitze. 1986

/92/ Mayrhofer, M.:
Der neue QS-Begriff - Umdenken ist gefordert. QZ 37 (1992) 6, S. 323-327

/93/ Mengel, P.:
Optische und physikalische Methoden für die Flachbaugruppenprüfung. Feinwerktechnik und Meßtechnik 98 (1991) 12, S.543-547

/94/ N. N.:
Ausbildung per Mulitmedia. Produktion - Sonderausgabe "Fabrik des Jahres", (1997) Ausgabe 52, S. 22

/95/ Nachtigall, W.:
Biostrategie - Eine Überlebenschance für unsere Zivilisation. Hoffmann & Campe, Hamburg 1983

/96/ Nebendahl, D. (Hrsg.):
Expertensysteme I. Einführung in Technik und Anwendung. Siemens AG, Erlangen 1990

/97/ Niemeyer, G.:
Kybernetische System- und Modelltheorie. Vahlen, München 1977

/98/ Oess, A.:
Total Quality Management. Wiesbaden 1993

/99/ Pantele, E. F.; Schmidtmann, M.:
Qualitätskosten als Ansatzpunkt zur systematischen Kostensenkung. MEGA im August 1987, S. 39-41

/100/ Paturi, F.:
Geniale Ingenieure der Natur. Econ, Düsseldorf 1974

/101/ Pfeifer, T.:
Aspekte der Erarbeitung und des Transfers von Wissen auf dem Gebiet der Qualitätssicherung. QZ 35 (1990) 4, S. 199-202

/102/ Pfeifer, T.; Köppe, D.; Prefi, T.:
QDES, ein produkt- und branchenneutraler Qualitätsinformationssatz. QZ 37 (1992) 8, S. 485-490

/103/ Pflügler, K. W.; Mickler, K.:
Hybride Diagnosestrategie für ein expertensystemgesteuertes automatisches Testsystem (EXATS). In: Kerndlmaier, M. (Hrsg.): Technische Expertensysteme für Prozeßführung und Diagnose. München 1989

/104/ Puppe, F.:
Diagnostik-Expertensysteme. Informatik-Spektrum (1987) 10, S. 293-308

/105/ Quentin, H.:
Statistische Versuchsmethodik. QZ 34 (1988) 5, S.229-232

/106/ REFA - Verb. Für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (Hrsg.):
Methodenlehre der Betriebsorganisation - Grundlagen der Arbeitsgestaltung. München 1991

/107/ Rescheneder, K.:
Von ISO 9000 zu TQM. QZ 41 (1996) 5, S. 512-516

/108/ Sasko, P.:
Die Art der Systemintegration bestimmt die Kosten eines CAQ-Systems. QZ 35 (1990) 6, S. 354-358

/109/ Schaufelbühl, K.:
Aufbau von Management-Informationssystemen. In: In: Hichert, R.; Moritz, M. (Hrsg.): Management-Informationssysteme: Praktische Anwendungen. Springer, Berlin 1992, S. 35-46

/110/ Scheer, A.-W.:
Architektur integrierter Informationssysteme - Grundlagen der Unternehmensmodellierung. Berlin 1991

/111/ Scherr, S.:
Aus Fehlern lernen - Softwarelösungen unterstützen Fehlermanagement in der Praxis. QZ 42 (1997) 11, S. 1228

/112/ Schuler, W.:
Überblick gefragt - Methoden und Tools zur Sicherung der Qualität. QZ 37 (1992) 7, S. 404-408

/113/ Schultz-Wild, R.; Nuber, Ch.; Rehberg, F.; Schmierl, K.:
An der Schwelle zu CIM. Verbreitung, Strategien und Auswirkungen. Eschborn, Köln 1989

/114/ Schulz u. a.:
Qualitätswesen im Unternehmen. In: CIM-Technologietransferzentrum, Standort Braunschweig (Hrsg.): CAQ-zentrierte Kopplung von CIM-Bausteinen. o. O. 1989

/115/ Shingo, Shigeo:
Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System. Productive Press, Cambridge, MA, 1986

/116/ Simon, C.:
Integriertes Informationsmodell zum qualitätssicherungsgerechten Simultaneous Engineering. QZ 37 (1992) 5, S. 275-280

/117/ Sörensson, P.-A.:
TQM - Schulungsprogramm. In: Kamiske, G. F. (Hrsg.): Die hohe Schule des Total Quality Management. Springer, Berlin 1994

/118/ Specht, G.; Schmelzer, H. J.:
Instrumente des Qualitätsmanagements in der Produktentwicklung. Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 44 (1992) 6, S. 531-547

/119/ Spenhoff, E.:
Prozessicherheit durch statistische Versuchsplanung in Forschung, Entwicklung und Produktion. gfmt-Verlag, München 1991

/120/ Sturm, J.:
Mikrofocus-Röntgeninspektion in der Fertigung von Elektronikbaugruppen - Prozeßbegleitende Lötstelleninspektion. feinfocus Symposium, 29.04.1993, Garbsen

/121/ Sturm, J.:
Prozeßintegrierte Qualitätssicherung in der Elektronikproduktion. Dissertation an der Universität Erlangen-Nürnberg. Feldmann, K. (Hrsg.), Erlangen 1996

/122/ Sullivan, L. P.:
The seven stages in company-wide quality control. In: Chase, R. L. (Hrsg.): Total Quality Management - An IFS Executive Briefing, Springer, 1988

/123/ Swoboda, H.:
Knaurs Buch der modernen Statistik. München/Zürich 1971

/124/ Thuy, N. H. C.; Schnupp, P.:
Wissensverarbeitung und Expertensysteme. Oldenbourg Verlag, München 1989

/125/ Tiemeyer, E.; Zsifkovits, H. E.:
Information als Führungsmittel: Executive Information Systems. Computerwoche Verlag, München 1995

/126/ Vardaman, J. (Ed.):
Surface Mount Technology: Recent Japanese Developements. Springer 1994

/127/ Vester, F.:
Leitmotiv vernetztes Denken. Heyne Verlag, München 1988

/128/ Vester, F.:
Neuland des Denkens - Vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter. Deutscher Taschenbuchverlag, München 1984

/129/ Vester, F.:
Überlebenschance für Wirtschaft und Gesellschaft. Management-Zeitschrift io 51 (1982) 2, S. 87-93

/130/ Warnecke, H. J. (Hrsg.):
Aufbruch zum fraktalen Unternehmen. Springer, Berlin 1995

/131/ Weber, J.; Nippel, H.:
Entwicklung und Gestaltungsaspekte von Total Quality Management. Zeitschrift für Planung (1996) 7, S. 111-130

/132/ Westkämper, E. (Hrsg.):
Integrationspfad Qualität - Leitfaden zum Erfolg. Springer, Berlin 1991

/133/ Westkämper, E.:
Intelligente und anpassungsfähige Produktionskonzepte. Vortrag beim 24. Automatisierungs-Kolloquium der Siemens AG, Nürnberg 1997

/134/ Westkämper, E.; u.a.:
Verbesserte Angebots- und Auftragsabwicklung durch abgestimmte Produktionsstrukturen. CIM Management 11 (1995) 5, S. 46-50

/135/ Wieth, B.-D.:
Informationen im Entscheidungsprozeß. In: In: Hichert, R.; Moritz, M. (Hrsg.): Management-Informationssysteme: Praktische Anwendungen. Springer, Berlin 1992, S. 47-57

/136/ Wildemann, H.:
Qualitätsentwicklung in F&E, Produktion und Logistik. ZfB 62 (1992) 1, S. 17-41

/137/ Wissenschaftlicher Rat der Dudenredaktion (Hrsg.):
Duden "Fremdwörterbuch". Bibliographisches Institut, Mannheim 1982

/138/ Wolf, G.:
Wege zum effektiven Motivations-Management. QZ 37 (1992) 3, S. 133-137

/139/ Yourdon, E.:
Modern Structured Analysis. Englewood Cliffs, New Jersey 1989

/140/ Zeller, H.:
Qualität von Anfang an. QZ 32 (1987) 4, S. 161-162

/141/ Zink, K. J.; Schildknecht, R.:
Total Quality Management: Bausteine einer umfassenden Qualitätsförderung. QZ 37 (1992) 12, S.720-724

/142/ Zöllner, B.:
Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion. Dissertation an der Universität Erlangen-Nürnberg, Hanser Verlag, München 1995

Lebenslauf

1. Persönliche Daten

Name	Hans-Martin Biehler
geboren	am 24.03.1961 in Schwand / Lkr. Amberg
Familienstand	verheiratet, 2 Kinder

2. Schulausbildung

1967 – 71	Grundschule Freudenberg
1971 – 80	Gregor-Mendel-Gymnasium Amberg
Mai 1980	Abschluß: Abitur

3. Wehrdienst

1980 – 82	Wehrdienst in Bayreuth und Weiden

4. Hochschulausbildung

1982 – 87	Studium der Informatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	
	Schwerpunkt:	Datenbanksysteme
	Nebenfach:	Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
Nov. 1987	Abschluß: Diplom-Informatiker	

5. Berufstätigkeit

1987 – 1993	Siemens AG, Gerätewerk Amberg Projektierung und Betreuung von DV-Verfahren
seit 1993	Siemens AG, Bereich AUT1 (jetzt A&D AS) in Abteilung Organisation und Information, Leitung der DV-Betreuung für Produktions- und Logistikverfahren

ISSN 1431-6226
ISBN 3-87525-126-1