

Innovation durch Kooperation: nutzerorientiertes Konzept für Interaktionssysteme in der Serienfertigung

Rose, Helmuth (Ed.); Schulze, Hartmut (Ed.)

Veröffentlichungsversion / Published Version

Sammelwerk / collection

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:

Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V. - ISF München

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Rose, H., & Schulze, H. (Hrsg.). (1999). *Innovation durch Kooperation: nutzerorientiertes Konzept für Interaktionssysteme in der Serienfertigung* (Veröffentlichungen aus dem Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V., ISF München). Frankfurt am Main: Campus Verl. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-67559>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Helmuth Rose, Hartmut Schulze (Hg.)

Innovation durch Kooperation

Nutzerorientiertes Konzept
für Interaktionssysteme
in der Serienfertigung

Campus Verlag
Frankfurt/New York



Veröffentlichungen aus dem
Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V.
ISF München



Innovation durch Kooperation



Die in diesem Band zusammengefaßten Arbeiten entstanden im Rahmen eines vom Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) geförderten Vorhabens (Förderkennzeichen: 02PV40053).

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Herausgebern und Autoren.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Innovation durch Kooperation : nutzerorientiertes Konzept für Interaktionssysteme in der Serienfertigung / Helmuth Rose ; Hartmut Schulze (Hg.). – Frankfurt/Main ; New York : Campus Verlag, 1999 (Veröffentlichungen aus dem Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V., ISF München)
ISBN 3-593-35970-7

Die Veröffentlichungen werden herausgegeben vom Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V. – ISF München.

Copyright © 1999 ISF München.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ohne Zustimmung des Instituts ist unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Vertrieb: Campus Verlag, Heerstraße 149, 60488 Frankfurt.
Redaktion und Satz: Christa Hahlweg, ISF München.
Druck und Bindung: Druckerei Novotny, 82319 Starnberg.
Printed in Germany.

Inhalt

Vorbemerkung	7
Nutzerorientierte Entwicklung von Interaktionssystemen	7
<i>Helmuth Rose</i>	
Transformative Kooperation als Fokus innovativer technischer Entwicklungen	11
<i>Helmuth Rose, Hartmut Schulze, Manfred Moldaschl, Konrad Selb, Christoph Siegel</i>	
Funktionsbedarf nutzergerechter Interaktionssysteme	41
<i>Hartmut Schulze, Uwe Funk, Anja Hildebrandt, Martin Wahl</i>	
Anforderungen an ein handlungsorientiertes Interaktionssystem	83
<i>Hartmut Schulze, Helmuth Rose, Harald Witt</i>	
Nutzerbeteiligung bei Entwicklung und Evaluation des handlungsorientierten Interaktionssystems	113
<i>Martin Wahl, Detlef Zühlke, Ulrich Laible</i>	
Prototyp für ein einheitliches Interaktionssystem in der Serienfertigung bei Daimler-Benz	135
<i>Herbert Schulz, Christian Glockner</i>	
Handlungsbaustein Programmieren im Interaktionssystem – Programmerstellung und -korrektur mit featurebasierten Bearbeitungsobjekten	157

<i>Hartmut Schulze, Marco Litto, Helmuth Rose, Alfred Storr</i>	
Handlungsbaustein Diagnose im Interaktionssystem – Technische Unterstützung erfahrungsbasierter Störungsbewältigung in der Serienfertigung	171
<i>Martin Delp, Christof Meier, Ralf Eissler</i>	
Nutzerorientierte Taxonomie der Begriffe und Symbole zur Beschreibung von Werkzeugmaschinensteuerungen	199
<i>Helmuth Rose, Siegmar Haasis, Hartmut Schulze</i>	
Technische Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit mit Prozeßketten in der Produktion	217
Literatur	229
Die Autoren	237
Das Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V. München	238

Vorbemerkung

Nutzerorientierte Entwicklung von Interaktionssystemen

Der vorliegende Sammelband knüpft an die seit den 80er Jahren bestehende Technikgeneseforschung an (vgl. z.B. Rammert 1993). Er fußt vornehmlich aber auf der seit Beginn der 90er Jahre begonnenen Technikbedarfs- und Technikinnovationsforschung (vgl. z.B. Rose 1995). Das Augenmerk liegt auf nutzergerechten Interaktionssystemen in der Produktionstechnik an der Mensch-Maschine-Schnittstelle (die zu früheren Zeitpunkten entsprechend der Vernachlässigung des Aspekts der Handlungsorientierung zumeist als Bediensysteme bezeichnet wurden).

In den Beiträgen werden die sozial- und arbeitswissenschaftlichen Ergebnisse des Verbundprojekts „Entwicklung herstellerübergreifender Module für den nutzerorientierten Einsatz der offenen Steuerungsarchitektur“ (HÜMNOS) (VDW 1995) dargestellt. Eine Übersicht der ingenieurwissenschaftlichen Ergebnisse dieses Verbunds findet sich in dem vom Verband Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW) herausgegebenen Bericht „Trendwende in der Steuerungstechnik“ (VDW 1998).

Das vom Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Produktion 2000“ geförderte Verbundprojekt HÜMNOS hat sich mit offenen Steuerungen für Werkzeugmaschinen, Bearbeitungszentren und Transferstraßen befaßt. Es schließt thematisch an das von der Europäischen Union geförderte Verbundvorhaben „Open System Architecture for Controls Association“ (OSACA) an. Im Rahmen von OSACA wurde eine erste Spezifikation einer Systemplattform (Referenzarchitektur, API, Kommunikation) für offene Steuerungen erarbeitet. HÜMNOS führte den Innovationsprozeß durch Weiterentwicklung der Systemplattform (Erweiterung der Referenzarchitektur und Vervollständigung der Kommunikationsobjekte) und durch die Entwicklung eines Werkzeugs für die Konfiguration von Steuerungssystemen sowie konfigurierbarer Anwendungsmodule (für dispositive Funktionen beim Auftrags-, Werkstück- und Werkzeugmanagement und zur Systemüberwachung bei Diagnose, War-

tung, MDE/BDE) fort. Mit der Perspektive der Nutzerorientierung wurde auch ein Konzept für eine einheitliche Interaktionslogik und davon abgeleitete Benutzungsoberfläche für die Präsentation von und Interaktion mit Maschinenfunktionen erstellt und für die Gestaltung der Anwendungsmodul prototypisch umgesetzt. Im Rahmen von HÜMNOS wurden schließlich auch die Funktionsfähigkeit offener Steuerungen im Produktionsumfeld von Anwendern demonstriert und erste Abschätzungen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit vorgenommen.

Das Verbundvorhaben wurde im Rahmen von fünf Projektgemeinschaften und vier Querschnittsaufgaben durchgeführt. Schwerpunkte der Projektgemeinschaften waren „Steuerungsplattform“ (1), „Konfigurationswerkzeug“ (2), „Benutzungsoberfläche“ (3), „Organisationsmodule“ (4) und „Diagnose, MDE/BDE-Modul“ (5). Themen der Querschnittsaufgaben waren: Wirtschaftlichkeitsanalyse, pilothafte Demonstration im prozeßnahen Umfeld, Entwicklung einer Prüfmethode für Architekturobjekte und Analyse des Kooperationsprozesses.

Der Sammelband spiegelt insbesondere die enge Zusammenarbeit zwischen den Planern von Fertigungstechnik, Verfahrensentwicklern, Programmierern, Maschinenführern und Instandhaltern von Maschinenanwendern sowie Ingenieuren und Arbeitspsychologen aus ingenieur-, arbeits- und sozialwissenschaftlichen Instituten zur Erstellung eines Anforderungsprofils für Benutzungsoberflächen aus Nutzersicht und zur Entwicklung und Evaluation eines daran ausgerichteten Prototyps wider. Auf der Seite der Anwender waren es Mitarbeiter von der BMW AG, München, und der Daimler Benz AG, Stuttgart, auf der Seite der Entwickler waren es Mitarbeiter von verschiedenen wissenschaftlichen Instituten: FISW, Stuttgart; PAK, Universität Kaiserlautern; PTW, Technische Universität Darmstadt; FhG IAO, Stuttgart; Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung, München, und Psychologisches Institut I der Universität Hamburg. An der Vorbereitung und Durchführung von Untersuchungen in der Projektgemeinschaft 3 „Benutzungsoberfläche“ beteiligten sich bei der Breiterhebung außer den bereits genannten Partnern Mitarbeiter von der Siemens AG, Fürth-Erlangen, und der Trumpf GmbH & Co., Ditzingen, und bei der Erstellung des Style-Guides Mitarbeiter der Siemens AG, Fürth-Erlangen, Robert Bosch GmbH, Erbach, Daimler Benz Aerospace AG, Berlin, Unipo Electronic GmbH, Michelstadt, Gebr. Heller GmbH, Nürtingen, und Trumpf GmbH & Co, Ditzingen.

In den Sammelband wurde außerdem eine Weiterentwicklung eines anderen ebenfalls vom BMBF geförderten Verbundvorhabens zum Thema „Handlungsorientierte Lösungen für Werkzeugmaschinensteuerungen zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter und gruppenfähiger Facharbeit“ (WesUF) (Rose 1996) aufgenommen.

Im Rahmen des Verbundprojekts HÜMNOS wurde das in WesUF für die Arbeit mit einzelnen Werkzeugmaschinen erarbeitete Konzept handlungsorientierter Benutzungsoberflächen durch Untersuchungen in bezug auf die Arbeit mit Bearbeitungszentren und Transferstraßen ergänzt und erweitert (s. den Beitrag von Schulz und Glockner in diesem Band, S. 157 ff.). Außerdem wurde bei der Daimler Benz AG ein Konzept für abteilungsübergreifende, gleichwohl erfahrungsbasierte Informationsverarbeitung entlang der NC-Verfahrenskette erarbeitet (s. den Beitrag von Rose, Haasis und Schulze, S. 217 ff.).

Für den Handlungsbereich Bearbeiten im Interaktionssystem sei an dieser Stelle auf Ergebnisse aus dem Verbundvorhaben „Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit mit Werkzeugmaschinen (CeA)“ verwiesen (Martin 1995).

Der Sammelband gibt zum ersten Mal eine systematische Übersicht über das gemeinsam mit Nutzern in CeA 1990 begonnene, in WesUF 1995 weiterentwickelte und in HÜMNOS 1998 vervollständigte „Konzept handlungsorientierter Benutzungsoberflächen für erfahrungsgeleitete Arbeit mit Produktionsmaschinen und -anlagen“ und zeigt dessen Funktionalität für den Handlungsbereich Programmieren (als Schwerpunkt insbesondere für die Arbeit mit Einzelmaschinen) und für den Handlungsbereich Diagnose (als Schwerpunkt insbesondere für die Arbeit mit Transferstraßen) auf. Darüber hinaus wird zum ersten Mal im Zusammenhang die Methodik des Nutzereinbezugs bei innovativen Konzeptentwicklungen und Evaluierungen von Prototypen beschrieben. In der Darstellung der Handlungsbereiche des Interaktionssystems und in den Überlegungen über erfahrungsgeleitete Arbeit mit Prozeßketten werden auch die Konturen für die zukünftige Ergänzung des Konzepts deutlich. Sie beziehen sich auf den Aspekt des Erfahrungsaustauschs von Produktionsmitarbeitern zwischen Schichten, aber auch zwischen Betrieben sowie zwischen Nutzern und Entwicklern im Rahmen überbetrieblicher und abteilungsübergreifender Zusammenarbeit auf der Grundlage von objektorientierten Informationsmodellen, technischen Kommunikations-Netzwerken

und Formen der Telekooperation für verteilte Arbeit. Durch die genannten Verbundvorhaben des BMBF ist ein Innovationsnetzwerk entstanden. Die Partner dieses Netzwerks befassen sich – den in diesem Band erläuterten Vorstellungen folgend – gegenwärtig mit der Ausarbeitung eines breit angelegten innovativen Verbundprojekts „Hybride Interaktion als Leitperspektive für Mensch-Technik-Beziehungen in der Wissensgesellschaft (Hybrid)“.

Die Endredaktion und die buchtechnische Fertigstellung erfolgten durch Christa Hahlweg, ISF München.

München, Oktober 1998

Helmuth Rose
Hartmut Schulze

Helmuth Rose

Transformative Kooperation als Fokus innovativer technischer Entwicklungen

1. Zusammenfassung
2. Ausgangssituation: neuere Ergebnisse sozial- und ingenieurwissenschaftlich orientierter Kooperationsforschung
3. Kooperationsforschung im Rahmen des Verbundprojektes HÜMNOS
4. Ansatzpunkte zur Förderung transformativer Kooperation im Verbundprojekt HÜMNOS
5. Ausblick: Aufbau nachhaltig emergenter Innovationsnetzwerke als zukunftsweisende Leitperspektive

1. Zusammenfassung

Zahlreiche Expertenkommissionen und Fachkonferenzen zum Thema Innovation am Standort Deutschland betonen die Bedeutung der Kooperation zwischen den Abteilungen eines Unternehmens wie auch zwischen Herstellerunternehmen, Lieferanten, Kunden bzw. Anwendern und Wissenschaft als wichtige Innovationsressource. Situationsanalysen zur Produktentwicklung in Deutschland kommen allerdings zu dem Ergebnis, daß die deutsche Industrie hier erheblichen Nachholbedarf hat, um im weltweiten Wettbewerb bestehen zu können. Um dieser Herausforderung begegnen zu können, wird neben dem Einsatz von Produktentwicklungsmethodiken und dem Ausbau von Informations- und Kommunikationstechnik zur Verbesserung des Wissensmanagements auch die Förderung kooperativer Prozesse empfohlen. Das erweckt mitunter den Eindruck, daß es allein ausreichen könnte, sich für mehr Kooperation zu entscheiden, damit sie auch eintritt. Die Praxis lehrt, daß sie sich gegenwärtig nur unter bestimmten Bedingungen (z.B. bei homogener Zusammensetzung

der beteiligten Akteure, bei Marktführerschaft durch ein Unternehmen oder hohen Marktausschöpfungschancen für mehrere Unternehmen) durchaus erfolgreich herstellen läßt, sonst aber die Barrieren für Kooperation – wie unterschiedliche Wissensgebiete, Erfahrungshorizonte, Erwartungshaltungen und geschäftsbedingte Interessenlagen – sich so leicht nicht überwinden lassen, insbesondere wenn auch zwischen konkurrierenden Unternehmen und spezialisierten Berufsgruppen zumindest begrenzt kooperiert werden soll.

HÜMNOS zeigt, daß auch zwischen konkurrierenden Partnern und Spezialisten verschiedener Fachdisziplinen erfolgreich Kooperationsbeziehungen entwickelt werden können. Als wichtige Voraussetzungen haben sich ein „geschützter“ Diskussionsraum und die Beteiligung von Anwendern bei der Konzeptentwicklung erwiesen. Der Verlauf von HÜMNOS weist zudem auf drei weitere wichtige Bedingungen für eine innovationsförderliche Entwicklung durch transformative Kooperation hin: die Entwicklung einer Kooperationsplattform als Handlungsrahmen, die Förderung relationaler Kooperation als Ergänzung funktionaler Kooperation und die Unterstützung gemeinsame Erfahrungsräume öffnender Kommunikationsprozesse. Liegen diese Voraussetzungen und Rahmenbedingungen vor, ist die Chance gegeben, daß sich durch die Eigendynamik getrieben emergent innovative Problemlösungen ergeben. Damit erbringt HÜMNOS den empirischen Nachweis über aussichtsreiche herstellerübergreifende Innovationsstrategien für den Standort Deutschland (und Europa), die auch als sinnvolle Ansatzpunkte für die Forschungspolitik angesehen werden können.

2. Ausgangssituation: neuere Ergebnisse sozial- und ingenieurwissenschaftlich orientierter Kooperationsforschung

Die gegenwärtig weltweiten Marktveränderungen fordern dem Anlagen- und Maschinenbau neue Strategien ab. Marketing, Entwicklung, Herstellung und Service von Produkten müssen mehr als bisher miteinander und an Kundenbedarf orientiert gekoppelt werden. So kommt es im Zuge der Globalisierung darauf an, die Normen verschiedener Länder und Eigenstandards von Kunden zu berücksichtigen. Aus Finanzierungsgründen wird es auch vermehrt notwendig, die Inanspruchnahme von Dienstleistungen oder die Produktion von Bauteilen in Kundenländer zu verge-

ben. In den meisten Branchen kommt es zu immer kürzeren Produktlebenszyklen und Pay-off-Perioden. Wie auch in anderen technologie- und forschungintensiven Branchen entscheiden im Maschinenbau die Forschungs- und Entwicklungszeit, der Produkteinführungszeitpunkt und die globale Verfügbarkeit eines Produktes über dessen Markterfolg. Mehr und mehr wächst auch die Einsicht, daß eine gemeinsame Wertschöpfung aller am Produktlebenszyklus Beteiligten insgesamt die höchstmöglichen Vorteile erbringt (Rose 1994; Bieber 1997, S. 128 ff.).

Dieser Situation entsprechend haben sich auch die Bedingungen für Forschung und Entwicklung bei den Herstellern verändert. Um den Aufwand für Entwicklung und Anpassung zu reduzieren, kommt es stärker als bisher darauf an, eigene Produktkonzepte modular auszulegen, damit preisgünstige, markterprobte, wiederverwendbare Module von anderer Seite integriert werden können (Heidenreich u.a. 1997, S. 151). Werden zur Unterstützung dieser Vorgehensweise Konzepte offener Steuerungsarchitekturen verwendet, bedarf es neben der Abstimmung über zugrundegelegte Referenzkonzepte auch der Abstimmung über die Kriterien und die Prüfmechanismen portierbarer, skalierbarer, austauschbarer und interoperabler Applikationen. Innerhalb derartiger Abstimmungen ist dabei Raum für eine Vielfalt von komplementären und substitutiven Standards (Schmidt, Werle 1994, S. 118).

In Zusammenhang mit den Möglichkeiten technischer Kommunikation läßt sich voraussehen, daß in Zukunft Maschinen und Anlagen, die auf offenen Steuerungen aufbauen, auch als Komponenten „offener Fabriken“ genutzt werden können. Deren Charakteristikum besteht darin, daß Hersteller, Anbieter und Anwender bei Entwicklung und Betrieb auf der Basis virtueller Kooperation i.S. wechselseitiger Inanspruchnahme von produktbezogenen Dienstleistungen systematisch Informationen zur gemeinsamen Wertschöpfung austauschen.

Bedarf und Notwendigkeit zur zwischenbetrieblichen und innerbetrieblichen Kooperation – z.B. mit Kunden und Zulieferern, zwischen Unternehmensabteilungen, in Projektteams – nehmen somit beschleunigt zu (Lutz 1997, S. 14). Kooperation wird als effektive Koordinationsmethode, in turbulenten Umwelten flexibel reagieren zu können, zu einem wichtigen Schlüssel für innovative Entwicklungen (Hirsch-Kreinsen, Merz 1997, S. 84 ff.; Belzer 1993, S. 115). Diesen Trend belegt u.a. eine Untersuchung des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) über das Innovationsverhalten der deutschen Wirtschaft, nach der der Anteil der

FuE-treibenden Unternehmen, die mindestens eine FuE-Kooperationsbeziehung unterhalten, von weniger als 10 % im Jahre 1971 auf knapp 50 % im Jahre 1992 angestiegen ist (Fritsch 1996, S. 39). Die Industrie steht gleichsam vor einem Quantensprung in diese Richtung (Schultz-Wild, Lutz 1997). Doch wenn auch einzelne Unternehmen diesen Sprung schon geschafft haben, zählen umfangreiche Kooperationsbeziehungen noch nicht zu den Stärken der deutschen Industrie, wie eine ebenfalls vom Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie aus Mitteln des Rahmenkonzepts „Produktion 2000“ geförderte Untersuchung „Neue Wege zur Produktentwicklung“ herausstellt. Eine Übersicht über die Befunde zeigt die Abbildung 1.

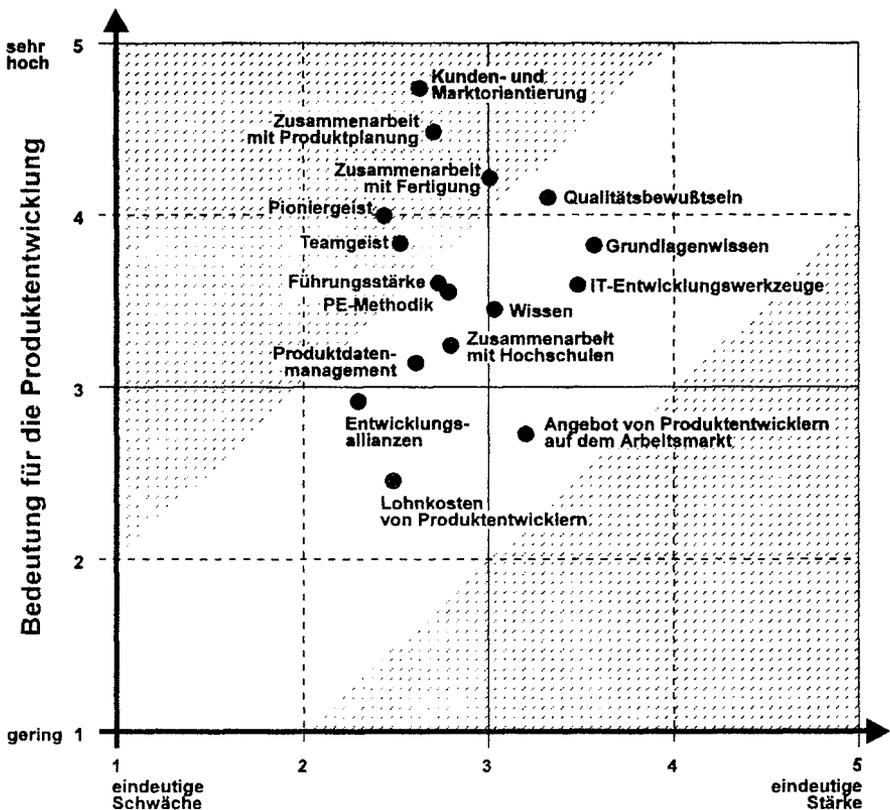


Abb. 1: Innovationsstärken/-schwächen in Deutschland (Grabowski, Geiger 1997, S. 31)

Da die hier kurz genannten Tendenzen und Situationsanalysen bekannt sind, erstaunt es kaum, daß es eine Vielzahl von Konzepten und Maßnahmenvorschlägen zur Verbesserung von Kooperationen gibt. Allerdings beruhen diese häufig lediglich auf allgemeinen Annahmen, weniger auf Ergebnissen wissenschaftlich fundierter Erforschung konkreter Kooperationsprozesse im Rahmen von Forschung und Entwicklung. Die nachfolgende Kurzdarstellung von Forschungsergebnissen zeigt dies sehr eindrucklich.

Im Mittelpunkt wirtschaftswissenschaftlich orientierter Forschung (in bezug auf Kooperation) steht die Frage nach dem geeigneten Informationstransfer bei Innovationstätigkeiten: Wie kann der Informationsaustausch zwischen teilweise konkurrierenden Firmen so gestaltet werden, daß für alle möglichst Vorteile, zumindest aber keine Verluste eintreten?

Eine Reihe von empirischen Studien über die Innovationstätigkeit kooperierender Firmen hat den Nachweis erbracht, daß sich hierdurch neues Wissen über die beteiligten Firmen hinaus in der eigenen, aber auch in anderen Branchen verbreitet, d.h., daß sich ein sog. Spillover-Effekt einstellen kann.

Zur Analyse der Übermittlung von Informationen als Kernstück der Innovationstätigkeit sind vor allem zwei Konzepte bekannt geworden. Gerade FuE-bezogene Informationen können häufig nur mit erheblichem Aufwand transferiert werden und müssen deshalb als „sticky“ eingestuft werden. Gründe für die „Stickiness“ können dabei vielfältig sein: die Entgelte für den Zugang, der kumulative Charakter der Informationen, die eingeschränkte Dokumentierbarkeit, die Komplexität der erforderlichen Informationen, der notwendig vorausgesetzte Informationsbestand usw. Das Konzept der Stickiness von Informationen kann zur Erklärung einer Reihe beobachteter Verhaltensweisen herangezogen werden (Fritsch, 1996, S. 22 f.): daß z.B. kleine High-tech-Unternehmen häufig dazu neigen, Produktion und Vermarktung ihrer Produkte selbst zu übernehmen; daß Entwicklungsaufträge, die an andere Firmen vergeben werden, sich auf Standardprobleme beziehen; daß bei Produkten, deren Gebrauchswert stark von den Anwendungsbedingungen des Nutzers abhängt, dem Test von Prototypen durch Anwender eine große Bedeutung zukommt; daß im Falle der Entwicklung eines Produktes durch mehrere Unternehmen die Aufgaben so aufgeteilt werden, daß möglichst große Bereiche von den Beteiligten weitgehend autonom bearbeitet werden können und dadurch der Aufwand für das Schnittstellenmanagement minimiert wird;

und daß derjenige Kooperationspartner größere Anreize hat, die Stickiness von Informationen zu reduzieren – z.B. durch Ferndiagnose-Einrichtungen oder nutzerfreundliche Produktgestaltung –, bei dem die höheren Kommunikationskosten anfallen.

Insgesamt ergeben sich zwei wichtige Interpretationen: Die Stickiness von Informationen beschränkt ungewollte Spillover der Innovationstätigkeit. Probleme der Appropriation neuen Wissens stellen einen wesentlichen Anreiz für Kooperationen im Innovationsprozeß dar. Besondere Bedeutung hat auch das beim Informationsnachfrager bzw. -empfänger vorhandene Wissen. Je aktiver Unternehmen Kooperationen bei FuE oder in der Produktion betreiben, um so größer wird ihre Fähigkeit, innovationsrelevantes Wissen wahrzunehmen, d.h., ihre absorptive Kapazität wächst. FuE-Joint-ventures konzentrieren sich deshalb eher auf solche Bereiche, in denen das generierte Wissen relativ problemlos von den Beteiligten absorbiert werden kann.

Die soziologisch orientierte Forschung hat sich (in bezug auf Kooperation) vor allem mit Technikgenese als mehrstufigem Prozeß der sozialen Konstruktion von Technik und mit zwischenbetrieblicher Kooperation als Rationalisierungsstrategie befaßt.

Technologische Evolution folgt aus dieser Sicht Migrationspfaden, die durch soziale Prozesse der Variation und Selektion gelenkt werden. Konkurrenz oder Kooperation sind dabei die treibenden Kräfte. Hierbei werden Kooperationen entsprechend der Stellung der Kooperationspartner im Marktprozeß vor allem in horizontale und vertikale Beziehungen unterteilt. Im Falle der horizontalen Kooperation konkurrieren die Akteure auf ihrem Absatzmarkt miteinander; bei der vertikalen Kooperation geht es um eine Abnehmer-Zulieferer-Beziehung. Durch Koppelung der Handlungsstrategien heterogener Akteure entsteht ein soziales Netzwerk, das zum Träger und Motor von Technikentwicklung wird (Weyer 1997, S. 45). Darunter werden komplexe Geflechte von Kooperationsbeziehungen zwischen mehr als zwei Partnern verstanden. Die strategischen Entscheidungen werden von einem einzelnen oder von mehreren fokalen Unternehmen gefällt. Es besteht eine intentionale formale Struktur, mit der langfristig stabile Interorganisationsbeziehungen aufgebaut werden (Sydow, Windeler 1994). Ungenaue Ex-ante-Spezifikationen der Austauschbeziehungen und informeller Informationsaustausch herrschen vor. Hierarchische Instanzen mit funktional verankerten Autoritäten fehlen weit-

gehend. Da hierdurch erhebliche Unsicherheiten im Umgang miteinander gegeben sind, kommt dem Vertrauen, das die Akteure zueinander aufbringen, besondere Bedeutung als „Kitt der Zusammenarbeit“ zu (Fritsch 1996, S. 29; Bronder 1993, S. 50). Vertrauen ist der „Klebstoff“, der die Kooperationspartner aneinanderbindet und gleichzeitig verhindert, daß ein übergroßes Maß an detaillierten und zumeist kostenintensiven Regelungen und Kontrollen notwendig wird (Belzer 1993, S. 214; Loose, Sydow 1994, S. 187). Es beruht vor allem auf dem Austausch von Vor- und Gegenleistungen, bei dem auch temporäre Asymmetrien zugelassen sind (Wurche 1994, S. 153 f.).

Innovationen lassen sich als sozialer rekursiver Prozeß verstehen, dessen Verzweigungen aus zahlreichen Rückkopplungsschleifen, Iterationen und Überschneidungen beim Informationsaustausch der Akteure untereinander entstehen (Asdonk u.a. 1994, S. 75). Das Zusammenwirken unterschiedlicher Teilrationalitäten institutionalisiert sich dabei in innerbetrieblichen und betriebsübergreifenden Kooperationsstrukturen, die spezifische Abstimmungs- und Koordinationsleistungen erfordern. Netzbeziehungen können dabei je nach Zweck, beteiligten Akteuren und tradierten Vorgehensweisen unterschiedlichen Prinzipien folgen. Es gibt eine Vielzahl von Erklärungsmustern über die zugrundeliegenden Wirkungszusammenhänge. So werden sie einerseits als eine Strategie systemischer Rationalisierung entlang Wertschöpfungsketten verstanden, innerhalb derer es zu antagonistischer Kooperation zwischen Partnern mit im Wettstreit liegenden Geltungsansprüchen (Pohlmann 1996, S. 60 f.) bzw. mit stabil asymmetrischen Dependenzbeziehungen um fokale Unternehmen im Netz kommt (Bieber 1997, S. 129; Sauer, Döhl 1997, S. 68; Sauer 1992, S. 62). Für andere wirkt das Netzgefüge gleichsam i.S. eines Kollektivakteurs als „vielköpfige Hydra“, deren Handlungen nicht in einem Knoten, sondern in sämtlichen Knoten vollzogen werden (Teubner 1992, S. 208) Da die Netzwerke Ergebnis einer Quasi-Externalisierung bzw. Quasi-Internalisierung von Unternehmensfunktionen sind, können sich vertikal integrierte und diversifizierte Unternehmungen durch Funktionsausgliederung oder -externalisierung auch weitgehend in Netzwerken auflösen. In diesem Fall läßt sich auch von virtuellen Unternehmen reden. Die Logik des Netzwerkes ist jedenfalls ein wichtiger Faktor für die Erklärung des Pfades der Technikgenese (Weyer 1997, S. 43).

Als konkrete Formen von FuE-Kooperation sind u.a. bisher registriert worden (Fritsch 1996, S. 30):

- die Durchführung gemeinsamer FuE-Aktivitäten in einer separaten organisatorischen Einheit, die den Kooperationspartnern gemeinsam gehört (Joint Venture);
- FuE-Kooperation i.S. einer zielgerichteten Koordination der Aufgaben von rechtlich selbständigen Unternehmen im Rahmen bestimmter Projekte (strategische Allianzen);
- gemeinsame Nutzung von Laboratorien;
- Ex-ante-Vereinbarungen der gegenseitigen Erteilung gebührenfreier Lizenzen aus Patenten, die aus bestimmten FuE-Aktivitäten resultieren;
- das „Information trading“, d.h. der informelle Austausch von Erfahrungen auf der Basis von Gegenseitigkeit sowie
- die Zusammenarbeit in Arbeitskreisen, z.B. für Standardisierung und Normung.

Für FuE-Kooperationen werden von den kooperierenden Betrieben in einschlägigen Untersuchungen mehrere Motive angegeben. Im Vordergrund stehen erwarteter Zeitgewinn und Know-how-Vorteile, gefolgt von Zugang zu neuen oder komplementären Technologien und Marktzutritt, letztendlich auch Kostenvorteile und Kompetenzgewinn (Belzer 1993, S. 170 f.; Bronder 1993, S. 19 ff.)

Die sozialpsychologisch orientierte Forschung hat sich (in bezug auf Kooperation) insbesondere den Verlaufsprozessen zugewandt, die bei der Durchführung von Kooperationen auftreten.

Kooperationen laufen diesen Untersuchungen zufolge im Rahmen eines Zyklus ab (Wehner u.a. 1996a, S. 46 ff.). Dabei lassen sich fünf Phasen für Zusammenarbeit unterscheiden. Ausgangspunkt ist eine mit der traditionellen Arbeitsteilung verbundene initiale Koordiniertheit. Anlaß für weitere Kooperation sind häufig nichtantizipierte, unerwartete Ereignisse (Störungen), die situativ bewältigt werden müssen. Damit dies gelingt, bedarf es gemeinsamer Übereinkünfte. Dies ist Kennzeichen einer Phase, die als restaurativ bzw. korrektiv zur bestehenden Koordiniertheit bezeichnet wird. Wächst der Zusatzaufwand für Korrekturen, wird deutlich, daß die bisherige Koordination kritisch geworden ist und einer Erneuerung bedarf. Koordinationskrise und ihre Bewältigung charakterisieren

die Phase expansiver Kooperation. Sie wird begleitet durch Aktivitäten der Ko-Konstruktion, um neue Horizonte zu bestimmen. Am Ende der expansiven Kooperation schließt der Zyklus mit der Phase der remediativen Koordination ab.

Durch den Zyklus werden Kooperationen auf ein sich stets änderndes Niveau gebracht. Damit der Zyklus ablaufen kann, bedarf es sowohl Systemvertrauen, d.h. der Zuversicht der Akteure in einen geregelten Ablauf, als auch des personalen Vertrauens auf der Basis von Kopräsenz und Reziprozität. Je mehr ein Akteur den Handlungsrahmen anderer Akteure kennt und – besser noch – versteht, um so mehr entwickelt sich das personale Vertrauen. Für dieses Kennenlernen eignen sich verschiedene Interaktionsmöglichkeiten (Endres, Wehner 1996, S. 105 ff.). Zu diesen gehören Hospitationen, die Einführung von Grenzgängern, die Einrichtung von Werkstattkreisen und „Runden Tischen“. Das Kennenlernen erfolgt über Abstimmungs- und Austauschprozesse in bezug auf lokale Deutungsmuster und Handlungsfelder. Indem tradierte Perspektiven fraglich werden, können auch neue Orientierungsmaßstäbe entstehen, die wiederum die Entdeckung von Möglichkeiten für Verbesserungen oder neue Ideen in Praxisgemeinschaften fördern (Wehner u.a. 1996, S. 80).

Die ingenieurwissenschaftlich orientierte Forschung hat sich (in bezug auf Kooperation) vor allem mit Fragen erfolversprechender Innovationsstrategien bei technischen Entwicklungen und mit Fragen der Informationsflüsse befaßt, die technische Entwicklungen begleiten.

Bei technischen Einzel- und Systementwicklungen lassen sich verschiedene Innovationsmuster nachweisen. Je nach Stoßrichtung lassen sich grundsätzlich zwei Innovationstypologien unterscheiden, in deren Kern Sprunginnovation oder inkrementelle Innovation stehen (Hartmann, König 1996, S. 155 ff.). Beim ersten Typ ist zumeist ein Spezialist oder eine Einzelperson (als Führer) die treibende Kraft; sie ist eher chancengetrieben. Beim zweiten Typ ist es meistens eine Gruppe (als Folger), die häufig krisengetrieben aktiv wird.

Mehr und mehr setzt sich hierbei die Erkenntnis durch, daß für die Produktentwicklung (Produktplanung, Konstruktion, Arbeitsplanung) Informationen aus späteren Phasen des Zyklus (Herstellung, Vertrieb, Nutzung, Entsorgung) an Bedeutung gewinnen. Ebenso besteht Übereinstimmung darin, daß es in Zukunft auch darauf ankommen wird, verteiltes Wissen unternehmensübergreifend und zunehmend weltweit effektiv aus-

tauschen zu können (Picot u.a. 1996; Probst u.a. 1997). Aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht sind hierfür neben Standards und Referenzprozessen insbesondere informationstechnische Systeme, Methoden und Werkzeuge für den Informationsaustausch entlang Prozeßketten und Prozeßnetzen erforderlich, die sich auch für Wissensmanagement eignen. Zur Förderung kooperativer Prozesse sollten zukünftige Methoden, Organisationsformen und Prozesse zudem beliebig kombinierbar, durch minimalen Aufwand aufeinander abstimmbare sowie an gegebene Rahmenbedingungen anpaßbar sein (Grabowski, Geiger 1997, S. 147).

Inwieweit können die hier ausgewählten Ergebnisse sozial- und ingenieurwissenschaftlicher Forschung dazu beitragen, Kooperationen insbesondere auch zwischen konkurrierenden und spezialisierten Partnern bei technologischen Entwicklungen zu erklären oder zu optimieren? Wird das Verbundvorhaben HÜMNOS – „Entwicklung herstellerübergreifender Module für den nutzerorientierten Einsatz der offenen Steuerungsarchitektur“ (VDW 1995) – als Bezug gewählt, ergeben sich einige Implikationen.

Das Konzept der offenen Steuerungsarchitekturen ist im Hinblick auf den Informationstransfer zwischen kooperierenden Firmen als erheblich „sticky“ zu bewerten. Deshalb können auch daraus resultierende Verhaltensweisen beobachtet werden, z.B. die Aufteilung autonom zu bearbeitender Bereiche oder die Entwicklung von Prototypen. Ebenso zeigen sich Anzeichen für einen Spillover-Effekt. Die Appropriation neuen Wissens über offene Steuerungsarchitekturen stellt einen erheblichen Anreiz für Kooperation dar. Das Verbundvorhaben HÜMNOS wird i.S. einer Allianz durchgeführt und weist Merkmale auf, die Netzwerken zugerechnet werden. Es ist den Unsicherheiten bei Kooperationen entsprechend (z.B. hinsichtlich Know-how-Abfluß) auf wechselseitiges Vertrauen angewiesen. Im Verbund laufen soziale Prozesse ab, die sowohl korrektive als auch expansive Kooperation bewirken. Der Einbezug von konkurrierenden und spezialisierten Herstellern erhöht die Chancen für radikale (d.h. neue Systemkonstellationen begründende) Innovations sprünge, ebenso der frühzeitige Einbezug von Anwendern in Forschung und Entwicklung im Vorfeld von Produktentwicklung.

Die Kooperationsanalyse von HÜMNOS hat alle vier Betrachtungsebenen aufgegriffen und durch die Untersuchung des Informations- und Erfahrungsaustauschs bei den laufenden Aktivitäten im Rahmen von

HÜMNOS die Erforschung von Kooperationsbeziehungen zwischen konkurrierenden und spezialisierten Partnern um einige strategisch und operativ wichtige neue Erkenntnisse erweitern können.

3. Kooperationsforschung im Rahmen des Verbundprojektes HÜMNOS

Der deutsche Maschinenbau weist traditionell eingespielte Kooperationsbeziehungen zwischen einzelnen Herstellern und Anwendern sowie Steuerungsherstellern, Softwareanbietern und Hochschulen auf. Nicht zuletzt diese praxisbezogen funktionierende Kooperation ermöglichte der Branche bisher, bewährte Maschinenkonzepte von Herstellern durch inkrementelle Innovationen zu verbessern oder in Nischen durch Sprunginnovationen hervorgehobene Marktpositionen zu erreichen (Hirsch-Kreinsen 1995, S. 21 ff.; Kalkowski, Manske 1993, S. 64 f.; Heidenreich u.a. 1997, S. 147). Im Hinblick auf die veränderten Marktbedingungen ist allerdings zu fragen, ob diese bisher erfolgreichen Innovationsmuster den Herausforderungen der Zukunft genügen können (Hirsch-Kreinsen 1997, S. 156).

Um den Ansprüchen der Kunden nachkommen zu können, benötigen Maschinenhersteller einfache Eingriffe in Steuerungssysteme, so daß die maschinenbauliche wie die steuerungstechnische Lösung aus einer Hand kommen (Siegler 1998). Damit sich Maschinen in Produktionssysteme aus mehreren Maschinen integrieren lassen, benötigt der Anwender flexible, nachträglich anpaßbare und erweiterbare Steuerungen (Bühler 1998). Zur Senkung von Entwicklungs- und Anpassungskosten besteht bei Herstellern wie Anwendern Bedarf an standardisierten Elementen oder an zusätzlichen Softwarepaketen für neue Funktionen. Offene, an einer Referenzarchitektur orientierte Steuerungen und portierbare, erweiterbare, austausch-, skalier- sowie kombinierbare Module stellen hier eine Perspektive dar, die dem Bedarf der Hersteller und Anwender zugleich entgegenkommt (Pritschow 1998).

Die Anzahl der Akteure, die im aus Produktentwicklung und -anwendung bestehenden Innovationsprozeß zusammentreffen, nimmt zu. Hervorzuheben ist auch, daß diese Akteure außerdem über spezialisiertes Know-how verfügen. Dadurch entstehen ganz andere Probleme der Ab-

stimmung und Koordination als bei der bisher meist üblichen linear-sequentiellen Vorgehensweise.

3.1 Überwindung von multiplen Kooperationsbarrieren als Innovationsproblem

Um einen Innovationssprung zu machen, sind hersteller- und anwenderübergreifende Entwicklungen notwendig (Rose 1995, S. 206 f.). Auf der Herstellerseite geht es um ein Konzept einer technischen Kommunikationsplattform und aufsetzbarer Module sowie um dessen Umsetzung in Maschinen und Systemkomponenten. Auf Anwenderseite geht es um Konzepte objektorientierter Integrationsmodelle und um deren breite Umsetzung bei der Weitentwicklung der Produktionssysteme. Beide Seiten sind also aufeinander angewiesen. Von den Maschinenherstellern und Steuerungstechnikherstellern müssen die geeigneten Produkte angeboten werden, von den Anwendern die entsprechende Nachfrage kommen.

Das macht die gleichzeitige Bewältigung von mehreren, sich wechselseitig beeinflussenden und dadurch multiplen Kooperationsbarrieren notwendig. Sie reichen von konkurrierenden Geschäftsinteressen über Angst vor Know-how-Verlust, von Denk- und Herangehensweisen unterschiedlicher Berufsgruppen und ihrer Traditionen (wie bspw. bei Mechanik- und Elektronik-Abteilungen) und von positionsbedingtem Statusverhalten bis hin zu Erschwernissen durch herkömmliche (schwerfällig zentral ausgerichtete) Informations- und Entscheidungsverläufe (Lippert u.a. 1996, S. 241 ff.; Lullies, Bollinger 1993, S. 60 f., 230 ff.). Auch in den bisher üblichen Abstimmungs- und Koordinationsmechanismen spielten sie eine Rolle. Allerdings war es im Vergleich zu heute eher möglich, die notwendigen Austauschprozesse über einige hervorgehobene Positionen und Personen im Rahmen linear-sequentiell verlaufender Entwicklungen abzuwickeln. Das ist durch die gegenwärtigen Tendenzen der Ausdifferenzierung, der Spezialisierung und vor allem der Beschleunigung nicht mehr möglich. Die Problemlage hat sich verändert. Erfolgreiche Innovation muß simultan auf teilweise parallel verlaufende Entwicklungsprozesse zugreifen. Die Akteure kommen in der Regel nur zeitbegrenzt zusammen. Der Austausch von Informationen und Erfahrungen muß direkt durch sie vorgenommen werden. Die verschiedenen, sich mitunter wechselseitig verstärkenden Kooperationsbarrieren müssen multipel in einem begrenzten Zeitrahmen bei zudem begrenzter Aufgabenstellung überwunden werden.

Die Chance bei HÜMNOS, hierfür neue Ansätze der Kooperation zu entwickeln und zu erproben, lag vor allem darin, im vorwettbewerblichen Raum (also vor der eigentlichen Produktentwicklung auf Herstellerseite oder der Investitionsplanung für Produktionsentwicklung auf Anwenderseite) die notwendige Kooperation ansonsten im Wettbewerb befindlicher spezialisierter Unternehmen und Institute als Voraussetzung für eine branchenweite Sprunginnovation zu managen. Um dies zu gewährleisten, wurde in der dem Verbund vorausgehenden Prioritären-Erst-Maßnahme in Anlehnung an die Erfahrungen in einem vorausgegangenen, durch die Europäische Union geförderten Verbund OSACA (Open System Architecture for Controls within Automation Systems) ein Rahmenplan zur Arbeitskoordination geschaffen, der sich an den in der Praxis bewährten Prinzipien des Projektmanagements orientierte (vgl. z.B. Wheelwright, Clark 1994). Kooperation wird dabei als Prozeß verstanden, bei dem mehrere Partner durch themenzentrierte Aushandlung und sachlogische Erörterung Konzepte und Prototypen entwickeln und umsetzen. Bei dem in HÜMNOS verfolgten Managementkonzept lassen sich mit dieser Sichtweise mehrere Schichten, Nahtstellen und Phasen der Kooperation unterscheiden (VDW 1995, S. 16 ff.).

Als Schichten der Kooperation mit jeweilig unterschiedlich formalisierten Regeln kamen zur Geltung: die rechtlichen Abmachungen in den Kooperationsverträgen der Partner, die sachlogisch zusammengefaßten Projektgemeinschaften und die insbesondere praktischen Anwendungsfragen gewidmeten Querschnittsthemen.

Als Nahtstellen der Kooperation wurden verschiedene Gremien und Gruppen für Kommunikation und Interaktion geschaffen: eine Koordinierungsgruppe sowie Projektgruppen in den Projektgemeinschaften, Workshops und Fachgespräche zu den Querschnittsthemen.

Als Phasen der Kooperation ergaben sich auf Verbund- wie auf Projektgemeinschaftsebene: Phasen zur Orientierung, Phasen für Konzeptionierungen, Phasen für Entwicklungen und Phasen für Erprobungen.

Innerhalb dieses in innovativen Unternehmen bereits verwendeten Rahmens wurden allerdings neue Möglichkeiten zur Dynamisierung und Überwindung von Kooperationsbarrieren geschaffen. Ausgangspunkt hierfür war die Perspektive der Koppelung von herstellerübergreifenden Produktinnovationen mit anwenderübergreifenden Prozeßinnovationen. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang insbesondere, daß die Anwender

i.S. von Promotoren mit Verhandlungsmacht (als potentielle Umsetzer neuer Konzepte) fungierten. Auf diese Weise kam es zur Öffnung und Rekonfiguration des bereits im OSACA-Verbund entwickelten Netzwerks. Den Anwendern fiel die Aufgabe zu, durch Einbringung ihrer Sichtweise als übereinkommensfähigen Bezugspunkt den Einigungsprozeß der Partner untereinander sicherzustellen und durch Betonung zu beschleunigen. Von seiten der Technologieführer wurde demgegenüber erwartet, daß durch sie als aufmerksame Beobachter der Wettbewerbsbedingungen ihrer Märkte die mit der herstellerübergreifenden Innovation verbundenen Risiken im Aushandlungsprozeß zur Sprache gebracht würden. Beide Funktionen kamen voll zum Tragen. Im Verbund HÜMNOS entstand dadurch ein kollektiver Erfahrungsraum mit hoher Eigendynamik für die Bewertung bekannter Formen und Methodiken bei Kooperationen ebenso wie auch für die Erprobung neuer Ansatzpunkte der Kooperation für eine innovationsförderliche Entwicklung.

3.2 Kontrastive Kooperationsanalyse als aktive Problemlösungsmethode

Die Kooperationsforschung in HÜMNOS erfolgte parallel zu den laufenden Aktivitäten. Die dafür tätigen Sozialwissenschaftler waren Akteure wie auch die anderen Partner. Ihr Hauptaugenmerk war darauf gerichtet, wie Kooperationsbarrieren zwischen den Akteuren überwunden werden können und wie sich beim Kooperationsprozeß i.S. kooperativer Projekt-evaluierung neue gemeinsame Erfahrungen als Kern kollektiven Lernens gewinnen und nutzen lassen (Lullies u.a. 1993, S. 250). Der gesamte Verbund diente als Forschungsfeld ebenso wie als Erprobungsraum. Die Forschung fand gemeinsam mit allen beteiligten Partnern statt.

Den Sozialwissenschaftlern fiel die Aufgabe zu, die Fragestellungen, die Zwischenergebnisse und Schlußfolgerungen dieser gemeinsamen Forschung zu formulieren und in einen Diskussionsprozeß einzubringen. Ansatzpunkt hierfür war der Gestaltungsbedarf der Anwender und hier insbesondere der Planer von Fertigungstechnik, Instandhalter und Maschinenführer als Nutzergruppen. Es ging darum, die Sicht dieser Nutzer als Kontrast zur Sicht der Entwickler bei Herstellern und Instituten zugänglich zu machen und für Nutzeranforderungen und darauf basierenden Gestaltungsalternativen für Interaktionssysteme aufzubereiten und in Prototypen umzusetzen. Die gesamte Vorgehensweise läßt sich am instruktivsten als kontrastive Kooperationsanalyse bezeichnen.

Dabei wurden verschiedene bekannte sozialwissenschaftliche Verfahren vor allem dazu eingesetzt, den Kontrast von Sichtweisen zu beleuchten und diskussionsreif zu machen (König, Volmer 1993, S. 96 ff.). Zu den eingesetzten Verfahren gehörten u.a.: eine Breitenerhebung mittels standardisiertem Fragebogen (für Hersteller und Anwender) i.S. strategischen Auftau- und Einbindungsmanagements (Borg 1995); als Bestandteile einer Tiefenuntersuchung die Beobachtung von Arbeitsprozessen und die Teilnahme an Gruppengesprächen zwischen Fachkräften aus Verfahrensentwicklung und Produktion (Martin 1995) sowie die Simulation von Verhandlungssituationen (zwischen Vertrieb und Einkauf, zwischen Entwicklern und Produktionsfachkräften) als Rollenspiel (Frommann 1997, S. 223; Dalheimer 1995, S. 238) im Rahmen von Workshops; ferner logfile-basierte Vergleichsanalysen von Vorgehensweisen mit Prototypen (bei Entwicklern und Produktionsfachkräften). Die derart ermittelten Sichten wurden auf fünf Workshops präsentiert. Dabei wurde auch der jeweilige Fortschritt in der Kooperation aufgrund der Einbringung der Sichtweisen erörtert, d.h., es fand eine laufende Rückkopplung zum vorgefaßten Ziel statt, die Bedingungen für herstellerübergreifende Kooperation zu erfassen und zu verbessern. Die am Verbund beteiligten Partner bestimmten damit sowohl das Forschungsdesign als auch den Forschungsfortschritt mit.

Da für ein derartiges, auch den Nutzer unmittelbar einbeziehendes, interdisziplinäres Vorgehen im Bereich der Entwicklung von Produktionstechnik noch keine erprobten Beispiele vorliegen, ergaben sich im Rund der Ingenieure vielfache Risiken für die (Nutzerbedarfe artikulierenden) beteiligten Sozialwissenschaftler. Neben zustimmenden Urteilen wurden eine Reihe skeptischer Anmerkungen artikuliert, die auf die Gesamtsituation ein erhellendes Licht werfen. So wurde den Sozialwissenschaftlern im Verlauf des Verbundes häufig unterstellt, sie würden keine präzisen Fragestellungen verfolgen und auch nicht methodisch exakt arbeiten (und damit Vorurteile von seiten der Ingenieurwissenschaft bestätigen). Hinsichtlich der aufgedeckten Defizite oder Gestaltungsanforderungen wurde häufig als Bewertung geäußert, das wisse man alles längst. Am Schluß des Verbundes wurde den Sozialwissenschaftlern erklärt, daß die beteiligten Ingenieure die erzielten Ergebnisse (z.B. die handlungsorientierte Benutzungsoberfläche) sowieso schon länger angedacht hätten. Diese Aussagen geben Hinweise darauf, welchen Beitrag die Sozialwissenschaften im Verbund für die Kooperation erbracht haben: Sie haben für die beteiligten Ingenieure eine (um einige bisher vernachlässigter Perspektiven) erwei-

terte und neue gemeinsame Erfahrungen stiftende Diskussionsebene erschlossen, wie dies zuvor – aufgrund von Zeitdruck, nicht ausgesprochenen Prämissen und formalen Beschränkungen – nicht möglich war. Die im Verbund praktizierte Kooperation erlaubte somit die Transformation begrenzter Erfahrungsräume in (um zusätzlich relationale Perspektiven erweiterte) übergreifende Erfahrungsräume. Der im Verbund erprobte neue Kooperationsansatz läßt sich diesen Überlegungen entsprechend als Konzept transformativer Kooperation bezeichnen.

4. Ansatzpunkte zur Förderung transformativer Kooperation im Verbundprojekt HÜMNOS

Das Verbundvorhaben HÜMNOS hatte im Hinblick auf zwischenbetriebliche und interdisziplinäre Kooperationen drei strukturelle Ansatzpunkte: erstens die Organisationsstruktur des Verbundes und damit die Zusammenarbeit insbesondere von Herstellern und Anwendern i.S. einer „anwendergetriebenen“ Forschung und Entwicklung. Im Vordergrund stand hier die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit offener Steuerungsarchitekturen für Anwenderprobleme. Zweitens war es die selbstgewählte Aufgabe der Partner des Verbundvorhabens, den nutzerorientierten Einsatz der offenen Steuerungsarchitektur zu erkunden, d.h., den Nutzer als einen Kooperationspartner einzubeziehen. Drittens galt es, trotz konkurrierender Geschäftsinteressen für Problemlösungen relevante Erfahrungshintergründe bei sachlogischen Auseinandersetzungen einzubringen. Die Ergebnisse von HÜMNOS haben den Nachweis erbracht, daß die bekannten Kooperationsbarrieren – wie unterschiedliche Wissensbestände, Erfahrungshintergründe, Erwartungshaltungen und Interessenlagen – auch in einem Diskussionsfeld mit konkurrierenden und spezialisierten Positionen überwunden werden können.

Insbesondere trugen hierzu Synergieeffekte zur Rekonstruktion von gemeinsamen Bezugssystemen bei. Diskussionen um einen Handlungsgegenstand – das Kooperationsobjekt – wurden Kontext für relationale Diskussionen in einem anderen Zusammenhang, d.h. steigerten zugleich und damit implizit die insgesamt mögliche Kooperation. Geäußerte Anteile des Erfahrungshorizonts einzelner Akteure wurden Teil eines neuen gemeinsamen Erfahrungshintergrundes. HÜMNOS erprobte in diesem Sinne drei Ansatzpunkte zur Förderung transformativer Kooperation. Dazu

gehörten die Entwicklung einer Kooperationsplattform als Handlungsrahmen, die Förderung relationaler Kooperation als Ergänzung funktionaler Kooperation und die Unterstützung gemeinsame Erfahrungsräume öffnender Kommunikationsprozesse. HÜMNOS hat damit einen originären Beitrag zur Erforschung der Gestaltung von Kooperationsbedingungen konkurrierender und spezialisierter Partner erbracht.

4.1 Handlungsfeldorientierte Kooperationsplattform

Für die Initiierung und Stabilisierung von Kooperationen konkurrierender und spezialisierter Partner erweist sich die Entwicklung einer handlungsorientierten Kooperationsplattform als nützlich, d.h. Konkretisierung der Bereiche, in denen Übereinkünfte hinsichtlich eines Handlungsgegenstands (Kooperationsobjektes) erzielt werden sollen, die bei Bewertungen als Bezugspunkt für andere sachlogisch definierte Detailbereiche (Funktionsobjekte) dienen können (Krainz 1995, S. 212). Ähnlich wie bei der Gestaltung der Benutzungsoberfläche für Interaktionssysteme stellt die Verknüpfung von Handlungsorientierung und Funktionsorientierung ein noch nicht genügend beachtetes Optimierungspotential dar. Die Handlungsorientierung fördert mehr die Verbindungen und Verknüpfungen, die Funktionsorientierung läßt die notwendigen Differenzierungen und Destillierungen zu. Im Rahmen von HÜMNOS ergab sich eine Plattform durch Gliederung von Bereichen, die verschiedenen Aspekten aus der Sicht der Anwender als Promotoren entsprach. Nicht alle Bereiche, Fragen und Kriterien hierfür lagen zu Beginn von HÜMNOS ausdrücklich fest. Die meisten waren nur grob skizziert und wurden erst im Verlauf der zunehmenden Kooperationen spezifiziert. Insgesamt ergaben sich bei HÜMNOS acht Handlungsfelder:

- die Zusammenarbeit für eine Befragung über die erwartete Wirtschaftlichkeit des Einsatzes offener Steuerungen,
- die Zusammenarbeit für eine pilothafte Demonstration offener Steuerungen bei den Anwendern,
- die Zusammenarbeit für Außendarstellungen des HÜMNOS-Verbundes z.B. auf der EMO,
- die Zusammenarbeit für die Entwicklung von Anwendungsprofilen bei den Modulen,

- die Zusammenarbeit für eine Befragung zum Informationsbedarf von Nutzern,
- die Zusammenarbeit zur Erarbeitung eines Konzepts für eine vereinheitlichte Benutzungsoberfläche bei Anwendern und deren Erprobung auf der Basis eines Prototyps,
- die Zusammenarbeit für die Entwicklung eines „Style-Guide“ zur Gestaltung von Benutzungsoberflächen,
- die Zusammenarbeit zur Festlegung eines Commitment für gemeinsame strategische „Fahrpläne“ zur Erstellung einer technischen Kommunikationsplattform bei Herstellern und Anwendern.

Die Zusammenarbeit fand in kleinen Projektgruppen statt. Bei der Erarbeitung eines Konzepts für eine Benutzungsoberfläche handelte es sich um Projektgruppen beim Anwender, an der Nutzer (Vertreter der Produktionsentwicklung und der Produktion) wie auch wissenschaftliche Einrichtungen teilnahmen. Die weiteren Projektgruppen setzten sich aus Vertretern sowohl von seiten der Maschinen- und Steuerungshersteller als auch der Anwender und wissenschaftlichen Einrichtungen zusammen. An der Diskussion von Zwischenergebnissen in den Projektgruppen beteiligten sich zudem auch weitere Verbundpartner. Über wesentliche Ergebnisse wurde in Workshops und Fachgesprächen i.S. verbundübergreifenden Erfahrungsaustausches und gemeinsamen Erfahrungszugewinns diskutiert. Neben den Projektpartnern nahmen an einigen Workshops und Fachgesprächen auch Arbeitskräfte aus der Produktion der Anwender teil.

Der Verbund steigerte durch diese Vorgehensweise die Anzahl der potentiell möglichen Kontakte und der Chancen für Erfahrungsaustausch. Jeder Verbundpartner war zumindest Mitglied einer Projektgruppe und Teilnehmer der Workshops und der Fachgespräche. Bei vielen Partnern steigerte sich noch die Intensität; sie waren in mehreren Projektgruppen tätig. Zudem nahmen Partner auch an der Diskussion von Zwischenergebnissen der Projektgruppen teil, ohne formell diesen anzugehören. In allen Projektgruppen kam es anfangs u.a. zu erheblichen Auseinandersetzungen über die Spezifikation der Aufgabe. Hier gingen die Sichtweisen mitunter weit auseinander. Die zu Anfang hergestellte gemeinsame Perspektive wurde jedoch im Verlauf der Projektarbeit in einigen Projektgruppen (z.B. zur Befragung nach dem Informationsbedarf der Nutzer oder zur Analyse der Wirtschaftlichkeit oder zur Realisierung einer de-

monstrativen Pilotanlage) mehrfach hinsichtlich Reichweite sowie Durchführbarkeit hinterfragt und dadurch weiterentwickelt.

4.2 Mehrspektivisches Konstruieren und interpersoneller Erfahrungsaustausch

Zusammenarbeit erfolgt grundsätzlich in zwei Dimensionen, die sich als funktionale Kooperation und relationale Kooperation bezeichnen lassen. In der Praxis sind sie miteinander verwoben. Dennoch ist es sinnvoll, sie analytisch zu unterscheiden, da dadurch die Bedingungen und Möglichkeiten für die Förderung der einen oder der anderen Kooperationsform klarer gefaßt werden können, z.B. hinsichtlich der Steigerung des Erfahrungsaustausches zwischen konkurrierenden Partnern bei der Erzielung von Übereinkünften (wie in HÜMNOS). Beide Kooperationsformen sind durch Spezifika hinsichtlich Modus der Arbeitskoordination und Modus der Kommunikation gekennzeichnet.

Bei funktionaler Kooperation fußt die Arbeitskoordination auf der Methode des fokalen Planens und der sequentiellen Bearbeitung. Die Kommunikation gründet sich vermehrt auf formalen Informationsaustausch. Sie ist vor allem dann effektiv, wenn standardisierbare Situationen behandelt werden und dabei strukturiertes personenunabhängiges Wissen angewendet wird.

Relationale Kooperation dagegen ist an Kontexte und an Personen gebunden, die miteinander in Relation treten (Rose 1997). Damit gemeint ist die Erläuterung von Erfahrungshintergründen als Orientierung und Maßstäbe, unter welchen Voraussetzungen z.B. ausgetauschte Informationen gültig sind, welche Ereignisse (Fälle) bei ihrer Nutzung bisher eingetreten sind und welche Erwartungshaltungen mit ihrer Weiterverwendung verbunden sind (Delhees 1994, S. 386). Die Intensität steigert sich, wenn ein gemeinsamer verbindlicher Orientierungsrahmen konzipiert und vereinbart wird. Die Arbeitskoordination bei relationaler Kooperation fußt auf mehrspektivischer Planung und Konstruktion sowie paralleler Bearbeitung. Die Kommunikation ist durch interpersonellen Erfahrungsaustausch gekennzeichnet.

Beim mehrspektivischen Planen und Konstruieren als Koordinationsmodus relationaler Kooperation werden die Sichten verschiedener Partner ausgebreitet und im Gegenstromverfahren miteinander abgeglichen, so

daß durch Feststellung von Ähnlichkeiten und Differenzen gemeinsame Denk- und Handlungsfelder abgeschätzt werden können (Bierhoff, Müller 1993, S. 46; Theis 1994, S. 271). Bei HÜMNOS war es vor allem die Sicht der Anwender, die es in die Entwicklungsarbeiten einzubeziehen galt. Von besonderer Bedeutung war dabei, daß die Belange von potentiellen Nutzern offener Steuerungen im Verlauf von HÜMNOS mehrfach direkt in die Diskussion der Entwickler gebracht wurden. Insgesamt ergaben sich bei HÜMNOS zahlreiche Gelegenheiten: zum einen durch die Vertreter der Anwender in den Projektgruppen des Verbundes, und zwar die Produktionsentwickler bzw. Planer von Fertigungssystemen; zum anderen direkt in den Projektgruppen beim Anwender zur Erarbeitung eines Konzepts für eine Benutzungsoberfläche und durch Beteiligung von Arbeitskräften der Produktion an der Diskussion auf den Workshops. Indirekt erfolgte eine Beteiligung von Nutzern auch durch die Befragung zum Nutzerbedarf. Es erfolgte mithin eine Staffelung in der Nutzerbeteiligung. Sie war am größten bei der Befragung, beschränkt bei den Projektgruppen beim Anwender und noch weiter selektiert bei der Diskussion auf den Workshops. Wie der Verbund zeigt, können erfahrene Arbeitskräfte der Produktion sehr wohl kritische Arbeitssituationen mit bestehender Technik nennen oder durch Erprobung die Eignung neuer technischer Prototypen beurteilen, so daß sich Anforderungen aus Nutzersicht herauskristallisieren. Es zeigte sich aber auch, daß es schwerfällt, neue Konzepte, die andere Arbeitsweisen zulassen, vorweg abzuschätzen. Dieser Befund gilt auch für alle Fachkräfte, die an der Diskussion um die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit teilnahmen. Effekte noch nicht realisierter und erprobter Produkte sind nur bedingt vorherzusehen. Daß trotz dieser Schwierigkeiten Übereinkünfte erfolgen konnten, lag nicht zuletzt an den Möglichkeiten zum interpersonellen Erfahrungsaustausch in HÜMNOS.

Bei interpersonellem Erfahrungsaustausch erfolgt die Kommunikation unmittelbar zwischen den Beteiligten. Kopräsenz und Reziprozität sind die wesentlichen Merkmale, wenn hierbei eine Vertrauensbasis hergestellt werden soll. Sie fördern insbesondere implizites und beiläufiges Lernen (Oberschulte 1996, S. 55). Nach einer Erhebung des Instituts für Sozialwissenschaftliche Forschung im Rahmen von HÜMNOS stimmen die Befragten fast einhellig der Aussage zu, daß persönliche Dialoge und offene Diskussionen die bessere Kommunikationsmethode für wechselseitigen Erfahrungsaustausch und für die Entwicklung von Vertrauen sind. Gemeint ist hiermit wachsaues Vertrauen (bzw. ausgehandelte Loyalität), wie es auch in anderen industriesoziologischen Untersuchungen

beschrieben ist. Wie auch dort ermittelt, ist es durch mehrere Merkmale geprägt: Es baut auf früheren Erfahrungen auf, wird von einer gemeinsamen Erwartung getragen, hat längerfristige Orientierung und wird nach dem Prinzip der Reziprozität des Austausches, z.B. von Vor- und Gegenleistungen, laufend überprüft (Delhees 1994, S. 390; Schulz-Schaeffer u.a. 1997, S. 110 f.).

Die Funktion von Kopräsenz läßt sich darin sehen, durch Nachfragen Unklarheiten direkt zu klären und die Intentionen von Mitteilungen „face to face“ zu verstehen, so daß Abstimmungen auch bei unterschiedlichen Standpunkten und Sichten erleichtert werden. Reziprozität bezieht sich auf das relationale Verhalten untereinander. Damit gemeint ist die Möglichkeit, sich in gleicher Weise artikulieren zu können, ebenso wie die Verlässlichkeit der Einhaltung vereinbarter Absprachen i.S. wechselseitiger Verpflichtungen. Ob dabei generell die gleichzeitige Anwesenheit erforderlich ist, läßt sich gegenwärtig nicht abschließend beurteilen. Eine multimedial im Rahmen von Telekooperation hergestellte Kopräsenz kann die Face-to-face-Präsenz sicherlich in normalen Situationen ergänzen bzw. ersetzen und in kritischen bzw. offenen Situationen vorbereiten (Picot 1997; Reichwald u.a. 1998).

Fest steht, daß interpersoneller Erfahrungsaustausch auf der Basis von Vertrauen in kritischen oder offenen Situationen bevorzugt wird. In diesen Situationen wird interpersoneller Erfahrungsaustausch als weniger aufwendig und als effektiver gegenüber nur funktionalem Informationsaustausch angesehen. Dazu gehören die Informationsbeschaffung bei unvollständiger Informationslage, die mit „engen“ Terminen durchzuführende Bearbeitung von Details oder die Analyse von Fehlerquellen und Störungen und schließlich die Entwicklung gemeinsamer Bewertungsmaßstäbe oder die Behebung von Konflikten (Rose 1997, S. 124).

Das Verbundvorhaben HÜMNOS zeigt, daß Erfahrungsaustausch zwischen Herstellern und Anwendern, bei dem Probleme aus mehreren Perspektiven durch interpersonellen Erfahrungsaustausch beleuchtet werden, innovationsförderlich ist. Im Verbund erfolgte dies insbesondere bei den Diskussionen innerhalb der acht Handlungsbereiche der Kooperationsplattform.

Durch die Erörterung der Wirtschaftlichkeitsaspekte offener Steuerungen wurde die wechselseitige Abhängigkeit von Erwartungshaltungen

deutlich. Wurde die von Entwicklungsingenieuren bevorzugte Sicht auf die Funktionen von Maschinen und Steuerungstechnik der von Endnutzern bevorzugten Sicht auf die Arbeit mit Maschinen und Steuerungstechnik gegenübergestellt, ergab sich ein erweitertes Verständnis des Problemfelds, das durch technische Umsetzung des Nutzerbedarfs zu anderen als bisher üblichen Lösungen führte. So wurde die Benutzungsoberfläche derart gestaltet, daß die Endnutzer für von ihnen als zusammengehörig erlebte Handlungsbereiche Funktionen aus verschiedenen Funktionsbereichen der Maschine und Module zusammenhängend als schnell handhabbare Handlungskette oder als Shortcut aufrufen können (Rose u.a. 1997). Bei der Formulierung des Style-Guide war es die Festlegung einer Topologie, bei der sich die betrachteten Funktionen auch Handlungsbereichen zuordnen lassen (IAO 1997). Bei der Konzeptionierung des Diagnosemoduls war es die Klärung von Informationsqualität und Informationslogistik, um verschiedene Handlungsprinzipien der Endnutzer – wie fallbezogene oder von mehreren phänomenalen Bezugspunkten ausgehende oder von logischen Sachzusammenhängen geprägte Herangehensweisen im Störfall – zu unterstützen (Litto 1998). Durch die Diskussion um die Konturen eines Commitments klärten sich die Folgeschritte (wie die Festlegung eines Lastenheftes für die erste Migrationsstufe) zur Umsetzung des in HÜMNOS entwickelten Standards als „Fahrplan“ für Hersteller und Anwender.

Die im Verbundvorhaben HÜMNOS erfolgreich angewandte Methodik mehrspektivischen Planens und Konstruierens besteht im Kern darin, daß Partner mit unterschiedlichem Erfahrungshintergrund ihre als unbedingt notwendig erachteten Bestimmungsgrößen und Verknüpfungsregeln offenlegen und diese im überlappenden Erfahrungsraum (am Rande der verschiedenen Erfahrungshintergründe) gemeinsam neu ordnen. Die dadurch entstehenden neuen Ordnungsmuster lassen sich in Interpretation der Selbstorganisationstheorie als emergente Phänomene selbstreferentieller Prozesse verstehen (Wersig 1993, S. 449; Weyer 1997a, S. 73).

4.3 Gemeinsame Erfahrungsräume erschließende Kommunikationsmuster

Faßt man das Verbundprojekt als kollektives Lernfeld darüber auf, was den initiativen Kern von Kooperation ausmacht und wie transformative Kooperation zwischen spezialisierten und teilweise konkurrierenden Partnern gefördert werden kann, so zeigt sich, daß es vorteilhaft ist, wenn

beim Austausch von sachbezogenen Informationen auch die Vermittlung der Erfahrungshintergründe stattfinden kann, die zu Selektion, Gewichtung und Variation von Informationen Bezugspunkt sind. Die Verteilung vorgefaßter Aufgaben in mehrere kleine heterogen zusammengesetzte Arbeitsgruppen und die Durchführung verbundübergreifender Veranstaltungen sind nützlich, um für alle Beteiligten mehrere Kontaktmöglichkeiten zu schaffen. HÜMNOS fügt dieser aus Untersuchungen zur Effektivität von Projektmanagement bekannten Tatsache aber weitere Erkenntnisse hinzu. Für den Austausch von Erfahrungen sind vor allem der Einsatz von „Grenzgängern“, eine auf die gemeinsame Perspektiven verpflichtete Moderation und die Anregung von Diskussionsverläufen i.S. Kooperationsbarrieren überwindender, gemeinsam neue Erfahrungsräume erschließender, informeller Kommunikationsmuster bedeutsam.

Im Verbundvorhaben HÜMNOS gab es drei Typen von Grenzgängern: die Partner, die in mehreren Projektgruppen waren oder an der Diskussion von Zwischenergebnissen mehrerer Gruppen teilnahmen; die Nutzer, die in einer Projektgruppe und an den Workshops beteiligt waren; und die sozialwissenschaftlich orientierten Technikforscher. Darüber hinaus spielte die sachkundig geführte, dem Ziel des Gruppen-Coaching verpflichtete Moderation durch eine neutrale Koordinationsstelle (in HÜMNOS der VDW) eine wichtige Rolle.

Als gemeinsam neue Erfahrungsräume zwischen konkurrierenden Partnern erschließende, informelle Kommunikationsmuster wurden in HÜMNOS erkenntlich:

- *die paradoxe Annäherung (Approximation)*, d.h. eine Diskussion über die Festlegung von Standards und Normniveaus, insbesondere in der Form, daß diese hoch angesetzt werden und damit für alle nicht gänzlich erfüllbar bzw. zu weitgehend sind. Dann nämlich braucht sich kein Akteur eine Blöße z.B. hinsichtlich Unkenntnis (in bezug auf neues Fachwissen) zu geben, außerdem kann Know-how (d.h. Erfahrungswissen) ohne Kenntlichmachung (zwecks Besitzstandswahrung) als Attribut von Sachverhalten eingebracht werden.

Im Verbundvorhaben HÜMNOS kam dieses Kommunikationsmuster insbesondere bei der (im Rahmen der Nutzerkooperation nicht weiter analysierten) Festlegung des Referenzkonzeptes für Kommunikationsobjekte und Funktionsbereiche und in den Handlungsfeldern „Entwicklung von Anwenderprofilen für Module“ und „Entwicklung eines Style-Guide“ zum Tragen.

Dieses Muster läßt sich auch als Ausdruck einer generellen paradoxen Situation bei der Entwicklung komplexer Technik verstehen, daß Probleme i.S. einer „Risikospirale“ nicht endgültig gelöst werden können und deshalb immer wieder – auf erweiterter Stufenleiter – neu entstehen (Bieber, Möll 1993, S. 342).

Da paradoxe Handlungsaufforderungen Anstoß geben können, aus Routinen auszubrechen und flexibel zu reagieren, lassen sie sich als eine empirisch beobachtbare Herangehensweise auffassen, die innovative Problemlösungen notwendig macht (Delhees 1994, S. 323);

- *die globale Gesamtschau (assoziative Verdichtung)*, d.h. eine Diskussion um die Festlegung der angemessenen Methoden, insbesondere der notwendigen Merk- und Prüfpunkte, um Sachfragen zu klären oder Abläufe zu optimieren, so daß „mentale Landkarten“ sowie neuralgische Felder innerhalb dieser erkenntlich werden;

Im Verbundvorhaben HÜMNOS wurde dieses Muster vor allem in den Handlungsfeldern „Entwicklung eines Style-Guide“, „Befragung über die erwartete Wirtschaftlichkeit“ und „Befragung über den Informationsbedarf von Nutzern“ genutzt.

Diesem Muster wird auch in vielen Theorien organisationalen Lernens als Methodik, implizites Wissen in „mental Modellen“ zu explizieren, hohe Bedeutung zugemessen (Zahn, Grescher 1996, S. 58 f.);

- *die schrittweise Aufschließung (prozedurale Erweiterung)*, die dadurch zustande kommt, daß ein Kooperationspartner ein Grobkonzept oder ein Arbeitspaket oder eine Detaildarstellung „auf den Tisch legt“ und damit ein initiativer Kooperationskern offenkundig wird, an dem andere Kooperationspartner anschließen können.

Im Verbundvorhaben ließ sich dieses Muster insbesondere in den Handlungsfeldern „Erarbeitung eines Konzepts für eine vereinheitlichte Benutzungsoberfläche“, „Entwicklung einer pilothaften Demonstration“ und „Außendarstellung des Verbundes“ beobachten;

- *die schrittweise Einengung von Risikobereichen (kritisches Reflektieren)*, wobei zunächst alle absehbaren Risiken zur Sprache gebracht werden, um schließlich einen Bereich im Verhältnis zu anderen zu markieren, in dem das Risiko geringer ist bzw. von dem ausgehend sachlogisch weitergegangen werden soll.

Im Verbundvorhaben HÜMNOS wurde dieses Muster bei der „Festlegung eines Commitments“ verwendet.

HÜMNOS belegt, daß es durch Anwendung dieser Kommunikationsmuster gelingt, bei interpersonellem Erfahrungsaustausch Sachinhalte optimal, d.h. so zu kommunizieren, daß auch die weiteren Seiten zwischenmenschlicher Kommunikation – wie der Beziehungs-, Selbstoffenbarungs- und Appellaspekt – berücksichtigt werden (Delhees 1994, S. 313 f.; Schulz von Thun 1994, 13 ff.).

5. Ausblick: Aufbau nachhaltig emergenter Innovationsnetzwerke als zukunftsweisende Leitperspektive

Durch den OSACA-Verbund (der für Produktinnovationen das Konzept offener Steuerungsarchitekturen entwarf) und den diesem folgenden HÜMNOS-Verbund (der in Koppelung von Produkt- und Prozeßinnovationen die Spezifikationen für Funktionsbereiche fortsetzte, auf dieser Grundlage neue Steuerungsmodule entwickelte und erste Demonstrationen der Funktionstüchtigkeit durchführte) wurde ein Gefüge von Beziehungen zwischen Technik herstellenden und Technik verwendenden Kooperationspartnern geschaffen, das sich als Kern einer Allianz mit verteilten Innovationspotentialen interpretieren läßt und auch für die weitere technische Diffusion insbesondere im Bereich von Applikationen genutzt werden kann – wie sich dies durch die noch im Rahmen von HÜMNOS begonnene Planung für die Entwicklung einer Kommunikationsplattform und kompatibler Module anzeigt.

Die Diffusion offener Steuerungsarchitekturen und adäquater Module wird dabei davon abhängen, inwieweit es gelingt, die durch OSACA und HÜMNOS eingeleitete Kooperation der Technikanbieter und -anwender im Rahmen ganzheitlicher Wertschöpfungsprozesse auch in Zukunft zu sichern. Vor allem diese Koppelung fördert die Kontextualisierung technischer Innovation, d.h. deren Integration in bestehende Märkte bzw. Etablierung neuer Märkte, so daß Bedarf nach der neuen Technik wächst (Lang, Sauer 1997, S. 19; Weyer 1997, S. 39). OSACA und HÜMNOS haben somit Voraussetzungen für ein nachhaltig kooperatives Netzwerk geschaffen. Nachhaltig meint dabei die Möglichkeit, daß die in den abgeschlossenen Projekten gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen auf

der Basis geeigneter Informations- und Dokumentationssysteme zur Selektion, Speicherung und Aktualisierung von Erfahrungswissen auch in weiteren Folgeprojekten verwendet werden können und durch den Einbezug neuer Interessenten sich neue Orte für Erfahrungsaustausch ergeben. Es ist davon auszugehen, daß ein derartiges Netz durch organisationales Lernen, d.h. nicht nur durch Akkumulationen und Appropriationen von Fakten- und Erfahrungswissen (Double-loop-Lernen), sondern auch durch gemeinsam erarbeitete Erweiterungen, insbesondere in der Methode, wie Informationen verdichtet und Erfahrungen gemacht werden können (Deutero-Lernen), sein Innovationspotential optimieren und letztlich auch steigern kann (Prange 1996, S. 175 ff.; Zahn, Grescher 1996, S. 54 f.). Es entstehen letztlich Infrastrukturen, die das Auftreten emergenter Problemlösungen und multipler Identitäten unterstützen (Wiesenthal 1995, S. 151).

Die im Verbundvorhaben HÜMNOS ermittelten Kooperationsarchitekturen und Kommunikationsmuster stellen hier einen ersten aussichtsreichen Ansatz für diese Weiterentwicklung dar. Auch Befunde in anderen Zusammenhängen sprechen dafür, daß Kooperationspartner, die in derartigen Architekturen geeignete Kommunikationsmuster mehrfach angewendet haben, ihre Kooperationskompetenz steigern konnten (Probst u.a. 1997).

Mehr und mehr wächst die Erkenntnis, daß bei einer gemeinsamen Wertschöpfung der am Produktlebenszyklus Beteiligten unter geeigneten Rahmenbedingungen vermehrt Anlässe für innovative Problemlösungen entstehen (Asdonk u.a. 1993, S. 125 f.; Grabowski, Geiger 1997, S. 16).

Wie HÜMNOS lehrt, ist Kooperationsmanagement erfolgreich, wenn es gleichzeitig auf einer Kooperationsplattform und einer Entwicklungsplattform basiert.

HÜMNOS läßt auch die Schlußfolgerung zu, daß unter bestimmten Voraussetzungen bei diesen beiden Plattformen eine hohe Wahrscheinlichkeit für das Auftreten emergenter Problemlösungen besteht, die als Quelle für innovative Produktentwicklung dienen können.

Als wesentliche Voraussetzungen der Kooperationsplattform sind hier u.a. Allianzen von Herstellern, Projektarbeit, die relationale Kooperation zuläßt, insbesondere aber auch Commitments für eine gemeinsame Wert-

schöpfung von Anwendern und Entwicklern zu nennen. Von Bedeutung sind zudem Innovationspromotoren (wie z.B. bei HÜMNOS der VDW).

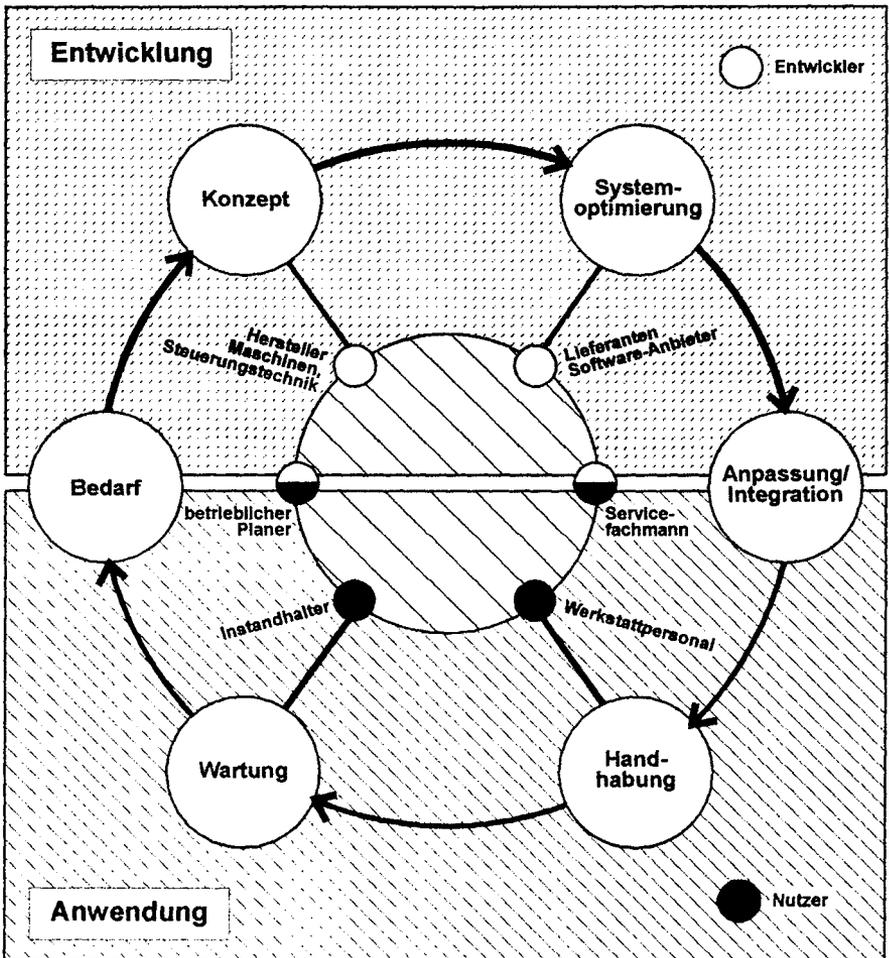


Abb. 2: Ganzheitlicher Wertschöpfungszyklus
(Rose 1995, S. 208)

Als wesentliche Voraussetzungen einer Entwicklungsplattform sind hier u.a. die Verwendung gemeinsamer Kommunikationsschnittstellen, Methoden des objektorientierten Modellierens und Werkzeuge für verteiltes Arbeiten anzusehen.

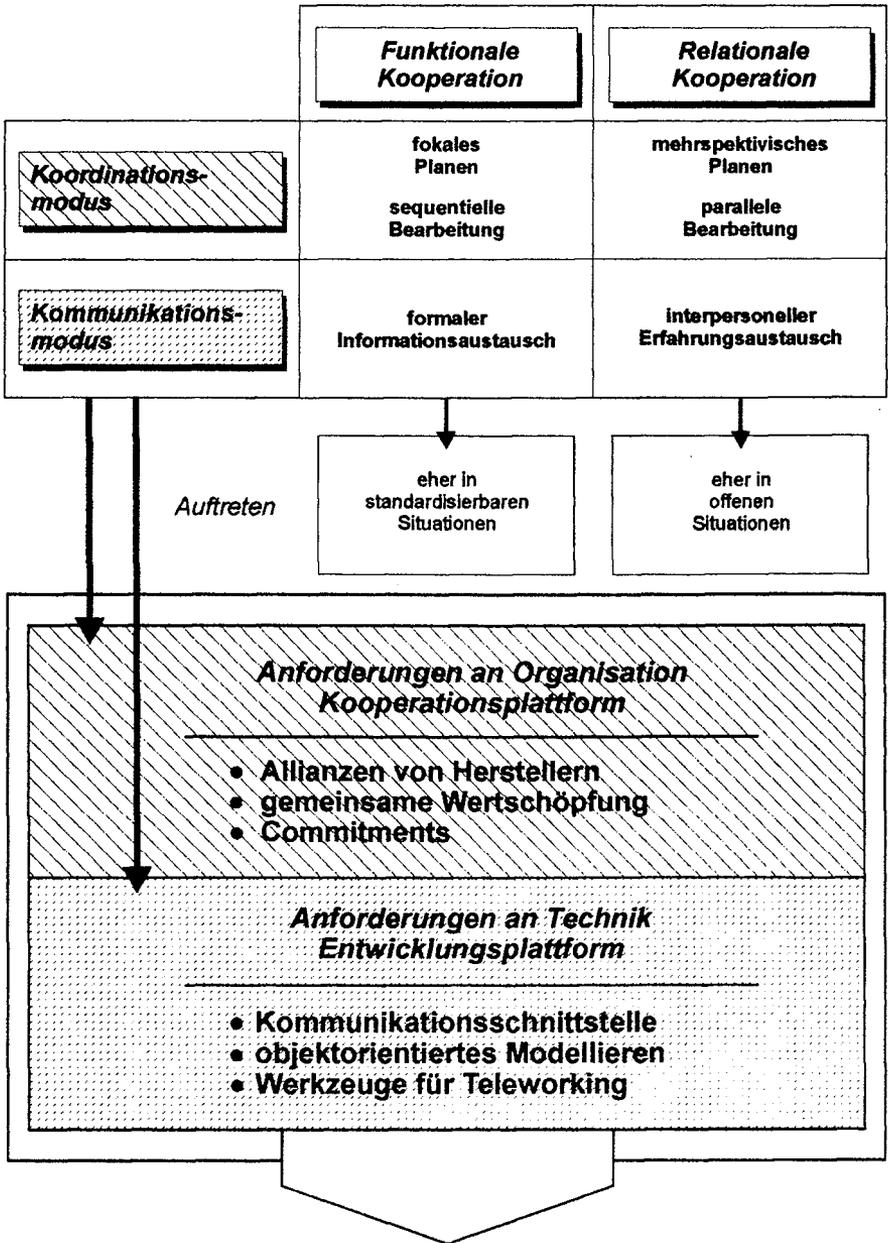


Abb. 3: Entwicklung nachhaltig emergenter Innovationsnetzwerke

Im Sinne der Sozialwissenschaft kann es auf der Basis dieser beiden Plattformen zu kollektivem Lernen in Praxisgemeinschaften kommen (Wehner u.a. 1996a). Ob für das Auftreten von emergenten Lösungen nur lose geknüpfte Netze sinnvoll sind, kann mangels einschlägiger Untersuchungen jedoch gegenwärtig nicht bewertet werden, auch nicht, inwieweit dauerhaft installierte Netze hervorgehobene Anlaufstellen benötigen. Erfahrungen mit weltweiten Unternehmensnetzen zeigen, daß für derartige Funktionen in Netzen auch konkurrierender Unternehmen gleichwohl verschiedene Pools nützlich sind (Hirsch-Kreinsen 1998). Im Verbundvorhaben HÜMNOS stellt der eingetragene Verein „Offene Steuerungen“ (OS) einen solchen Informationspool dar. Ebenso zeigt der Vergleich der Forschungspolitik verschiedener Industrieländer, daß durch staatliche Förderung die Bildung netzwerkartiger Kooperationsgefüge als Kern von Innovationskettenmanagement für eine nachfrage- und bedarfsorientierte Technologieentwicklung angeregt werden kann (Lang, Sauer 1997, S. 21; Malsch 1994, S. 218; Reichwald, Bey 1997, S. 97; Weyer 1997b, S. 336).

**Helmuth Rose, Hartmut Schulze,
Manfred Moldaschl, Konrad Selb, Christoph Siegel**

Funktionsbedarf nutzergerechter Interaktionssysteme

Befragungsergebnisse aus dem Verbundprojekt HÜMNOS

1. Zielsetzung und Vorgehensweise bei den Befragungen
2. Ergebnisse der Breitenerhebung
3. Ergebnisse der Tiefenuntersuchung

1. Zielsetzung und Vorgehensweise bei den Befragungen

Die Befragungen im Rahmen von HÜMNOS dienten der Abstimmung zwischen den Industriepartnern über die Anforderungen an eine Benutzungsoberfläche. Im Vordergrund der Befragungen stand dabei die Ermittlung der Nutzersicht bei den Anwendern. Die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Befragungen erfolgten durch eine Arbeitsgruppe, an deren Sitzungen außer den Autoren zeitweilig auch Mitarbeiter von Siemens AG und der Trumpf GmbH teilnahmen.

Die Befragungen erfolgten in einer Breitenerhebung und einer Tiefenuntersuchung.

1.1 Zusammenhang zwischen Breitenerhebung und Tiefenuntersuchung

Die Breitenerhebung wurde auf der Grundlage eines standardisierten Fragebogens durchgeführt. An der Erhebung nahmen 288 Personen teil, davon 180 von Anwenderseite, 76 von Steuerungs- und 32 von Maschinenherstellerseite. Die Diskussion um die „richtigen“ Fragen in der Vorbereitung der Erhebung zeigte, daß es verschiedene Sichtweisen für die Ermittlung von Anforderungen gibt. Aus der Sicht der Entwickler bei den Herstellern sollte sich die Erhebung auf die Erfassung der Nutzung ge-

genwärtig zur Verfügung gestellter Funktionen für Maschinen in der Produktion beschränken – aus der Sicht der Nutzer bei den Anwendern kam es eher darauf an, die Probleme bei der Handhabung von gegenwärtig verfügbaren Funktionen in der Produktion und den Bedarf an technischer Unterstützung bei der Bewältigung dieser Probleme zu beschreiben. Das Denken von Entwicklern auf Herstellerseite ist vorwiegend von den Maschinenfunktionen her geprägt, Nutzer auf Anwenderseite denken eher vom Umgang mit den Maschinen her. Die Breitenerhebung versuchte, beiden Sichtweisen gerecht zu werden, indem sie in mehreren Diskussionsrunden zur Vorbereitung der Fragen aus der jeweiligen Perspektive formulierte: in den Teilen B und C von den Funktionen her gesehen, in den Teilen D und E von der Handhabung her.

Um jedoch die Sichtweise der Nutzer und die von ihnen als wesentlich eingestuftes Anforderungen an eine Benutzungsoberfläche tiefer (als durch vorgegebene Fragen) zu ergründen, wurde der Breitenerhebung eine Tiefenuntersuchung in der Serien- und Kleinserienfertigung bei BMW und Mercedes-Benz angeschlossen. Hierbei wurden durch teilnehmende Beobachtungen und Beobachtungsinterviews Analysen des Arbeitshandelns gemacht und daraus abgeleitete Schlußfolgerungen in Gruppen- und Einzelinterviews erörtert. Abschließend wurden die Ergebnisse zur Validierung mit den Beteiligten auf ihre Tragfähigkeit hin diskutiert.

1.2 Fragebereiche der Breitenerhebung

Der Fragebogen der Breitenerhebung umfaßte sechs Fragebereiche mit insgesamt 62 Fragen. Fragebereiche waren:

Angaben zur Person (Fragen 1 bis 7)

Hier wurde nach Arbeitsbereich, Alter und Berufserfahrung sowie bei den Anwendern nach der Berufspraxis mit Maschinen und dem Typus der eingesetzten Maschinen im gegenwärtigen Arbeitsbereich, bei den Herstellern nach dem betreuten Produkt gefragt.

Funktionen für ein einheitliches Bedienfeld (Fragen 8 bis 20)

Hier wurde nach der Wichtigkeit verschiedener Funktionen für ein einheitliches Bedienfeld gefragt, und zwar von Funktionen

- zum Einrichten und Bearbeiten,
- für Werkstück- und Werkzeugkorrekturen,
- zur NC-Programmeingabe und -veränderung,
- zur Simulation der Bearbeitung,
- zum Programmeinfahren und -testen,
- zur Dokumentation,
- zur Werkstückvermessung und -korrektur,
- zur Werkzeughandhabung,
- zur Werkzeugverwaltung,
- zur Werkzeugüberwachung,
- zur Werkstückverwaltung,
- zur Maschinen- und Betriebsdatenerfassung und
- zur Auftragsverwaltung.

Benutzungsoberfläche für ein einheitliches Bedienfeld (Fragen 21 bis 35)

Hier wurde gefragt nach

- Änderungsmöglichkeiten der Benutzungsoberfläche,
- Zugangsberechtigungen,
- Möglichkeiten zur Darstellung von Daten,
- Möglichkeiten für die Eingabe von Daten,
- Möglichkeiten zum Aufruf von Funktionen,
- Möglichkeiten zur Darstellung von Anlagenzuständen,
- Möglichkeiten zur Prozeßwahrnehmung,
- Darstellungsformen für Informationen über Prozeßzustände,
- Verfahren von Achsen,
- Anzeigen beim Einfahren,
- Anzeigen zur Produktionsübersicht,
- Darstellung des Werkstücktransports,
- Darstellungen von Störmeldungen,
- Anzeigen zur Fehlerauswertung,
- Möglichkeiten für Online-Hilfen.

Technische Unterstützung bei der Arbeit mit Anlagen (Fragen 36 bis 46)

Hier wurde gefragt nach allgemeinen Erschwernissen – kritischen Situationen – wie auch nach Ansatzpunkten zu deren Erleichterung

- beim Bedienen von Maschinen,
- beim Lesen und Verstehen von Programmen,
- beim Einrichten und Rüsten,
- bei der Programmerstellung,
- bei Programmkorrekturen beim Einfahren,
- beim Überwachen von Programmläufen,
- beim Prüfen und Messen,
- bei Diagnose und Störungsbehebung,
- bei der Dokumentation,
- nach der Anzahl kritischer Situationen in der Woche.

Technische Unterstützung für die Zusammenarbeit (Fragen 47 bis 51)

Hier wurde ebenfalls nach Erschwernissen – kritischen Situationen – und Ansatzpunkten zu deren Erleichterung gefragt

- bei unterschiedlichen Bedienoberflächen,
- beim Informationsaustausch innerhalb der Fertigung,
- beim Informationsaustausch mit anderen Abteilungen und
- nach der Anzahl kritischer Situationen in der Woche.

Einschätzung von Trends über die Fabrikorganisation der Zukunft (Fragen 52 bis 62)

Hier wurde u.a. gefragt nach der

- Bedeutung der PC-Welt für die Steuerung von Maschinen,
- Dezentralisierung von Aufgaben,
- Zusammenarbeit zwischen Abteilungen,
- Verantwortung für die Fertigung und
- Entwicklung zur Gruppenarbeit.

An der Breitenerhebung nahmen Verfahrensentwickler und Produktionsarbeiter bei den Anwendern sowie Entwickler und Vertriebskräfte bei den Herstellern teil.

1.3 Untersuchungsbereiche der Tiefenuntersuchung

Die Tiefenuntersuchung fand in acht Produktionsbereichen in zwei Betrieben von BMW und in fünf Betrieben von Mercedes-Benz statt. Bei BMW wurden Betriebe in München und Berlin aufgesucht. In München war eine Transferstraße, mit der Motorblöcke hergestellt werden, Gegenstand der Untersuchung; in Berlin wurde die Arbeit in der Zellenfertigung analysiert, mit der Nockenwellen hergestellt werden. Bei Mercedes-Benz wurde neben der Serien- auch die Kleinserienfertigung untersucht. In der Serienfertigung ging es um die Arbeit mit verschiedenen Transferstraßen, in der Kleinserienfertigung um die Arbeit mit Einzelmaschinen in mehreren Betrieben Stuttgarts. In der Serienfertigung wurden die Herstellung von V-Motoren an einer Transferstraße im Werk Cannstatt sowie die Herstellung von A-Motoren, Zylinderköpfen, Motorblöcken und Kurbelwellen an verschiedenen Transferstraßen im Werk Untertürkheim untersucht. In der Kleinserienfertigung handelte es sich um die Herstellung von Kurbelwellen, Getriebekleinteilen und um den Gießwerkzeugaufbau in den Werken Untertürkheim, Hedelfingen und Mettingen. Im Mittelpunkt stand die Technologie des Fräsens und Schleifens mittels NC- und SPS-Steuerungen. An den Tiefenuntersuchungen nahmen 72 Personen teil: u.a. Maschinenführer, Systemführer/Einrichter, Meister, Instandhalter, Logistikspezialisten, Qualitätssicherer, Programmierer, Betriebsingenieure, Fertigungsplaner und Bereichsleiter.

1.4 Repräsentativität und Relevanz der Ergebnisse

Die Ergebnisse sind nach statistischem Grundverständnis nur eingeschränkt repräsentativ. Ihnen liegt keine branchenweit repräsentative Auswahl von Anwendern, die Werkzeugmaschinen einsetzen, und Herstellern, die Werkzeugmaschinen anbieten, zugrunde. Die Ergebnisse sind jedoch für den HÜMNOS-Verbund, d.h. für die Praxisgemeinschaft der beteiligten Industriepartner, repräsentativ. Dadurch erhalten sie eine besonders hohe Relevanz für die anlaufenden Innovationsprozesse bei offenen Steuerungen, denn sie geben eine repräsentative Sicht der Einstellungen derjenigen Anwender und Hersteller in Deutschland wieder, die

in Zukunft auf offene Steuerungsarchitekturen setzen und damit Produktionsentwicklung auf Anwenderseite wie Produktentwicklung auf Herstellerseite bestimmen. An der damit vorgegebenen Richtung werden sich andere Wettbewerber zu orientieren haben.

Thematik und Methodik von Breitenerhebung und Tiefenuntersuchung übertreffen an Weite alle bisherigen empirischen Untersuchungen über Arbeit in der Fertigung. Frühere Untersuchungen weisen außerdem häufig den Nachteil auf, daß die Befragungen von Konzepten aus wissenschaftlichem (nicht immer ohne weiteres erkennbarem) Vorverständnis geprägt sind, d.h., die Empirie dient einer Abstützung von Überlegungen, führt nur selten zu Widerlegungen und läßt keine erweiterten Fragestellungen zu. Da bei HÜMNOS sowohl die Breitenerhebung als auch die Tiefenuntersuchung in Zusammenhang mit Fragen der Berufspraxis (von Anwendern und Herstellern) vorbereitet, durchgeführt und validiert wurden, geht hier das Vorverständnis der Praxis voll ein. Die Ausgangsüberlegungen fußen somit bereits auf Erfahrungen aus der Praxis. Während sich andere Untersuchungen entweder auf Einzel- oder auf Serienfertigung beschränken, gelang in der HÜMNOS-Befragung zudem ihre gemeinsame Berücksichtigung.

2. Ergebnisse der Breitenerhebung

Die Breitenerhebung wurde in mehreren Auswertungsstatistiken aufgearbeitet: in einer Auswertung der Antworten aller Beteiligten (also Anwender und Hersteller gemeinsam), in einer Auswertung der Antworten nur der Anwender und in einer Auswertung der Antworten nur der Hersteller. In diesen Auswertungsstatistiken wurde mit einem Stern angemerkt, wenn statistisch signifikante Unterschiede im Antwortverhalten auftraten (also Unterschiede zwischen Anwendern und Herstellern oder Maschinen- und Steuerungstechnikherstellern). Im folgenden werden einige wichtige Befunde zum eingehenderen Verständnis dargestellt.

Vorweg sei erwähnt, daß sich verschiedene Annahmen nicht bestätigen ließen. So konnte – anders als angenommen – kein Zusammenhang zwischen Alter oder Berufserfahrung im Hinblick auf die Antworten festgestellt werden. Auch die Zugehörigkeit zu einer Berufsgruppe bei den Herstellern oder Anwendern führte nicht zu einem unterschiedlichen Antwortverhalten zwischen den Berufsgruppen.

Bei den ermittelten Häufigkeiten der Antworten gilt es, einige Aspekte zu berücksichtigen, um Mißverständnisse zu vermeiden. Bei den Antworten wurde auch die Möglichkeit zugelassen, „weiß nicht“ anzukreuzen. Der Durchschnitt lag hier bei 10 %. Die restlichen 90 % konnten auf drei Antwortmöglichkeiten verteilt werden: „nicht wichtig“, „mittel wichtig“ und „sehr wichtig“. Aus empirischen Untersuchungen in den Sozialwissenschaften ist bekannt, daß bei drei Antwortmöglichkeiten (und zugegebenermaßen schwierigen Einschätzungen) ein Trend zur Mitte besteht. 50 % und mehr angekreuzte „Sehr wichtig“-Antworten bedeuten deshalb bereits hervorgehobene Zustimmung: um 50 % erheblich, um 60 % hoch, über 70 % sehr hohe Zustimmung.

2.1 Trends in den Einschätzungen über die zukünftige Fabrikorganisation

Die zukünftige Fabrikorganisation wird nach Auffassung aller Industriepartner mehr durch dezentral organisierte, kooperative Produktionsstrukturen geprägt sein. Aus diesem Wandel der Arbeitsorganisation entstehen neue technische Anforderungen. Es wird davon ausgegangen, daß die PC-Welt in der Fertigung mehr und mehr zum Tragen kommt. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Einschätzungen zukünftiger Trends in der Fabrikorganisation.

In der Tabelle bezieht sich das erste Zahlenfeld auf alle „Sehr wichtig“-Antworten, das zweite auf alle „Mittel wichtig“- und das dritte auf alle „Wenig wichtig“-Antworten und gibt die Prozentzahl der Antworten aller Industriepartner an (also der Anwender und Hersteller insgesamt).

2.2 Wichtige Funktionen für eine einheitliche Bedienstruktur

Die Ergebnisse der Breitenerhebung lassen sich je abgefragten Funktionsblock und je von der Vorbereitungsgruppe vorgegebenen Handlungskomplex darstellen. Sie erhalten vor allem dadurch eine höhere Aussagekraft für die Ermittlung von Anforderungen an eine Benutzungsoberfläche aus Nutzersicht, wenn sie mit den Ergebnissen der Tiefenuntersuchung (die dem weitergehenden Bedarf der Nutzer nachging) kombiniert ausgewertet werden. Hierbei bietet sich die Zuordnung der Funktionen zu den Handlungsbausteinen an, wie sie in der Tiefenuntersuchung als grundlegender Befund ermittelt worden sind.

☉ Die **Beherrschung komplexer Anlagen** erfordert in Zukunft den verstärkten Einsatz der Arbeitskräfte in der Fertigung

- 60 Der Fertigung wird mehr Verantwortung übertragen 77 : 13 : 4
- 56 Bisher zentral erledigte Aufgaben werden mehr vor Ort wahrgenommen 52 : 23 : 19

☉ Die vermehrten Aufgaben der Fertigung setzen

- 61 Gruppenarbeit und 76 : 11 : 7
- 62 abteilungsübergreifende Kooperation voraus 70 : 19 : 4

☉ Aus diesem **Wandel der Arbeitsorganisation** ergeben sich neue Anforderungen für die angemessene technische Unterstützung

- 59 Höherer Informationsaustausch zwischen den Abteilungen 64 : 19 : 11
- 49 (2) (4) (5)
- 47 B1 Vereinheitlichung (Symbole, Anzeigen) 81 : 12 : 3
- 36 B3 Strukturierung des Menüs nach Tätigkeiten 35 : 36 : 20

- ☉ Die Bedienung der Maschinen erfolgt zunehmend über PC 80 : 8 : 6

Tab. 1: Einschätzungen über Trends

Aus der Breitenerhebung läßt sich dann ablesen, welche Funktionen in welchem Handlungsbaustein als besonders wichtig eingeschätzt werden, welche kritischen Situationen in den Handlungsbausteinen vermehrt auftreten und welcher Bedarf nach technischer Unterstützung zur Bewältigung vor allem der kritischen Situationen besteht. Hier ging die Breitenerhebung von der Annahme aus, daß durch diese Bedarfsfeststellung die wichtigsten Innovationsfelder aufgedeckt werden könnten.

In den folgenden Tabellen beziehen sich die Ziffern am Anfang der Zeilen auf die Nummer im Fragebogen, die Zahlenfelder am Ende der Zei-

Diagnostizieren		
Erschwernis hoch		
43.2	Hinweise auf Erstfehler fehlen	48 + 29
43.3	Hinweise für Störungsbehebung fehlen	48 + 30
43.1	Störungsmeldungen falsch oder ungenau	42 + 27
Bedarf hoch an		
43.B2	Anleitung zur Behebung seltener Störungen	56 + 28
43.B4	Eingabe neu auftretender Fehlerursachen	52 + 30
43.B5	Eingabe von Erfahrungswerten	50 + 31
Funktionen wichtig		
19.2	Störgrundeingabe	52 + 28
19.3	Eingabe von Stillsetzungsgründen	43 + 31
Dokumentieren		
Erschwernis hoch		
44.1	Rückdokumentation von NC-Optimierung fehlt	33 + 23
Bedarf hoch		
48.B3	Änderungsfreundliche Dokumentationssysteme	59 + 22
44.B1	Dokumentation auf EDV-Basis	56 + 20
44.B5	Rückführung optimierter Programme	61 + 18
Funktionen wichtig		
13.1	Speichern eigener Zyklen und Makros	63 + 22
19.4	Datenaufbereitung für Schwachstellenanalyse	47 + 30
19.5	Datenaufbereitung für Wartung	51 + 32

Tab. 2: Als wesentlich bewertete Funktionen

len auf die „Sehr wichtig“- und „Mittel wichtig“-Antworten bei Anwendern und Herstellern insgesamt.

In der Breitenenerhebung wurde auch nach den allgemeinen Anforderungen für ein einheitliches Bedienfeld gefragt. Eine Übersicht hervorgehobener Ergebnisse zeigt Tabelle 3.

Hohe Bildschirmqualität		
• 36.B6	gute Kontraste	49 : 30 : 16
• 36.B4	Informationen nach Dringlichkeit	50 : 25 : 21
Aufruf von Funktionen		
25.1	über Funktionstasten	82 : 13 : 1
25.2	über Softkeys	65 : 13 : 10
25.7	über Schalter	47 : 33 : 15
(nicht wichtig! 25.6 Zeigeinstrumente 19 : 23 : 52)		
Handhabung von Informationen		
• 21.4	Erläuterungen zu Begriffen	69 : 22 : 5
• 24.2	Auswahl aus Listen mit Cursor	61 : 25 : 12
• 47.B2	Auswahl von Informationen und Funktionen	52 : 34 : 8
Verfahren von Achsen		
29.1	nur Richtungstasten	78 : 15 : 4
29.2	mit elektronischem Handrad	40 : 27 : 25

Tab. 3: Anforderungen an ein einheitliches Bedienfeld

Die Ziffern am Anfang der Zeile verweisen auf die Fragennummer im Fragebogen. Die Zahlenfelder am Ende der Zeilen geben die Prozentanteile der „Sehr wichtig“- , „Mittel wichtig“- und „Nicht wichtig“-Antworten bei Anwendern und Herstellern insgesamt wieder, während die „Weiß nicht“-Antworten weggelassen wurden. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Einschätzung kritischer Situationen.

In der laufenden Produktion werden 10 % der Arbeitssituationen als kritisch eingeschätzt. Die technische Unterstützung zu ihrer Bewältigung reicht nicht aus.

Einschätzung kritischer Situationen					
	keine	5 %	10 %	15 %	20 %
Anwender	3,7	42,9	28,6	14,3	10,6
Steuerungshersteller	45,0	20,9	15,0	12,5	7,5
Maschinenhersteller	8,7	30,4	21,7	8,7	30,4
alle	11,6	37,5	25,4	13,4	12,1

Bedarf an technischer Unterstützung			
	ausreichend	mittel	kein
Anwender	31,6	59,5	8,9
Steuerungshersteller	47,4	36,8	15,8
Maschinenhersteller	9,1	86,4	4,5
alle	32,1	58,3	9,6

Tab. 4: Bedeutsamkeit kritischer Situationen und Bedarf an technischer Unterstützung

2.3 Unterschiede bei Einzel- und Serienfertigung

Die statistische Analyse der Einschätzungen von Arbeitskräften aus der Einzel- und der Serienfertigung basiert auf einer Einteilung der befragten Anwender in die Gruppen „Einzelfertigung“ (E: 67 Arbeitskräfte, die an Einzelmaschinen und/oder Bearbeitungszentren tätig sind), „Serienfertigung“ (S: 71 Arbeitskräfte, die an verketteten und/oder Sondermaschinen tätig sind) und „Einzel- und Serienfertigung“ (E+S: 38 Arbeitskräfte, die an beiden Fertigungstechniken tätig sind).

(1) Hohe Übereinstimmung zwischen Einzel- und Serienfertigern

Die Einschätzungen der befragten Arbeitskräfte aus der Einzel- und der Serienfertigung zeigen eine überraschend hohe Übereinstimmung. Insgesamt

samt unterscheiden sich die Einschätzungen der drei Gruppen E, S und E+S bei 65 (21,2 %) von 306 möglichen Einzelfragen statistisch signifikant. Das entspricht einer hohen Übereinstimmung bei der Beantwortung von 78,2 % der Items. Die Verteilung der Antworthäufigkeiten ist in Tabelle 5 dargestellt.

Fragebogenbereich	Anzahl signifikant unterschiedlicher Items	Anzahl der Items insgesamt	Signifikante Items (in %)
B (Funktionen)	19	77	24,7
C (Ein- und Ausgabe)	25	88	28,4
D (kritische Situationen Maschine/Anlage)	15	105	14,3
E (kritische Situationen Zusammenarbeit)	4	25	16,0
F (Zukunftstrends)	2	11	18,2
Gesamt	65	306	21,2

Tab. 5: Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Einschätzungen bei der Einzel- und Serienfertigung

Die größten signifikanten Unterschiede liegen mit 24,7 % bzw. 28,4 % beantworteten Einzelfragen in den Fragebereichen B und C, die sich mit den gewünschten Funktionen sowie den gewünschten Ein- und Ausgabetechniken zukünftiger Bedienfelder und Steuerungen beschäftigen. Bei den kritischen Situationen mit Maschinen/Anlagen und denjenigen für Zusammenarbeit steigt die Übereinstimmung auf über 80 % an. Diese hohen Gemeinsamkeiten lassen sich als eine technologieübergreifende anwenderseitige Forderung nach einer Vereinheitlichung der Benutzungsstrukturen zukünftiger Steuerungen und Bedienfelder interpretieren.

(2) Schwerpunkte bei Einzel- und Serienfertigung

Eine detailliertere Analyse der signifikanten Unterschiede in der Beantwortung fördert unterschiedliche Aufgabenschwerpunkte in der Einzel- und der Serienfertigung zutage, deren Bewältigung verschiedene Funktionen sowie Ein- und Ausgabetechniken erfordert. Die Fragen, bei denen sich die größten Unterschiede zwischen Arbeitskräften aus der Einzel- und der Serienfertigung ergaben, sind in der folgenden Tabelle darge-

stellt. So liegt ein deutlicher Schwerpunkt der Einzelfertigung im Tätigkeitsbereich des Programmierens, d.h. der NC-Programmerstellung und -optimierung. Entsprechend haben hier die Funktionen der NC-Programmsimulation, der Makro- und Zyklenprogrammierung oder auch der Graphischen Programmierung (WOP) signifikant höhere Priorität als in der Serienfertigung. Ein weiterer Schwerpunkt der Einzelfertigung findet sich im Tätigkeitsbereich des Bearbeitens, d.h. der Prozeßoptimierung und -überwachung. Da in der Einzelfertigung der Bearbeitungsprozeß viel stärker optimierbar ist und optimiert wird als in der Serienfertigung – jedenfalls im verketteten Serienbetrieb –, wird den entsprechenden Funktionen der Overrideeinstellung sowie des Weg- und Wiederanfahrens an die Kontur nach Prozeßunterbrechungen eine besondere Bedeutung beigemessen.

In der Tabelle wird ebenfalls eine stärkere Übereinstimmung der Arbeitskräfte, die beide Fertigungsverfahren anwenden, mit den Serienfertigern deutlich. Ein Schwerpunkt der Serienfertiger liegt offensichtlich in den Anzeigen zur Prozeßüberwachung, wie z.B. Informationen zum Zustandsbild der Einheit/Station, der Anlage, auch der gestörten Stationen, oder in Informationen zur Produktionsübersicht, wie u.a. zum Ein- und Auslauf und zur Taktzeitentwicklung. Diese Informationen sind wichtig, um einen Überblick über den Materialfluß und den Anlagenzustand zu erhalten und um im Falle einer Störung über deren Ort schnell orientiert zu sein. In der Durchführung einer Diagnose liegt ein weiterer Schwerpunkt der Serienfertiger.

Hoch priorisiert werden hier Funktionen und Anzeigen, die der Diagnose dienen und mit denen die Identifikation, Behebung und Dokumentation von – in erster Linie – Maschinenstörungen erleichtert werden kann. Für die Bewältigung dieser Aufgaben werden Anzeigen gefordert, wie z.B. zentrale Störungsanzeigen für die gesamte Maschine/Anlage, sowie Ergänzungsmöglichkeiten der bestehenden Diagnosesysteme, z.B. um die Eingabe neu auftretender Fehler, des Störgrundes und von Erfahrungswerten. Weiterhin kommt offensichtlich Spänen als Störungsursache in der Serienfertigung eine höhere Bedeutung zu als in der Einzelfertigung. Dies hängt mit der geringeren Prozeßnähe bei der Betreuung von Transferstraßen und Sondermaschinen zusammen. Späne werden dann zum Problem, wenn einerseits ihr Auftreten nicht direkt überwacht wird, andererseits aber sofort eingegriffen werden müßte. In der Dokumentation und Aufbereitung von Daten für Analysen kann ein weiterer Tätigkeits-

Item	Hohe Zustimmung in %				
	0%	25%	50%	75%	100%
Allgemein					
Vorgehensweise selten genutzter Funktionen wird leicht vergessen (40.7)		E E+S S	E E+S S	E S E+S	
Wichtige Informationen zu einer Gruppe zusammenfassen (23.1)		E S E+S	E E+S	E S E+S	
Strukturierung des Menüs nach Tätigkeiten (36. Ansatzpunkt 2)		E S E+S	E E+S	E S E+S	
Programmieren					
Darstellung von Verfahrenweg, WZ und WS bei der Simulation (37. Ansatzpunkt 4)		E+S S E	E+S S E	E+S S E	
Macro- und Zyklenprogrammierung (10. 4)		E+S S	E+S S	E+S S	
Graphische Programmierung (WOP) (10.6)		S E+S E	S E+S E	S E+S E	
Bearbeiten					
Zustandsbild der Einheit/Station (26.1)		E E+S S	E E+S S	E E+S S	
Zustandsbild der Anlage (26.2)		E E+S S	E E+S S	E E+S S	
Anzeigen zur Produktionsübersicht (31 ff.) z.B. Einlauf leer (31.8)		E E+S S	E E+S S	E E+S S	
z.B. Werkzeugwechsel (31.8)		E E+S S	E E+S S	E E+S S	
z.B. Taktzeitentwicklung (31.14)		E E+S S	E E+S S	E E+S S	
Wichtige Meldungen hervorheben (23.3)		E E+S S	E E+S S	E E+S S	
Hinweis auf gestörte Stationen (33.1)		E E+S S	E E+S S	E E+S S	
WZ-Wechsel (31.8)		E E+S S	E E+S S	E E+S S	
Override-Einstellung Spindeldrehzahl (8.5)		S E+S E	S E+S E	S E+S E	
Wiederanfahren an die Kontur (12.8)		S E+S E	S E+S E	S E+S E	
Wegfahren von der Kontur (12.9)		S E+S E	S E+S E	S E+S E	

Item	Hohe Zustimmung in %				
	0%	25%	50%	75%	100%
Diagnose					
Anzeigen der Störungen zentral für die gesamte Maschine/Anlage (33.6)			E E+S S	E E+S S	
Störgrundeingabe (19.2)			E+S E S	E+S E S	
Datenaufbereitung für eine Schwachstellenanalyse (19.4)			E E+S S	E E+S S	
Unterstützung der Dokumentation durch Übertragung der Verwaltung auf EDV (44. Ansatzpunkt 1)		E S	E S	E+S	E+S
Eingabe neu auftretender Fehler in das Diagnosesystem (43. Ansatzpunkt 4)			E	S E+S	
Eingabe von Erfahrungswerten zur Störungsbehebung in das Diagnosesystem (43. Ansatzpunkt 5)			E	S E+S	
Spätere häufige Störungsursache (41.7)		E	S E+S	E+S	
Wartung					
Datenaufbereitung für die Wartung (19.5)			E+S E	E S	
Kommunizieren					
Informationsaustausch mit Entwicklung/Konstruktion erleichtern (49. Ansatzpunkt 5)			E E+S S	E E+S S	

Tab. 6: Detaillierte Unterschiede bei den Einschätzungen in der Einzel- und Serienfertigung

schwerpunkt der Serienfertigung herausgefiltert werden. Eine Schwachstellenanalyse sowie die Aufbereitung von Daten für die Wartung sind insbesondere bei hochautomatisierten und rechnergesteuerten Prozessen von entscheidender Bedeutung. Bei der Einzelfertigung haben hier die Fachkräfte eine größere feinsteuernde Aufgabe.

Auch für die Konfiguration der Oberfläche ist eine Analyse der Unterschiede von Einzel- und Serienfertigern aufschlußreich; in ihren Ergebnissen erwies sie sich als unerwartet. So ist das Vergessen der Vorgehensweise gerade bei selten genutzten Funktionen in der Serienfertigung ein größeres Problem als in der Einzelfertigung. In Zusammenhang mit der ebenfalls in der Serie als höher eingestuften Bedeutsamkeit der Strukturierung des Menüs nach Tätigkeiten konnte die in der Tiefenuntersuchung mittlerweile belegte Hypothese aufgestellt werden, daß in der Einzelfertigung infolge der längeren und intensiveren Auseinandersetzung mit einer Maschine und ihrer Steuerung diese den Fachkräften besser bekannt und in stärkerem Ausmaß vertraut ist als in der Serienfertigung. Hier muß mit vielen verschiedenen Steuerungen umgegangen werden, was einen erhöhten Aufwand bei der Transformation von steuerungsbezogenem Wissen und Know-how von dem Bedienfeld eines Herstellers auf das eines anderen bedingt. Besonders groß und hinderlich ist der Transformationsaufwand dann, wenn zwischenzeitlich auch noch von der Serienfertigung an eine Einzelmaschine z.B. für die Nacharbeit gewechselt wird. In diesen Fällen wurde mit Nachdruck die Forderung nach Vereinheitlichung der Steuerungen und Bedienfelder erhoben. In der Tiefenuntersuchung unterstützten auch die Einzelfertiger diese Anforderung, da in deren Bereich die Notwendigkeit wächst, mit mehreren Steuerungen umgehen zu können.

Die in der Breitenerhebung ermittelten Einschätzungen zeigen ein differenziertes Spektrum bezüglich der Anforderungen an zukünftige Steuerungen und Bedienfelder: Deutlich wurde einerseits die Forderung nach einer einheitlichen Benutzungsstruktur zukünftiger Steuerungen und Bedienfelder – gleichzeitig muß diese standardisierte Struktur jedoch genügend Raum für dringend notwendige technologiespezifische Funktionen und Anzeigen lassen. Mit der Lösung des Dilemmas alternativ verbundener, aber sich teils gegenseitig ausschließender Anforderungen nach Vereinheitlichung und Spezifität läßt sich aus dem Antwortverhalten bei der Breitenerhebung eine Herausforderung für die Maschinen- und Steuerungshersteller erkennen.

2.4 Unterschiedliche Auffassungen von Herstellern und Anwendern

Die statistische Analyse der unterschiedlichen Auffassungen von Herstellern und Anwendern bezieht sich auf die Auswertungsstatistik der Antworten von Anwendern und Herstellern, also aller Firmen, die an den Befragungen im Rahmen von HÜMNOS teilgenommen haben. In der Auswertungsstatistik sind die Antworten immer dann mit einem Sternchen markiert, wenn statistisch gesehen signifikante Unterschiede bestehen.

(1) Statistisch signifikante Unterschiede in den Einschätzungen von Anwendern und Herstellern

Die Einschätzungen der Entwickler bei den Herstellern und der Endnutzer bei den Anwendern weichen relativ häufig voneinander ab. So lassen sich bei 59 % der Items signifikante Unterschiede finden, die auf divergente Einschätzungen von Herstellern und Anwendern oder auch zwischen Maschinen- und Steuerungstechnikherstellern hinweisen.

Fragebogenbereich	Anzahl signifikant unterschiedlicher Items	Anzahl der Items insgesamt	Signifikante Items (in %)
B (Funktionen)	45	77	59,0
C (Ein- und Ausgabe)	48	89	54,0
D (kritische Situationen Maschine/Anlage)	57	104	55,0
E (kritische Situationen Zusammenarbeit)	20	25	80,0
F (Zukunftstrends)	8	11	73,0
Gesamt	178	306	59,0

Tab. 7: Einschätzungen von Anwendern, Maschinen- und Steuerungsherstellern

Die meisten signifikanten Unterschiede treten bei der Einschätzung der Erschwernis in kritischen Situationen für die Zusammenarbeit und die daraus folgenden Bedürfnisse für zukünftige bessere Unterstützung sowie bei der Einschätzung von Trends zukünftiger Fabrikorganisation auf. Darüber hinaus gibt es aber auch eine Vielzahl von Unterschieden bei der Bewertung zukünftig wichtiger Funktionen, bei Ein- und Ausgabetechniken sowie bei kritischen Situationen bei der Arbeit mit Maschinen bzw. Anlagen.

(2) Spezifische Schwerpunkte der Einschätzungen

Bei der Auswertung der Einschätzungen von Anwendern, von Steuerungs- und von Maschinenherstellern wurden zunächst die Fragen, die von den drei Gruppen signifikant unterschiedlich eingeschätzt wurden, unter dem jeweiligen Aspekt der Unterschiede sortiert. In diese Sammlung sind signifikant unterschiedlich beantwortete Fragen dann nicht aufgenommen worden, wenn sie offensichtlich aufgrund von hohen „Weiß nicht“-Antworten zustande gekommen sind oder wenn das Antwortverhalten sehr gleichartig ausfiel und die Signifikanz nur auf Unterschieden in inhaltlich irrelevanten Zellen der Auswertungsmatrix basierte. Auf diese Weise wurden 27 Items ausgeschlossen, so daß von insgesamt 178 signifikanten Items nur 151 Items in die Auswertung eingegangen sind.

Der Auswertung wurden gerichtete Unterschiede in der Antwortkategorie „sehr bedeutsam“ zugrundegelegt. Es entstanden sechs Auswertungsbereiche: In den Auswertungsbereichen Anwender (A), Steuerungshersteller (S) und Maschinenhersteller (M) sind die Fragen aufgeführt, die von den Anwendern, den Steuerungs- oder den Maschinenherstellern als wesentlich wichtiger eingeschätzt wurden als von den jeweils anderen beiden Gruppen. In den Auswertungsbereichen A+S, A+M und S+M schätzten jeweils zwei der Befragungsgruppen die Bedeutsamkeit der Fragen als wesentlich höher ein als die dritte Gruppe. So schätzten z.B. in dem Auswertungsbereich A+S die Anwender und die Steuerungshersteller die Wichtigkeit der Fragen deutlich höher ein als die Maschinenhersteller.

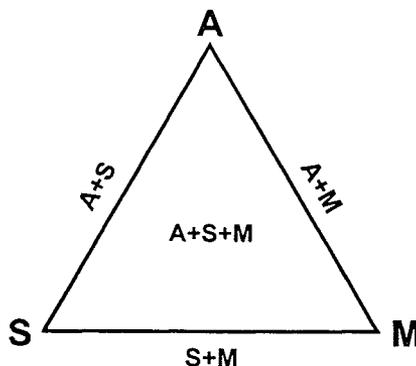


Abb. 1: Zusammenhang der Auswertungsbereiche

In die Auswertung wurden weiterhin hohe Gemeinsamkeiten in den Einschätzungen von Anwendern, Maschinen- und Steuerungsherstellern einbezogen. In den Auswertungsbereich 7 (A+S+M) wurden Items dann aufgenommen, wenn sie von den Gruppen gemeinsam in der höchsten Antwortkategorie mit über 70 % Zustimmung beantwortet wurden. Die Auswertungsbereiche sind in ihrem inneren Zusammenhang in Abbildung 1 dargestellt.

Die den Auswertungsbereichen zugeordneten Einzelfragen mit signifikanten Unterschieden in den Einschätzungen bzw. mit sehr hoher Übereinstimmung aller Befragten wurden im nächsten Auswertungsschritt auf Gemeinsamkeiten und auf Unterschiede hin analysiert und dann den gefundenen thematischen Oberkategorien zugeordnet.

Dieses Vorgehen ermöglicht eine Analyse der Gemeinsamkeiten und der Unterschiede in den Einschätzungen von Anwendern, Steuerungs- und Maschinenherstellern, wie sie sich bei der Breitenerhebung gefunden haben. In Tabelle 8 sind die thematischen Kategorien pro Auswertungsbereich aufgeführt. Zugeordnet sind jeweils die Itemnummern, die den Kategorien zugrunde liegen.

Wie in der Tabelle ausgewiesen, sind sich Anwender, Steuerungs- und Maschinenhersteller in der Einschätzung einig, daß die Vereinheitlichung der Bedienung von Steuerungen und Bedienfeldern, die Unterstützung der Transparenz des Bearbeitungsablaufs, die Unterstützung der Störungserfassung und -behebung, die Dokumentation von Änderungen sowie der Einzug der PC-Welt bei der Steuerung von Maschinen und generell die Unterstützung von Kooperation in Zukunft von hoher Bedeutung sind (A+S+M).

Es besteht somit ein großer gemeinsamer Nenner zwischen Anwendern, Steuerungs- und Maschinenherstellern; andererseits wird die zukünftige Fabrikorganisation auch aus unterschiedlichen aufgabenspezifischen Blickwinkeln betrachtet. Aufgrund dieser verschiedenen Blickwinkel formulieren die einzelnen Gruppen über den gemeinsamen Nenner hinaus durchaus unterschiedliche Anforderungsschwerpunkte an zukünftige Steuerungen und Bedienfelder.

Die Anwender (A) sehen als besonders wichtig die Verbesserung der Prozeßtransparenz, die Gestaltung handlungsorientierter Steuerungsfunktio-

Gruppe	Thematische Oberkategorie	Itemnachweis
A	Verbesserung der Prozeßtransparenz	C30.2; C30.14-16; C34.2; D37.3; C21.2; C30.16; D43B2; D36.4
	Handlungsorientierte Steuerungsfunktionen Dokumentation von Eingriffen/Änderungen Mehr Verantwortung an die Fertigungsbereiche Mehr Aufgaben an die Facharbeiter vor Ort	C30.14; B19.1 F60 F56
S	Unterstützung der Programmtransparenz	B10.5; 11.4; 18.1; 30.13; 36.5; 40.4
	Bedienung der Steuerung mit Zeigeelement Unterstützung des Informationsflusses entlang Prozeßketten	C24.3; 25.6; 29.3 D42.6; D44.3; D44.4; D48.3
M	Unterstützung der Auftragstransparenz	C30.5; C31.5; C31.9; C31.11; C32.3; D41.1; F55
	Unterstützung kurzfristiger Bearbeitungsänderungen an der Maschine/Anlage Zugriffe der Werkstatt auf Informationen anderer Abteilungen	B9.6; B10.3; B12.6; D42.4 E49.B1; E49.B2; E49.B4; E49.B5
A+S	Erweiterung manueller Steuerungsfunktionen	B9.1; B10.7; B12.8+9; B14.3; B20.2+4; D29.2; D41B3
	Verbesserung des Transfers von Fertigungserfahrung in die Prozeßkette	D43.6; D44.1; D44.2; D49.2; D49.3
A+M	Unterstützung von Auftrags- und Prozeßtransparenz	C30.6; B11.7; B12.5; C31.4, 6,7,8,10; C34.2; D38.7 D38B1; D41.6+7; D43.4
	Unterstützung von Werkzeugmanagement	B14.4; B15.2,3,5; B16.2; B17.1+2 D39.5; F58; C21.4; C23.5; E48.B1
	Tätigkeitsorientierte Maschinenbedienung Aufbau von Erfahrungsdatenbanken	D44B3; C30.15; B9.7; F53
S+M	Innovative Neuerungen bei Ein- und Ausgabetechniken	B10.6; B11.1; C24.2; C25.2+3; C28.2+4; C30.5; +10; C31.12+13; C32.2; D37.1; D38.3+6; D38B2; D40B2; D41.4+5; D41.2; B12.7; D42.2; C21.6; E47.1+2; D39.3; D37.2; D36.7+2
	Vereinheitlichung der Oberfläche	D42.3+5; D42B1+B4
	Kompatibilität Zerspanung und Messen	C22.2; E48.2; E49.1+4; F59+62; E49B3; D49.3; B19.7
	Abteilungsübergreifende Kooperation	
A+S+M	Unterstützung der Bearbeitungstransparenz	C24.1; C27.2; C30.3,8,12; C33.1; D36B5; D37B4; D43.2,3.B2; 30.8
	Vereinheitlichung der Bedienung	E47.3; E47B1+2
	Unterstützung der Störungsbewältigung	D41B2+3; D43B4;
	Verbesserung der Dokumentation	E48B2+3; D43B5; D44B1
	PC-Welt bei der Steuerung von Maschinen Unterstützung der Kooperation	F54 F61; D44B5

Tab. 8: Ähnlichkeiten und Unterschiede bei den Einschätzungen

nen sowie die Dokumentation und Kommentierung von Eingriffen und Änderungen – dies vor dem Hintergrund der Einschätzung, daß zukünftig mehr Verantwortung an die Fertigungsbereiche und mehr Aufgaben an die Facharbeiter übertragen werden können. In dieser Akzentuierung der Priorität unterscheiden sich die Anwender in ihren Einschätzungen von jenen der Maschinen- und Steuerungshersteller, die die entsprechenden Fragen signifikant niedriger gewichten. Der unmittelbare Bezug zum Bearbeitungsprozeß, d.h. die Aufgabenstellung von Einstellung, Kontrolle und Wartung der Maschinen und Anlagen sowie der Störungsbehebung unter Produktionsbedingungen, ergibt den spezifischen Blickwinkel der Anwender, der ihre Beurteilung zukünftig bedeutsamer Steuerungstechnik prägt.

Die Steuerungshersteller (S) wiederum legen hohen Wert auf die Verbesserung der Programmtransparenz, die Bedienbarkeit der Steuerung mit Zeigeinstrumenten – wie z.B. der Maus – sowie die Unterstützung des Informationsflusses entlang der NC-Verfahrenskette. Die Priorisierung dieser Fragestellungen läßt sich möglicherweise mit dem essentiellen Aufgabenschwerpunkt der Steuerungshersteller bei technischen Entwicklungen erklären. Der Fokus der Steuerungshersteller besteht im Zur-Verfügung-Stellen möglichst standardisierter und durchgängiger Steuerungs- und Informationsplattformen.

Die Maschinenhersteller (M) stellen die Bedeutsamkeit der Unterstützung von Möglichkeiten kurzfristiger Bearbeitungsänderungen direkt vor Ort sowie von Zugriffsmöglichkeiten der Werkstatt auf Informationen vorgelagerter Betriebsbereiche heraus. Sie verstehen Kooperation mit vor- und nachgelagerten Betriebsbereichen aus der Perspektive der Fertigung. Diese Sichtweise hängt sicherlich mit dem Aufgabenschwerpunkt der Maschinenhersteller bei technischen Entwicklungen zusammen, der in der anwenderspezifischen Anpassung dieser Entwicklungen sowie in der Inbetriebnahme der entsprechenden Maschinen und Anlagen besteht.

Neben diesen unterschiedlichen Akzentuierungen finden sich aber auch viele Ähnlichkeiten in den Einschätzungen bei den Befragten. Anwender und Steuerungshersteller (A+S) halten gemeinsam die Erweiterung manueller Steuerungsfunktionen sowie die Verbesserung des Transfers von Fertigungserfahrung in die Prozeßkette für wichtig.

Ähnlichkeiten in der Einschätzung bei Anwendern und Maschinenherstellern (A+M) finden sich in der Betonung der Bedeutsamkeit der Un-

terstützung von Werkzeugmanagement und der Unterstützung von Auftrags- und Prozeßtransparenz, in der Heraushebung der Gestaltung tätigkeitsorientierter Maschinenbedienung sowie im Aufbau von dezentralen Datenbanken.

Übereinstimmungen zwischen Steuerungs- und Maschinenherstellern (S+M) finden sich insbesondere bei einer Vielzahl innovativer Neuerungen, so bei Ein- und Ausgabetechniken, in der Vereinheitlichung der Oberfläche, in der Notwendigkeit der Kompatibilität von Zerspanung und Messen sowie in der Unterstützung abteilungsübergreifender Kooperation.

3. Ergebnisse der Tiefenuntersuchung

3.1 Wandel zu kooperativen Produktionssystemen und handlungsorientierten Bedienstrukturen

Die Arbeit mit Anlagen und Maschinen der Serien- und Kleinserienfertigung läßt sich in acht Handlungsbausteine gliedern. Dazu gehören die Handlungsbausteine

- *Planen:* mit den Haupttätigkeiten, Auftragsverwaltung, Materialbereitstellung und Einsteuerung von Paletten;
- *Vorbereiten:* mit den Haupttätigkeiten Rüsten, Bereitstellung von Werkzeugkorrekturwerten, Aufspannen und Nullpunktermittlung;
- *Programmieren:* mit den Haupttätigkeiten Eingabe von Programmen, Parameteränderungen, Ändern von Bearbeitungsfolgen und kurzfristige Bearbeitungsänderungen;
- *Bearbeiten:* mit den Haupttätigkeiten Einfahren und Optimieren, Werkzeugwechsel, Wiederanfahren nach Produktionsunterbrechung und automatisches Messen;
- *Diagnose:* mit den Haupttätigkeiten Störungslokalisierung, Störgrundanalyse und Störungsbehebung;
- *Wartung:* mit den Haupttätigkeiten Prüfen und Warten der Maschine;

- *Dokumentieren:* mit den Haupttätigkeiten integrative Prüfung von Dokumentationen in den einzelnen Bausteinen, Auswertung von Daten für Aufgaben aus Qualitätssicherung und Produktionskontrolle sowie Übergabe von Dokumentierungen (Zahlen, Dateien, Dokumente) an andere Schichten und Abteilungen;
- *Kommunizieren:* mit der Haupttätigkeit des Informationsaustauschs mit anderen Abteilungen.

Alle Handlungsbausteine zusammen bilden einen großen Erfahrungszyklus, der planende, ausführende und kontrollierende Tätigkeiten für die Arbeit in einer Schicht oder für die Herstellung eines Teils umfaßt. Dieser Erfahrungszyklus ist in Abbildung 2 veranschaulicht.

In jedem Handlungsbaustein findet sich zudem ein weiterer kleiner Erfahrungszyklus, der die Vorbereitungen, die Einflußnahme auf Prozesse und die Bewertung von Fortschritten für die im Vordergrund stehende Handlung einschließt.

Die Schwerpunkte in der gegenwärtig eingerichteten Serienfertigung liegen beim Bearbeiten/Produzieren sowie bei der Diagnose und der Störungsbehebung. In Zukunft ist mit der stärkeren Ausprägung weiterer Bausteine – wie Disponieren, Programmieren und Dokumentieren – zu rechnen, da die Anwender flexiblere Produktionsstrukturen (z.B. mittels Zellenfertigung) planen, um die bekannt gewordenen Mängel starr verketteter Systeme zu vermeiden. Technische Entwicklungen zur Handhabung von Anlagen und Maschinen müssen deshalb diesem Wandel Rechnung tragen. Indem der Fertigung anteilig mehr Aufgaben übertragen werden, verändert sich auch das Aufgabenspektrum der Produktionsarbeiter. Es wird voraussichtlich für alle breiter mit einer oder mit mehreren Spitzen für spezielle Aufgaben. Es entsteht ein eher (für eine Gruppe) gemeinsames Arbeitsfeld – die alten Differenzierungen sind dann überholt.

Die Nutzungsoberflächen der Anlagen und Maschinen sollten deshalb die Handlungsbausteine für die Implementierung von Bedienstrukturen heranziehen, d.h. den Aufruf von Funktionen entsprechend Handlungsbausteinen bündeln.

Die Tiefenuntersuchungen lassen zudem einen Rahmen für die Konstruktion von Bedientafeln erkennen. Hier besteht Bedarf an einer Gliederung in getrennte Felder (die mit variabel belegten Tasten aktiviert wer-

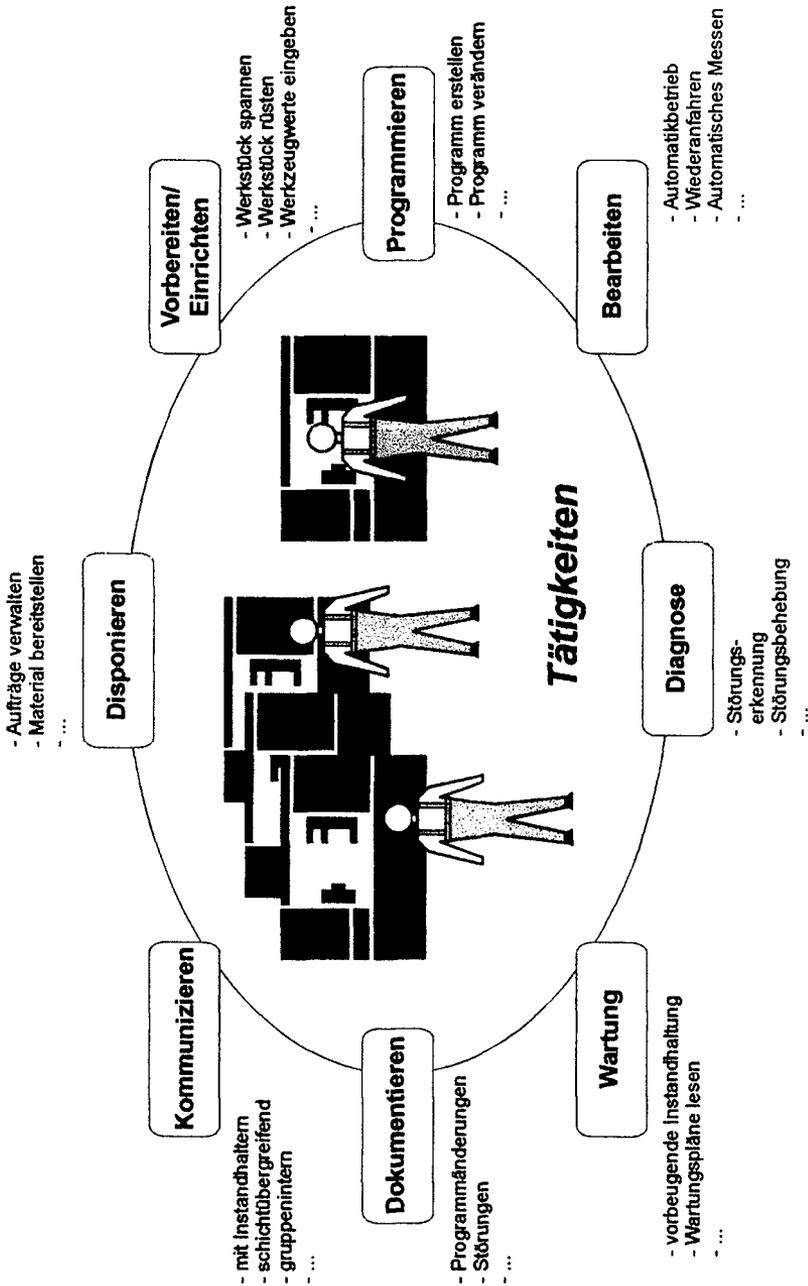


Abb. 2: Großer Erfahrungszyklus

den) für anzeigende Informationen, für Datenveränderungen und für Navigation sowie an einem fest umrissenen Bereich (mit fest belegten Tasten und Schaltern) für bewegungsauslösende Vorgänge.

(1) Aufruf von Funktionen	
Softkeys	mit Menüs Hauptfunktionen je Handlungsbaustein Aktivierung der Softkeys: mit Tasten am Bildschirmrand (wie z. B. bei Indramat)
(2) Handhabung von Informationen	
Funktionstasten	zum Blättern in Menüs möglichst nur wenige Ebenen
Cursor	zum Bezeichnen von Datenfeldern
Noch unklar: Navigationselemente Lichtgriffel/Fingermaus	zum Anklicken von Datenfeldern zum Verknüpfen von Datenfeldern
(3) Handhabung von Bearbeitungsvorgängen	
Richtungstasten/Handrad	zum Fahren von Achsen
Potentiometer (Drehschalter)	für Veränderung von Vorschub und Drehgeschwindigkeit
Taste für Teach in	
(4) Hilfesysteme on-line	
nur sinnvoll, wenn situationsbezogen	
Symbol/Datenfeld	aktiviert durch Anklicken für Texte bei Codierungen (z.B. Störungen, Maschinendaten, M-Funktionen) für seltene Fehler (ggf. mit Anlagenübersicht) für Kommutierungssignalübersicht

Tab. 9: Bedarf an Ein- und Ausgabetechniken

3.2 Technische Unzulänglichkeiten und organisatorisch induzierte Probleme bei der Störungssuche und -behebung

Störungsanalyse und Störungsbehebung bilden einen wesentlichen Arbeitsschwerpunkt in der Serienfertigung. Auch wenn dies seit Jahrzeh-

ten bekannt ist, ist die technische Unterstützung hierfür bislang noch unzureichend. Schon die Breiterehebung von HÜMNOS belegt, daß bei den gegenwärtig eingesetzten Diagnosesystemen erhebliche Mängel auftreten. So ist ein Großteil der Störungsmeldungen falsch oder ungenau. Die Tiefenuntersuchung bestätigt dieses Defizit, weist darüber hinaus aber noch auf weitere Störquellen hin und zeigt auf, welche Prinzipien für Störungsanalysen befolgt werden. Daraus lassen sich wiederum Anforderungen für eine bessere technische Unterstützung gewinnen.

(1) Perspektivdifferenzen zu Steuerungsproblemen und Störungen

Auffallend ist die unterschiedliche Einschätzung von Arbeitskräften an der Maschine und von Fertigungsplanern:

- Aus der Sicht der Planer sind *Probleme mit den Steuerungen* gravierend, aus der Sicht der Werker (Bediener und Instandhalter) sind sie zweitrangig.
- Die Planer beurteilen 50 % oder mehr der Störungen als primär *organisatorisch* bedingt, die Werker mit 70 bis 90 %.
- Offensichtlich gehen aber *beide Gruppen* davon aus, daß der größere Teil der störungsbedingten Stillstände bzw. Störungen primär über bessere organisatorische Abläufe verringert werden kann.
- Die Instandhalter schätzen den Anteil untauglicher oder *fehlerhafter Störungsmeldungen* auf 40 bis 60 %, der zuständige Planer auf wesentlich weniger.

(2) Defizite bei der Unterstützung von Störungsdiagnose und -behebung

Die technische Unterstützung für Störungsdiagnose und -behebung ist bei den gegenwärtig eingesetzten Diagnosefunktionen unzureichend. Im einzelnen geht es um:

- *Mangelnde Qualität von Störungsinformation*: Die Werker monieren a) die geringe Aussagekraft von Störungsmeldungen (zu ungenau, zu pauschal), b) fehlerhafte Störungsmeldungen; letztere entwerten auch die Glaubwürdigkeit der richtigen Störungsmeldungen, vermindern die Akzeptanz und lösen zusätzliche, vermeidbare Such- und Prüfprozeduren aus.

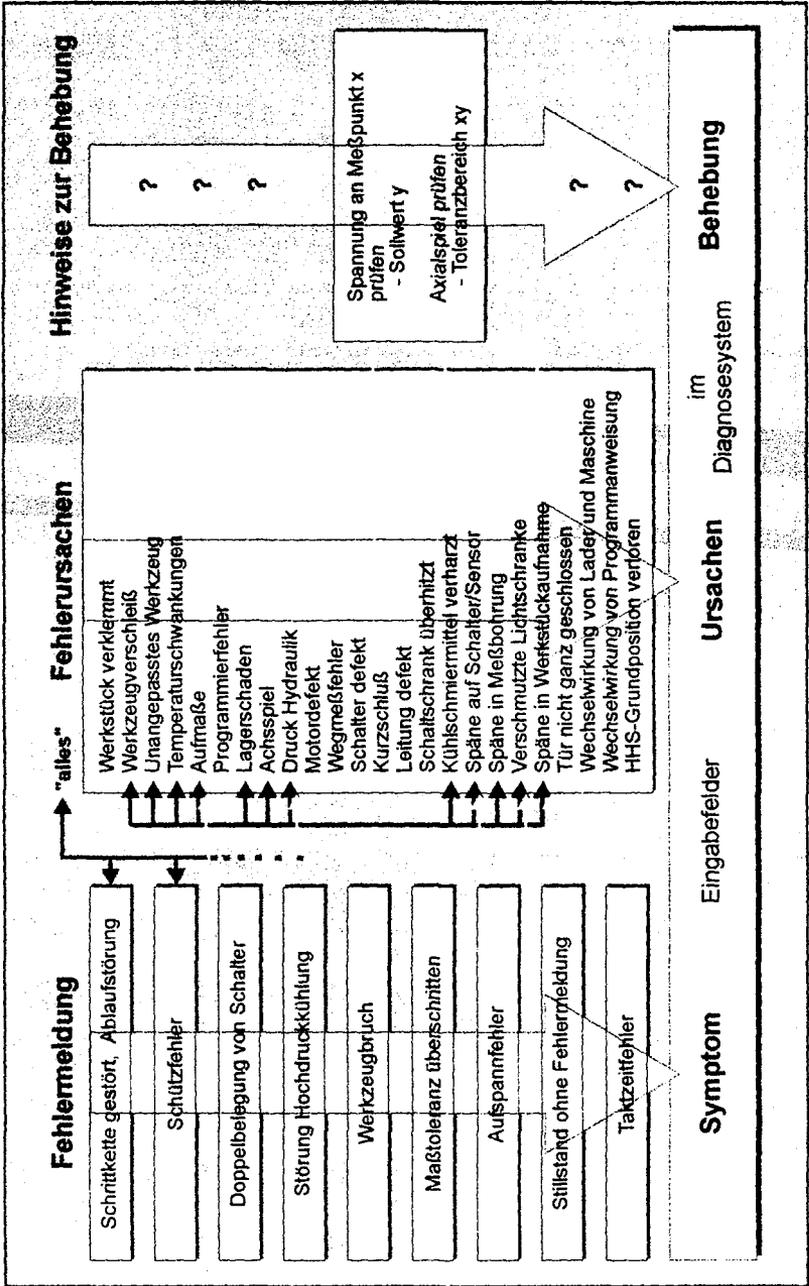


Abb. 3: Unschärfe Zuordnung von Fehler und Ursache

- *Nicht geregelte Prozeßoptimierung*: Sofern Werker entsprechende Vorschläge weiterleiten, bleiben diese oft liegen, da die Planer das Problem für weniger bedeutsam halten oder für die Prozeßoptimierung keine zeitlichen Ressourcen haben; Instandhalter sind nicht befugt oder nicht dafür qualifiziert, die Anpassungen selbst vorzunehmen.
- *Mangelnde Bereitstellung und Auswertung von Störungsinformation*: a) Eine Möglichkeit zur umfassenden statistischen Dokumentation und Auswertung von Störungsinformationen fehlte bislang weitgehend; b) den Werkern mangelt es an Zeit für die Auswertung von Störungsdokumentationen und für vorbeugendes Handeln.
- *Dominanz statistikorientierter Auswertung*: Seit einiger Zeit werden Störungen elektronisch dokumentiert, aber: a) Störungen und Ursachen werden kodiert und können qualitativ nur knapp beschrieben werden; b) bei schwierigeren Störungen werden nur die qualitativen, konkreten Dokumentationen als hilfreich empfunden, nicht die Fehlerstatistik; c) Instandhalter nutzen die Möglichkeit von Klartext-Eingaben kaum, weil ihnen das System bei der Störungsanalyse und -behebung bislang wenig nützt und es für sie zudem schwer zu bedienen ist.
- *Mangelnde Hinweise zur Störungsbehebung* werden sowohl am Bedienfeld als auch am Störungsdokumentationssystem beklagt; demgemäß wird der Bedarf an textlicher und bildlicher Unterstützung nachdrücklich bekundet.

(3) Verschiedene Prinzipien bei der Suche nach Störgründen

Die Störungsbewältigung durch Fachkräfte an der Anlage erfolgt nach einem generellen Ablaufmuster aus mehreren Schritten, Vergleichen und Rückkoppelungen.

Ausgangspunkt ist die Wahrnehmung einer Störung, z.B. durch Blinken einer brennenden Störlampe an einer Transferstraße. Die erste Frage, die sich System- bzw. Maschinenführer dann stellen, betrifft die der gestörten Einheit. Aus diesem Grund gehen sie an das Hauptbedienfeld (HBF) und schalten die Anlagenübersicht an, auf der dann die gestörte Einheit erkennbar ist. Als gute Unterstützung bewerteten die Fachkräfte die Möglichkeit, den Ort der gestörten Einheit bereits an einer beliebigen Ma-

schine abfragen zu können. Am Hauptbedienfeld informieren sich die Mitarbeiter bereits über die allgemeine Störung anhand einer kurzen Störungsbeschreibung. Danach verzweigen sich die Vorgehensweisen der Produktionsarbeiter:

- Eine Vorgehensweise bei der Störungslokalisierung besteht darin, sich bereits auf dem Weg zur Einheit Gedanken über die Störung machen zu können. Dies erfordert eine detaillierte Störungsmeldung bereits am HBF.
- Eine alternative Handlungsstrategie besteht darin, sich nur allgemein am HBF über eine Störung zu informieren und am Einheitenbedienfeld (EBF) als erstes unvoreingenommen in den Innenraum der Maschine zu sehen – erst danach erfolgt dann die Störungslokalisierung am EBF. Gerade dieses In-die-Maschine-Hineinsehen wurde als wichtig beschrieben, um nicht z.B. die Maschine zu früh wieder in die Grundstellung zu fahren (bevor nicht z.B. ein im Verfahrenweg liegendes Blech weggeräumt ist).

Diese beiden Störungsbewältigungsprinzipien führen zur Anforderung, detaillierte Störungslokalisierungen sowohl am HBF als auch am EBF zu ermöglichen. Darüber hinaus sollte die Möglichkeit gegeben sein, auch am HBF Störungen „wegzudrücken“. Bei der häufigen Fehlerursache „Schalter- oder Meldeüberschneidung“ bestünde die adäquate Fehlerbewältigung im „Wegdrücken“ der Störung und müßte somit auch am HBF angeboten werden.

Ihre Erfahrung mit den jeweiligen Transferstraßen und deren Einheiten läßt die Fachkräfte nach eigener Einschätzung allein aufgrund des Blicks in die Maschine und aufgrund der Fehlermeldung der Maschine in ca. 50 % der Fälle den Störgrund erkennen, der sie in die Lage versetzt, die Maschine wieder anzufahren. In diesen Fällen brauchen sie keine weitere Unterstützung. Als unterstützend wurde eine optional zuschaltbare Anzeige der wahrscheinlichsten/häufigsten Störgründe bei einer gegebenen Fehlermeldung mit zugehörigem Behebungshinweis erachtet. Die Behebung einer Störung aufgrund bekannter und erfahrener „Fälle“ läßt sich als fallbasiertes Prinzip kennzeichnen. Wird sie technisch gestützt, führt sie dazu, daß weitere 30 % der Störfälle einfach behoben werden können.

Falls eine Behebung aufgrund bekannter Fälle und vorliegender Informationen nicht gelingt – in ca. 10 bis 20 % der Fälle –, wurden von den Fachkräften weitere Informationen gewünscht:

- Anzeige der von der Einheit ausgeführten Arbeitsschritte,
- Anzeige des aktuellen Arbeitsschritts,
- Anzeige der noch nicht ausgeführten Arbeitsschritte,
- Ausgabe der letzten Störungen dieser Einheit in einem wählbaren Zeitraum,
- Ausgabe der letzten „ähnlichen“ Störungen,
- Anzeige der geschädigten Bauteilgruppe (Antrieb, Software, Werkzeugspindel etc.),
- Anzeige der Störungsart (Prozeß- oder Maschinenfehler),
- Anzeige der topographischen Lage einer gestörten Bauteilgruppe/eines gestörten Bauteils im graphischen Maschinenbild (z.B. eines Schalters). (Der Ort defekter Schalter wird bisher an Transferstraßen nicht angezeigt. Eine solche Anzeige wäre sehr hilfreich und würde viel Zeit sparen. Eine Anzeige des Störungsorts wird nicht nur an Transferstraßen gewünscht, auch im Serienbetrieb an einzelnen, unverketteten CNC-Bearbeitungszentren wurde dies für eine gute Unterstützung gehalten.)

Die von den Werkern eingesetzten Prinzipien lassen sich hier als symptom-basiert und als topologisch kennzeichnen. Bei dem ersten Prinzip erweitern sie den Symptomraum, indem sie nach weiteren Symptomen, die einen Maschinenstillstand begleiten, suchen. Bei dem topologischen Prinzip werden anhand des Funktionsmodells der Maschine nach und nach (von einem topologischen Ort zum nächsten) mögliche Störgründe geprüft. Je mehr Informationen den System- und Maschinenführern über das Funktionsmodell zur Verfügung stehen, um so intensiver können sie das topologische Prinzip einsetzen.

Falls auch diese beiden Prinzipien nicht zum Erfolg führen, nehmen die Fachkräfte Kontakt zur Instandhaltung auf, die über ein höheres Modellwissen verfügt, und assistieren bei der Störungsbewältigung. Die Instandhalter gehen dann vor allem nach dem topologischen Prinzip oder einer Kombination aus dem symptomatischen und topologischen Prinzip vor, indem sie die topologischen Prüfpunkte aus ihren Erfahrungen freisetzen und kombinieren. Nach Auffassung der Instandhalter könnten sie den Zeitaufwand für die Störungssuche erheblich reduzieren, wenn sie hierbei eine angemessene technische Unterstützung erhielten.

Nach der Behebung des Störgrundes wird die Maschine wieder angefahren. Im Anschluß und teils auch bereits an markanten Punkten der Störungsbewältigung äußerten die Fachkräfte den Wunsch, die Handlung dokumentieren zu können.

(4) Anforderungen aus der Sicht der Fachkräfte an der Anlage

Zur Behebung der festgestellten Defizite und aus dem Bedarf an technischer Unterstützung bei der Anwendung ergeben sich Anforderungen an Diagnosefunktionen. Weitere Anforderungen erwachsen aus der Forderung nach Verhinderung bzw. nach Abbau organisatorisch bedingter Probleme.

Technische Lösungen aus der Sicht der Fachkräfte an der Anlage sind:

- einheitliches Benutzungskonzept für Werkzeugmaschinen (mit NC-Steuerungen) und Transferstraßen (mit SPS-Steuerungen),
- Menüs mit wenigen Ebenen,
- Störungsmeldungen im Klartext (keine Kodierung),
- Kopplung von Störungsmeldungen mit weiteren Informationen über Grundstellung, Teilebearbeitung, Schrittfolgen,
- graphische Anzeige des Störungsortes,
- Präzisierung der Fehlermeldungen, ohne daß dabei die Komplexität durch zusätzliche Sensorik gesteigert wird (da diese auch zur Fehlerquelle werden kann),
- Verbindung von Fehlermeldungen mit Hinweisen zur Störungsbehebung,
- Unterstützung für die Programmierung bzw. Änderung von Fehlermeldungen im System,
- leichter Zugang zu Service-Abteilungen der Hersteller, telekommunikativ (Hotline-Nummern, maschinennahe Telefonanschlüsse) und ggf. informationstechnisch,
- Wählbarkeit des Niveaus der Benutzerunterstützung (Fortgeschrittenmodus für den erfahrenen Anlagenfahrer, Expertenmodus für den Instandhalter),

- Unterstützung einer Online-Fehlerdokumentation im Klartextformat,
- Unterstützung des fallbasierten Prinzips durch Angabe der häufigsten Störgründe bei Fehlermeldungen,
- Unterstützung des symptomatischen Prinzips in der Fehlerdiagnose durch entsprechende Eingabe- und Abfragemodi im Fehlerdokumentationssystem,
- Unterstützung des topologischen Prinzips bei der Fehlerdiagnose auch für System- und Maschinenführer durch Darstellung von Funktionsmodellen in Graphik und Bildern.

Ein möglicher Ansatzpunkt besteht hierfür bei HÜMNOS darin, die Primärdiagnose aus den Daten der Maschinen von der Sekundärdiagnose durch ein Modul zu trennen und die geforderte technische Unterstützung in diesem Modul sicherzustellen.

Organisatorische Lösungen aus der Sicht der Fachkräfte an der Anlage sind:

- Zeitbudgets für Aussprachen im Rahmen kontinuierlicher Verbesserungsprozesse (KVP) vorsehen,
- KVP und Verantwortlichkeit für Systemoptimierung dezentralisieren, Planer entlasten,
- Verbindlichkeit von Entscheidungen über Maßnahmen der Prozeßoptimierung sichern,
- stärkere Einbindung der Werker in Planung und Realisierung technischer Änderungen,
- Kooperation zwischen Planung und Instandhaltung verbessern (Sichtweisen annähern),
- Meetings, die als Belastung empfunden werden, methodisch verbessern,
- Kultur wechselseitiger Anerkennung fördern.

Alle Befragten waren der Ansicht, daß eine technische Lösung, die alle Ansprüche befriedigt, nicht gefunden werden könne. Der Organisation einer kontinuierlichen System- und Prozeßoptimierung wird daher ent-

scheidende Bedeutung beigemessen. Alle technischen Lösungen sollten folglich daraufhin überprüft werden, inwieweit sie innerhalb eines solchen offenen Prozesses anpaßbar sind bzw. ihre Anpassung sollte über geeignete Funktionen aktiv unterstützt werden.

3.3 Bedarf an Informationen zur Transparenz bei komplexen Produktionssystemen

Ein wichtiges Ergebnis von Breitenerhebung und Tiefenuntersuchung für die Gestaltung eines einheitlichen und technologieübergreifenden Bedienkonzepts besteht in der Hervorhebung der Bedeutsamkeit der Transparenz über Produktionsabläufe. Erst Überblick und schnelle Orientierung über Auftragsdurchlauf und den technologischen Bearbeitungsprozeß versetzen die Fachkräfte in der Einzel- und in der Serienfertigung in die Lage, in kritischen unvorhersehbaren Arbeitssituationen durch Abwägen der Konsequenzen sofortigen Eingreifens oder unbeeinflussten Weiterlaufens schnell und situationsadäquat zu handeln.

Die Forderung nach Transparenz bezieht sich allgemein auf zwei eng miteinander verzahnte Bereiche: zum einen auf den Bereich der Initiierung, Steuerung und Kontrolle des technologischen Bearbeitungsprozesses, zum anderen auf den begleitenden Informationsaustausch zur Steuerung und Kontrolle von Prozeßketten.

So ist z.B. Bearbeitungsprogrammtransparenz während der laufenden Bearbeitung notwendig, um kurzfristige Bearbeitungsänderungen vornehmen zu können. Dafür bedarf es u.a. eines Informationsangebots über die Qualität der laufenden Bearbeitung, über die Struktur und die Syntax oder Grammatik des Bearbeitungsprogramms sowie über die Wirkungen bei der Änderung von Programmparametern.

Transparenz von Prozeßketten ist immer dann nötig, wenn die Bearbeitung in mehreren Schichten stattfindet oder auf Informationsaustausch zwischen verschiedenen Abteilungen angewiesen ist. Gerade der Organisation und Unterstützung von Zusammenarbeit entlang Prozeßketten kommt nach den Ergebnissen von Breitenerhebung und Tiefenuntersuchung eine große Bedeutung zur Gewährleistung von Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit zu. Soll eine Koordination über die Abteilungsgrenzen hinweg funktionieren, bedarf es auch hier eines Informationsange-

bots, z.B. bezogen auf die Terminierung von Aufträgen und auf die kapazitive Fertigungssituation oder bezogen auf die technologische Machbarkeit und die funktionale Notwendigkeit von sehr eng tolerierten Maßen.

Ein Ergebnis der Tiefenuntersuchung besteht somit in der Bedeutsamkeit der Herausbildung von Transparenz für Arbeitskräfte und der technischen Unterstützung durch spezifische Informationsangebote und Zugriffsmöglichkeiten. Wenn auch feststeht, daß Transparenz technologieübergreifend zur Steuerung und Kontrolle des Bearbeitungsprozesses notwendig ist, so unterscheiden sich jedoch die Schwerpunkte der Transparenz zwischen Einzel- und Serienfertigung. In nebenstehender Abbildung sind verschiedene Formen von Transparenz aufgeführt. Bedeutsamkeit und Vorkommen der Transparenzformen sind dabei durch die Länge der jeweiligen Balken symbolisiert.

(1) Auftragstransparenz

Diese Form von Transparenz bezieht sich auf die Abwicklung von Aufträgen, d.h. auf das Durchschleusen von Rohmaterial und Werkstücken durch die Prozeßkette.

In der Serienfertigung bezieht sich diese Transparenzform in erster Linie auf die Übersicht des aktuellen Materialflusses in der Anlage. Informationen zum Abarbeitungsstand (wie z.B. schicht- und tageweise Zählung und Anzeige der In-Ordnung- und der Nicht-in-Ordnung-Werkstücke) und zur Disposition von Rohlingen (z.B. Abfragemöglichkeit der geforderten Anzahl eines bestimmten Werkstücktyps in nachgelagerten Abteilungen) sind hier für einen Überblick voraussetzend.

Die Auftragstransparenz hat in der Einzelfertigung einen anderen Stellenwert als in der Serienfertigung. Mit dem Begriff der „Auftragsübersicht“ als Schwerpunkt der Einzelfertigung ist u.a. eine Übersicht zukünftiger Aufträge an der eigenen Maschine und an der von Kollegen, ihrer Terminierung und Technologie in Form einer konstruktiven Zeichnung oder der Verfügbarkeit von Werkzeugen und Werkstücken gemeint. Auf dieser informatorischen Grundlage können die Fachkräfte dann Transparenz ausbilden und zum einen die Reihenfolge der abzuarbeitenden Aufträge so festlegen, daß das Verhältnis zwischen Rüstzeit und Durchlaufzeit situationsadäquat optimiert werden kann; zum anderen ist es ihnen aufgrund dieser Auftragstransparenz auch möglich, kurzfristig notwendig

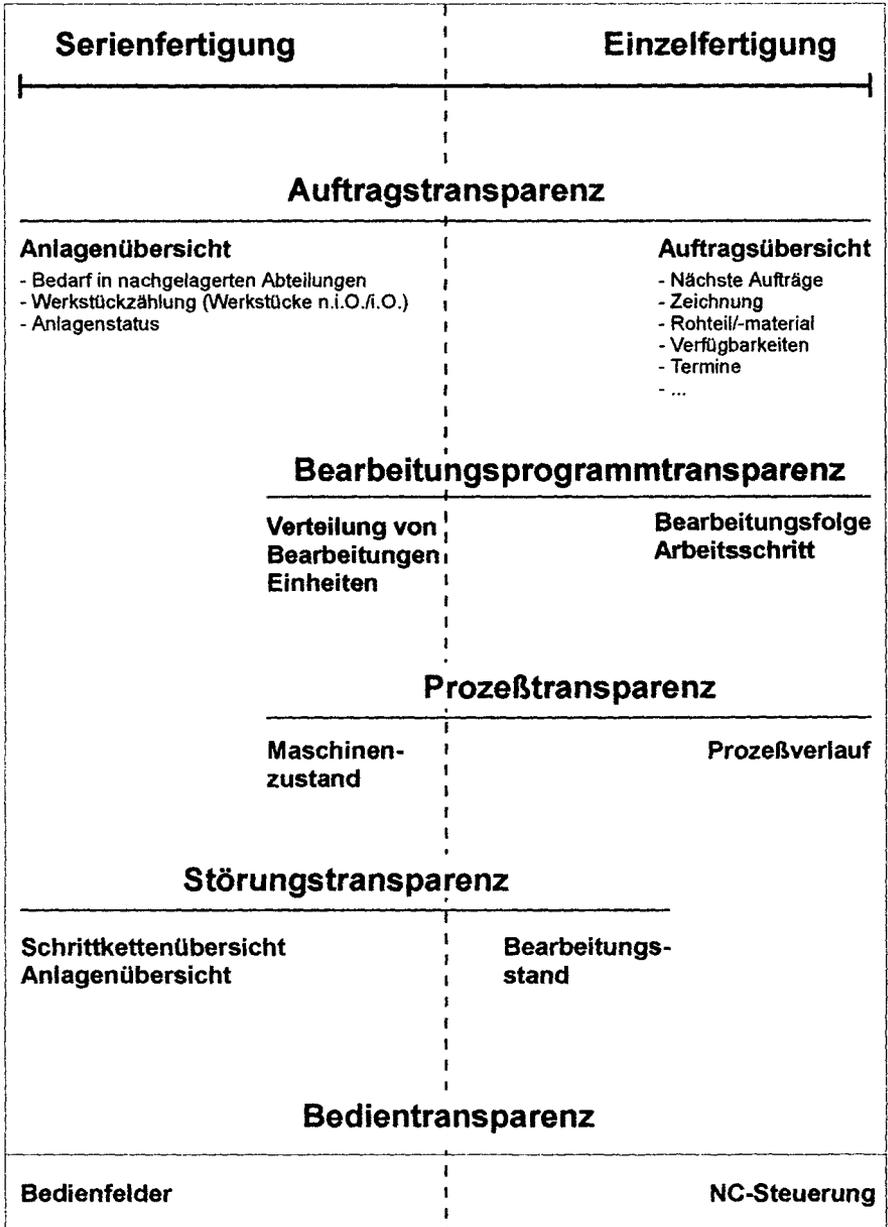


Abb. 4: Transparenzformen

werdende Umplanungen (z.B. durch sog. Eilaufträge mit hoher Produktionspriorität) so vorzunehmen, daß die eigentliche Bearbeitungsreihenfolge nicht völlig aus dem Blick gerät.

(2) Bearbeitungsprogrammtransparenz

Eine weitere Form der Transparenz betrifft den Überblick zum eingesetzten Bearbeitungsprogramm.

Diese Transparenzart ist in der Einzelfertigung generell von größerer Bedeutung. Da hier die Werkstücke und damit die entsprechenden Bearbeitungsprogramme und die in ihnen festgelegten Bearbeitungsstrategien öfters wechseln, müssen sich die Fachkräfte den im Programm festgelegten Bearbeitungsablauf entsprechend häufiger aneignen.

Diese Aneignung einer Bearbeitungsstrategie ist in der Serienfertigung dagegen weniger häufig der Fall. Nach der Inbetriebnahme und dem Einfahren der Linie laufen hier über einen Zeitraum von ca. fünf Jahren immer dieselben Werkstücke, deren technologische Bearbeitung z.B. durch Einsatz neuer Werkstoffe nur noch marginal optimiert wird. Da in Zukunft mit der Flexibilisierung der Produktion gerechnet wird, werden möglicherweise aber auch hier Bearbeitungsänderungen bei der Herstellung von Varianten zunehmen.

Wichtig zur Unterstützung der Bearbeitungsprogrammtransparenz in der Einzel- und Kleinserienfertigung sind z.B. Informationen über die im Programm festgeschriebene Bearbeitungsfolge, über den detaillierten Ablauf der einzelnen Arbeitsschritte sowie über die Funktionen und Parameter des Bearbeitungsprogramms. In der Serienfertigung sind demgegenüber an dieser Stelle Informationen u.a. über die Verteilung von Bearbeitungen und von Werkzeugen auf die einzelnen Fertigungseinheiten – z.B. einer Transferstraße – wichtiger.

(3) Prozeßtransparenz

Von den Arbeitskräften wird auch eine Übersicht über Fortschritt und Zustand von Bearbeitungsabläufen verlangt.

Nach den Ergebnissen der Tiefenuntersuchung ist diese Form der Transparenz in der Regel in der Einzelfertigung von größerer Bedeutung als in der Serienfertigung. Hier sind die technologischen Bearbeitungsprozesse

wesentlich sicherer eingestellt und einstellbar als in der Einzelfertigung. Aus dieser relativ hohen Prozeßsicherheit resultiert, daß die Fachkräfte bei der Überwachung der Linien und Anlagen weniger den technologischen Bearbeitungsprozeß kontrollieren als vielmehr die Funktionstüchtigkeit der Maschinen selbst.

Der Schwerpunkt der Prozeßtransparenz in der Serienfertigung liegt demnach in der Orientierung über den Anlagenzustand. Dies drückt sich auch in den Einschätzungen der Störungshäufigkeiten aus: Prozeßstörungen z.B. aufgrund falsch programmierter Verfahrenwege kommen nur sehr selten vor. Als viel häufiger werden Unterbrechungen des maschinellen Ablaufs eingeschätzt, z.B. durch Doppelbelegung von Schaltern etc. Relevante Informationen für die Einschätzung der maschinellen Funktionstüchtigkeit entnehmen die Fachkräfte nach den Beobachtungen der Tiefenuntersuchung auch – wie bei der Einzelfertigung – dem Geräuschspektrum, das mit dem Maschinenlauf einhergeht. Lagerschäden oder Druckabweichungen können sie bereits zum Teil an diesen Geräuschkennlinien identifizieren. Weitere sinnvolle Informationen zur Unterstützung der Transparenz des Anlagenzustands könnten in Kraftaufnahmen oder in Körperschallemissionen bestehen.

In der Einzelteil- und Kleinserienfertigung mit Bearbeitungszentren richtet sich die Prozeßtransparenz demgegenüber viel stärker auf die Überwachung des technologischen Prozeßverlaufs aus. Die Abstimmung zwischen der programmierten und der realen Situation an der Maschine stimmt häufiger nicht, und auch sonstige Programmparameter, wie z.B. Schnittwerte, Schnittzuteilungen, sind häufig nicht situationsadäquat. Simulationen des programmierten Ablaufs sowie auditive, visuelle, kinästhetische und olfaktorische und – wenn nicht anders möglich – mediatrisierte Prozeßzugänge können hier Informationen liefern, die eine ausreichende Transparenz über den Prozeßverlauf ermöglichen. In der Serienfertigung spielt die Prozeßtransparenz jedoch überall da eine wichtige Rolle für die Prozeßüberwachung, wo teure Werkzeuge eingesetzt werden, z.B. bei Schleifmaschinen in der Nockenwellenfertigung. Da Meßtechnik und Schleiftechnik häufig nicht aufeinander abgestimmt sind, ergeben sich hier oft erhebliche Defizite für die Prozeßüberwachung.

(4) Störungstransparenz

Um die Produktion reibungslos in Gang zu halten bzw. Unterbrechungen schnell bewältigen zu können, haben die Fachkräfte Bedarf an einer

Übersicht zum Störungsgeschehen. Analog zur Prozeßtransparenz fanden sich in der Tiefenuntersuchung unterschiedliche Schwerpunkte dieser Transparenzforderung in der Einzel- und der Serienfertigung.

In der Einzel- und Kleinserienfertigung besteht der größte Störungsanteil, wie schon angesprochen, in der Abweichung von geplanten Bearbeitungsabläufen. Infolgedessen wären hier Anzeigen zum Bearbeitungsstand in Form einer Simulation sehr hilfreich. In der Serienfertigung ist demgegenüber entscheidend, bei welchem Schritt des immer gleichen Bearbeitungsablaufs die Fertigungseinheit stehengeblieben ist. Deshalb sind Anlagen- und Schrittkettenübersichten hier die adäquaten Informationsangebote.

(5) Systemtransparenz

Fachkräfte möchten möglichst schnell und sicher mit verschiedenen Maschinen umgehen können. Hier geht es um das schnelle „Sichzurechtfinden“ in Menüstrukturen und an der Benutzungsoberfläche der Maschinen verschiedener Hersteller. Eine erste Anforderung zur Unterstützung der Bedientransparenz besteht in der mnemotechnischen Gestaltung von Symbolen und Tasten. Hierunter läßt sich die leichte und eindeutige Wiedererkennbarkeit von Symbolen, Tasten und Anzeigen sowie die schnelle Orientierung über die Auswirkungen von Eingaben und Tastenauslösungen verstehen.

Eine weitere Anforderung betrifft die Diskriminierung und Zuordnung von Symbolen/Tastenbezeichnungen zu Funktionen. Vor allem bei älteren Generationen von Steuerungen und Maschinen werden ähnliche Symbole für unterschiedliche Tätigkeiten verwendet. Die in die Tiefenuntersuchung einbezogenen Fachkräfte an den Maschinen und Anlagen berichten übereinstimmend, daß es leicht zu gravierenden Fehlbedienungen durch Verwechseln von Symbolen komme, wenn diese sich nur in Nuancen unterscheiden. Dies ist in der Serienfertigung mit verketteten NC-Einheiten und an Transferstraßen in stärkerem Ausmaß der Fall als in der Kleinserienfertigung an Bearbeitungszentren. Eine Erklärung kann darin gesehen werden, daß die Fachkräfte in der Einzelteil- und Kleinserienfertigung in der Regel nur an einer (ihrer) Maschine arbeiten und sehr viele Funktionen während ihrer täglichen Arbeit benutzen. Zwar berichten auch sie über Fehlbedienungen in der Anfangszeit, die jedoch durch zunehmende Übung und Vertrautheit mit der Steuerung abnehmen.

In der Serienfertigung werden wichtige Funktionen teils selten genutzt – z.B. im Störfall, und teils werden sie von Steuerungshersteller zu Steuerungshersteller unterschiedlich belegt. Hier kommt es häufig zum Vergessen der Handhabung selten genutzter Funktionen. Gerade seltener genutzte Symbole und Tasten müssen somit in ihrem Bezug zur auslösenden Funktion deutlich und einheitlich gekennzeichnet und damit wiedererkennbar sein – die Reproduktionsleistung verhält sich reziprok zur Häufigkeit der Nutzung von Funktionen.

Eine weitere Forderung in diesem Zusammenhang betrifft die nach einheitlicher Verwendung weniger, kontrastreicher Farben. Diese werden gegenwärtig noch herstellerabhängig unterschiedlich verwendet. Unterschiedliche Farben wurden z.B. in der Serienfertigung mit Transferstraßen gewünscht für Grundstellung, Fertigmeldung, Automatik, Spannzustand und Störung.

Die Forderung nach wenigen und leicht zu unterscheidenden Farben gilt nicht nur für ältere Steuerungen, sondern hat auch bei neueren Steuerungen Gültigkeit. Die Fachkräfte bewerteten die Anlagenübersicht auch bei gerade ausgelieferten Bedienungssystemen als „unübersichtlich“ und „überladen“. Offenbar wird ihr Anliegen – seit vielen Jahren bekannt – immer noch nicht bei technischen Entwicklungen berücksichtigt. So finden sich auf Bedienfeldern bis zu acht verschiedene Informationen mittels Farben kodiert, die zudem als zu wenig kontrastreich eingestuft werden. Gerade bei den Übersichten kommt es für die Werker darauf an, sich mit einem Blick über die wichtigsten Informationen orientieren zu können. Dies bedeutet, daß nur zusammengefaßte Informationen mit wenigen, aber kontrastreichen Farben dargestellt werden sollten (nach übereinstimmenden Aussagen der befragten Werker sind dies vier oder fünf Farben).

Die Unterscheidung von Symbolen und Tasten in bewegungsauslösend, anzeigend, navigierend und dateneingebend wurde von den Fachkräften als weitere Anforderung zur Unterstützung der Bedientransparenz formuliert. In den Gesprächen zeigte sich immer wieder, daß insbesondere neu anzulernende Mitarbeiter Schwierigkeiten haben, sich mit neuen Steuerungen auseinanderzusetzen, um z.B. deren Funktionen vollständig kennenzulernen (das ist auch einer der Gründe, daß in der Regel nur 30 bis 70 % des Funktionsumfangs genutzt werden). Zu groß erscheint die Gefahr, einen falschen Knopf zu drücken, dessen Folgewirkungen unab-

sehbar sind. Eine Fehlbedienung bewegungsauslösender Funktionen und die durch das Crasherlebnis entstehende Angstschwelle, die Steuerung probierend kennenzulernen, kann durch eine eindeutige Unterscheidung zwischen bewegungsauslösenden, anzeigenden und navigierenden sowie dateneingebenden Funktionen/Softkeys/Tasten reduziert werden. Auch Bestätigungsnachfragen des Systems bei gravierenden Eingriffen werden als hilfreich eingeschätzt. Wichtig sind vor allem Unterscheidungen in „ungefährliche“ und „gefährliche“ Eingaben und Eingriffe – weil hier die Maschine verfahren wird oder sonstige wesentliche Änderungen vorgenommen werden. Früher waren diese beiden Zustände über Schlüssel-schalter voneinander getrennt.

In den Gesprächen mit den Fachkräften an den Maschinen wurde das Konzept „Windows für die Fabrik“ sehr ambivalent diskutiert. Den Vorteilen z.B. der Fenstertechnik, bestehend aus vielfältigen und gutstrukturierten Informationsangeboten, wurden die Nachteile der Unübersichtlichkeit der Fensterdarstellung und der nicht werkstattgemäßen Eingabemedien zur Navigation entgegengehalten. Gerade die Bedienung mit der Maus wurde infolge der hohen Verschmutzung in einer Werkstatt als schwierig eingeschätzt. Allerdings werden Verschleiß und Dreck auch bei anderen Ein- und Ausgabemedien als Problem beschrieben: So verschleißen Folientastaturen und verblasen Schriftfelder auf den Bedienpulten und werden mit der Zeit unlesbar.

Die Ergebnisse der Tiefenuntersuchung lassen sich zu den Eingabemedien dahingehend zusammenfassen, daß die Einschätzungen der Werker durch eine Mischung aus Skepsis und Interesse geprägt sind. Es wurde hervorgehoben, daß ein Navigations- und Zeigeinstrument einerseits zwar neue Möglichkeiten der Bedienung eröffnet, aber andererseits genau geprüft werden sollte, ob diese neuen Möglichkeiten hinsichtlich der geforderten Anwendungen wirklich notwendig und ob die Instrumente letztlich werkstattauglich sind. Insgesamt trauten sich die Werker aber zu, auch ein neues Eingabeinstrument wie die Maus beherrschen zu können.

3.4 Konturen für eine handlungsorientierte Benutzungsoberfläche

Für Mercedes-Benz und BMW wurde im Anschluß an Breitenerhebung und Tiefenuntersuchung ein Rahmenkonzept für die Benutzungsoberfläche der Demonstration ausgearbeitet. In dieses Konzept gehen ausge-

wähle, gegenwärtig als realisierbar erscheinende Anforderungen aus Nutzersicht ein. Das Konzept eignet sich dazu, die beiden Gestaltungsaspekte Vereinheitlichung und Spezifizierung zu veranschaulichen. Eine Übersicht der Anforderungen zeigt die folgende Abbildung.

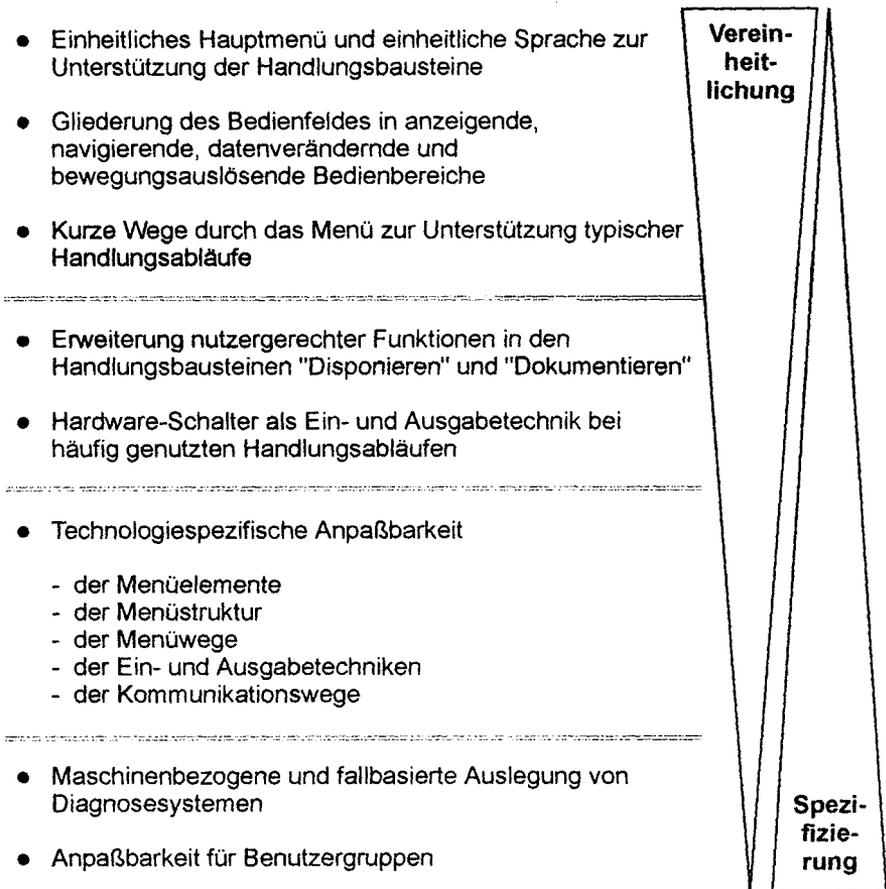


Abb. 5: Anforderungen an die HÜMNOS-Benutzungsfläche bei den Anwendern

Hartmut Schulze, Uwe Funk, Anja Hildebrandt, Martin Wahl

Anforderungen an ein handlungsorientiertes Interaktionssystem

Ergebnisse der Tiefenuntersuchung bei Daimler-Benz

1. Methodik und Ablauf der Tiefenuntersuchung bei DB
2. Interaktionsprobleme mit den im Untersuchungsbereich eingesetzten Maschinen und Anlagen
3. Anforderungen an ein handlungsorientiertes und erfahrungsförderliches Interaktionssystem
4. Zusammenfassung und Ausblick

Aufbauend auf der fragebogengestützten Breitenerhebung bei Herstellern und Anwendern von Produktionstechnik (s. den Beitrag von Rose, Schulze u.a. in diesem Band, S. 41 ff.) wurde eine qualitative Untersuchung in mehreren Produktionsstätten von Daimler-Benz (DB) durchgeführt. Zielsetzung dieser Erhebung war, Anforderungen an ein neu zu gestaltendes Interaktions- und Steuerungssystem aus Sicht von Nutzern zu ermitteln. In früheren Forschungsprojekten hatten sich im Bereich der Einzelfertigung die Unterstützung des Handelns und die Förderung der Bildung, Anwendung und Weitergabe von Erfahrung als ergiebige Leitbilder für Technikentwicklung erwiesen (s. Martin 1995; Rose 1996). Anknüpfend an diese Ergebnisse wurde in der Tiefenuntersuchung nach Möglichkeiten einer Vereinheitlichung von Interaktionssystemen gesucht, die einerseits für Einzel- und Serienfertigung Gültigkeit besitzt und andererseits auf die Unterstützung des Arbeitshandelns der Produktionsmitarbeiter abzielt. In diesem Beitrag werden zunächst Methodik und Ablauf der Untersuchung beschrieben, um anschließend die ermittelten Probleme in der Mensch-Technik-Interaktion sowie die zur Lösung abgeleiteten Anforderungen im einzelnen zu erläutern.

1. Methodik und Ablauf der Tiefenuntersuchung bei DB

Die Tiefenuntersuchung bei DB fand in drei Schritten statt. Zunächst wurden mittels einer Schwachstellenanalyse die in der Breitenerhebung lediglich angedeuteten Schwächen der eingesetzten Automationstechnik näher erfaßt. Anschließend wurden Voraussetzungen und Rahmenbedingungen abgeleitet, die für die Bewältigung der für die Automation problematischen Situationen sowie für die Optimierung des Produktionsgeschehens durch die Beschäftigten notwendig und hilfreich sind. Aufbauend auf den Analyseergebnissen wurden dann in einem dritten Schritt gemeinsam mit den Beschäftigten Anforderungen an ein technisches Interaktionssystem zur Unterstützung des Arbeitshandelns der Fertigungsmitarbeiter in Einzel- und Serienfertigung entwickelt.

1.1 Das Untersuchungsspektrum

In die Untersuchung wurde ein möglichst breites und repräsentatives Spektrum von Fertigungsbereichen einbezogen. Einen Überblick geben die Kenngrößen in Tabelle 1.

Bei der Auswahl der Produktionsstätten wurde insbesondere darauf geachtet, die verschiedenen Arbeits- und Interaktionsweisen der Beschäftigten mit den jeweiligen Maschinen und Anlagen in ihrer Bandbreite abzudecken. Dadurch sollte sichergestellt werden, daß die Produktionsmitarbeiter mit dem zu entwickelnden Interaktionssystem auch die wesentlichen Aufgabenbereiche in Einzel- und Serienfertigung bewältigen können.

Eine erste Kenngröße betrifft die *Art der Arbeitsteilung* bzw. den *Grad der Automatisierung* der Bearbeitungsprozesse. Den geringsten *Grad an Automatisierung* weisen in der Untersuchung alleinstehende Einzelmaschinen im Gießwerkzeugbau auf. Im Zentrum des Arbeitshandelns der Fachkräfte stehen hier die Werkstattprogrammierung bzw. die Optimierung von NC-Programm und Bearbeitungsprozeß. Der höchste Automationsgrad findet sich bei starr verketteten Transferstraßen, an denen über einen längeren Zeitraum hinweg das gleiche Produkt gefertigt wird. Das Aufgabenspektrum der Werker bezieht sich dabei im wesentlichen auf Überwachung, Wartung und Störungsmanagement der Anlage.

Über den Grad der Automatisierung hinaus prägen die zu fertigenden *Produkte* (variiert wurden u.a. Geometrie, Material und Größe), die *Bearbeitungstechnologie* (einbezogen wurden die Verfahren Fräsen, Drehen

Produkte	Einzelmaschinen (alleinstehend)		Einzelmasch. (verkettet)	Transferstraße (starr verkettete Einheiten)		
	Werkzeuge	Kleinteile	Kurbelwellen	Zylinderköpfe	Motorblöcke	Zylinderk. / Motorbl.
Hersteller (u.a.)	Droop & Rein	Index, Magdeb., Frontor - Weisser	Heyligenstedt, First Alpin, Naxos	Grob, Kraussec	Alfing – Kessler, Kraussec	Grob, Kraussec, Heller
Alter	ca. 5 Jahre	ca. 8-15 Jahre	ca. 10 Jahre	ca. 5 Jahre	ca. 6 Jahre	neu
Steuern (u.a.)	Siemens (3M/8M/880/ Sinumerik), Index, Fidia, Bosch CC320		Heller Unipro 80, Siemens WNC / 3M, Fortuna Tango	Siemens 880/850 und WS 400-20		Siemens S7, neues DB-Bedienfeld, Heller Unipro 90
Betreuung	Einzelmaschinen-Betreuung		Mehrmaschinen-Betreuung			

Tab. 1: Merkmale der untersuchten Bereiche

und Schleifen) sowie die *Arbeitsorganisation* (einbezogen wurden Mehrmaschinenbetreuung/Einzelarbeit sowie Werkstatt-/Fremdprogrammierung) und das *Qualifikationsniveau der Mitarbeiter* (variiert wurden u.a. der Kenntnis- und Erfahrungsgrad) die Handlungsvollzüge an den Maschinen und Anlagen.

Durch die Variation der genannten Kenngrößen konnte die Einzel- und Serienfertigung in ihren wesentlichen strukturellen Kenngrößen abgebildet werden. Damit stützt sich das neu zu entwickelnde Interaktionssystem auf ein umfassendes Aufgaben- und Tätigkeitsspektrum.

1.2 Die Datenerhebung bei DB

Die Tiefenuntersuchung bei DB fand in zwei Phasen statt. In der ersten Phase im Juli 1996 wurden eine allgemeine Ermittlung der Schwachstel-

len der eingesetzten Steuerungen und Interaktionssysteme sowie eine Analyse des Arbeitshandelns von Produktionsmitarbeitern vorgenommen. Aufbauend auf den Ergebnissen wurde in der zweiten Phase im September 1996 eine bereichsübergreifende Benutzungsstruktur für ein zukünftiges Steuerungssystem entworfen. Die Untersuchung ordnet sich vom Ansatz und Vorgehen her in die Methodologie der heuristisch entdeckenden Sozialforschung nach Kleining ein (vgl. Kleining 1995).

Die Erhebung führte ein interdisziplinär aus Ingenieuren (pak der Universität Kaiserslautern und Verfahrensentwicklung von DB) und Arbeitspsychologen (Universität Hamburg, PiG e.V.) zusammengesetztes Untersuchungsteam durch. Dieses Team war in jedem der in Tabelle 1 aufgeführten Bereiche schichtübergreifend drei bis vier Tage beobachtend vor Ort und führte Interviews mit den Beschäftigten durch.

Die teilnehmenden Beobachtungen dienten dem intensiven Kennenlernen der Bereiche, der Erhebung der Tätigkeitsschwerpunkte der Werker sowie der Erfassung konkreter Handlungsabläufe im Normalbetrieb und bei Störfällen. Die in der teilnehmenden Beobachtung aufgenommenen Aspekte wurden auf einer Stellwand in der Fertigung den Mitarbeitern präsentiert. Hier konnten sie Verbesserungen und Kritik direkt anbringen. Auf diese Weise gelang es, über die direkt Befragten hinaus noch weitere Interessierte einzubeziehen. Ferner konnte so die Transparenz der Untersuchung für alle Werkstattmitarbeiter erhöht werden. Eine Photodokumentation ausgewählter Maschinen und Steuerungen rundete das Bild ab.

Unmittelbar nach Abschluß der ersten Untersuchungsphase wurden den Befragten und interessierten Vertretern der HÜMNOS-Industriepartner (Hersteller und weitere Anwender) erste Ergebnisse vorgestellt. Die dadurch ausgelöste angeregte Diskussion führte zur Ergänzung der bisherigen Erkenntnisse und gab Impulse für die weitere Arbeit.

In der zweiten Untersuchungsphase wurde mittels einer Legetechnikvariante (vgl. Scheele 1988) in Gruppendiskussionen mit Werkern aus Einzel- und Serienfertigung das Hauptmenü einer handlungsorientierten und bereichsübergreifenden Benutzungsstruktur entworfen. Weiterhin ordneten die Befragten die für ihr Handeln bedeutsamen Funktionen und Anzeigen den jeweiligen Menübereichen zu.

Insgesamt wurden im Rahmen der Tiefenuntersuchung bei DB 30 Interviews – Einzelinterviews und Gruppendiskussionen – geführt. Die befrag-

ten Mitarbeiter hatten unterschiedliche Qualifikationen und Funktionen. Es handelte sich um Maschinenarbeiter, Systemführer, Qualitätssicherer, Instandhalter und Betriebsingenieure. Alle Interviews konnten mit der freundlichen Genehmigung der Befragten aufgezeichnet werden. Vertraulichkeit und Anonymität der Gesprächsinhalte wurden verbindlich zugesichert und sichergestellt.

1.3 Die Auswertung

Die Auswertung erfolgte ebenfalls in enger Zusammenarbeit durch Arbeitspsychologen und Ingenieure. Als Grundlage dienten die für jeden besuchten Bereich erstellten Protokolle der teilnehmenden Beobachtungen, die Interviewmitschnitte sowie die von den Fachkräften gelegten Menübaumstrukturen aus der zweiten Untersuchungsphase.

Anhand des Datenmaterials wurde zunächst ein Kategorienschema gebildet. Die wichtigsten Oberbegriffe waren „Merkmale der Bereiche“, „Erfahrungsphänomene“, „Kooperation“, „kritische Situationen“ und „Verbesserungsvorschläge“. Im nächsten Schritt wurden Interviewzitate und Passagen aus den Protokollen der teilnehmenden Beobachtung diesen Oberbegriffen zugeordnet. Es folgte die Analyse der Zitatsammlungen mit dem Ziel, zugrundeliegende Strukturen und Gemeinsamkeiten zu entdecken.

2. Interaktionsprobleme mit den im Untersuchungsbereich eingesetzten Maschinen und Anlagen

In der Tiefenuntersuchung konnte bestätigt werden, daß die Bewältigung von Situationen, die für eine anforderungsgerechte und rechnergesteuerte Fertigung kritisch sind, einen Schwerpunkt des Handelns von Produktionsmitarbeitern bildet. Mittels ihres Wissens und ihrer beruflichen Erfahrung gelang es ihnen häufig, solche Situationen frühzeitig zu erkennen und situationsoptimal zu bewältigen. Diese Fähigkeit macht generell die hohe Bedeutung qualifizierter Facharbeit für eine flexible und termingerechte Fertigung aus. Bisherige Maschinenkonzepte folgen jedoch dem Leitbild einer vollständigen Automatisierung und bieten den Werkern an den Maschinen und Anlagen bei der Bewältigung ungeplant auftretender Situationen in der Regel nur wenig Hilfestellung.

Dieses Manko konnte in der Tiefenuntersuchung nachgewiesen werden. Handhabungs- und Nutzungsprobleme herkömmlicher Interaktionssysteme in der industriellen Produktion resultieren in erheblichem Ausmaß aus einem mangelnden Handlungsbezug und aus weitgehend fehlender Erfahrungsförderlichkeit.

2.1 Mangelnder Handlungsbezug bei eingesetzten Interaktionssystemen

In den betrachteten Produktionsstätten von DB konnte die mangelnde Ausrichtung eingesetzter Interaktionssysteme auf das Arbeitshandeln der Fertigungsmitarbeiter beobachtet werden. Häufig fehlten z.B. Anzeigen und Funktionen, die in spezifischen Fertigungssituationen benötigt wurden oder zu denen über starre und umständliche Wege durch Menüs erst hinnavigiert werden mußte. Die Fachkräfte bewerteten die Informationsdarstellung auf dem Bildschirm häufig als unangemessen oder zu unübersichtlich für den jeweiligen Handlungszweck.

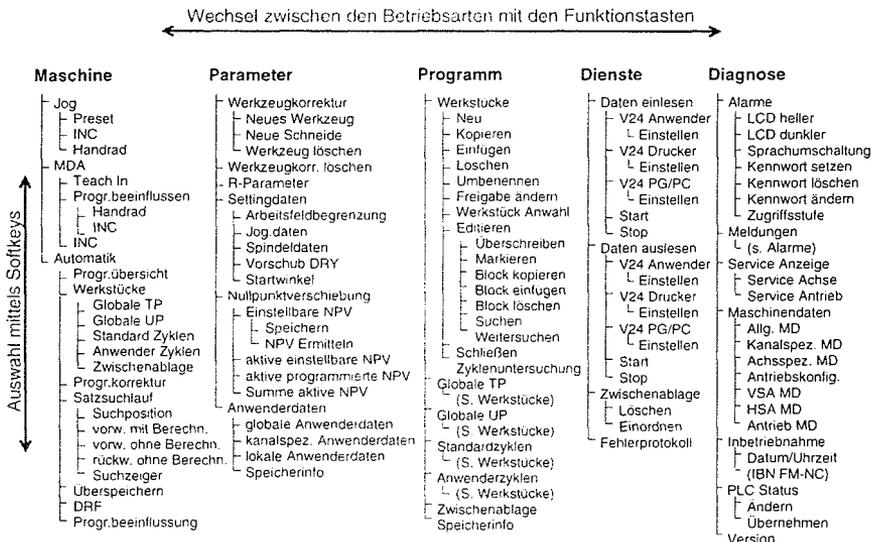


Abb. 1: Programmenü der Steuerung Siemens 840 D

Die Zuordnung von Funktionen und Anzeigen zu Obermenüs bei herkömmlichen Steuerungen von Werkzeugmaschinen und Anlagen orientier-

te sich sowohl in der Einzel- als auch in der Serienfertigung vorwiegend an rein funktionalen Gesichtspunkten. Dies wird in Abbildung 1 anhand eines Steuerungssystems aus der NC-Technik exemplarisch demonstriert.

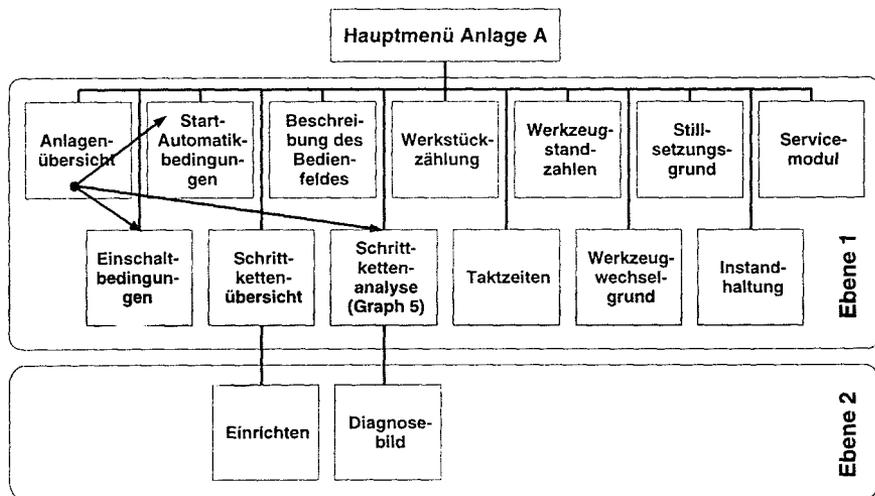


Abb. 2: Beispielhafte Menüstruktur einer Anlage aus dem Bereich Zylinderkopffertigung (aus Schneider, Wahl 1995)

Die Abbildung 2 zeigt die Menüstruktur eines Steuerungssystems aus der Serienfertigung. Mittels Aufruf von Bildmodulen, die jeweils eine Funktionalität darstellen und aus mehreren Bildseiten bestehen können, wird hier die funktionsorientierte Benutzungsphilosophie deutlich.

Erkennbar ist eine Menütiefe von zwei Ebenen, wobei alle Funktionen der ersten Ebene direkt aus dem Hauptmenü aufgerufen werden können. Da dessen Breite nicht vollständig auf dem Monitor dargestellt werden kann, wurde das Hauptmenü in zwei Aufrufblöcke unterteilt. Dabei ist der jeweils aktuelle Block durch einen doppelten Rahmen und durch eine optische Hervorhebung der Softkeybelegung kenntlich gemacht (Abb. 3). Zur Auswahl einer Menüoption ist also zunächst der entsprechende Aufrufblock über die F8-Taste anzuwählen.

Aus dieser funktionsorientierten Benutzungsphilosophie resultierten für die Werker gravierende Handhabungsprobleme. Da die Zuordnung von Funktionen und Anzeigen nicht an das tägliche Handeln der Fachkräfte angenähert ist, muß die Menüstrukturierung quasi auswendig gelernt wer-

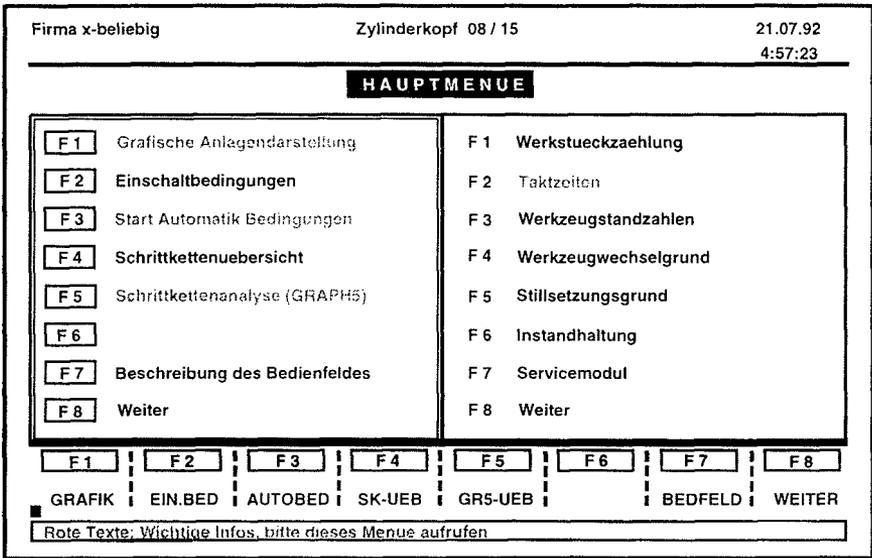


Abb. 3: Hauptmenüdarstellung Anlage A (aus Schneider, Wahl 1995)

den. Gerade in kritischen Situationen, in denen schnelle und flexible Lösungen gefordert sind und für deren Bewältigung noch keine eingeschliffenen Handlungsprotokolle zur Verfügung stehen, kam es dabei leicht zu Orientierungsproblemen. Die Arbeiter berichteten in diesem Zusammenhang häufig über ein Vergessen aktuell benötigter Funktionen und ihrer Zuordnung zu den Obermenüs – insbesondere wenn diese Funktionen nicht täglich genutzt werden. Mühsames Suchen der benötigten Funktionen sowie lange und umständliche Wege durch die Menüstruktur verursachten Verzögerungen. Darüber hinaus kam es zu Unterbrechungen eines stärker intuitiven Handlungsvollzuges, wie er für erfahrungsgelenkte Arbeit typisch ist. Hohe Schulungs- und Einarbeitungsaufwände resultieren somit u.a. aus dem mangelnden Bezug herkömmlicher Interaktionssysteme zum Handeln der Fachkräfte vor Ort.

2.2 Fehlende Erfahrungsförderlichkeit von Interaktions- und Steuerungssystemen

Die praktische Erfahrung von qualifizierten Fachkräften hat sich mittlerweile in vielen empirischen Studien als entscheidende Ressource für die

situationsoptimale Bewältigung von nicht vorausberechenbaren Unregelmäßigkeiten der Bearbeitung herausgestellt (vgl. Böhle, Rose 1992; Martin 1995). Sie versetzt die Fachkräfte in die Lage, normale Situationen zügig und routiniert und kritische Fertigungssituationen flexibel, schnell und angemessen zu bewältigen. In Abbildung 4 ist der Einfluß von Erfahrung bei der Erkennung und Bewältigung kritischer Situationen im Rahmen der Arbeit mit Maschinen und Anlagen zusammengestellt:

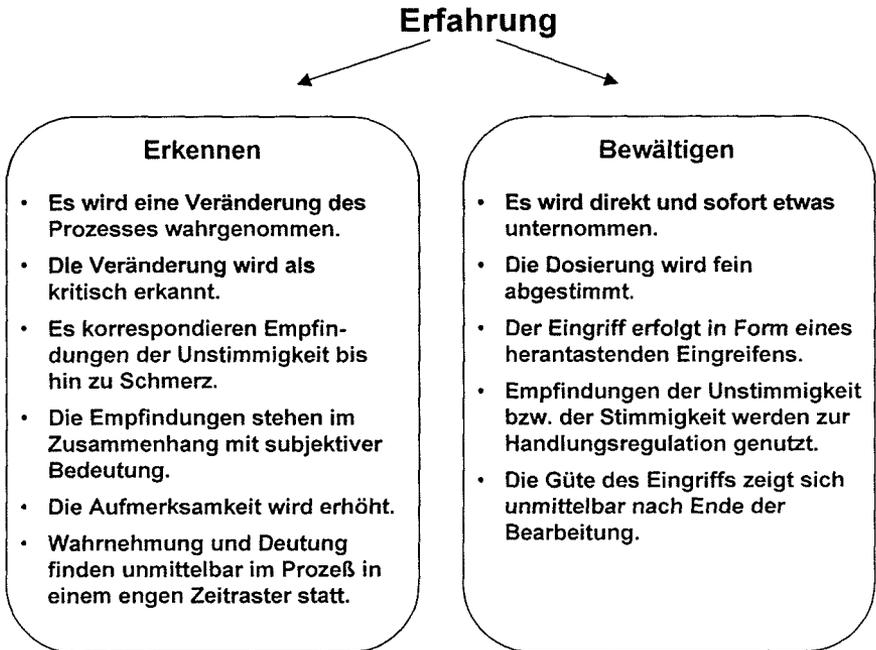


Abb. 4: Stellenwert von Erfahrung beim Erkennen und Bewältigen kritischer Situationen

Die praktische Erfahrung der Fachkräfte gibt bei der Erkennung von Situationen als normal oder als kritisch eine Art Hintergrund ab, vor dem sich solchermaßen problematische Situationen für den anforderungsgerechten Fertigungsverlauf quasi als Figuren abheben (vgl. Schulze 1997). In Abhängigkeit von der Bandbreite der gesammelten Erfahrung wird den Fachkräften unwillkürlich eine Einschätzung möglich, ob momentan eine für die Qualität des Fertigungsprozesses normale oder eine dafür kritische Situation vorliegt. Kritische Situationen werden aufgrund von Erfahrung um so sicherer erkannt und bewältigt,

- je differenzierter der Prozeß in seiner Qualität und in seinem Verlauf der menschlichen Wahrnehmung zugänglich ist;
- je mehr Sinne an der möglichst multimodalen Wahrnehmung beteiligt sind (vgl. Martin 1995);
- je mehr und je dosierter Eingriffs- und Handlungsmöglichkeiten vorgenommen werden können;
- je direkter ein Feedback über die Konsequenzen der Handlungen und Interventionen erfolgt;
- je mehr der Arbeitende auch seine Ahnungen und Unstimmigkeitsgefühle ernst nimmt und ihnen nachgeht, indem er sie z.B. auf ihre Angemessenheit hin überprüfen kann (vgl. Böhle, Schulze 1997);
- je mehr der Arbeitende subjektiv und emotional Anteil am Fertigungsgeschehen nimmt und die Arbeit für ihn herausfordernden Charakter hat (vgl. Schulze, Witt 1997).

Ein Ergebnis der Tiefenuntersuchung bei DB besteht in diesem Zusammenhang darin, daß die Fachkräfte aufgrund der mangelnden Wahrnehmbarkeit des Bearbeitungsprozesses und fehlender Interventionsmöglichkeiten sowohl in der Einzel- als auch in der Serienfertigung gerade bei der erfahrungsbasierten Bewältigung kritischer Situationen nur unzureichend unterstützt werden. Eine Zusammenstellung der als kritisch identifizierten Situationen zeigt Tabelle 2. Sie enthält Einschätzungen der Bedeutsamkeit kritischer Situationen für Einzel- und Serienfertigung, wie sie von Fertigungsmitarbeitern bei Daimler-Benz (Meister und Werker) vorgenommen wurden. Bedeutsamkeit wird hier verstanden als ein subjektives Maß für das Gefährdungspotential bezüglich einer den jeweiligen qualitativen und kapazitiven Anforderungen genügenden Fertigung.

Wie in Tabelle 2 ersichtlich, unterscheidet sich die Bedeutsamkeit kritischer Situationen bei Einzel- und Serienfertigung. In der Einzelfertigung bezogen sie sich vor allem auf die *Abstimmung von NC-Programmen mit (veränderlichen) Prozeßbedingungen*. Unterstützende Funktionen wurden in diesem Zusammenhang von vielen der eingesetzten Programmiersysteme – wenn überhaupt – in einer von der Handhabung her sehr umständlichen Form angeboten. Weiterhin bezeichneten Facharbeiter und NC-Programmierer die Einarbeitung in fremde Programme als besonders zeitaufwendig, da dem Programmcode ihr Entstehungskontext wie auch die Bearbeitungsstrategie nicht anzusehen sei. Generell wurden einfache und leicht zugängliche Möglichkeiten zum zerstörungsfreien Herausfahren,

zur Programmierung mit Hilfe einfach verständlicher Icons und Bezeichnungen sowie zum unmittelbaren Wiederanfahren an die Kontur vermißt.

Prozeß-phase	Kritische Situationen	Einzel-fer-tigung	Serien-fer-tigung
Vorbe-reitung	Maschinenbauteile weichen beim Bearbeitungs-start vom Normalzustand ab		
	NC-Programm und aktuelle Bedingungen sind nicht optimal aufeinander abgestimmt		
Pro-duk-tion	Variierende Werkstückaufmaße werden automatisch nicht adäquat erkannt		
	Maschinenbauteile nutzen ab, fallen aus und führen zu Stillständen und Maßabweichungen		
	Werkzeugverschleiß wird nicht zuverlässig erkannt		
	Automatische Bewältigung des Spanauf-kommens gelingt nicht zuverlässig		
	NC-Parameter erweisen sich im Prozeß als un-angemessen		
	Überwachungssysteme werden zur Fehlerquelle		
Aus-wertung	Falsche und ungenaue Fehlermeldungen behindern die Störungslokalisation		
	Störung ohne Fehlermeldung ist besonders hinderlich		
	Nicht überwachbare Zustände erschweren Auswertung und Schwachstellenanalyse		
	Ursachen von Maßabweichungen sind nicht eindeutig erschließbar		
	Meßprotokoll ist nicht auf NC-Programm bezogen		
	Verwendung von Meßcomputern mit Kopplung zum NC-Programm stellt eine Fehlerquelle dar		

Legende:  : wenig bedeutsamer Anteil kritischer Situationen
 : mittel bedeutsamer Anteil kritischer Situationen
 : hoch bedeutsamer Anteil kritischer Situationen

Tab. 2: Kritische Situationen in der Einzel- und Serienfertigung

In der Serienfertigung traten demgegenüber kritische Situationen vor allem während der *Prozeßüberwachung und im Laufe der Störungsbewältigung* auf – als besonders wichtig wurde hier ein Zugriff auf Informationen eingeschätzt, die einen Überblick über den Materialfluß, den Anlagenzustand und den Störort ermöglichen. Solche Informationen fehlten jedoch in der Regel oder waren fehlerhaft.

In der Tiefenuntersuchung wurde ebenfalls festgestellt, daß in Einzel- und Serienfertigung die Dokumentation von Handlungen und Maßnahmen von den Steuerungssystemen nur sehr rudimentär unterstützt wird. Das Festhalten von Erfahrung, das Wiederfinden sowie die Aufbereitung und Weitergabe an Kollegen, aber auch an vor- und nachgelagerte Abteilungsgebiete, wurden häufig nicht ausreichend von den Interaktionssystemen unterstützt. Dadurch gehen wesentliche Zeit- und Qualitätspotentiale in der Produktion verloren.

Ein weiteres Problem besteht in der fehlenden Einheitlichkeit in der Benutzung von Maschinen und Anlagen. Dies wurde zunächst in der Serienfertigung deutlich, wo sich innerhalb einer Produktionslinie häufig Steuerungssysteme und Anlagen unterschiedlicher Hersteller fanden, die sich gerade auch in der Handhabung stark unterschieden (vgl. Schäfer 1995). Durch die unterschiedlich gestalteten Interaktionssysteme und Menüs wird generell die Übertragung von Erfahrung behindert, es kommt zu Erfahrungsbrüchen. Dies wirkt sich wiederum bei der Bewältigung kritischer Situationen als besonders hinderlich aus: Statt der Bewältigung der Situation steht zunächst eine Einarbeitung in die Benutzungsphilosophie des jeweiligen Steuerungssystems im Vordergrund.

In der Einzelfertigung stellte sich die Situation etwas anders dar. Hier fand sich in der Regel eine feste Zuordnung von Werkstattmitarbeitern zu „ihren“ Maschinen. In der Folge arbeiteten sich die Werker im Laufe der Zeit immer besser in die Maschinen und Steuerungen ein, und es gelang ihnen, Behinderungen und Schwächen der Maschinen zu kompensieren. Die jeweiligen Eigenarten einer Maschine fielen erst dann auf, wenn z.B. im Krankheitsfall Kollegen vertreten wurden. Dann kam es allerdings auch hier zu Übertragungsschwierigkeiten auf die andere – und häufig nicht ähnliche – Steuerung.

3. Anforderungen an ein handlungsorientiertes und erfahrungsförderliches Interaktionssystem

In der Tiefenuntersuchung haben sich Handlungsorientierung und Erfahrungsförderlichkeit als bedeutsame Gestaltungskriterien erwiesen, wenn es darum geht, die Produktionsmitarbeiter bei ihrer täglichen Arbeit zu unterstützen. Ein nach diesen Kriterien gestaltetes Interaktionssystem für Einzel- und Serienfertigung soll den Produktionsmitarbeitern dabei die je benötigten Funktionen und Informationen zur Bewältigung von Routineaufgaben – entsprechend dem Ablauf ihres Arbeitshandelns und seiner Prinzipien – anbieten. Darüber hinaus soll es Bildung, Anwendung und Weitergabe von Erfahrung unterstützen, insbesondere bei der Bewältigung vorher unbekannter und unerwartet auftretender kritischer Situationen. Die dafür notwendigen technischen Voraussetzungen und Bedingungen werden nachfolgend in acht Anforderungen gebündelt, wie sie sich in den Gesprächen mit den Produktionsmitarbeitern herauskristallisierten.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, daß technische Systeme allein einen Erfahrungsprozeß nicht sicherstellen können. Sie sind notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzungen für Erfahrungsbildung, -anwendung und -weitergabe. Die Bereitschaft, Erfahrungen zu machen, sie anzuwenden und weiterzugeben, liegt letztlich in der Verantwortung der Fachkräfte. Eine erfahrungsförderliche Organisationskultur – bspw. in Form eines herausfordernden und persönlichkeitsförderlichen Aufgabenzuschnittes, eines kollegialen und anerkennenden Betriebsklimas oder auch eines Entscheidungs- und Zeithorizontes, der ein Ausprobieren kreativer neuer Lösungen möglich macht – ist in diesem Zusammenhang zusätzlich wichtig (vgl. Schulze, Witt 1997).

3.1 Das Hauptmenü: einheitlich und technologieübergreifend

Eine erste grundlegende Anforderung aller Befragten betrifft die einheitliche und technologieübergreifende Zuordnung von Funktionen zu Menühauptpunkten. In der Einzel- wie in der Serienfertigung gliederten die Werker ihre Tätigkeiten in die Handlungsbereiche bzw. -bausteine *Planen, Vorbereiten, Programmieren, Bearbeiten, Diagnose, Wartung, Dokumentieren* und *Kommunizieren*. Die Gliederung der Tätigkeiten in diese acht Bausteine besitzt technologieübergreifend Gültigkeit. In Tabelle 3 sind die jeweiligen Handlungssequenzen in ihrer Bedeutsamkeit für die Einzel- und Serienfertigung dargestellt.

Maschine	Transferstraße		Sonder-	NC-	NC-	
	Handlungs- bausteine	Inbe- trieb- nahme	Produktion	Masch. ver- kettet	Maschi- nen Serie	Maschi- nen Einzel
	Planen	○	○	○	◐	◐
	Vorbereiten / Einrichten	◐	○	○	●	●
	Programmieren/ Optimieren	◐	○	○	◐	●
B e a r b e i t e n	NC-Programme einfahren	●	○	○	◐	●
	Überwachen	◐	○	○	◐	●
	Messen	●	●	●	●	●
	Werkzeuge wechseln	◐	◐	◐	◐	◐
	Werkzeugwerte ändern	●	●	●	●	●
	Diagnostizieren	●	●	●	◐	◐
	Warten / Reinigen	◐	◐	◐	◐	◐
	Dokumentieren	◐	◐	◐	◐	◐
Kommunizieren	◐	◐	◐	◐	◐	

Legende: ○ : geringer bzw. gering bedeutsamer Tätigkeitsanteil
 ◐ : mittlerer bzw. mittel bedeutsamer Tätigkeitsanteil
 ● : hoher bzw. hoch bedeutsamer Tätigkeitsanteil

Tab. 3: Tätigkeitsspektrum in der Einzel- und Serienfertigung

Ein hoher Anteil der in Einzel- und Serienfertigung vorgefundenen Tätigkeiten hat für beide Bereiche eine große Bedeutung, wie z.B. Messen und Verändern von Werkzeugwerten. Andere unterscheiden sich zwar in ihren Ausprägungen, wie z.B. Programmieren/Optimieren und Überwachen, lassen sich aber trotzdem in einem Baustein subsumieren. Unab-

hängig davon, ob es sich bei der Zerspantechnik um Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden (Drehen, Bohren, Fräsen) oder um Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden (Schleifen) handelt, sind somit die jeweiligen Handlungsvollzüge in diesen Bausteinen abbildbar.

Jeder der Handlungsbausteine enthält voneinander abgrenzbare Tätigkeiten:

- *Planen/Disponieren* beinhaltet u.a. die Verwaltung und Bereitstellung von Aufträgen sowie der zugehörigen Ressourcen wie Arbeitsunterlagen, Werkzeuge, Spannvorrichtungen, Meßmittel etc.
- *Programmieren/Optimieren* beinhaltet u.a. Funktionen des Erstellens und Optimierens von NC-Programmen, wie z.B. das Ändern der Bearbeitungsreihenfolge und -schritte oder auch die Umverteilung von Bearbeitungsumfängen zwischen Einheiten einer Transferstraße sowie einen syntaktischen Test oder Simulationslauf der NC-Programme.
- *Vorbereiten* beinhaltet u.a. Aufspannen, Rüsten der Werkzeuge, Aktivieren der NC-Programme, den Programmtestlauf ohne Zerspannung sowie Erstellung des startbereiten Zustandes.
- *Bearbeiten* faßt u.a. das Einfahren, das Optimieren der laufenden Bearbeitung, das Wiederanfahren nach Produktionsunterbrechung sowie das Messen zusammen. Eine Zerspannung des Werkstückes erfolgt nur in diesem Baustein.
- *Diagnose* beinhaltet u.a. Störungslokalisierung, Störgrundanalyse und Störungsbehebung.
- *Wartung/Warten* beinhaltet u.a. Funktionen zum Warten der Maschine.
- *Dokumentieren* umfaßt u.a. die Verwaltung und Ansicht durchgeführter Dokumentationen in den einzelnen Bausteinen. Hier ist auch die Auswertung von Daten sowie die Übergabe von Informationen an andere Schichten und Abteilungen angesiedelt.
- *Kommunizieren* enthält u.a. Funktionen zum Informationsaustausch mit anderen Schichten und Abteilungen.

Verläuft die Fertigung im Normallauf glatt, wird ein Handlungszyklus über das Bearbeiten bis zur Dokumentation durchlaufen. In der Einzel-

fertigung kommt dieser Zyklus auftragsbezogen öfter nacheinander zum Einsatz als in der Serienfertigung. Aber auch hier sind planende und vorbereitende Tätigkeiten zu finden, wenn z.B. zwischen Werkstücktypen gewechselt wird oder neue Werkzeuge und Bearbeitungsverfahren ausprobiert werden. Die Handlungsbausteine Diagnose und Kommunizieren halten Funktionen und Informationen bereit, die insbesondere in kritischen Situationen benötigt werden.

Die Hauptmenüstruktur von Interaktionssystemen für die Einzel- und Serienfertigung sollte nach den Empfehlungen der befragten Produktionsmitarbeiter entsprechend den genannten acht Handlungsbausteinen organisiert werden.

3.2 Die Untermenüs: technologiespezifisch für Einzel- und Serienfertigung

In den Bereichen der Einzel- und Serienfertigung fanden sich deutlich unterschiedliche Ausprägungen in den Handlungssequenzen innerhalb von Bausteinen. Tabelle 4 zeigt exemplarisch die verschiedenen Vorgehensweisen im Handlungsbaustein Programmieren/Optimieren für die Einzel- und die Serienfertigung.

Insgesamt gesehen lagen in der Einzelfertigung die Schwerpunkte auf den Handlungsbausteinen *Programmieren*, *Vorbereiten* sowie *Bearbeiten*. Da die Losgrößen meist unter zehn Stück lagen, arbeiteten die Fachkräfte selten im Vollautomatik-Betrieb, sondern fuhren die NC-Programme vor allem im Einzelschrittbetrieb ein. Daher wurden insbesondere die Programmierfunktionen sehr häufig genutzt. Demgegenüber lag der Schwerpunkt der Serienfertigung eindeutig in der Störungsdiagnose und -bewältigung. Der schnelle Wiederanlauf nach einer störungsbedingten Produktionsunterbrechung spielte hier die entscheidende Rolle. In der Produktionsphase betrifft das Gros der Programmänderungen eher die Anpassung von Parametern und nur selten umfangreichere Änderungen. Das Optimieren von NC-Programmen sowie das Vorbereiten von Aufträgen sind vor allem in der Anlaufphase einer Anlage wichtige Aufgaben.

Innerhalb der Handlungsbausteine unterschieden sich somit die in der Einzel- und Serienfertigung angewendeten Handlungssequenzen technologieabhängig (vgl. auch Tab. 3). Daher bestand ein Bedarf an verschie-

denen Funktionen und Anzeigen innerhalb gemeinsamer Handlungsbausteine. Die Produktionsmitarbeiter befürworteten deshalb eine technologiebezogene Auslegung der Untermenüs.

Handlungsbaustein "Programmieren/Optimieren" in der Einzelfertigung	Handlungsbaustein "Programmieren/Optimieren" in der Serienfertigung
<p>1. Festlegen der Aufspannung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitungsstrategie planen • Aufspannmittel vorbereiten • Aufspannen des Werkstücks 	<p>1. Anpassen kleinerer Veränderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ändern der Schnittaufteilung im Programm oder Ändern im Werkzeugkorrekturspeicher • Verändern von Drehzahlen und Vorschüben • Verändern der Anfahr- und Rückzugswege des Werkzeugs
<p>2. Festlegung der Werkzeuge</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fahrwege planen • Werkzeuge rüsten • Werkzeugwerte einlesen 	<p>2. Durchführen größerer Veränderungen (in der Produktionsphase sehr selten)</p> <ul style="list-style-type: none"> • NC-Bearbeitungsprogramme auf separaten PC übertragen • Mehrere Bearbeitungsschritte durch Kombiwerkzeuge zusammenfassen • Bearbeitungen von einer Einheit auf andere übertragen • Veränderungen der Bearbeitungsreihenfolge
<p>3. Programmerstellung (bezogen auf beschreibende Verfahren)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Programmnummer vergeben • Erstellen eines Programmkopfes • Kommentieren von Werkzeugen • Nullpunktgruppe bestimmen • Koordinatenwerte, Technologiewerte etc. programmieren • Programm überprüfen 	

Tab. 4: Handlungsschritte beim Handlungsbaustein Programmieren/Optimieren

3.3 Schneller Zugriff auf häufig benötigte Funktionen und Anzeigen

Die befragten Werker betonten, daß sie häufig genutzte Funktionen und Anzeigen schnellstmöglich, d.h. mit einem Schritt, aufrufen oder starten wollen. Zu diesem Zweck hielten sie sog. Shortcuts für wichtig, die als Knopf, als Kippschalter oder als Softkey ausgelegt sein können. Folgende Shortcuts sind nach den Einschätzungen der Fachkräfte sowohl für Einzel- als auch Serienfertigung wichtig:

- Not-Aus
- Sofort Halt
- Schutztür öffnen
- Achse freifahren
- Ein- und Ausschalten von Kühlschmiermittel
- Override-Schalter
- Achsverfahrtasten
- Aufruf des Werkzeugkorrekturspeichers und
- zusätzlich frei belegbare Schalter

Als Ergänzung wurden nachfolgende technologiespezifische Shortcuts für sinnvoll angesehen (s. Tab. 5).

In der Serienfertigung wurden insbesondere bei der Fehlerlokalisierung Shortcuts für hilfreich befunden. Bei vielen untersuchten Systemen wurde diese infolge der vielen Menüpunkte für zu aufwendig gehalten. Unterstützend wäre weiterhin ein automatisches Aufblenden des Diagnosebildschirms im Falle einer Störung.

Weiterhin sollten selten benötigte Funktionen ausblendbar sein. So wurde z.B. die IST-SOLL-Anzeige in der Serienfertigung im Automatikbetrieb nur ganz selten genutzt. Wird im Einrichtebetrieb verfahren oder im Einzeltakt angefahren, muß sie allerdings aufrufbar sein.

Weiterhin wurde eine Abkürzung von Menüwegen gefordert. Gerade bei unvermutet auftretenden kritischen Situationen wurden kurze Wege durch das Menü direkt an die interessierende Stelle für wichtig gehalten. Diese kurzen Wege sollten allerdings technologiespezifisch ausgelegt wer-

den. In der Einzelfertigung war z.B. häufig eine Veränderung von Programmparametern während des Einfahrens notwendig. Im Anschluß an eine Bearbeitungsunterbrechung wäre es hilfreich, sofort an die entsprechende Stelle des NC-Programms zu springen, eine Veränderung vorzunehmen, zurückzuspringen und mit den neuen Werten weiterfahren zu können. Im Bereich der Serienfertigung wurde ein kurzer Weg z.B. zwischen den Diagnosefunktionen und jenen zum Verfahren der Achsen im Einrichtebetrieb gewünscht.

Funktionen und Anzeigen	
Einzelfertigung	Serienfertigung
<ul style="list-style-type: none"> • Ein- und Ausschalten des Kühlmittels • Override-Regler für Vorschub und Drehgeschwindigkeit • Eilgangtaste • Achsverfahrtasten • Betriebsartenwahlschalter • Aufruf des Werkzeugkorrekturspeichers • Aufruf der Nullpunkttafel • Achse freifahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitung - Sofort Halt • Grundstellung • Halt nach Taktende • Betriebsartenwahlschalter • Tasten für die Einrichtbewegungen • Eilgang (NC-Einheit) • Override-Regler für F und S (NC-Einheit) • Achsen freifahren • Werkzeugwechsel (beim Bearbeiten und Vorbereiten) • Anlagenübersicht (beim Bearbeiten und nach der Störungsbehebung in Diagnose)

Tab. 5: Shortcuts für Einzel- und Serienfertigung

3.4 Individuelle Einstiegs- und Handlungsmöglichkeiten

Je nach Situationsmerkmalen sowie Wissens- und Erfahrungsstand der Fertigungsmitarbeiter konnten unterschiedliche Herangehens- und Handlungsweisen beobachtet werden. Dies läßt sich beispielhaft anhand der Störungsbewältigung an Transferstraßen demonstrieren. Im Falle einer Störung machten sich einige schon auf dem Weg zur betreffenden Einheit

nebst dortigem Bedienfeld (EBF) Gedanken über erste Maßnahmen. Andere wußten aus Erfahrung, wie sie eine bestimmte Störungsmeldung zu interpretieren haben und quittierten den Fehler bereits am HBF. Wieder andere Kollegen befaßten sich erst an der Einheit und nach einem Blick in die Maschine mit der Störung und ihrer Ursache – sie haben die Erfahrung gemacht, daß ein übereiltes Quittieren von Störungen ohne genauen Augenschein zu gravierenden Folgestörungen führen kann. Sie legten daher Wert auf ein umfassendes Informationsangebot am EBF. Diese von der Person und der spezifischen Situation geprägten Vorgehensweisen lassen sich unterstützen, wenn die benötigten Informationen jeweils am HBF und am EBF zugänglich sind – dies ist bei herkömmlichen Steuerungssystemen jedoch kaum der Fall.

Ein handlungsorientiertes und erfahrungsförderliches Interaktionssystem sollte somit individuell unterschiedliche Handlungsweisen durch ein optionales Funktions- und Anzeigenangebot unterstützen. Berufsanfänger und Experten sollten dabei ohne Aufwand die ihnen gemäßen Informationen und Anzeigen vorfinden können. Für Anzulernende wurden z.B. systemseitig vorgegebene und angeleitete Benutzungsreihenfolgen oder auch ein Lernbetrieb für vorteilhaft angesehen – allerdings müßten Experten diese Form der Unterstützung ausschalten können. Die Vergabe von Berechtigungen wurde ebenfalls als vorteilhaft bewertet. Jeder sollte auf alle Informationen zugreifen können, aber eine Veränderung von Werten z.B. im NC-Programm erst nach Erreichen eines bestimmten Erfahrungsstandes erlaubt und möglich sein.

3.5 Möglichkeit zur Unterbrechung und Wiederaufnahme von Handlungen

Die Flexibilität qualifizierter Fachkräfte bei der Bewältigung komplexer Fertigungsaufgaben beruht auf ihrer Fähigkeit, mehrere Aufgaben ineinander verzahnt parallel durchzuführen. So unterbrechen sie z.B. bestimmte Handlungen, schieben andere dazwischen und führen später die vorher unterbrochenen zu Ende. Deutlich wird dies am Beispiel eines Facharbeiters aus der Serienfertigung, der morgens beim Anfahren der Produktion an einer Maschine ein komisches Geräusch bemerkte und sich vornahm, dem später, wenn Zeit ist, nachzugehen.

Allgemein leitet sich aus dieser Fähigkeit die Anforderung ab, daß Interaktionssysteme ein Unterbrechen von Handlungen, das Einschieben an-

derer Handlungen und das Fortführen an der unterbrochenen Stelle ermöglichen und unterstützen sollten. Bisherige Steuerungssysteme gestatten dies nur in begrenztem Ausmaß. So war es in der Einzelfertigung nur mühsam und teils auch gar nicht möglich, eine unterbrochene Handlung am selben Satz des NC-Programms wieder aufzunehmen. Ein Beispiel ist das Wiederanfahren nach einer Unterbrechung infolge eines Werkzeugbruchs in einem Bohrbild: Nach Austausch des Werkzeugs konnte die zuletzt bearbeitete Bohrung nicht direkt angefahren werden; bei einem Bohrbild von 50 und mehr Bohrungen bedeutete dies einen erheblichen zeitlichen Aufwand. In der Serienfertigung mit Transferstraßen wurde das Wiederanfahren über programmierte Freigaben im Bearbeitungsprogramm gelöst – auch hier verging Zeit, bis die Steuerung die bereits ausgeführten Freigaben gelesen hatte. Ein zukünftiges Interaktionssystem sollte den jeweiligen Bearbeitungsstand speichern, so daß die Produktionsmitarbeiter nach einem Wechsel in einen anderen Menübereich die ursprüngliche Arbeit später fortsetzen können.

3.6 Unterstützung von Transparenz und Prozeßeinwirkung

Aus Sicht der Werker steht der Gewinn von Transparenz über Bearbeitungsprozeß und Maschinenzustand in engem Zusammenhang mit Interventions- und Einwirkungsmöglichkeiten. Die kurzzyklische und möglichst direkte Verschränkung zwischen Transparenz – auch als Feedback gedacht – und Eingriff ist eine notwendige Voraussetzung für den Erwerb von Erfahrung (vgl. Rose 1995). Möglichkeiten zur Unterstützung des Gewinns von Transparenz sollten daher immer gemeinsam mit der Unterstützung von Einwirkung betrachtet werden.

Dabei läßt sich Transparenz in drei Varianten unterteilen:

- Die *Prozeßtransparenz* bezieht sich auf den Überblick über den aktuellen Bearbeitungsstand sowie über den bisherigen Prozeßverlauf.
- Die *Systemtransparenz* bezieht sich auf den Überblick und das Verständnis des Funktionsprinzips der Maschine, der Anlage und des Steuerungssystems.
- Die *Handhabungstransparenz* bezieht sich auf den Überblick über das Bedienungsprinzip, auf Wirkungen von Tasten- und Funktionsauslösungen oder auf die aktuelle Navigationslage und die weiteren Bearbeitungsmöglichkeiten.

Die *Prozeßtransparenz* hat in Einzel- und Serienfertigung unterschiedliche Schwerpunkte: Stehen in der Einzelfertigung vor allem Zustand und Verlauf des Bearbeitungsprozesses mit dem Ziel der Prozeßoptimierung im Zentrum, so ist bei der Serienfertigung eine umfassende Orientierung über den Funktionszustand der Maschinen und Anlagen gefordert. In beiden Fällen kommt den – infolge der Verkapselung jedoch eingeschränkten – Möglichkeiten zur sinnlichen Wahrnehmung relevanter Geräusche, Vibrationen und sichtbarer Ereignisse in Zusammenhang mit dem Bearbeitungsprozeß und der Funktionsweise der Maschinen eine für die Herstellung von Transparenz entscheidende Bedeutung zu. In den Interviews nannten die Fachkräfte für die Serienfertigung charakteristische Beispiele:

- Lünettenschäden werden anhand der Rauigkeit und der Färbung des gefertigten Produktes erkannt.
- Scheibenausbrüche beim Schleifen werden durch ausbleibende oder nicht normale Geräusche festgestellt.
- Zunehmender Werkzeugverschleiß wird durch Gratbildung und durch Geräusche erkannt.
- Lagerschäden werden durch Geräusche identifiziert.

Die Bedeutsamkeit der sinnlichen Wahrnehmung von Prozeßindikatoren ist für den Bereich der Einzelfertigung bereits vielfach beschrieben und wird daher an dieser Stelle nicht ausgeführt (vgl. Carus, Schulze 1995). Die Anforderungen der Werker an die Unterstützung der Prozeßtransparenz, die für Einzel- und/oder für Serienfertigung von Bedeutung sind, lassen sich in folgenden zentralen Aspekten zusammenfassen:

- Anzeige von Aufträgen, die sich in Warteschlange befinden (Einzelfertigung);
- strukturierte Darstellung der Anlagenübersicht, dabei Beschränkung auf die wichtigsten Anzeigen: Störungsmeldung, Grundstellung, Fertigmeldung, Teilbearbeitung, Teil gespannt/gelöst (Serienfertigung);
- Verfügbarkeit von Rohmaterialien, Werkzeugen und Spannmitteln (vor allem Einzelfertigung);
- Verbesserung der Wahrnehmbarkeit von Prozeßsignalen, z.B. durch den Einsatz eines Körperschallsensors oder einer Kraftmessung und -anzeige (Einzel- und Serienfertigung);

- taktile Rückkopplung an Eingabeelemente, wie z.B. Override, Handrad oder Joystick (vor allem Einzelfertigung);
- bewegungskompatible Steuerelemente, z.B. zum Verfahren der Maschinenachsen mittels Joystick oder Handrad (Einzel- und Serienfertigung);
- Angebot werkzeugspezifischer Rückzugsstrategien (Einzel- und Serienfertigung);
- Zusatzfunktion eines punktgenauen Wiederanfahrens (Einzel- und Serienfertigung);
- graphische bzw. symbolische Anzeige der Abfolge von Bearbeitungsschritten, z.B. in Form eines Bearbeitungsbaumes (Einzel- und Serienfertigung);
- Ausgabe der letzten Bearbeitungsschritte im Störfall (Einzel- und Serienfertigung);
- Ausgabe einer maschinenspezifischen Störungshistorie (vor allem Serienfertigung);
- graphische Anzeige des Störortes im topologischen Maschinenmodell (vor allem Serienfertigung).

Im Zentrum der *Systemtransparenz* steht der Gewinn eines Überblicks über das maschinelle Aufbau- und Funktionsprinzip. Eine grundlegende Kenntnis des Aufbau- und Funktionsprinzips der Maschine/Anlage wurde von allen Facharbeitern als wichtige, Orientierung schaffende Voraussetzung eingeschätzt. Dabei bezieht sich die Systemtransparenz über ein fachtheoretisches Wissen um das Funktionsprinzip hinaus auf das tatsächliche Verhalten der Maschine in konkreten Fertigungssituationen. Die Kenntnis um die jeweiligen „Macken“ der einzelnen Maschinen ist ein wichtiges Element der maschinenspezifischen Systemtransparenz. Vorteile eines solchermaßen ausgebildeten Verständnisses beschrieben die Fachkräfte wie folgt:

- Ein Wissen um die prinzipielle Wirkweise von Eingriffen führt zu einem Gefühl von Sicherheit, etwa in der Form eines „man tut sich leichter, wenn man versteht, was man da eigentlich macht“.
- Durch eine profunde Kenntnis der „Macken“ der einzelnen Maschinen können trotz falscher, unscharfer, ungenauer und mehrdeutiger

Störungsmeldungen die tatsächlichen Störungsursachen ermittelt werden.

- Die Kenntnis der Schrittfolge an einer bestimmten Maschine ermöglicht ein Verfahren in Ausnahmefällen auch mit weniger technischen Verriegelungen und Sicherheiten.
- Das Verständnis des prinzipiellen Maschinenlaufs erleichtert auch das Verstehen anderer Maschinen und anderer Steuerungen.

Als Unterstützung des Gewinns von Systemtransparenz hielten die Fachkräfte z.B. Visualisierungen des topologischen Maschinenaufbaus oder multimedial unterstützte Bedienungsanleitungen und Dokumentationen für sinnvoll.

Handhabungstransparenz bezeichnet den Überblick über die Möglichkeiten zur Handhabung des Steuerungssystems. Insbesondere neu anzulernende Mitarbeiter tun sich offensichtlich beim Kennenlernen des Steuerungssystems schwer. Eine Fehlbedienung bewegungsauslösender Funktionen und Crash-Erlebnisse kann zu einer Angschwelle führen, die ein spielerisches Ausprobieren der Möglichkeiten und Grenzen des Systems verhindert. Eine eindeutige *Unterscheidbarkeit zwischen bewegungsauslösenden, anzeigenden, navigierenden und dateneingebenden Funktionen und Tasten* kann nach Ansicht der Fachkräfte ein ausprobierendes Kennenlernen erleichtern. Auch Bestätigungsnachfragen des Systems bei gravierenden Eingriffen wurden als hilfreich eingeschätzt. Wichtig sei vor allem eine Unterscheidung in ungefährliche und gefährliche Eingaben und Eingriffe – weil hier z.B. die Maschine verfahren wird.

Mit besonderem Nachdruck forderten die Produktionsmitarbeiter eine übersichtliche Darstellung in den einzelnen Bildschirmmasken. Der Anforderung nach wenigen und mit gut unterscheidbaren Farben unterlegten Informationen genügen ältere Steuerungen nur in den seltensten Fällen. Auch neuere Steuerungen haben hier immer noch ihre Schwächen. So bewerteten Fachkräfte die Anlagenübersicht eines bei DB neu eingesetzten Interaktionssystems als unübersichtlich und überladen. Bis zu acht verschiedene Informationen wurden über wenig kontrastreiche Farben kodiert. Gerade bei den Übersichten kam es für die Werker darauf an, sich mit einem Blick über die wichtigsten Informationen orientieren zu können. Nach übereinstimmenden Aussagen sollten in jeder Maske nur ca. vier bis fünf verschiedene Farben verwendet werden – in der Seri-

enfertigung wurde eine farbige Unterlegung gewünscht für die Anzeigen *Grundstellung, Fertigmeldung, Automatik, Spannzustand* und *Störung* in der Anlagenübersicht.

Vor allem bei älteren Steuerungen und Maschinen werden häufiger ähnliche Symbole für unterschiedliche Funktionen verwendet – mit teils gravierenden Folgen im Falle des Verwechselns. Als Anforderung wurde eine standardisierte Bezeichnung von Symbolen, Tasten und Softkeys abgeleitet, wobei gerade ihr Bezug zur ausgelösten Funktion deutlich und einheitlich gekennzeichnet und wiedererkennbar sein sollte.

In den Gesprächen mit den Fachkräften an den Maschinen wurde darüber hinaus das Konzept „Windows für die Fabrik“ diskutiert. Den Vorteilen der Fenstertechnik – bestehend aus vielfältigem und gut strukturiertem Informationsangebot – wurden die Nachteile der Unübersichtlichkeit der Fensterdarstellung und nichtwerkstattgemäßer Navigationselemente entgegengehalten. Es wurde hervorgehoben, daß ein Navigations- und Zeigeinstrument, z.B. eine Maus, neue und sinnvolle Interaktionsmöglichkeiten eröffne. Andererseits müsse jedoch genau geprüft werden, ob diese neuen Möglichkeiten hinsichtlich der geforderten Anwendungen wirklich notwendig und ob die Instrumente letztlich werkstatttauglich seien.

3.7 Unterstützung von Dokumentation und Erfahrungszugriff

Funktionierende Kommunikation und Kooperation versetzt Produktionsmitarbeiter in die Lage, selbst komplexe und seltene Störungen bewältigen zu können. Dies gelingt immer dann, wenn die Werker auf einen gemeinsam genutzten Wissens- und Erfahrungspool zugreifen. Dieser Pool kann dabei größer sein als die Erfahrung eines sehr kompetenten Facharbeiters. Die Werker betonten beim Zugriff auf verteilt vorliegendes Erfahrungswissen die Bedeutsamkeit des persönlichen Gesprächs. Durch die soziale Präsenz und das unmittelbare Erleben des Gegenüber funktioniert die Informations- und Erfahrungsaustausch am effektivsten und sichersten.

Als Schwachstelle hat sich die oftmals nur nachlässig ausgeführte Dokumentation von Störungen, Optimierungen oder sonstigen Nachrichten für Kollegen erwiesen. Insgesamt wurde Erfahrung nicht systematisch festgehalten und archiviert. Es kam zu Zeit- und Qualitätsverlusten, da auf den

insgesamt vorhandenen Informationspool nicht zugegriffen werden konnte. Eine Analyse der Gründe für die Schwierigkeiten beim Dokumentieren ergab:

- Im Anschluß an eine Störung herrscht in der Regel ein erhöhter Produktionsdruck, so daß für eine Dokumentation häufig nur wenig Zeit bleibt.
- Ein schriftliches Ausformulieren erfordert hohen Transformationsaufwand.
- Das Wiederfinden dokumentierter Information ist infolge fehlender einheitlicher Begriffe schwierig und langwierig.

Die Bedeutsamkeit der schriftlichen Dokumentation – z.B. im Sinne eines maschinenspezifischen Störungsbuches – wurde übereinstimmend hervorgehoben. Um den beschriebenen Schwierigkeiten beim Dokumentieren zu begegnen, wurde ein gestaffeltes Dokumentationskonzept erwogen. Änderungen der NC-Programme, der Werkzeugparameter, wie z.B. Standzeit, oder auch durchgeführte Wartungsarbeiten und Störungsbehebung könnten halbautomatisch protokolliert werden. Im Falle der Dokumentation einer Störung wurde ein standardisierter und vom Steuerungssystem vorgegebener Dialog für sehr hilfreich gehalten. Die Art der Störungsmeldung, der Störort, die Störursache und die Maßnahmen zur erfolgreichen Störungsbehebung sollten Bestandteile eines Störungsprotokolls sein. Am einfachsten und sichersten galt bei den Befragten die Eingabe mittels einer Auswahl bereits vorgegebener Begriffe. Ein derartiges Störungsbuch könnte dann zusätzlich durch Kommentare angereichert werden.

3.8 Unterstützung abteilungsübergreifenden Erfahrungsaustausches

Organisieren Mitarbeiter verschiedener Abteilungen untereinander einen Erfahrungsaustausch, zeigen sich Vorteile in der Qualität der Zusammenarbeit. Wenn es Mitarbeitern gelingt, bei ihrer eigenen Arbeit Handlungsausrichtungen nachfolgender Kollegen mitzuberücksichtigen, können Schnittstellenprobleme – die bei einer rechnerdominierten Kommunikation zwischen der Fertigung und den vor- und nachgelagerten Abteilungen leicht entstehen – überwunden werden. Abteilungsübergreifende Kooperation wie auch Schnittstellenprobleme fanden sich in der Einzelferti-

gung vor allem entlang der NC-Verfahrenskette, d.h. zwischen Konstruktion, NC-Programmierung, Fertigung und Montage (vgl. Abb. 5).

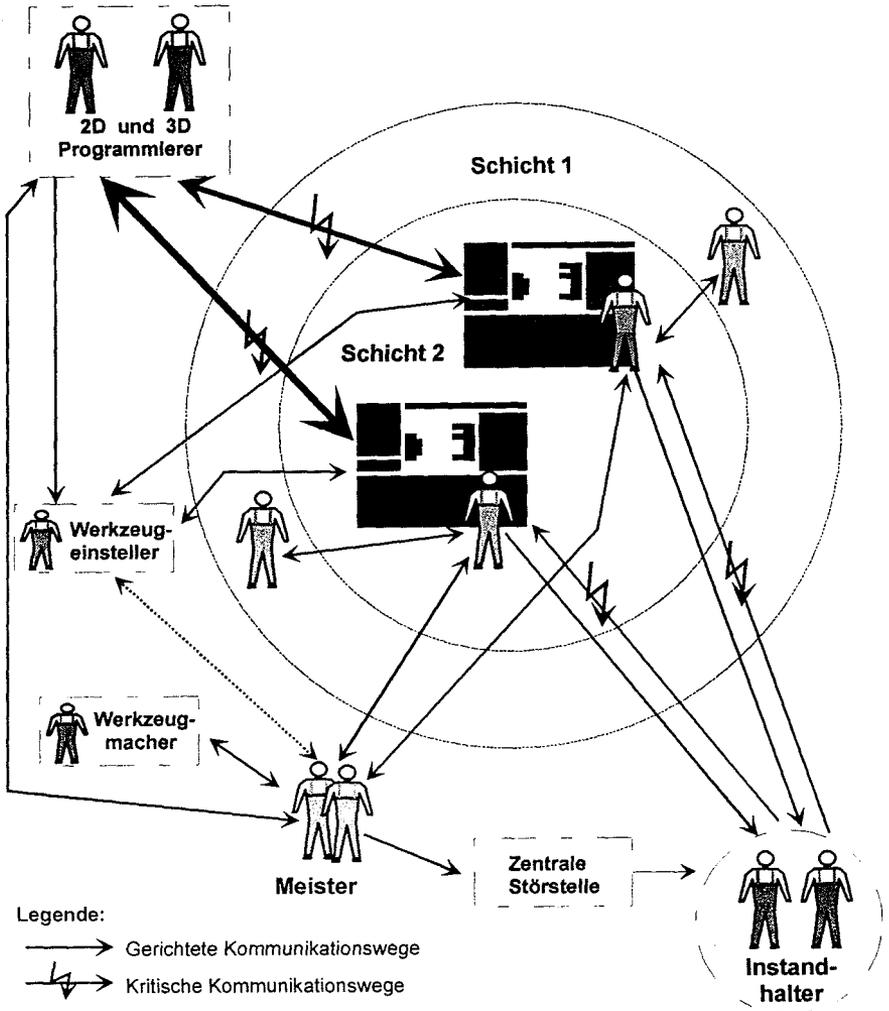


Abb. 5: Kommunikationsstruktur Einzelfertigung

In einer Produktionsstätte der Einzelfertigung fand sich ein Beispiel für die Überwindung solcher Schnittstellenprobleme. In der Phase des Einfahrens neuer Programme kam es oft zu persönlichen Absprachen zwi-

schen Werkern und Mitarbeitern aus der Programmierabteilung. Auf diese Weise konnte die ansonsten kritische Situation einer mangelhaften Rückdokumentation von Änderungen vermieden werden (vgl. Abb. 5).

In der Serienfertigung fand sich eine häufig kritische Schnittstelle zwischen der Fertigung und der Instandhaltung. Gut funktionierende Absprachen und Koordination hatten auch hier positive Effekte für schnelle Störungsbehebung wie auch für ein gegenseitiges Verständnis der Handlungsausrichtung von Mitarbeitern in anderen Abteilungen. Auf der Grundlage eines solchen Verständnisses gelang es Werkern des öfteren, vorausschauend optimale Bedingungen für die Arbeit der Instandhalter zu schaffen. Unter anderem beließen sie z.B. die Maschine in einem Zustand, der für den Instandhalter besonders aussagekräftig ist. In der Tiefenuntersuchung konnte jedoch auch eine Vielzahl kritischer Situationen in der Organisation der Zusammenarbeit zwischen Fertigung und Instandhaltung identifiziert werden. Problematisch erwies sich insbesondere der formale Benachrichtigungsweg über eine zentrale Störstelle. Kritisch für die Zeitplanung der Werker war die fehlende Rückmeldung, ob die Benachrichtigung in der WIH angekommen ist und wann ein Instandhalter in der Fertigung eintreffen wird. Am sichersten funktionierte eine informelle persönliche Benachrichtigung.

In den Diskussionen mit den Fachkräften wurden verschiedene technische Unterstützungsmöglichkeiten diskutiert. Für die Einzelfertigung könnte z.B. ein E-Mailing- oder Videokonferenz-System hilfreich sein. Über Video könnten sich z.B. Mitarbeiter aus der Konstruktion, der Programmierung, der Fertigung sowie der Montage bezüglich technologischer Machbarkeit und Bearbeitungsstrategie austauschen. Dabei blickt jeder auf die gleiche Zeichnung und kann den anderen Teilnehmern nachvollziehbar ein Detail zeigen.

Neue Kommunikationsverfahren erlauben auch in der Serienfertigung eine Unterstützung der direkten Absprachen. Eine Möglichkeit könnte z.B. den Ausbau einer telefonischen Störungsberatung zwischen Fertigung und Instandhaltung betreffen. Ein Telefon mit Display, auf dem die zur Zeit verfügbaren Instandhalter angezeigt werden, wurde als gute Möglichkeit eingeschätzt.

Eine technische Unterstützung der Kommunikation und der abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit hielten die Werker zwar perspektivisch für sinnvoll, aber infolge des zur Zeit noch relativ hohen technischen Aufwands und der entstehenden Kosten für kaum vorstellbar.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Analyse von Schwachstellen der in verschiedenen Produktionsstätten von DB eingesetzten Produktionstechnik und von Stärken qualifizierter Fachkräfte führte zur Ableitung von Gestaltungsanforderungen. Sie zielen auf die technische Entwicklung eines in Einzel- und Serienfertigung gleichermaßen einsetzbaren Interaktionssystems zur Unterstützung des konkreten Arbeitshandelns der Fachkräfte vor Ort und ihrer Erfahrung ab. In Tabelle 6 sind die Anforderungen in einer Übersicht dargestellt.

	Anforderungen	über- greifend	Serien- fertig.	Einzel- fertig.
1	Einheitliches Hauptmenü für Einzel- und Serienfertigung	X		
2	Technologiespezifische Menüstrukturierung		X	X
3	Shortcuts für häufig genutzte Funktionen		X	X
4	Individuell wählbares Funktions- und Informationsangebot		X	X
5	Möglichkeit zur Unterbrechung und Wiederaufnahme von Handlungen	X		
6	Unterstützung von Transparenz und Prozeßeinwirkung:			
a	Prozeßtransparenz		X	X
b	Systemtransparenz	X		
c	Handhabungstransparenz	X		
7	Unterstützung Dokumentation und Erfahrungszugriff	X		
8	Unterstützung abteilungsübergreifenden Erfahrungsaustauschs	X		

Tab. 6: Zusammenfassung der Anforderungen aus Nutzersicht an Interaktionssysteme

Die genannten Anforderungen können entweder für alle betrachteten Bereiche und Technologien oder spezifisch für Einzel- oder Serienfertigung Gültigkeit haben. Während z.B. das Hauptmenü sowohl in der Serien- als auch in der Einzelfertigung identisch sein soll, sollten die Unterfunktionen dieses Hauptmenüs maschinen- und anlagenspezifisch entwickelt werden.

Tendenziell läßt sich aus der Aufstellung und der Gegenüberstellung in Tabelle 6 ableiten, daß Anforderungen, die sich eher auf das Handlungsprinzip beziehen, bereichs- und technologieübergreifend Gültigkeit besitzen (1; 5; 6b, c; 7; 8). Je spezieller sich eine Anforderung auf die Funktionalitäten eines Interaktionssystems bezieht (2; 3; 4; 6a), desto eher muß der Technologie und dem organisatorischen Umfeld, in dem die Maschine eingesetzt wird, Rechnung getragen werden.

Die in der Tiefenuntersuchung ermittelten Gestaltungsanforderungen dienten im HÜMNOS-Projekt als Orientierungsrahmen für die Entwicklung von Prototypen, die im Forschungslabor des ISW der Universität Stuttgart und in der Produktion bei DB von Fachkräften evaluiert wurden. Ergebnisse dazu finden sich im Beitrag von Wahl u.a. in diesem Band, S. 135 ff.

Die Chancen für eine technische Umsetzung von Handlungsorientierung und Erfahrungsförderlichkeit stehen zur Zeit günstig. Zum einen liegt den Herstellern eine entwicklungsrelevante Beschreibung der Anforderungen in Form eines Style-Guide für die Gestaltung von Werkzeugmaschinen vor (vgl. IAO 1997 sowie den Beitrag von Delp, Meier und Eissler in diesem Band, S. 199 ff.). Darüber hinaus sind die am HÜMNOS-Projekt beteiligten Maschinen- und Steuerungshersteller übereingekommen, die am Handeln und an der Erfahrung orientierten Gestaltungsanforderungen bei ihren Produktentwicklungen zukünftig miteinzubeziehen.

Hartmut Schulze, Helmuth Rose, Harald Witt

Nutzerbeteiligung bei Entwicklung und Evaluation des handlungsorientierten Interaktionssystems

1. Nutzerbeteiligung im Maschinen- und Anlagenbau – Probleme und Perspektiven
2. Nutzerbeteiligung im Projekt HÜMNOS – Methoden und Ablauf
3. Exemplarische Ergebnisse des Nutzereinbezugs anhand von Evaluationen des HÜMNOS-Interaktionssystems
4. Abschließende Bewertung der Nutzerbeteiligung im Projekt HÜMNOS

Die Beteiligung von Werkstattmitarbeitern an der Entwicklung und Optimierung von Maschinen und Anlagensystemen stellt auch im Maschinenbau eine immer wichtiger werdende Innovations- und Produktivitätsressource dar. Durch eine auf die Arbeit der späteren Nutzer abgestimmte Technik lassen sich Folgekosten wie Installations- und Anpassungsaufwände, aber auch Handhabungsprobleme reduzieren. Während im Softwarebereich Nutzer häufig bereits an Konzeption und Entwicklung beteiligt werden, ist dies im Maschinen- und Anlagenbau bisher in der Regel nur bei der Ermittlung von Technikbedarf und bei der Anpassung neu entwickelter Produktionssysteme der Fall. Die Innovationsfähigkeit in der Fertigungsindustrie ließe sich deutlich fördern, wenn eine systematische Beteiligung von Nutzern entlang Wertschöpfungsketten in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses gelänge. Im Verbundvorhaben HÜMNOS (vgl. VDW 1998) wurden Voraussetzungen und Methoden erarbeitet, die der Nutzerbeteiligung im Maschinenbau eine neue Perspektive geben. In diesem Beitrag werden zunächst Schwierigkeiten skizziert, die einer Nutzerbeteiligung in dieser Branche entgegenstehen, um dann über Methoden zu berichten, mit denen im Projekt HÜMNOS eine solche Beteiligung gelang. Auswirkungen der erfolgreichen Nutzerbeteiligung werden

in Form von Ergebnissen aus den Evaluationen der HÜMNOS-Prototypen abschließend dargestellt.

1. Nutzerbeteiligung im Maschinen- und Anlagenbau – Probleme und Perspektiven

Aufgrund der enormen Entwicklungen im Bereich der Mikroelektronik sind in den letzten Jahren sowohl die Leistungsfähigkeit der in der Produktion eingesetzten Maschinen und Anlagen als auch ihr Funktionsumfang und ihre Komplexität erheblich gestiegen. Darüber hinaus unterscheiden sich die Steuerungen und Interaktionssysteme vor allem in der Serienfertigung je nach Hersteller und Fertigungstechnologie ganz erheblich. Dies führt nicht nur zu Problemen bei ihrer systemtechnischen Integration und bei der Ergänzung von Zusatzfunktionen, wie z.B. eines Diagnose- oder Auftragsverwaltungsmoduls. Auch Benutzung und Beherrschung eines solchermaßen stark heterogenen Maschinen- und Steuerungsparks sind infolge der verschiedenartigen Interaktionslogiken stark erschwert. So kommt es aufgrund der unterschiedlichen Benutzungsphilosophien häufiger zu Handhabungsfehlern und zu suboptimaler Verwendung. Die Interaktion mit verschiedenartigen Maschinen und Steuerungen erfordert von den Nutzern einen hohen Lern- und Umstellungsaufwand. Auch ein flexibler Arbeitseinsatz von Werkern, wie er für Gruppenarbeit notwendig ist, wird dadurch behindert. Ebenfalls ist der Funktions- und Informationszugriff bei den gegenwärtig eingesetzten Benutzungsoberflächen wenig oder gar nicht am Handlungsfluß der Werker ausgerichtet (s. vertiefend den Beitrag von Schulze, Funk, Hildebrandt und Wahl in diesem Band, S. 83 ff.).

Die aufgeführten Benutzungserschwernisse tragen erheblich zu den immer noch hohen Ausfallzeiten von Maschinen und Steuerungen und dem gleichzeitig gestiegenen Aufwand für Qualitätssicherung bei. Insbesondere kommt es zu Verzögerungen und Behinderungen bei der Bewältigung aktuell auftretender oder sich anbahnender Störungen, sog. kritischer Situationen (vgl. Schulze 1997).

Die mangelhafte Ausrichtung von Steuerungssystemen an den Erfordernissen des Arbeitshandelns von Produktionsarbeitern liegt u.a. darin, daß Produktionsarbeiter bei der Konzeption und Entwicklung der Systeme in

der Regel nicht berücksichtigt werden. Ursachen für den Mangel einer frühzeitigen Nutzerbeteiligung finden sich in spezifischen Merkmalen des Maschinen- und Anlagenbaus, die den Entwicklungsprozeß in diesem Segment determinieren und die nachfolgend benannt werden.

(1) Im Maschinen- und Anlagenbau bestimmt die Hardware der Produktionsmaschinen wesentlich den Entwicklungsprozeß. Diese Hardwaredominanz steht einem versionsorientierten Prototyping (vgl. Rauterberg u.a. 1994) mit Nutzerbeteiligung entgegen – sieht man von exemplarischen, öffentlich geförderten Projekten, z.B. zur Entwicklung erfahrungsförderlicher Steuerungen von NC-Maschinen (vgl. Rose 1996; Fuchs, Hartmann 1993) oder von Industrierobotern (vgl. Dahmer 1997), einmal ab. Traditionell orientiert sich der Entwicklungsprozeß im Bereich industrieller Produktionstechnik am linearen Phasen- oder Wasserfallmodell (Rauterberg u.a. 1994). Nutzer sind bei diesem Vorgehen an den Phasen der Bedarfsermittlung und der Erprobung weitentwickelter Prototypen, nicht aber an der Konzeptentwicklung beteiligt. Die Spezifizierung der Anforderungen, ihre Umsetzung in einen Systementwurf und dessen Ausprogrammierung obliegen in der Regel allein den Entwicklungsingenieuren. Ein versionsorientiertes Prototyping ist somit infolge der hohen Hardwarevoraussetzungen ungleich schwieriger zu verwirklichen als z.B. im Bereich von Bürosoftware (vgl. Coy u.a. 1993). Funktionstests – bezogen auf Echtzeitverhalten oder auf die Angemessenheit von Funktionen und Anzeigen – sind in der Regel erst möglich, wenn kosten- und zeintensiv ein Hardwareprototyp erstellt ist.

(2) Eine weitere Schwierigkeit für eine frühzeitige Beteiligung von Nutzern an Technikentwicklung besteht darin, daß innovatorische Verbesserungsvorschläge im allgemeinen nicht einfach abfragbar sind. In Forschungsprojekten rund um das Thema der erfahrungsgeleiteten Arbeit (vgl. Martin 1995; Rose 1996) zeigte sich, daß Fachkräfte aufgrund ihrer souveränen Bewältigung von Fertigungsaufgaben mit der ihnen zur Verfügung stehenden Technik sehr gut in der Lage sind, Schwächen der Technik durch Improvisation und Erfahrung zu kompensieren. Bei Verbesserungsvorschlägen bleiben sie jedoch überwiegend innerhalb der Grenzen und Prinzipien bestehender Techniksysteme. Ohne eine Qualifizierung und Sensibilisierung für die Möglichkeiten, die neue technische Systeme eröffnen, ist daher ein innovatorischer und grenzenüberschreitender Beitrag von Produktionsfachkräften nicht ohne weiteres zu erwarten.

(3) In den Entwicklungsprozeß im Maschinen- und Anlagenbau ist eine Vielzahl von Akteuren involviert, die zudem häufig Marktkonkurrenten sind. In der Regel sind Maschinen- und Steuerungshersteller sowie Anwenderfirmen beteiligt. Die in Deutschland mit ca. 30 Steuerungsherstellern außergewöhnlich große Anbieterlandschaft und der dadurch entstehende Wettbewerbsdruck machen herstellerübergreifende Absprachen zwischen den Entwicklungsakteuren besonders schwierig. In der Folge ist im Maschinen- und Anlagenbau die Situation entstanden, daß Nutzeranforderungen zwar zusammengetragen werden konnten, ihre Umsetzung in Technik und in herstellerübergreifende Gestaltungsstandards jedoch nur vereinzelt stattfand.

(4) Vor diesem Hintergrund eröffnen die Ergebnisse des Verbundvorhaben HÜMNOS in Fortführung des Esprit-Projekts OSACA (Open System Architecture for Controls within Automation Systems) neue Chancen für die Beteiligung von Nutzern und für die Umsetzung von Nutzeranforderungen (Idas-Osaca 1997). Den im Projekt zusammenarbeitenden marktrelevanten Steuerungsherstellern (u.a. Bosch, Siemens), Maschinenherstellern (u.a. Alfing, Heller, Homag, Index, Trumpf) und Anwendern (u.a. Daimler-Benz und BMW) gelang es in Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten, Voraussetzungen für einen herstellerübergreifenden datentechnischen Kommunikationsstandard zu schaffen. Auf der Grundlage der erreichten Spezifikation der objektorientierten Steuerungsplattform wurden in 1998 konkrete Schritte in Form eines Lastenheftes vereinbart, um diese Plattform zur Industriereife unter Echtzeitbedingungen weiterzuentwickeln. Die im Wettbewerb stehenden Akteure handelten ein Commitment aus, wie es für den Maschinen- und Anlagenbau bisher einmalig ist. Die Anwender DB und BMW erklärten, bei zukünftigen Großprojekten die HÜMNOS-OSACA-Steuerungsplattform berücksichtigen zu wollen. Unter Förderung des VDW und des OSACA-Vereins werden zur Zeit weitere Industriefirmen in dieses Commitment einbezogen. Somit wird nun auch im Maschinen- und Anlagenbau eine Nutzerbeteiligung in bisher nichtgekantem Ausmaß möglich.

2. Nutzerbeteiligung im Projekt HÜMNOS – Methoden und Ablauf

Die spezifischen Merkmale des Maschinen- und Anlagenbaus, die einem nutzerorientierten Prototyping entgegenstehen, sind mit dafür verant-

wortlich, daß zu Beginn des Verbundvorhabens HÜMNOS Methoden der Beteiligung von Nutzern an der Konzeption und Entwicklung neuer Techniken nur wenig verbreitet waren. Entsprechend war auch im HÜMNOS-Projekt zunächst ein Vorgehen vorgesehen, das sich an einem klassisch-linearen Phasenmodell ausrichtete. Im Laufe des Projekts wurde jedoch schnell offensichtlich, daß damit wesentliche Innovationspotentiale verschenkt würden. Insbesondere wurde bezweifelt, daß mittels eines standardisierten Fragebogens die Anforderungen der Nutzer abschließend und entwicklungsrelevant erfaßt werden können. Im Projektverlauf

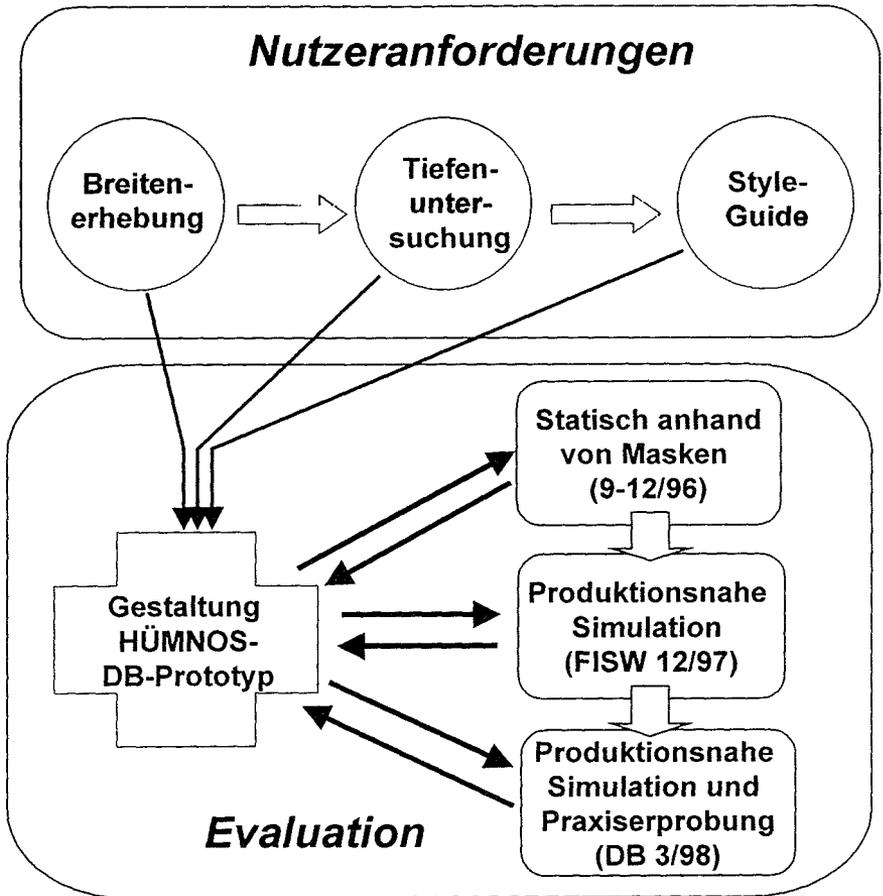


Abb. 1: Formen der Nutzerbeteiligung im Projekt HÜMNOS

erfolgte daraufhin eine Vorgehenskorrektur. Methoden der Beteiligung von Nutzern, die sich zum Teil schon in anderen Branchen als erfolgreich erwiesen hatten, konnten in einer auf die spezifischen Merkmale des Maschinen- und Anlagenbaus abgestimmten Weise eingesetzt werden. Die Instrumente und Verfahren der Nutzerbeteiligung im Vorhaben HÜMNOS sind in Abbildung 1 zusammengestellt.

Die Abbildung verdeutlicht den groben Ablauf des Vorgehens zur Nutzerbeteiligung in den Phasen der Konzeption und Entwicklung. An eine Breiterehebung bei Anwendern und Herstellern mittels Fragebogen schloß sich – wie im Beitrag von Rose, Schulze, Moldaschl, Selb und Siegel in diesem Band, S. 41 ff., beschrieben – eine vertiefende Untersuchung ausgewählter Produktionsbereiche der Anwender an. Nachfolgend werden Methoden und Ablauf der Nutzerbeteiligung näher ausgeführt.

(1) Die Erarbeitung einer von den Projektpartnern geteilten Verständigungsplattform erwies sich als entscheidender Meilenstein. Die von den Fachdisziplinen (Ingenieurwissenschaften, Arbeitspsychologie, Wirtschaftswissenschaft) und von den vertretenen Branchen (Maschinenhersteller, Steuerungshersteller, Anwender) sowie von den Forschungsinstituten her sehr heterogene Verbundstruktur erforderte für ein solches Sich-Aufeinander-Einstellen besondere Anstrengung. Als besonders effektiv hat sich dabei eine interdisziplinär aus Entwicklungsingenieuren von Maschinen-, Steuerungsherstellern und Forschungsinstituten, aus Verfahrensentwicklern und Fertigungsplanern von Anwendern sowie aus Arbeitspsychologen zusammengesetzte Projektgruppe erwiesen. Diese Gruppe koordinierte und steuerte die Konzeption und Entwicklung eines am Arbeitshandeln orientierten Interaktionssystems für Einzel- und Serienfertigung sowie von nutzergerechten Anwendungsmodulen. Innerhalb der Projektgruppe sowie kleinerer und ebenfalls interdisziplinär zusammengesetzter Arbeitsgruppen war die gemeinsame Arbeit an konkreten Objekten besonders förderlich für die Erarbeitung einer Verständigungsplattform der als relevant erachteten Gestaltungsrichtlinien. Solchermaßen gemeinsam bearbeitete Objekte und Inhalte waren z.B.:

- Vorbereitung eines Fragebogens über Fertigungstrends und zukünftig benötigte Funktionen und Anzeigen zur Unterstützung des Arbeitshandelns in interdisziplinär besetzten Round Table Settings,
- Durchführung von Beobachtungen und Interviews zum Arbeitshandeln von Produktionsarbeitern sowie von Evaluationen verschiede-

ner Prototypen in Tandems aus Ingenieuren und Arbeitspsychologen,

- Bestimmung von Referenzaufgaben für die praxisnahen Evaluationen im Institutslabor des FISW und bei DB durch Zusammenarbeit von Forschungsinstituten und Anwendern,
- Entwurf und Abstimmung einer herstellerübergreifenden handlungsorientierten Menüstruktur in kleinen Gesprächskreisen mit Fachkräften und auf großen Verbundworkshops.

Das Wachsen eines gemeinsamen Verständnisses zeigte sich z.B. an der im Laufe des Projekts veränderten Zielsetzung der Fragebogenerhebung. Sollte anfangs der Fragebogen eingesetzt werden zur Ermittlung umfassender und statistisch signifikanter Gestaltungsempfehlungen, erwies er sich letzten Endes als Vorbereitung für eine vertiefende Untersuchung des Arbeitshandelns an herkömmlichen Steuerungssystemen bei Anwendern. Diese Umorientierung in der Zielsetzung forderten vor allem die Anwender ein. Ihnen reichte die im Rahmen einer Fragebogenerhebung mögliche Berücksichtigung des spezifischen situativen Arbeitskontextes nicht aus, um Entwicklern konkrete Hinweise für Gestaltung geben zu können. Die veränderte Verwendung des Fragebogens zur besseren Orientierung hat sich bewährt, die Ergebnisse waren sehr hilfreich für die Auswahl der in die anschließende Tiefenuntersuchung einbezogenen Produktionsbereiche der Anwender.

(2) Explizites Ziel im HÜMNOS-Projekt war es, die Nutzer in die Lage zu versetzen, aktiv am Entwicklungsprozeß teilzunehmen. Ihre Erfahrung bei der Bewältigung konkreter Fertigungssituationen und bei der Handhabung von Technik sollte dem Entwicklungsprozeß zugrunde gelegt werden. Es wurden Methoden entwickelt bzw. modifiziert, um den Nutzern eine Vorstellung von den Potentialen der neuen Interaktionstechnik zu vermitteln. Die eingesetzten Methoden umfaßten dabei:

- Beobachtung der Nutzer und gemeinsame Analyse ihrer Bewältigung von normalen und kritischen Fertigungssituationen,
- Entwurf einer am konkreten Arbeitshandeln orientierten Menüstruktur in Kooperation mit Fachkräften mit Hilfe von Legetechnikvarianten,

- Bewertung sehr früher Veranschaulichungen von Konzepten und Entwürfen durch Fachkräfte anhand von Folien- und Bildschirmversionen,
- retrospektive Analyse der Bewältigung von Referenzaufgaben gemeinsam mit den Fachkräften anhand von Videoaufnahmen und Logfileprotokollierung,
- praxisnahe Evaluation von Prototypen durch Fachkräfte im Institutslabor und beim Anwender anhand von produktionsstypischen Aufgaben.

Die kontinuierliche Beteiligung von Fachkräften – u.a. durch Prototypingverfahren – ermöglichte ihnen, Erfahrungen mit zukünftiger Technik prospektiv zu sammeln und deren Unterstützungspotential auf der Grundlage ihrer Kenntnisse und Erfahrungen mit Fertigungsprozessen zu bewerten.

Evaluation beim FISW (12.12.97)	Evaluation bei DB (16.03.98)
<ul style="list-style-type: none"> • Einbezogene Fachkräfte: <ul style="list-style-type: none"> - ein HÜMNOS-Erfahrener von DB - zwei HÜMNOS-Unerfahrene von BMW 	<ul style="list-style-type: none"> • Einbezogene Fachkräfte: <ul style="list-style-type: none"> - zwei HÜMNOS-Erfahrene von DB - zwei HÜMNOS-Unerfahrene von DB
<ul style="list-style-type: none"> • Normale Fertigungsaufgaben: <ul style="list-style-type: none"> - Anfahren - Werkstücktypwechsel - Nacharbeit - Werkzeugwechsel 	<ul style="list-style-type: none"> • Normale und kritische Fertigungsaufgaben: <ul style="list-style-type: none"> - Anfahren - Werkstücktypwechsel - Nacharbeit - Optimieren des NC-Programms - Störungsdokumentation
<ul style="list-style-type: none"> • Bewertung der Umsetzung der Handlungsorientierung und ihres Nutzens für die alltägliche Arbeit 	

Abb. 2: Merkmale der Evaluation im Institut FISW und bei Daimler-Benz

(3) Die Entwicklung des HÜMNOS-Interaktionssystems zeichnete sich insgesamt durch mehrere Evaluationszyklen aus. Von September bis Dezember 1997 wurden statische Folienversionen der Menü- und Benutzungsstruktur in verschiedenen Diskussionsrunden von Fachkräften erörtert. Für einen prototypischen Simulationsaufbau wurde das System von pak und FISW bis Ende 1997 umgesetzt und am FISW durch Fachkräfte von BMW und DB evaluiert. Mit den Erkenntnissen der Evaluation wurde der Prototyp optimiert, im März 1998 in eine bestehende Produktionslinie integriert und von Fachkräften unter Produktionsbedingungen erprobt. In einem angrenzenden Fabrikbereich wurde dann erneut eine Simulationsanlage aufgebaut, an der im März 1998 eine abschließende Evaluation mit Fachkräften von DB stattfand. Merkmale der Evaluationen der Simulationsanlage sind in Abbildung 2 zusammengestellt.

Bei den Evaluationen handelte es sich um erste praxisbezogene Fallstudien zur potentiellen Eignung des HÜMNOS-Interaktionssystems, um die späteren Nutzer in ihrem Arbeitshandeln besser als herkömmliche Systeme unterstützen zu können.

3. Exemplarische Ergebnisse des Nutzereinbezugs anhand von Evaluationen des HÜMNOS-Interaktionssystems

Die HÜMNOS-Prototypen wiesen in den Evaluationen am FISW (12.12.97) und bei Daimler-Benz (16.3.98) noch technische Instabilitäten auf, die eine produktionsnahe Simulation der Funktions- und Handhabungsweise erschwerten. Diese Instabilitäten wurden von den Fachkräften jedoch gut kompensiert – für sie war es eher eine Herausforderung, Abstürze und Simulationsfehler bei den prototypisch realisierten neuen technischen Lösungen auszugleichen. Aufgrund ihrer praktischen Erfahrung waren sie in der Lage, von den Unzulänglichkeiten zu abstrahieren und das Unterstützungspotential der Prototypen anhand der praxisbezogenen Evaluationsaufgaben zu bewerten. Vergleicht man die von den Fachkräften bei der Bewältigung der Evaluationsaufgaben gewählten Navigationswege untereinander und darüber hinaus mit dem von Experten geplanten Weg, fällt als erstes die hohe Übereinstimmung zwischen diesen beiden Wegen auf. Als einer von mehreren möglichen richtigen Wegen durch die Menüs zeichnet sich der der Experten durch eine optimale, direkte und damit besonders schnelle Vorgehensweise aus. Dieser Weg diente als Referenz für den Vergleich mit den Wegen, die die Fachkräfte

zur Bearbeitung der gestellten Aufgaben real gegangen sind. Zur Veranschaulichung findet sich in der Abbildung 3 ein solcher günstigster Weg. Der Abbildung liegt die Evaluationsaufgabe drei zur Nacharbeit zugrunde.

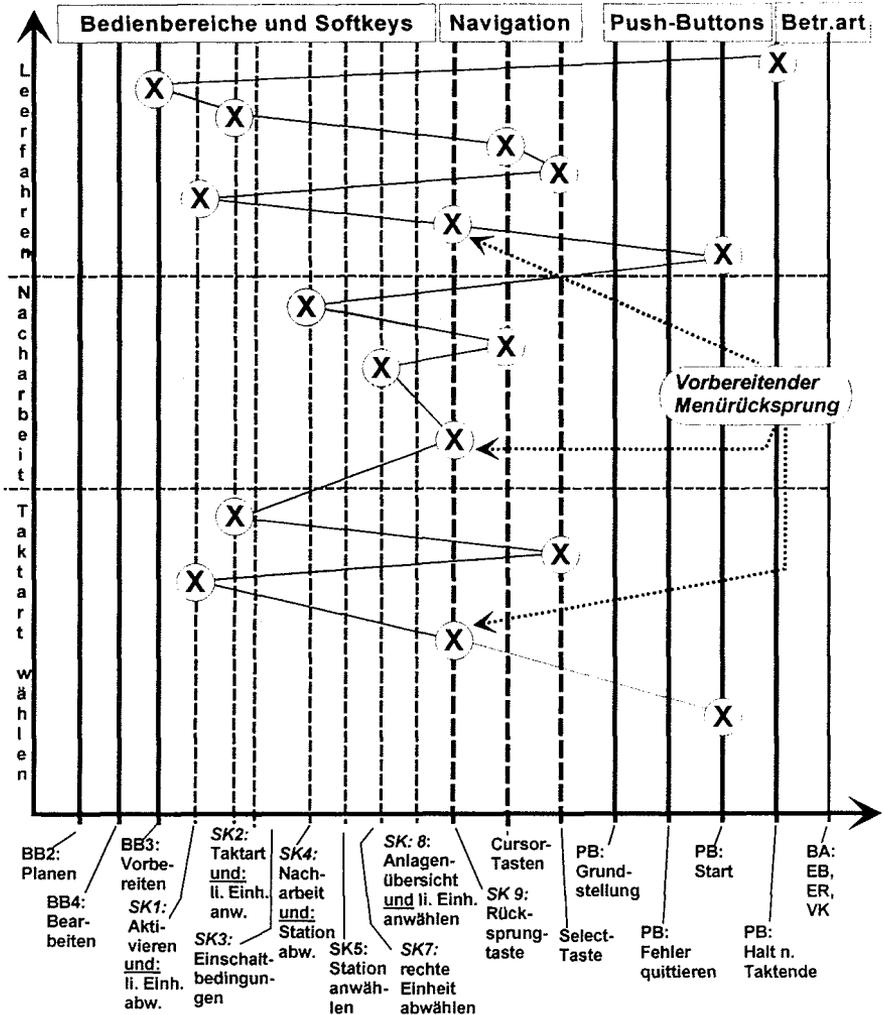


Abb. 3: Günstigster Weg bei Aufgabe 3, Nacharbeit

Als besonders interessant für Modifikationen und Verbesserungen der Handhabungsstruktur erwies sich die Analyse von Unterschieden in den

Art der Abweichung		Beschreibung
Falsche oder ausgelassene Benutzungsfunktionen	<i>Falsche Bedienbereichswahl (FB)</i>	Falsche Zuordnung von Benutzungsfunktionen zu Bedienbereichen
	<i>Falsche Benutzungsfunktion (LI)</i>	Falsche Wahl von Benutzungsfunktionen aufgrund <ul style="list-style-type: none"> • von Abweichungen der Dialoglogik von derjenigen, die die Fachkräfte bisher gewohnt waren • von nicht durchgängigem Dialogprinzip • von Abweichungen der Dialoglogik von Windows-Dialoglogik
	<i>Ausgelassene Handhabungsaktion (A)</i>	Notwendige Benutzungsaktionen nicht getätigt
Zusatzaktionen	<i>Fehlerbehebung (FB)</i>	Aktionen zur Behebung von Prototypfehlern
	<i>Folgehandlungen (FH)</i>	Aktionen in der Folge falscher Funktionswahl
	<i>Explorierende Aktionen (E)</i>	Alternativwege, wenn Benutzungsfunktionen fehlten
	<i>Transparenzerhöhung (T)</i>	Wahl von Anlagentransparenz
	<i>Kennenlernaktionen (K)</i>	Suchbewegungen
Unterschiede in Reihenfolge	<i>Reihenfolgeänderung (R)</i>	Änderung in der Abfolge von Handlungsbündeln

Tab. 1: Abweichungen der tatsächlichen von der günstigsten Navigation

Navigationswegen. Nimmt man die Abweichungen des Wegs der Fachkräfte von dem schnellsten Weg näher in Augenschein, so lassen sie sich charakterisieren als „falsche oder ausgelassene Benutzungsfunktionen“, als „Zusatzaktionen“ und als „Unterschiede in der Reihenfolge“. Eine Zusammenstellung der Abweichungen ist in Tabelle 1 vorgenommen.

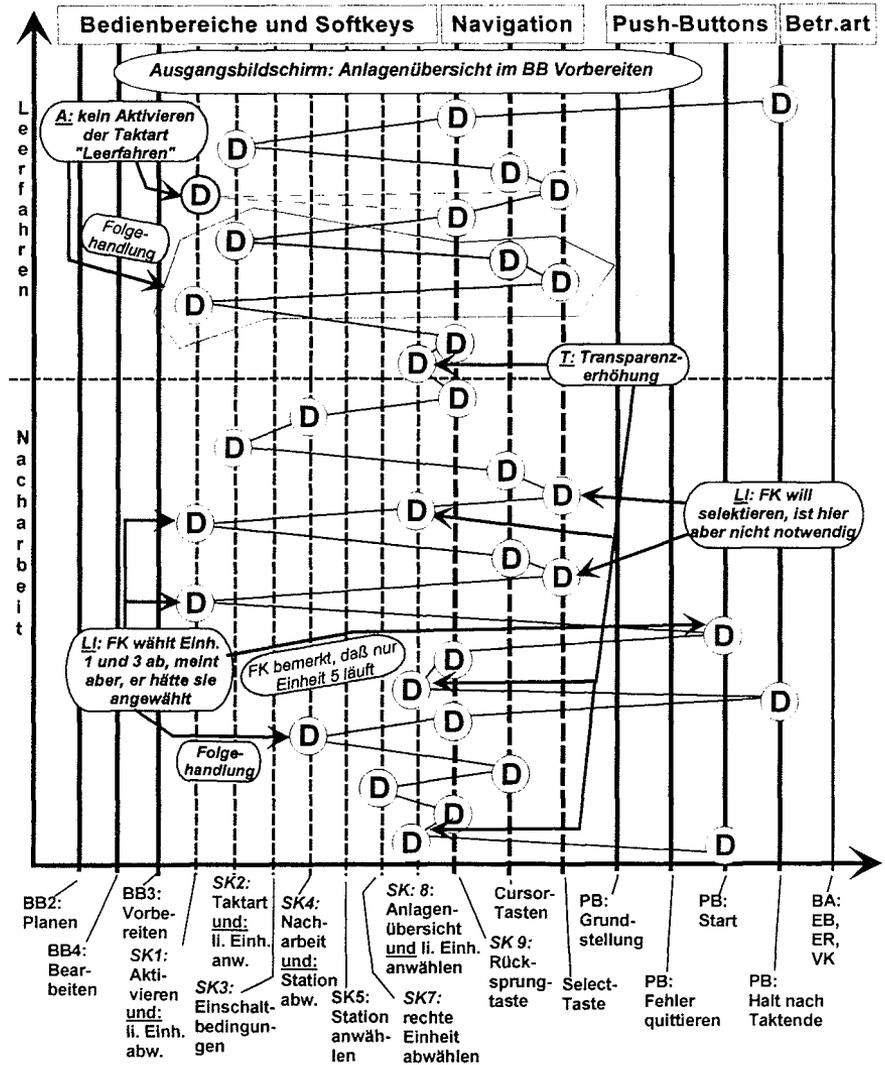


Abb. 4: Bewältigung Aufgabe 3, Nacharbeit durch Fachkraft von DB

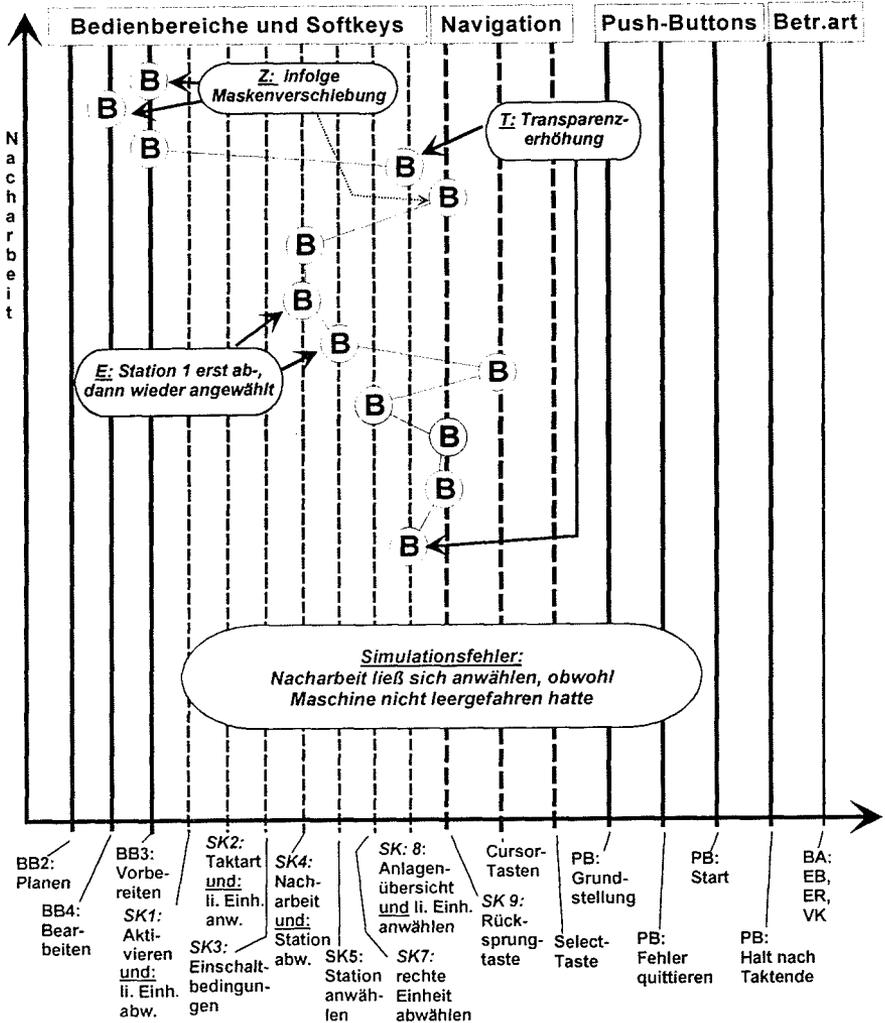


Abb. 5: Bewältigung Aufgabe 3, Nacharbeit durch Fachkräfte von BMW

In den Abbildungen 4 und 5 sind zur Veranschaulichung Graphiken vom Vorgehen der Fachkräfte bei der Aufgabe drei (Nacharbeit) anhand der Evaluation beim FISW dargestellt. Dabei sind die Abweichungen der Vorgehensweise der Fachkräfte vom schnellsten Weg hervorgehoben. Die Kürzel zur Kennzeichnung der Abweichungsart entsprechen dabei

denjenigen, die in der Tabelle aufgelistet sind. So steht z.B. „A“ für eine „ausgelassene Handhabungsaktion“. In Abbildung 4 ist z.B. die erste Abweichung die einer fehlenden Aktivierung der Taktart „Leerfahren“, da der Softkey 1 (SK 1) „Aktivieren“ nicht ausgelöst wurde, d.h., die Taktart wurde zwar selektiert, aber nicht übernommen (Erklärung s. im Text). Entsprechend der Auslegung des Bedienfeldes ist auch in den Graphiken unterschieden zwischen Bedienbereichen (BB) und zugehörigen spezifischen Softkeys (SK) sowie zwischen Pushbuttons (PB) und dem Betriebsartenwahlschalter (BA).

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der Evaluationen aufgeführt. Sie beziehen sich auf die Bewertung der handlungsorientierten Menüstruktur, des Dialogprinzips von kurzen Wegen, der Möglichkeit zu einem explorierenden Navigieren sowie auf die Bewertung des im Prototypen verwirklichteten Funktionsumfangs.

3.1 Bewertung der handlungsorientierten Menüstruktur

In den Evaluationen hat sich die handlungsorientierte Menüstrukturierung als förderlich für den Gewinn von Orientierung herausgestellt. Die Zuordnung von Benutzungsfunktionen zu den am Handlungsablauf orientierten Bedienbereichen erwies sich als einfach nachvollziehbar, wie sich anhand der Logfile-Aufzeichnungen belegen läßt. Bei der Bewältigung der Aufgaben im Rahmen der Evaluation beim FISW wechselten die Fachkräfte insgesamt 23 mal zwischen Bedienbereichen. In je drei Fällen suchten die Fachkräfte von BMW und Daimler-Benz Funktionen in Bedienbereichen, in denen sie nicht untergebracht waren. Beide Gruppen wechselten dabei jeweils einmal in den richtigen Bedienbereich, erkannten dies jedoch nicht, da nicht der Einstiegsbildschirm aufblendete, sondern eine tieferliegende Menüebene. Da die Fachkräfte nur eine sehr kurze Einführung in die Menüstruktur erhalten hatten, orientierten sie sich vor allem an den Einstiegsbildschirmen eines Bedienbereichs. Blendete beim Bedienbereichswechsel eine darunter liegende Menüebene auf, meinten sie, nicht im richtigen Bedienbereich zu sein. Daher benutzten sie nicht – wie es notwendig gewesen wäre – die Rücksprungtaste zum Wechsel in die höhere Ebene, sondern wechselten zunächst in einen anderen Bedienbereich. Bei der Gestaltung der Navigation war bewußt auf ein automatisches Aufblenden des ersten Bildschirms beim Bedienbereichswechsel verzichtet worden. Angestrebt war, nach einem Wechsel ein Zurückwechseln in die Menüebene zu ermöglichen, aus der heraus

gewechselt wurde. Für die trotzdem gute Orientierung der Fachkräfte über den Navigationsstand spricht, daß sie in allen Fällen bereits direkt nach dem Wechseln in einen falschen Bedienbereich anhand des aufblenden Bildschirmen ihren Irrtum bemerkten und in den richtigen Bereich wechselten. Mühe bereitete den Fachkräften lediglich der Zugriff auf die Anzeigeeinformation „Werkzeugstatus“, die bisher nur über den Bedienbereich „Bearbeiten“ zugänglich ist. In mehreren Fällen fanden die Fachkräfte den Weg dorthin nicht auf Anhieb.

Von den falschen Bedienbereichswechseln sind somit nur ganz wenige auf Zuordnungsprobleme von Funktionen zu Bedienbereichen zurückzuführen. Zudem läßt sich anhand der Logfiles ein Lerneffekt auf seiten der Fachkräfte belegen – falsche Bedienbereichswchsel finden sich vor allem in der Anfangsphase der Aufgabenabarbeitung. Damit hat sich die handlungsorientierte Strukturierung und Zuordnung der Funktionen und Anzeigen bewährt. Sie ermöglicht eine schnelle Einarbeitung in die Interaktionsstruktur. Exemplarisch äußerte ein Facharbeiter in einer Abschlusdiskussion die Einschätzung, daß mit einer systematischeren Einführung die Einarbeitungszeit bei qualifizierten Mitarbeitern von jetzt ca. sechs Monaten auf einige Wochen reduziert werden könnte.

Darüber hinaus zeigt die Evaluation, daß es in einer Einarbeitungssituation für die Fachkräfte zunächst darauf ankommt, sich über den Navigationsstand zu orientieren. Hier hat ein Wiedererkennungseffekt, hervorgehoben z.B. durch gleichbleibende Einstiegsbildschirme eines Bedienbereichs, deutlich unterstützende Funktion. Erfahrene Fachkräfte würden jedoch nur ungern auf die Möglichkeit situationsbezogener schneller Rücksprünge auch in tiefere Menüebenen verzichten. Eine Lösung entwickelte an dieser Stelle ein im Projekt beteiligter Steuerungshersteller. Konstante Einstiegsbildschirme bei gleichzeitig verbessertem Angebot von Shortcuts trafen bei den Nutzern auf gute Resonanz, da Orientierung und Flexibilität ihres Handelns gleichermaßen unterstützt werden konnten.

3.2 Bewertung des Dialogprinzips

Die Art und Weise der Dialogführung zur Auslösung von Maschinen- und Steuerungsfunktionen hat sich in den Evaluationen als relevant für eine intuitive Interaktion herausgestellt. Neben der internen Konsistenz des Dialogprinzips kommt dabei auch der externen Kongruenz mit anderen Steuerungs- und Dialogsystemen Bedeutung zu.

(1) In den Evaluationen bestätigte sich die Bedeutsamkeit der Gestaltungsanforderung nach durchgängiger Dialogkonsistenz. In den Prototypen war zu den Zeitpunkten der Evaluationen das Prinzip einheitlicher Dialogfolgen noch nicht vollständig realisiert. In der Folge kam es zu Orientierungsschwierigkeiten und auch zu Interaktionsfehlern. Ein Beispiel ist der Aufruf der Dokumentierfunktion: Sind in den Anwendungsmodulen „Diagnose“ und „Optimieren“ anwendungsspezifische Softkeys für die Dokumentation vorgesehen, so ist dies in anderen Bereichen über einen separaten Shortcut organisiert. An dieser Stelle kam es bei den Fachkräften zu Verwirrung.

Auch innerhalb eines Bedienbereichs fanden sich Unstimmigkeiten in der Dialogführung. Aus Gründen der Sicherheit war grundsätzlich vorgesehen, nach dem Selektieren eines Listenelements dessen Aktivierung mittels Softkey zu bestätigen. Eine solche Bestätigung war allerdings z.B. bei der Auswahl von Einheiten für Nacharbeit im Bedienbereich „Vorbereiten“ nicht mehr notwendig. Infolge dieser Logikunstimmigkeit benutzten Facharbeiter in der Evaluation beim FISW fälschlich zunächst die Selektionstaste und anschließend den Softkey 1 zum Aktivieren der betreffenden Einheit (s. Abb. 4). Zwar stand auf dem anwendungsspezifischen Softkey 1 in diesem Fall „linke Einheit abwählen“, das Dialogprinzip war jedoch bereits so weit Routine geworden, daß die neue Bedeutung des Softkeys nicht handlungsleitend wurde.

(2) Inkongruenzen zwischen dem HÜMNOS-Dialogprinzip und demjenigen anderer – den Fachkräften gut bekannter – Steuerungssysteme führten ebenfalls zu Irritationen. Ein Beispiel für Unterschiede zwischen der Interaktionslogik des HÜMNOS-Prototypen und der bisher von den Fachkräften gewohnten Interaktionslogik betrifft die Umstellung der Produktion auf einen neuen Werkstücktyp (Evaluationsaufgabe 2). Die Interaktionslogik beim HÜMNOS-Prototypen sieht hierfür als erste Operation eine Abwahl des alten Werkstücktyps vor; erst danach ist der neue Werkstücktyp anwählbar. Da bei den Steuerungssystemen, die den Fachkräften bekannt waren, mit der Anwahl des neuen Typs die Abwahl des alten automatisch verknüpft war, wurde in den Evaluationen teils nach dem Betätigen des Abwahl-Softkeys der notwendige Softkey zur Anwahl des neuen Typs nicht mehr betätigt.

Interessanterweise führten auch Abweichungen der Dialogführung von dem im PC-Bereich bekannten Windows-System zu Verwirrung. So gingen die Fachkräfte in der Evaluation bei Daimler-Benz beispielsweise da-

von aus, daß ein Selektieren eines farblich hervorgehobenen Listenelements nach Art eines Hyperlinks unmittelbar zu den dahinterliegenden Funktionen führen würde. Sie waren überrascht, daß eine Navigation dorthin nur über spezielle Softkeys möglich war. Diese Beobachtung ist ein typisches Beispiel für die zunehmende Vertrautheit von Nutzern mit PC-basierten Dialogprinzipien.

In den Evaluationen finden sich also Beispiele für Interaktionsprobleme, die auf Erfahrungsbrüche infolge inkonsistenter und inkongruenter Benutzungslagen zurückgehen. Die Dringlichkeit einer vereinheitlichten und durchgängig gestalteten Dialogführung für die Steuerung von Maschinen liegt somit auf der Hand – insbesondere, wenn einer Gruppe von Fachkräften die Betreuung mehrerer Maschinen übertragen wird. Allerdings werden sich unterschiedliche Dialogprinzipien infolge des in den Betrieben mittelfristig bestehenbleibenden heterogenen Maschinen- und Steuerungsparks nicht gänzlich vermeiden lassen. In solchen Fällen kommt es darauf an, durch klare und einfach unterscheidbare Merkmale das Erkennen eines diskrepanten Dialogs zu unterstützen. Dies konnte z.B. bei der Auswahl von Einheiten für Nacharbeit im HÜMNOS-Prototypen in einfacher Weise verwirklicht werden. Waren die Fachkräfte von DB es gewohnt, daß alle Einheiten per „Default“ abgewählt sind und sie diejenigen aktivieren, die bearbeiten sollen, so waren es die Fachkräfte von BMW genau umgekehrt gewohnt: Hier sind zunächst alle Einheiten per Default angewählt. Dies hatte in der Evaluation beim FISW zu Irrtümern geführt. Mit der verbesserten Fassung, über Softkeys zusätzlich ein An- oder Abwählen aller Einheiten zu ermöglichen, konnten beide Vorgehensweisen gleichermaßen unterstützt werden.

3.3 Bewertung kurzer Wege

In den Evaluationen zeigte sich die Bedeutsamkeit der Gestaltungsanforderung, über kurze Wege einen schnellen Zugriff sowohl auf häufig angewandte Benutzungsfunktionen als auch auf Anzeigen und Informationen anzubieten.

(1) Die Werker vermißten in den Evaluationen einen festen Softkey zum Auslösen des Werkzeugwechsels. Sie bewerteten die Lösung, den Werkzeugwechsel über einen mit zwei Funktionen doppelt belegten Pushbutton anzubieten, als verwirrend und fehlerprovokierend. Weiterhin stellte sich heraus, daß neben Eingriffsfunktionen auch der Zugriff auf Anzeige-

funktionen, wie z.B. diejenigen der Anlagenübersicht oder des Werkstückstatus, über feste Tasten eine Unterstützung gerade des erfahrungsgelernten Arbeitshandelns der Fachkräfte bedeutet. Die zum Aufruf bisher noch zusätzlich notwendigen und mentale Kapazität beanspruchenden Suchaktionen könnten damit wegfallen. Weitere Vorschläge der Fachkräfte für Shortcuts betrafen z.B. eine Art „Anfahrmakro“ zur gebündelten Auslösung standardmäßiger Anfahrfunktionen.

(2) In den Logfile-Aufzeichnungen finden sich Funktionsaufrufe, die nicht im „schnellsten Weg“ enthalten sind und bezogen auf die Aufgabenbewältigung auch nicht als falsch gewertet werden können. Es handelt sich um Handhabungsaktionen mit dem Ziel eines Orientierungsgewinns entweder über das Navigations- und Handhabungssystem oder über den Bearbeitungsstand. Die Auswahl der Anzeigefunktion „Anlagenübersicht“ als typische Transparenzerhöhende Aktion u.a. mit dem Ziel, ein Feedback über ausgeführte Befehle zu erhalten, stellte einen der am häufigsten ausgelösten Softkeys dar. Dies unterstreicht die Bedeutsamkeit eines schnellen Zugriffs auf Informationen und Anzeigen, die den Fachkräften einen Überblick über Bearbeitungsstand und -verlauf im Inneren der Einheiten einer Transferstraße ermöglichen. Damit bestätigt die Evaluation den Befund der Tiefenuntersuchung, daß die Prozeßüberwachung auf der Grundlage einer möglichst umfassenden Transparenz für die Arbeit mit Transferstraßen eine wichtige Rolle spielt und gleichzeitig noch nicht angemessen unterstützt wird. Als Verbesserung regten die Fachkräfte weitere Anzeigen zur Steigerung der Prozeßtransparenz an. So sollte möglichst an jeder Station eine Bohrerüberwachung eingerichtet werden – durch die schnelle Entdeckung gebrochener Werkzeuge ließe sich der Nacharbeitsaufwand verkleinern.

Weiterhin sollten mehrere Informationen nebeneinander aufgerufen werden können, um durch Vergleiche und durch die Gewichtung von Anzeigen verschiedener Informationsquellen Transparenz zu gewinnen. Dieses Prinzip soll z.B. bei BMW einer Neuentwicklung in der Schleiftechnologie zugrunde gelegt werden.

3.4 Bewertung von Möglichkeiten für ein explorierendes Navigieren

In den Evaluationen zeigte sich, daß der Prototyp eine Unterstützung der Bewältigung unerwartet auftretender kritischer Situationen bietet. Ein *explorierendes Navigieren* trat vor allem als Suche nach Alternativwegen

auf, wenn eine bestimmte Funktion im Prototyp nicht funktionierte oder ein Anwendungsmodul noch nicht realisiert war. Ein typisches Beispiel stellt das Verhalten der Fachkräfte bei der Werkzeugwertekorrektur im Rahmen der Aufgabe zum Anfahren der Produktion in der Evaluation vom 12.12.97 dar. Die Fachkräfte fanden zunächst auf Antrieb die Benutzungsfunktion „Werkzeugverwaltung“, in der ein Zugriff auf Werkzeugwerte vorgesehen ist. Die Werker gaben sich mit der erscheinenden Maske „Hier wird die Werkzeugverwaltung noch installiert“ nicht zufrieden und fanden einen Alternativweg zu den Werkzeugwerten über den Bedienbereich „Programmieren“. Eine weitere explorierende Navigation wählte ein Facharbeiter bei der Bewältigung der Aufgabe 4 (Werkzeugwechsel). Da die Benutzungsfunktion „Fahren zur Werkzeugwechselposition“ noch nicht realisiert war, versuchte er, diese Position über die Einschaltbedingungen anzufahren. Dies zeigt, daß die HÜMNOS-Interaktionsstruktur explorierende Aktionen zuläßt – und damit eine wesentliche Bedingung für den Erwerb von Erfahrung durch Ausprobieren erfüllt (zu Rahmenbedingungen für Erwerb und Anwendung von Erfahrung vgl. Schulze, Witt 1997).

3.5 Bewertung des Funktionsumfangs des HÜMNOS-Interaktionssystems

Die Fachkräfte bezeichneten in den produktionsnahen Evaluationen die im Prototyp zur Verfügung gestellte Funktionalität als *im Prinzip ausreichend* für die Bewältigung vor allem der Routineaufgaben, wie z.B. Anfahren, Werkstücktypwechsel, Nacharbeit und Werkzeugwechsel im Rahmen der Serienfertigung mit Transferstraßen. Vor einer abschließenden Einschätzung müßte allerdings noch die Integration des Moduls zur Auftrags- und Werkzeugverwaltung abgewartet und erprobt werden. Es wurde vorgeschlagen, in diesem Modul eine Zuordnung von Werkzeugen zu Gruppen nach einer maschinenspezifischen empirischen Standzeitermittlung vorzusehen.

(1) Auch für die Bewältigung kritischer Situationen waren nach Einschätzung der Fachkräfte gute Ansätze in den Evaluationen erkennbar. So fand die im *Bedienbereich Programmieren* prototypisch realisierte WesUF-Optimierungsumgebung (vgl. auch den Beitrag von Schulz und Glockner in diesem Band, S. 157 ff.) auf der Grundlage von Bearbeitungsobjekten bei den Fachkräften trotz technischer Instabilitäten guten Anklang. Durch die Abbildung des Bearbeitungsprogramms in einer Baumstruktur mit

Klartext sowie durch die korrespondierende grafische Darstellung eines bestimmten Arbeitsschritts in der Schemazeichnung des Werkstücks könnten sich gerade weniger erfahrene Fachkräfte schneller mit der Ablaufstruktur vertraut machen. Auch eine Optimierung über Parameterveränderungen, die ganz ohne die Codesprache nach DIN-66025 auskommt, wurde als einfacher und übersichtlicher eingeschätzt. Als Ergänzung sprachen sich die Fachkräfte für eine Möglichkeit aus, einzelne Spindeloperationen „nicht in Ordnung“ setzen zu können, was bisher nur für ganze Werkstücke möglich ist. Durch die neue Funktion könnte der Aufwand für Nacharbeit deutlich reduziert werden, da bis auf einige wenige Bearbeitungen alle weiteren an dem Werkstück noch ausgeführt werden könnten.

(2) Insbesondere die Unterstützung der Störungsbewältigung durch das neu entwickelte *HÜMNOS-Diagnosemodul* fand bei den Fachkräften große Zustimmung (vgl. Albrecht u.a. 1998). In der Evaluation bei Daimler-Benz wurde anhand einer simulierten Störung – Unterbrechen eines Motorschützes – der handlungsorientierte Kreislauf für die Dokumentation und Bereitstellung von störungsbezogenen Erfahrungswerten durchgespielt: Eine SPS-Fehlermeldung wurde simuliert, die Ursache den Fachkräften mitgeteilt, die Störung wurde quittiert und anschließend die Anlage wieder angefahren. Nach Starten der Anlage blendete sich automatisch der Dokumentationsbildschirm der Diagnose auf. Die Fachkräfte hatten nun die Aufgabe, der Fehlermeldung die Ursache „Hauptschütz Q62 des Motors der Gewindeeinheit des Bohrkopfes“ zuzuordnen, indem sie diese im Anlagenbaum selektierten und als Maßnahme „Austausch“ eingaben. Nach kurzer Zeit wurde der Fehler nochmals simuliert. Jetzt zeigte die Diagnose die vorher eingegebene Ursache unmittelbar an. Gleichzeitig erschien eine mit dem Störort verknüpfte Fotografie des gestörten Hauptschützes. Diese Verknüpfung von Fehlermeldungen mit erfahrungsbasierten Ursachen und Maßnahmen bewerteten die Fachkräfte insbesondere für die Bewältigung wiederholt auftretender Störungen im Team als gelungene Unterstützung. Durch die Anzeige der Fotografie des Störortes würde ein Wiedererkennen im Maschineninneren sehr gut unterstützt. Verbesserungsvorschläge der Fachkräfte bezogen sich u.a. auf die Integration einer Suchfunktion, um eine Störungsursache in dem recht umfangreichen Anlagenbaum schneller finden zu können. Oftmals verfolgen die Facharbeiter die Strategie, die Maschine wiederholt und kontrolliert in eine Störung fahren zu lassen, um die Ursache besser eingrenzen zu können. Dafür müsse sich allerdings die mitlaufende Doku-

mentation kurzfristig abstellen lassen. Kritisch merkten die Fachkräfte allerdings an, daß eine bessere Unterstützung im Falle einer Erststörung weiterhin aussteht.

(3) Auch die neuen Funktionen, die das HÜMNOS-Interaktionssystem für ein *fliegendes Bedienfeld* eröffnet, fanden positive Resonanz bei den Fachkräften. Mit *fliegendem Bedienfeld* ist gemeint, daß an jeder beliebigen Einheit einer Transferstraße die Oberflächen der anderen Einheiten aufgerufen werden können. Dies wurde als hilfreich erachtet, da es in der Praxis häufiger vorkäme, daß in kurzen Zeitabständen mehrere Einheiten nacheinander ausfallen. In diesem Fall wird die Störung an der zuerst betroffenen Einheit behoben. Wenn die Maschine dann jedoch wegen einer Folgestörung an einer anderen Einheit nicht angefahren werden kann, müssen die Fachkräfte erst am Hauptbedienfeld die neu gestörte Einheit über die Anlagenübersicht lokalisieren. Mit einem „fliegenden Bedienfeld“ würden somit Wege gespart werden können. Wiederum kritisch wurde auf Schwicrigkeiten der Festlegung von Zugriffsrechten und eines gestiegenen Koordinationsaufwands hingewiesen.

(4) Als prinzipiell hilfreich wurde das *Dokumentiermodul* eingeschätzt. Möglichkeiten zur Archivierung von Erfahrungswerten und zur Weitergabe von Informationen z.B. an Schichtpartner wurden als sehr wichtige Funktionalität eingeschätzt. Allerdings konnte die Dokumentierfunktionalität in den Evaluationen infolge der technischen Instabilitäten nur rudimentär getestet werden. So stieß z.B. die angedeutete Option, Änderungen in Bearbeitungseinheiten des Programms durch einen Zeitstempel im Programmbaum hervorzuheben, auf positiven Anklang. Weiterhin erachteten die Fachkräfte eine automatisch aufblendende Anzeige, die alle Änderungen und Nachrichten der Schichtvorgänger im Überblick anbietet, als hilfreich für die Schichtübergabe.

4. Abschließende Bewertung der Nutzerbeteiligung im Projekt HÜMNOS

Der im HÜMNOS-Verbund exemplarisch beschrittene Weg, bei der Technikentwicklung die Nutzer frühzeitig und möglichst konsequent bei der Konzeption und Entwicklung einzubeziehen, hat sich bewährt. Als besonders innovativ und erfolgreich erwies sich hierbei der Schritt-um-Schritt-Einbezug von Fachkräften. Dadurch konnten eine sukzessive Ent-

wicklung und eine nutzergerechte Realisierung des technischen Systemkonzepts erreicht werden. Auf diese Art und Weise gelang es, die durch Breiten- und Tiefenuntersuchung ermittelten Gestaltungsanforderungen prototypisch umzusetzen und das HÜMNOS-Interaktionssystem immer präziser auf die Anforderungen der Fachkräfte zuzuschneiden. Dieses Vorgehen erlaubte, Möglichkeiten neuer Techniken – wie sie z.B. die Verfahren der Objektorientierung und der Offenlegung von Schnittstellen zur Verfügung stellen – für die nutzerorientierte Gestaltung der Interaktion mit Maschinen und Anlagen auszuschöpfen.

In den Evaluationen konnte durch die fertigungstypischen Evaluationsaufgaben und durch die produktionsnahe Gestaltung der Simulationsanlage für die Fachkräfte ein Erfahrungsraum eröffnet werden. Dadurch wurden eine praxisorientierte Bewertung von Alternativen zu bisherigen Vorgehensweisen und die Einschätzung des Nutzenpotentials handlungsorientierter Interaktionssysteme möglich. Hierbei war der Einsatz mehrerer Protokollmöglichkeiten hilfreich: Aufzeichnungen der ausgelösten Benutzungsfunktionen in Logfile-Dateien, Video-Mitschnitte der Aufgabenbewältigung und Aufzeichnungen der Nachbesprechungen. Die in HÜMNOS gemachten Erfahrungen lassen darüber hinaus weitere Verbesserungsmöglichkeiten für Evaluationen im Kontext des Nutzereinbezugs in innovative Technikentwicklung erkennen. So könnte z.B. eine Verwendung der Logfile-Aufzeichnung als Steuerprogramm für eine Simulation der Bedienaktionen eine Rekonstruktion der Handhabungsaktionen gemeinsam mit den Fachkräften direkt im Anschluß an die Aufgabenbewältigung ermöglichen. Bewertung und Verständnis der intuitiven Handlungslogik in Relation zur Aufgabenstellung wären dann noch besser möglich.

Martin Wahl, Detlef Zühlke, Ulrich Laible

Prototyp für ein einheitliches Interaktionssystem in der Serienfertigung bei Daimler-Benz

1. Problemstellung
2. Anforderungen an Interaktionssysteme
3. Konzept für das Interaktionssystem
4. Realisierung des Interaktionssystems
5. Ergebnisse der Evaluierung

1. Problemstellung

In den vergangenen Jahren haben sich die Arbeitsbedingungen für Fachkräfte an Werkzeugmaschinen durch zahlreiche Entwicklungen und Neuerungen nachhaltig verändert. Strengere Sicherheits-, Lärm- und Emissionsbestimmungen führten zu einer zunehmenden Kapselung der Maschinen und Anlagen. Gleichzeitig wurden durch technologische Weiterentwicklungen sowohl die Leistungen des Bearbeitungsprozesses – wie Geschwindigkeit und Genauigkeit – kontinuierlich gesteigert als auch die Maschinenfunktionalität erweitert. All diese Faktoren führten in der Vergangenheit dazu, daß die Komplexität der Maschinenbedienung zunahm, während im Gegenzug die Transparenz des Bearbeitungsprozesses sowie des gesamten Systems Werkzeugmaschine signifikant zurückging.

In dieser Situation werden die Maschinenbenutzer zudem mit steigenden Anforderungen an Fertigungsqualität und Maschinenverfügbarkeit konfrontiert. Darüber hinaus werden immer häufiger moderne Organisationsstrukturen in den Produktionsbereichen, wie z.B. Gruppenarbeit, eingeführt. Somit muß sich der Maschinenbenutzer beim Wechsel zwischen den Werkzeugmaschinen meist auf unterschiedlichste Benutzungsphilosophien an den Interaktionssystemen einstellen. Neben den hohen Schu-

lungskosten und -zeiten kann es dabei zu längeren Maschinenstillstandszeiten aufgrund von Fehlbedienungen und Orientierungsproblemen kommen.

Aufgrund dieser aktuellen Problematik bei der Maschinenbedienung befaßte sich ein Arbeitsschwerpunkt im Verbundvorhaben HÜMNOS mit der Thematik „Benutzungsschnittstellen von Werkzeugmaschinen“. In einem Style-Guide für die Benutzungsschnittstellen von Werkzeugmaschinen wurde eine von allen Partnern getragene Basis von Gestaltungsregeln erarbeitet, die in dieser allgemeinen Form technologie- und fertigungsbereichsübergreifende Gültigkeit besitzt (IAO 1997). Indem Entwicklern von Benutzungsschnittstellen für Werkzeugmaschinen ein derartiges Hilfsmittel zur Hand gegeben wird, können diese in ihren Grundprinzipien ergonomische Benutzungsschnittstellen entwickeln, wodurch die Arbeitsbedingungen der Maschinenbenutzer verbessert werden.

Die Anwendbarkeit des Style-Guide sollte anhand einer prototypischen Benutzungsschnittstelle für eine Transferstraße der Daimler-Benz AG in der Motorenfertigung nachgewiesen werden. Zu diesem Zweck wurden ein Demonstrator, bestehend aus einer Benutzungsoberfläche und einem darauf abgestimmten Bedienfeld, nebst HÜMNOS/OSACA-konformen NC- und SPS-Steuerungen entwickelt, die an der realen Anlage zum Einsatz kamen. Neben den allgemeinen Gestaltungsregeln, die im Style-Guide beschrieben sind, flossen in die Entwicklung des Demonstrators die spezifischen Anforderungen der Arbeit an Transferstraßen ein. Die technischen Möglichkeiten, die mit der offenen HÜMNOS/OSACA-Kommunikationsplattform geboten wurden, sollten zur flexiblen und schnellen Integration zusätzlicher, die Prozeßbedienung und -kontrolle unterstützender Anwendungsmodule genutzt werden.

2. Anforderungen an Interaktionssysteme

Im Rahmen des Verbundvorhabens HÜMNOS wurden umfangreiche Nutzerbefragungen anhand von Fragebogen (Breitenerhebung) sowie von Einzel- und Gruppeninterviews (Tiefenuntersuchung) durchgeführt. Sie dienten der Beschreibung der Arbeitssituation von Maschinenbenutzern in der Produktion für eine große Bandbreite von der Einzel- und Kleinserienfertigung bis hin zur Großserie (vgl. Beitrag von Schulze, Funk, Hil-

debrandt und Wahl in diesem Band, S. 83 ff.). Mit den gewonnenen Erkenntnissen wurden anschließend Anforderungen aufgestellt, die, soweit allgemeingültig, direkt in den Style-Guide einfließen. Dieser bildete zusammen mit den transferstraßenspezifischen Ergebnissen und Anforderungen die Ausgangsbasis für die Entwicklung des Demonstrators.

Im folgenden werden die wesentlichen Konzepte und Gestaltungslösungen vorgestellt, die im Demonstrator umgesetzt wurden. Damit sie den jeweiligen Anforderungen zugeordnet werden können, folgt zuvor eine kurze Zusammenstellung dieser Anforderungen. Dabei wird unterschieden in Gestaltungsanforderungen an Interaktionssysteme und in Systemanforderungen, die an die technischen Funktionalitäten eines Interaktionssystems zu stellen sind.

2.1 Anforderungen zur nutzerorientierten Gestaltung von Interaktionssystemen

Die Integration der Nutzer bei der Entwicklung neuer Interaktionssysteme für Maschinen und Anlagen wurde als ein wichtiger Aspekt bereits zu Beginn des Verbundvorhabens HÜMNOS gefordert. Diese *Nutzerorientierung* rückt den eigentlichen Anwender von technischen Systemen und seine spezifischen Anforderungen in den Mittelpunkt. Die Bedeutung wurde durch die Untersuchungen vor Ort bestätigt, da belegt werden konnte, daß gewünschte Menüstrukturen und benötigte Funktionen sehr stark von der Erfahrung und der Qualifizierung sowie dem Aufgabenbereich abhängig sind. Die erste Anforderung für die betrachteten Produktionsbereiche lautete:

- Funktionen und ihre Strukturierung nach Nutzergruppen trennen und auf *Anfänger*, *Fortgeschrittene* und *Servicepersonal* abstimmen, um ihren spezifischen Anforderungen gerecht zu werden.

Die Entwicklung der eigentlichen Menüstrukturen für die jeweiligen Nutzergruppen folgt dann dem Prinzip der *Handlungsorientierung*. Sie berücksichtigt die spezifischen Aufgaben jeder Nutzergruppe und die dabei auftretenden Handlungssequenzen. Die Untersuchungen ergaben folgende Merkmale eines handlungsorientierten Interaktionssystems:

- einheitliches und technologieübergreifendes Hauptmenü,

- maschinen- und technologiespezifische Untermenüs,
- schneller Zugriff auf häufig benötigte und wichtige Funktionen,
- individuelle Einstiegs- und Handlungsmöglichkeiten sowie
- Möglichkeit zur Unterbrechung und Wiederaufnahme von Handlungen.

Ein weiteres, für die Qualität eines Interaktionssystems entscheidendes Kriterium ist die Unterstützung des Benutzers zur Gewinnung von Transparenz über die Abläufe in der Maschine/Anlage sowie über das Verhalten des Interaktionssystems. Aus diesem Grunde ergibt sich ein bisher nur unzureichend berücksichtigter Aspekt:

- Verbesserung der Transparenz durch geeignete gestalterische Maßnahmen für die Teilbereiche *Bearbeitungsprozeß*, *Maschinensystem* und *Handhabung* der Maschine.

2.2 Anforderungen an die technischen Funktionalitäten eines Interaktionssystems

Neben der für den Benutzer sichtbaren Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle sind bei ihrer Entwicklung ebenso Anforderungen zu berücksichtigen, die im Laufe der Projektierung des Interaktionssystems durch die Maschinenhersteller und die Betreiber entstehen. So müssen sie z.B. in die vorhandenen Strukturen und Plattformen der Steuerungen ihre Anwendungen und/oder Funktionen integrieren. Gemäß den Anforderungen aus 2.1 gilt es dabei zu beachten, daß diese spezifischen Anwendungen mit den Benutzungsfunktionen und Anzeigen in die bestehenden Menüstrukturen so eingefügt werden, daß sie den Aufgaben der Werker und ihrem Funktions- und Informationsbedarf gerecht werden (vgl. Abb. 1). Da eindeutig der Trend auszumachen ist, daß zukünftig Benutzungsschnittstellen von Maschinen immer umfassendere Informations- und Funktionsumfänge besitzen werden, ist folgende Funktionalität aus Herstellersicht besonders wünschenswert:

- Möglichkeit der einfachen Integration hersteller- und betreiberspezifischer Anwendungen bzw. Benutzungsfunktionen in das Interaktionssystem nach handlungsorientierten Gesichtspunkten.

Neben der eigentlichen Integrationsmöglichkeit und -fähigkeit ist es im Sinne der Wiederverwendbarkeit von Software ebenfalls wichtig, gleiche Standardsoftwarekomponenten für verschiedene Maschinen einzusetzen. Zur optimalen Anpassung an die jeweiligen Maschinenspezifika fordern Betreiber und Hersteller von Maschinen daher:

- Möglichkeit der einfachen und flexiblen Adaption der Benutzungsoberfläche an Maschinen durch Konfiguration.

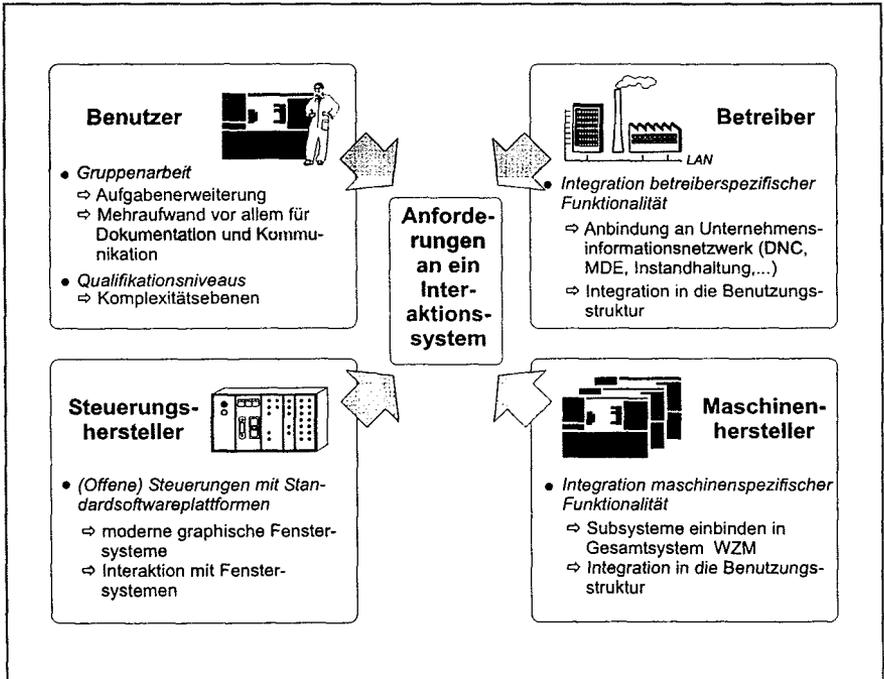


Abb. 1: Anforderungen an Interaktionssysteme

3. Konzept für das Interaktionssystem

Angesichts des Trends, daß auch im Bereich der Produktionstechnik die Steuerung von Automatisierungseinrichtungen immer häufiger auf Standardhardware- und -Standardsoftware-Plattformen erfolgt, wurde das In-

teraktionssystem auf der Basis eines Industrie-PCs konzipiert. Dabei soll der IPC die Anbindung des Interaktionssystems an die Maschinensteuerungen über TCP/IP, die Auswertung und Ansteuerung der Tasten und Schalter am Bedienfeld sowie die Aufbereitung der Benutzungsoberfläche übernehmen.

Da die flexible Anpassungsfähigkeit der Benutzungsoberfläche an unterschiedliche Bearbeitungseinheiten von Transferstraßen ein wichtiges Kriterium war, mußte ein Softwarekonzept entwickelt werden, das diese geforderte Flexibilität unterstützt. Einen bewährten Aufbau für Interaktionsschnittstellen, der sowohl die Trennung der Anwendungen in Benutzungsoberfläche und Funktionsmodul berücksichtigt als auch für komplexe interaktive Systeme ausgelegt ist, liefert das Seeheim-Modell (Green 1985). Im wesentlichen erfolgt hierbei eine Strukturierung in eine Kommunikationsschicht zur Kopplung der Benutzungsschnittstelle an das Funktionsmodul, in einen Dialogverwalter und in eine Präsentationsschicht.

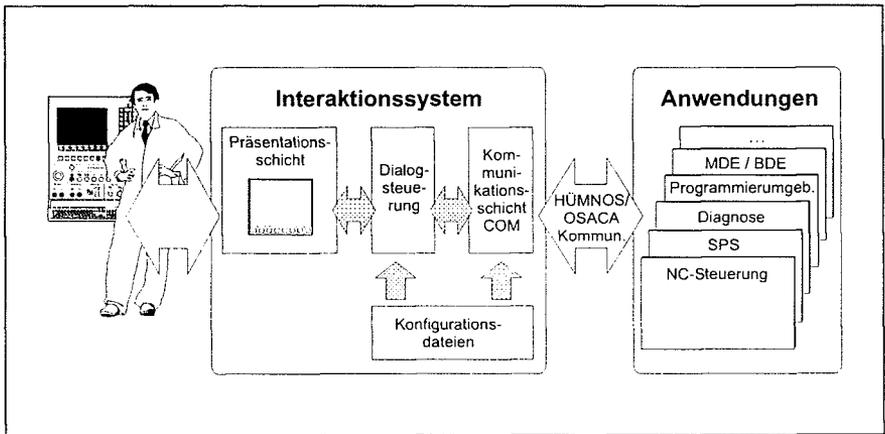


Abb. 2: Seeheim-Modell für interaktive Systeme

3.1 Die Präsentationsschicht

3.1.1 Konzeption der Dialogobjekte

Die graphische Ausgestaltung der Präsentationsschicht, die dynamischen Dialogabläufe und die Bedienstruktur sind für den Benutzer von Interak-

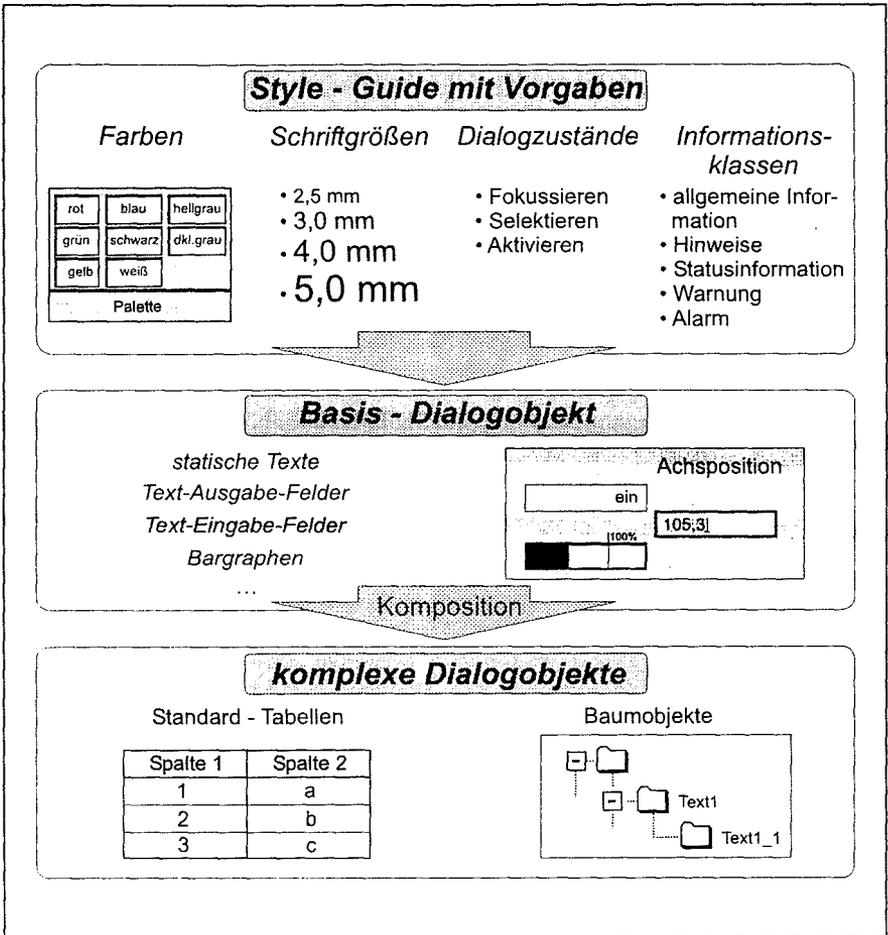


Abb. 3: Objektorientierte Softwarestruktur

tionssystemen von entscheidender Bedeutung bei der Beurteilung der Qualität. Die Konsistenz von Dialogen und ihren Abläufen spielt dabei eine große Rolle. Zwar definiert der HÜMNOS-Style-Guide Informationsklassen sowie deren Kodierung und beschreibt Dialogabläufe und Navigations- und Interaktionsprinzipien. Allerdings lassen sich diese Anforderungen meist nicht mit den Dialogobjekten umsetzen, die standardmäßig in Entwicklungswerkzeugen für Windows-Anwendungen angeboten werden. Häufig weisen sie Logikbrüche und Inkonsistenzen auf. Da sie

meist für Office-Anwendungen konzipiert sind, existiert auch selten die Option, sie komfortabel mit der Tastatur bedienen zu können. Daher bestand für das zu konzipierende Interaktionssystem die Notwendigkeit, Dialogobjekte gemäß den aufgestellten Anforderungen neu zu entwickeln.

Bei dieser Entwicklung wurde ein vollständig objektorientierter Ansatz verfolgt. Er stellt sicher, daß ausgehend von allgemeinen Richtlinien für die Eigenschaften der Dialogobjekte eine zunehmende Eingrenzung und Spezialisierung stattfinden. Dazu werden sog. Basisdialogobjekte gebildet, die als Grundelemente aller notwendigen Dialogobjekte gelten. Aus ihnen werden dann durch Komposition oder Verfeinerung komplexe Dialogobjekte abgeleitet (vgl. Abb. 3).

3.1.2 Navigations- und Interaktionskonzept

Moderne graphische Benutzungsoberflächen besitzen häufig die Schwachstelle, daß die Benutzung mittels Tastatur nur eingeschränkt oder umständlich möglich ist. Da z.Zt. der Einsatz gängiger Zeigeeinstrumente im Bereich der Fertigung aufgrund der Rahmenbedingungen vor Ort noch problematisch ist, muß die einfache und schnelle Benutzung mittels Tastatur gewährleistet sein. In Abstimmung mit den Dialogobjekten ist daher ein Konzept zur Interaktion mit den Dialogobjekten und zur Navigation in der Menüstruktur zu bestimmen.

Unter Berücksichtigung der Vorgaben des HÜMNOS-Style-Guide sollte der Zugang zu den einzelnen Bedienbereichen (sie entsprechen Hauptmenüs) durch festprogrammierte Wahltasten am Bedienfeld erfolgen. Der Aufruf von Benutzungsfunktionen und Sprünge zu Masken innerhalb eines Bedienbereiches sollten dann durch sog. Softkeys stattfinden. Wichtige oder häufig benötigte Benutzungsfunktionen sollten ihrerseits durch Tasten mit fester Belegung ausgelöst werden.

Dem Interaktionskonzept wurden die Aktivierungsmodi der Dialogobjekte zugrundegelegt, die im HÜMNOS-Style-Guide beschrieben sind. Entsprechend diesen Zuständen (fokussiert, selektiert, aktiviert) wurde neben den Fokussteuertasten (Pfeil-, Blättern-, Gruppen- und Fensterwechselfasten) eine Selektionstaste benötigt (vgl. Abb. 4).

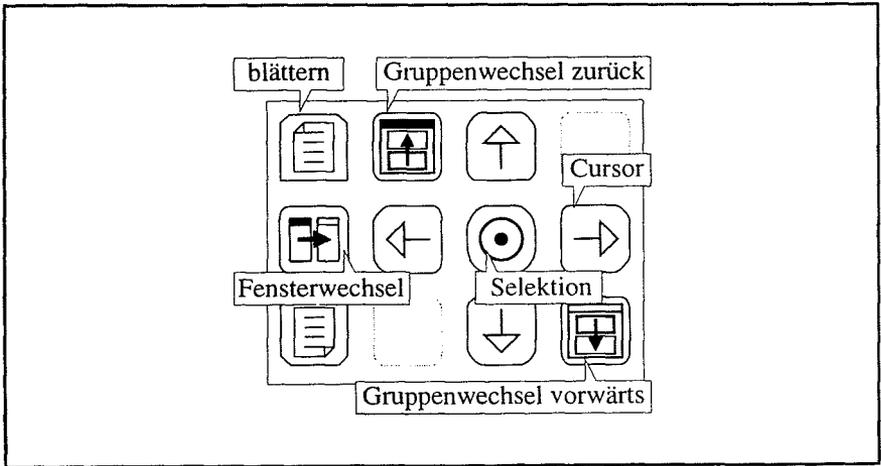


Abb. 4: Interaktionstastenblock des HÜMNOS-Bedienfeldes

3.2 Die Dialogsteuerung

3.2.1 Konfiguration der Benutzungsoberfläche

Aufgrund der Konfigurationsanforderungen mußte in diesem Anwendungsfall die Dialogsteuerung des Seeheim-Modells um einen Konfigurationsteil erweitert werden. Er ist dafür verantwortlich, den Dialogaufbau aus Konfigurationsdateien zur Laufzeit einzulesen und zu interpretieren (vgl. Abb. 2). Diese beschreiben den hierarchischen Aufbau der Benutzungsstruktur aus einzelnen Masken sowie die Informationen, die in den einzelnen Masken angezeigt werden, und die Benutzungsfunktionen, die über die Softkeys kontextabhängig ausgeführt werden können.

Die Konfiguration besteht dazu aus vier Ebenen. Zunächst wird festgelegt, welche Bedienbereiche über die Benutzungsoberfläche aufgerufen werden können, d.h., welche Hauptmenübereiche es gibt. Die zweite Konfigurationsebene bestimmt die Menüstruktur zu jedem Bedienbereich und die Softkeybelegung der Masken. Die dritte Konfigurationsebene ordnet diesen Masken Fenster zu und spezifiziert alle Dialogobjekte sowie deren Position innerhalb der Fenster. Die vierte Konfigurationsebene definiert für alle Dialogobjekte die Parameter für deren exakte Gestaltung.

Dieses Konfigurationskonzept liefert eine größtmögliche Flexibilität zur Anpassung der Menüstruktur an die spezifischen Handlungsabläufe. Dabei wird entsprechend einem Baukastensystem die Benutzungsschnittstelle aus einzelnen Dialogobjekten zusammengesetzt. Sie sind – jede für sich betrachtet – an allen Maschinen zwar gleich, lassen sich jedoch durch ihre spezifische Kombination optimal den Anforderungen anpassen. Gleichzeitig spiegelt dieses Prinzip die Erkenntnis wider, daß sich Teile von Handlungsabläufen als feste Sequenzen in unterschiedlichen Aufgaben wiederholen und sich der gesamte Tätigkeitsablauf bei der Maschinenbenutzung aus einzelnen Handlungsteilmodulen generieren läßt (vgl. Abb. 5).

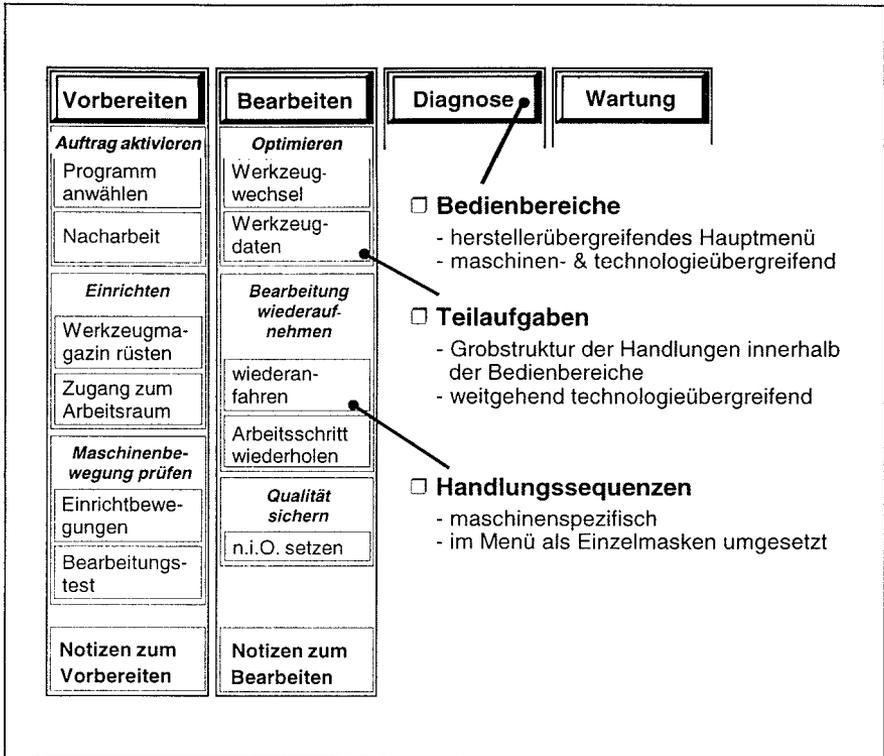


Abb. 5: Modularisierung der Benutzungsstruktur

3.2.2 Integration zusätzlicher Anwendungsmodule in die Benutzungsoberfläche

Eine Anforderung an das Benutzungsprogramm war, daß es alle Anzeigen und Benutzungsfunktionen zur Verfügung stellt, die für den sicheren Betrieb der Maschineneinheiten notwendig sind. Komfortfunktionen wie die Diagnose, MDE/DBE oder eine graphische Programmierumgebung sollten als anwendungsnahe Module zwar auch demonstriert werden, die zugehörigen Benutzungsoberflächen waren allerdings nicht Bestandteil des eigentlichen Benutzungsprogramms. Vielmehr wurden entsprechende Benutzungsoberflächen für diese Anwendungen separat entwickelt. Damit deren Integration in die Benutzungsstruktur auch handlungsorientiert erfolgt, koordiniert das Benutzungsprogramm das Einblenden der benötigten Fenster und Benutzungsfunktionen. Damit war es nicht erforderlich, daß in den einzelnen Anwendungsmodulen der Gesamtzusammenhang der Benutzungsstruktur bekannt war.

3.3 Die Kommunikationsschicht

Die Anbindung des Interaktionssystems an die Steuerung und an weitere steuerungsnahen Applikationen (z.B. Diagnose, MDE/BDE) erfolgte über die OSACA-Kommunikationsplattform. Diese Plattform wurde im Forschungsprojekt OSACA entwickelt und bietet eine Basis für eine offene, herstellernerneutrale Kommunikation zwischen Automatisierungskomponenten. Neben einem Kommunikationsprotokoll wurden in OSACA und auch in HÜMNOS konkrete, anwendungsnahe Schnittstellen definiert, die jede OSACA/HÜMNOS-konforme Steuerung zur Verfügung stellen muß.

Die Hauptmerkmale des OSACA-Kommunikationssystems sind ein Client-Server-Prinzip, die automatische Aktualisierung von Daten sowie die Darstellung von Prozeßzuständen der Automatisierungskomponenten über sog. Zustandsgraphen.

Das Interaktionssystem ist aus Kommunikationssicht „Client“ und die Steuerung „Server“, d.h., es fordert bestimmte Informationen von der Steuerung an und bekommt diese übermittelt (Poll-Modus). Über das OSACA-Kommunikationssystem ist es jedoch auch möglich, sich Informationen immer dann automatisch vom Server schicken zu lassen, wenn

sich diese geändert haben (Event-Modus). Das hier realisierte Interaktionssystem verwendet beide Methoden. Über eine Konfigurierungsdatei kann für jedes Datum angegeben werden, ob „gepollt“ oder der „Event-Mechanismus“ verwendet werden soll. In der Konfigurierungsdatei ist auch hinterlegt, welche Informationen (sog. Kommunikationsobjekte) das Interaktionssystem von der Steuerung benötigt. In weiteren Konfigurierungsdateien sind diese Einzelinformationen dann bestimmten Oberflächenmasken und Dialogobjekten zugeordnet. Um die Kommunikation nicht unnötig zu belasten, werden nur die Kommunikationsobjekte automatisch aktualisiert, die in der aktuellen Oberflächenmaske angezeigt werden. Alle anderen Kommunikationsobjekte werden deaktiviert.

Die Hauptaufgabe der Kommunikationsschicht besteht in der Verwaltung der einzelnen Kommunikationsobjekte, dem Aufbau der Verbindungen zu den entsprechenden Servermodulen und dem Aufruf von Call-back-Funktionen in der Dialogschicht, wenn sich ein zu beobachtender Wert geändert hat. Außer diesen Anzeigefunktionen werden für Benutzungsfunktionen über die Kommunikationsschicht auch aktiv einzelne Werte auf Serverseite beschrieben oder bestimmte Aktionen ausgelöst.

4. Realisierung des Interaktionssystems

4.1 Vorgehensweise zur Inbetriebnahme der Pilotanwendung

Zur Realisierung des Interaktionssystems mußte zunächst eine geeignete Hard- und Softwareplattform ausgewählt werden. Nach Vorgaben des Style-Guide wurde ein neues Maschinenbedienfeld als Prototyp gefertigt (vgl. Abb. 7). Dieses Bedienfeld besteht aus einem IPC (Pentium, 166 MHz), einem TFT-Display (12.1“) und einer Maschinensteuertafel mit Tasten und Schaltern. Als Betriebssystem wurde Windows NT 4.0 verwendet. Die Softwareentwicklung des Interaktionssystems erfolgte mit Microsoft Visual C++ 4.2.

Die Realisierung erfolgte in mehreren Schritten. Da das gesamte System an einer produzierenden Anlage in der Motorenfertigung bei Daimler-Benz eingesetzt und demonstriert werden sollte, mußten Interaktionssystem und Steuerung zuvor unabhängig von der Anlage getestet und auf einen stabilen, prozeßsicheren Stand gebracht werden.

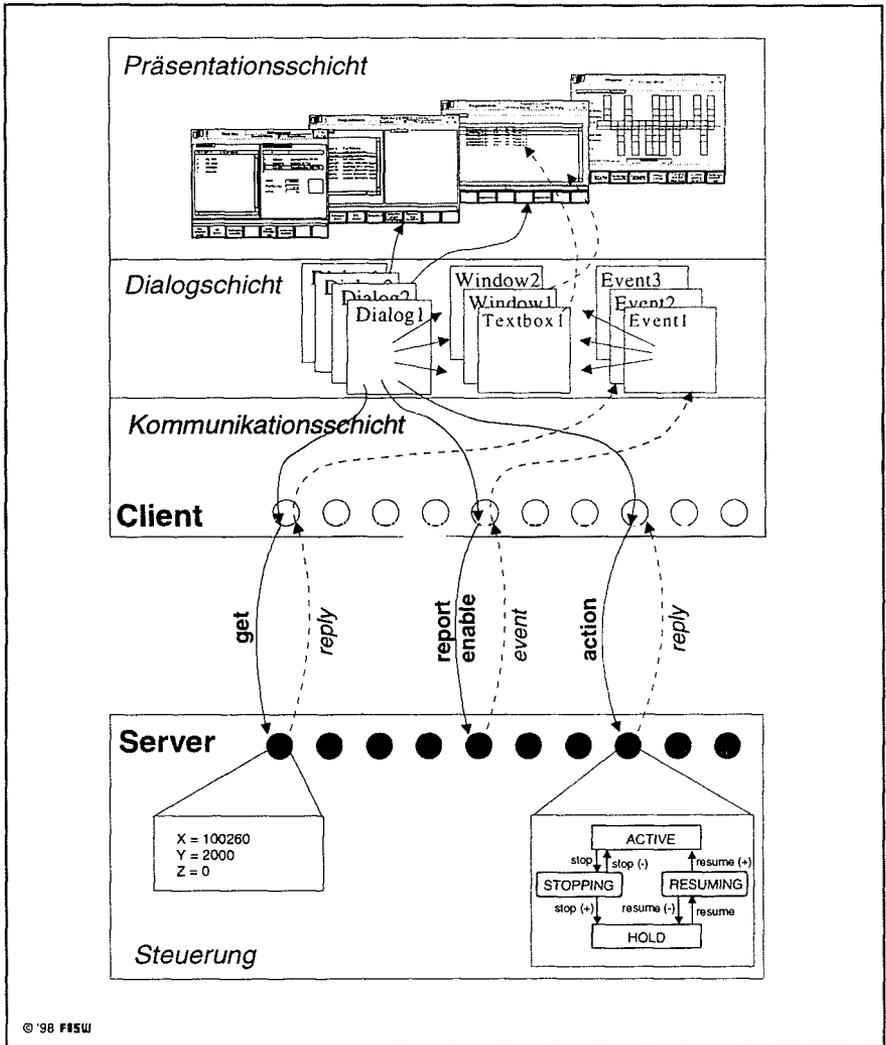


Abb. 6: Kommunikation zwischen Benutzungssystem und Steuerungen

Der erste Schritt bestand aus Tests des Interaktionssystems in einer Laborumgebung, wobei zunächst ohne reale Steuerungen gearbeitet wurde. Sie wurden ebenso wie die Schnittstellensignale durch ein Simulationsprogramm ersetzt. Mit dieser Anordnung war ein Test des Interaktionssy-

stems direkt am Entwicklungsrechner möglich. Auch die Kommunikationsmechanismen des Interaktionssystems konnten so bereits im Vorfeld geprüft werden.

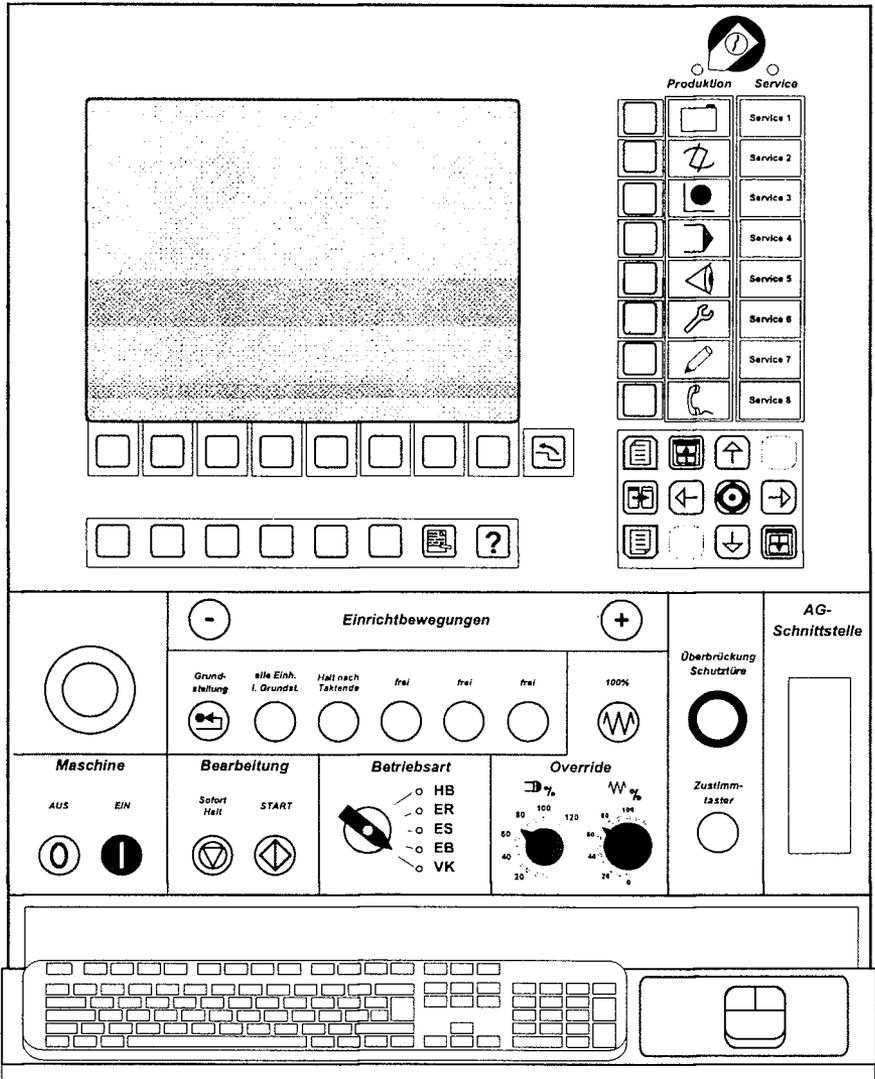


Abb. 7: Prototyp eines neuen HÜMNOS-Bedienfeldes

Der nächste Schritt war die Inbetriebnahme eines kompletten Steuerungssystems, bestehend aus Interaktionssystem, NC-Steuerung mit SPS und Antrieben (Abb. 8). Neben weiteren Funktions- und Stabilitätstests im Hinblick auf die Integration an der realen Anlage sollten in diesem Aufbau auch maschinenübergreifende Funktionalitäten des Interaktionssystems und des Kommunikationssystems getestet werden, wie sie z.B. an dezentral gesteuerten Transferstraßen zu finden sind. Aus diesem Grund wurden drei Steuerungssysteme parallel aufgebaut, die jeweils eine Maschineneinheit in der Transferstraße repräsentierten. Jedes einzelne dieser Steuerungssysteme war mit einem Einheitenbedienfeld gekoppelt. Zusätzlich gab es ein Hauptbedienfeld für maschinenübergreifende Funktionen. Die Software für das Interaktionssystem war jedoch für alle Bedienfelder identisch und wurde nur unterschiedlich, entsprechend den

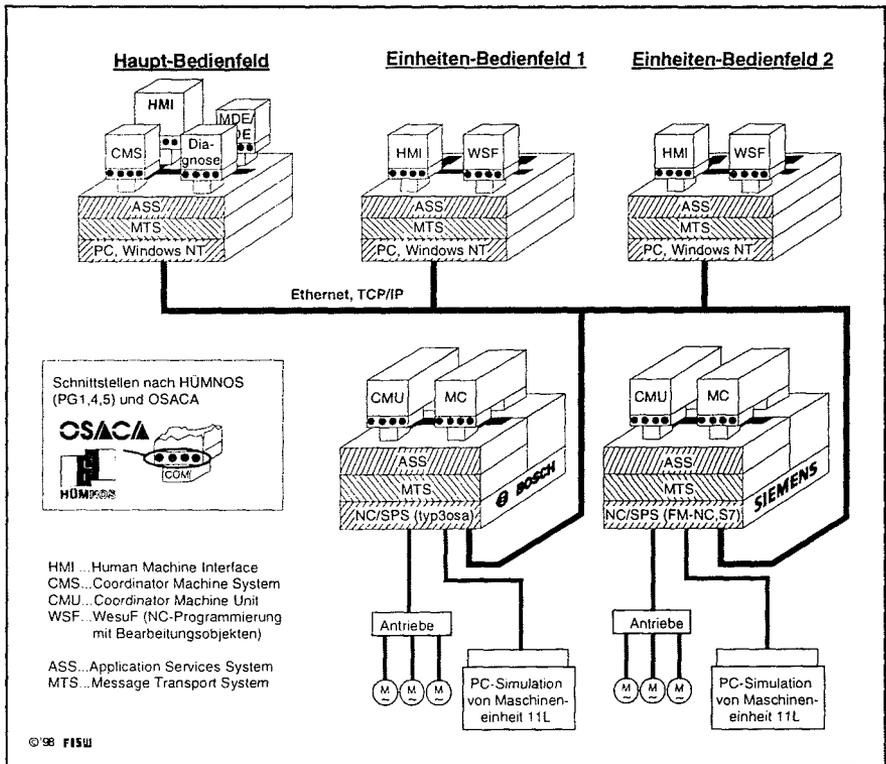


Abb. 8: Simulationsaufbau zur HÜMNOS-Pilotanwendung

Anforderungen der Einheitenbedienfelder und des Hauptbedienfeldes, konfiguriert.

Um eine möglichst praxisnahe Testumgebung zu erhalten, wurden an die Steuerungen Antriebe angeschlossen. Die Endschalter, Relais und sonstige Ein-/Ausgänge der Maschine wurden durch eine PC-Simulation ersetzt.

Zur Demonstration des herstellerübergreifenden Standards wurden OSACA/HÜMNOS-konforme Steuerungen unterschiedlicher Hersteller eingesetzt. Die Kommunikation mit den Interaktionssystemen erfolgte über das OSACA-Kommunikationssystem auf der Basis von TCP/IP und Ethernet.

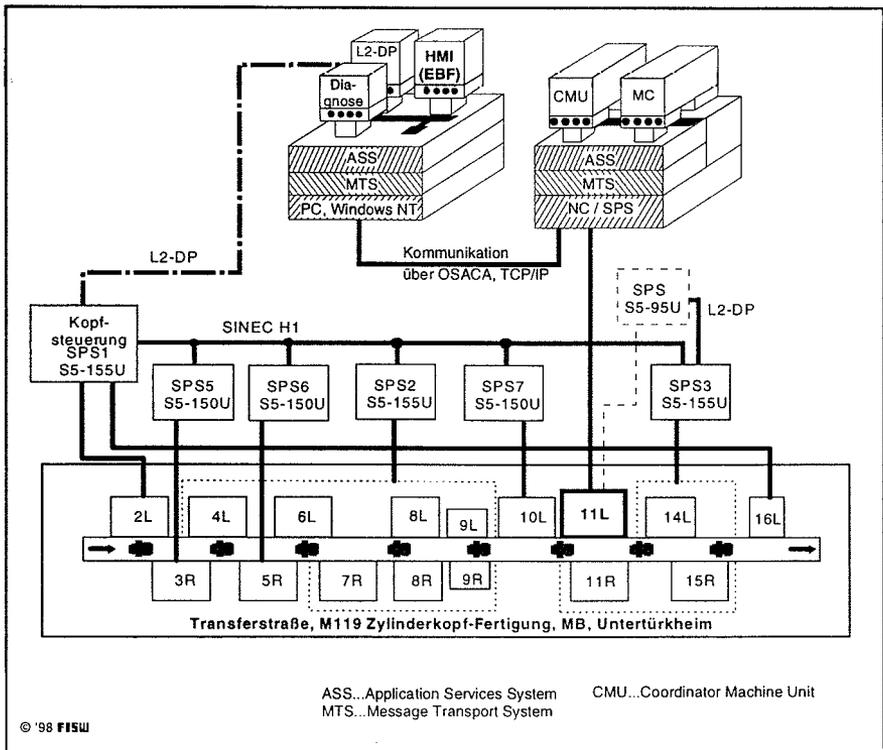


Abb. 9: HÜMNOS-Pilotanwendung in produzierender Anlage

Neben der eigentlichen Software für das Interaktionssystem, die alle relevanten Benutzungsfunktionen und Anzeigen zur Prozeßsteuerung und -kontrolle besaß, wurden weitere Softwaremodule auf dem Bedienfeld integriert. Zum Beispiel wurde ein Diagnosemodul installiert, welches die Fehlermeldungen der Steuerungen sammelt und aufbereitet. Ein separates Anzeigemodul zur Diagnose wurde als weitere Oberflächenmaske in das Interaktionssystem integriert.

Nach umfangreichen Tests und kontinuierlichen Optimierungen wurde ein Interaktionssystem inkl. der HÜMNOS/OSACA-Steuerung an einer Bohreinheit einer Transferstraße in Betrieb genommen (Abb. 9). Mit dieser Transferstraße wurden Zylinderköpfe für die laufende Serienproduktion der Mercedes-Benz-V-Motoren gefertigt. Nach dem Umbau erfolgte die komplette Bedienung und Anzeige der Bohreinheit über das HÜMNOS-Bedienfeld. Darüber hinaus wurden auch maschinenübergreifende Funktionen, wie z.B. die aktuelle Stellung des Transportsystems, an der Einheit angezeigt. Dies war durch die Ankopplung der Kopfsteuerung über ein Profibus-OSACA-Gateway möglich. Auch hier war das Bedienfeld über OSACA-Kommunikation mit der Steuerung verbunden.

4.2 Die realisierte Benutzungsschnittstelle für das Einheitenbedienfeld

Das zu realisierende Interaktionssystem für das Einheitenbedienfeld einer Transferstraße sollte alle Benutzungsfunktionen und Anzeigen enthalten, um daran die typischen Arbeitsaufgaben ausführen zu können. Die notwendigen Benutzungsfunktionen und Informationen sowie die Definition der Benutzungsstruktur wurden in enger Zusammenarbeit mit Maschinenbenutzern während der Analysephase erarbeitet. Dabei wurde das technologieübergreifende Hauptmenü in Form von Bedienbereichen umgesetzt, wobei gegenüber den Beschreibungen im Style-Guide lediglich die Bedienbereiche Planen und Kommunizieren entfielen (vgl. Abb. 10). Die zugehörigen Tätigkeiten finden entweder organisatorisch bedingt an anderer Stelle statt, oder die technischen Rahmenbedingungen für ihre Realisierung waren an der Transferstraße nicht gegeben.

Die umgesetzte Menüstruktur am Einheitenbedienfeld ist in Abbildung 11 wiedergegeben. Die dargestellten „Blätter“ der Baumstruktur stehen

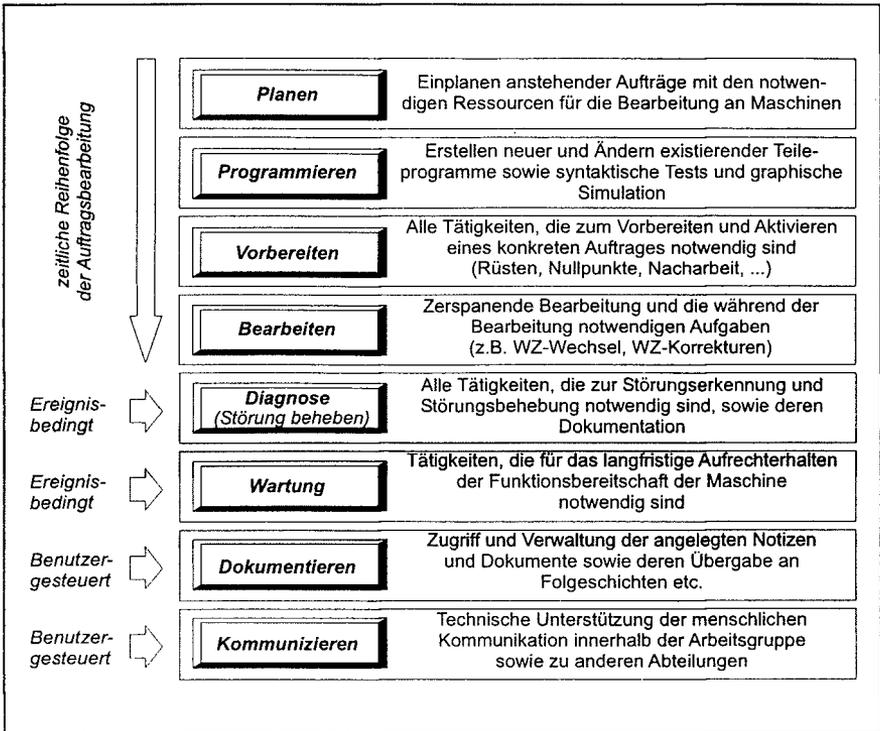


Abb. 10: Bedienbereiche

dabei stellvertretend für die aufrufbaren Masken der Benutzungsoberfläche. Die grau gekennzeichneten Masken sind Platzhalter für die Anzeigefenster der restlichen Anwendungsmodulen, die zu den geforderten Zeitpunkten aktiviert werden.

Eine Besonderheit stellt das neue Diagnosesystem dar, das ebenfalls auf dem Bedienfeld installiert wurde und Störmeldungen der Bohreinheit sowohl graphisch anzeigt als auch eine Unterstützung beim Dokumentieren der Störung bietet. Bei auftretenden Störungen an der Maschine wechselt die Benutzungsoberfläche automatisch in den Bedienbereich Diagnose, damit eine Störungserkennung und -behebung direkt erfolgen kann. Werden nach der Behebung keine weiteren Störungen gemeldet, wechselt die Benutzungsoberfläche wieder in die zuvor aktive Maske zurück, damit der Benutzer seine vorige Tätigkeit fortsetzen kann.

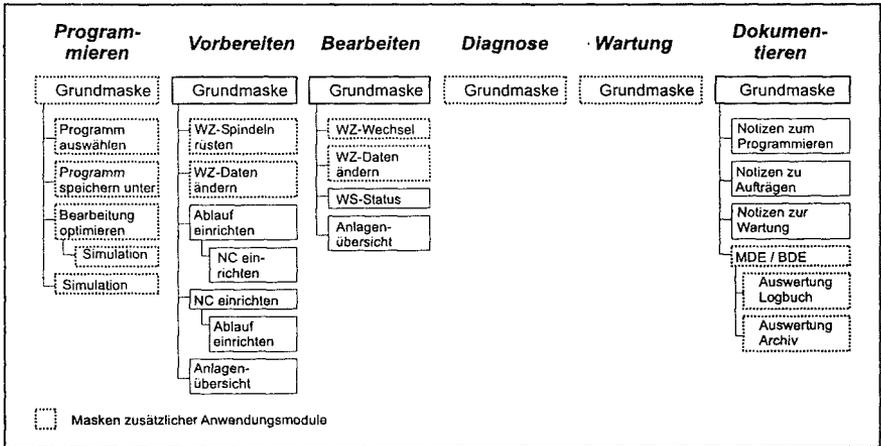


Abb. 11: Menüstruktur des Einheitenbedienfeldes

<i>Globaler Funktionszugriff</i>	<i>Kontextspezifische Funktionen</i>
<ul style="list-style-type: none"> • NOT-AUS • Bearbeitung - START • Bearbeitung - STOP • Grundstellung • Halt nach Taktende • Betriebsartenwahlschalter • Tasten zum Auslösen der Einrichtbewegungen • Eilgang (NC-Einheit) • Vorschub-Override • Drehzahl-Override (NC-Einheit) 	<ul style="list-style-type: none"> • Achsen freifahren • Werkzeugwechsel • Anlagenübersicht • Notizen zu Tätigkeiten

Tab. 1: Shortcuts des Einheitenbedienfeldes

Neben dem hierarchischen Anwählen von Masken bzw. den darin befindlichen Benutzungsfunktionen wurden ebenfalls direkte Zugriffe auf wichtige bzw. häufig benötigte Funktionen in Form sog. Shortcuts realisiert. Tabelle 1 stellt alle Shortcuts des Einheitenbedienfeldes dar.

Stellvertretend für die gesamten Oberflächenmasken soll die folgende Maske einen Eindruck der allgemeinen Gestaltung der Benutzungsoberfläche liefern (vgl. Abb. 12). Zu sehen ist die Maske „Einrichtbewegungen“, über die sich gezielt einzelne Einrichtbewegungen des Bearbeitungsablaufes manuell starten lassen. Neben den anwählbaren Einrichtbewegungen sind auch die Achspositionen zur direkten Kontrolle der Maschinenreaktion in diese Maske aufgenommen. Am oberen Rand in der Statusleiste werden alle relevanten Maschinen- und Prozeßzustandsinformationen eingeblendet. Dort findet auch die Anzeige anstehender Störungen an der gesamten Anlage statt. Am unteren Rand der Maske liegen die Beschriftungen zu den zugehörigen Softkeys.

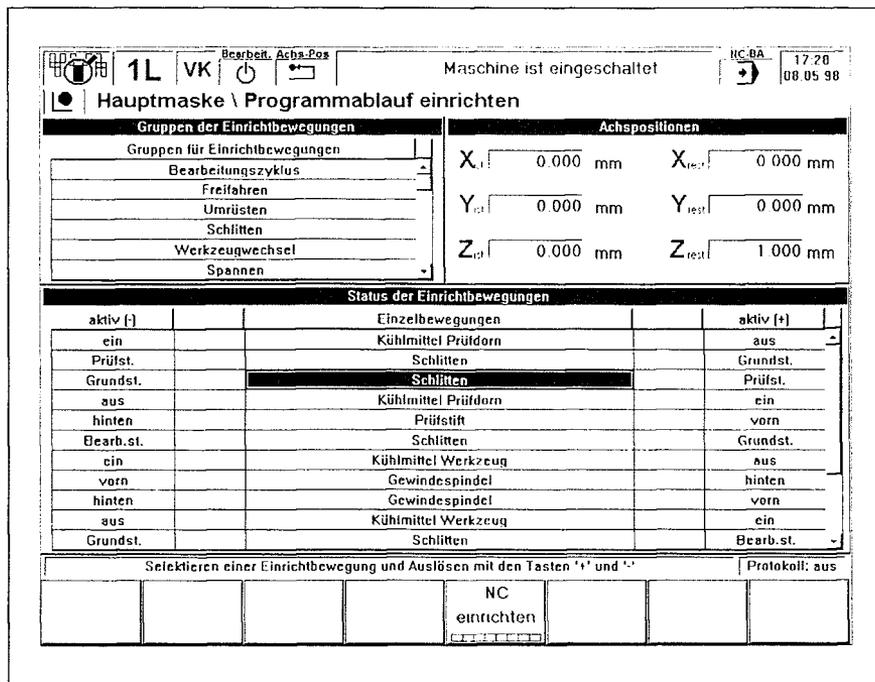


Abb. 12: Maskenansicht der Einrichtbewegungen

5. Ergebnisse der Evaluierung

Um die Tauglichkeit des Interaktionssystems zu testen, wurden zwei Evaluierungen durchgeführt, bei welchen jeweils Maschinenbenutzer bestimmte Aufgaben aus der täglichen Praxis durchführen sollten. Die ausführliche Ergebnisbewertung kann im Beitrag von Schulze, Rose und Witt (S. 113 ff.) in diesem Band nachgeschlagen werden. An dieser Stelle sollen lediglich die wesentlichen Erkenntnisse aus Realisierungssicht zusammengefaßt werden.

5.1 Bewertung der Umsetzung der Nutzeranforderungen

Die Evaluierung des Interaktionssystems fand sowohl am Simulationsaufbau als auch an der realen Anlage statt. Der Schwerpunkt konzentrierte sich allerdings auf den Simulationsaufbau, da es dort – im Gegensatz zur Produktion – unproblematisch war, die Bearbeitung während der Evaluierung zur Klärung von Fragen zu unterbrechen.

Zur Evaluierung des Interaktionssystems hatten ausgewählte Facharbeiter einige typische Arbeitsaufgaben zu erfüllen. Dazu erhielten sie eine knappe Einweisung in das Interaktionssystem, die Navigationsprinzipien, die Interaktionsphilosophie und die Funktionsweise des Push-Button-Panels. Während der Evaluierung wurden die Bedienaktionen der Facharbeiter sowohl mittels Videokamera aufgezeichnet als auch in Logbuch-Dateien mitprotokolliert.

Die Auswertung der Evaluierung lieferte das Ergebnis, daß sich die Testpersonen trotz der kurzen Einweisungs- und Eingewöhnungszeit sehr schnell und sicher innerhalb der neuen handlungsorientierten Menüstruktur zurechtfinden konnten. Unterstützt wurde dieser positive Effekt durch eine verständliche Beschriftung der Softkeys. Anstelle der heute üblichen knappen Funktionshinweise wurden hier die Softkeys mit Handlungshinweisen versehen.

Die Evaluierung zeigte aber auch einige Schwachpunkte des Interaktionssystems auf. So mußte festgestellt werden, daß entgegen der ermittelten Anforderung in der Analysephase die Anlagenübersicht der Transferstraße für den Benutzer sehr wichtig ist und er daher sehr häufig darauf zugreift. Daher wäre es für die Benutzungsoberfläche günstiger gewesen, den Aufruf nicht – wie realisiert – im Menü zu integrieren, sondern auf eine eigene Shortcut-Taste zu legen.

Als weitere Schwierigkeit stellte sich das Interaktionskonzept heraus. Da die Facharbeiter bereits über umfangreiche Erfahrung an herkömmlichen Windows-Systemen verfügten, bestanden für sie Widersprüche zu den aus Windows bekannten Dialogobjekten und Interaktionsprinzipien. An einigen Stellen erwarteten sie – gemäß den Möglichkeiten in Windows-Systemen – weiterführende Masken oder Informationen, wenn sich der Fokus auf einem Dialogelement befand und sie die Selektionstaste betätigten. Daraus läßt sich schlußfolgern, daß die Änderung von Eigenschaften bei Dialogobjekten stets durch abweichende graphische Ausgestaltung gegenüber den Standards gekennzeichnet sein sollte, um dieser Erwartungshaltung vorzubeugen.

Trotz dieser Schwachstellen ließ sich aber dennoch anhand des realisierten Interaktionssystems demonstrieren, daß der Ansatz der handlungsorientierten Gestaltung von Benutzungsstrukturen dem Facharbeiter die Arbeit erleichtern kann. Zudem zeigte sich, daß sich vor allem die Eingewöhnungszeit an neuen Systemen signifikant reduzieren läßt.

5.2 Bewertung der technischen Ergebnisse

Die hier eingesetzte Kommunikationsplattform erlaubt die einfache Verteilung von Softwaremodulen auf verschiedenen Hardwaresystemen. Durch die Client-Server-Architektur der Kommunikation ist ein sehr flexibler Zugriff auf alle Daten im System möglich. Diese Eigenschaften erweisen sich auch bei der Realisierung von Interaktionssystemen als sehr vorteilhaft. Zum einen kann das Interaktionssystem dadurch beliebig modular aufgebaut und an die entsprechenden Bedürfnisse bei der Bedienung der Maschine angepaßt werden. Zum anderen sind an jedem Bedienfeld alle Informationen des gesamten Systems verfügbar und können bei Bedarf angezeigt werden. Dies ist besonders bei großen, verketteten Anlagen (z.B. Transferstraßen) von Vorteil. Hier besteht die Möglichkeit, die Anzeigedaten und Bedienfunktionen des Hauptbedienfeldes auch an jedem Einheitenbedienfeld zur Verfügung zu stellen, wodurch dem Maschinenbenutzer oftmals sehr lange Wege erspart bleiben, was auch als vorteilhaft gelobt wurde.

Insgesamt kann festgestellt werden, daß die Flexibilität bei der Realisierung eines Interaktionssystems erheblich größer als bei herkömmlichen Kommunikationslösungen ist.

Herbert Schulz, Christian Glockner

Handlungsbaustein Programmieren im Interaktionssystem – Programmerstellung und -korrektur mit featurebasierten Bearbeitungsobjekten

1. Anforderungen an die NC-Verfahrenskette aus Sicht der Nutzer
2. Integration des Facharbeiterwissens über die STEP-Datenschnittstelle
3. Das Informationsmodell
4. Generierung eines Werkstückmodells für WesUF
5. Kopplung zwischen WesUF- und OSACA-Steuerungen
6. Leichter Wechsel zwischen Programmerstellung und Zerspanung
7. Informationsverarbeitung entlang der NC-Verfahrenskette
8. Zusammenfassung

Bei zukünftigen Fertigungsprozessen ist eine Optimierung dadurch erzielbar, daß entlang der NC-Verfahrenskette ein bidirektionaler Informationsaustausch auf der Basis eines objektorientierten Fertigungsinformationsmodells stattfinden kann. Dadurch erhalten Produktionsfachkräfte in ihrem Handlungsbaustein „Programmieren“ neue Interaktionsmöglichkeiten, indem sie auf Objekte und Informationen vorgelagerter Abteilungen zugreifen, sie optimieren und wieder zurückführen können.

1. Anforderungen an die NC-Verfahrenskette aus Sicht der Nutzer

Bei der Programmerstellung benutzen heute die meisten Firmen ein externes Programmiersystem. Die erstellten Programme werden zumeist

per DNC zur Zielmaschine gespielt. In einer Befragung im Rahmen des Projekts „Schnell und sicher zum ersten Werkstück“ schätzte die Hälfte der Befragten die Makro- oder Zyklenprogrammierung und die Programmierung im DIN-Code als sehr wichtig ein. Dagegen halten nur 31 % der Befragten die Werkstattorientierte Programmierung (WOP) für sehr wichtig und 29 % für mäßig wichtig (s. Abb. 1) (vgl. den Beitrag von Rose u.a. in diesem Band, S. 41 ff.).

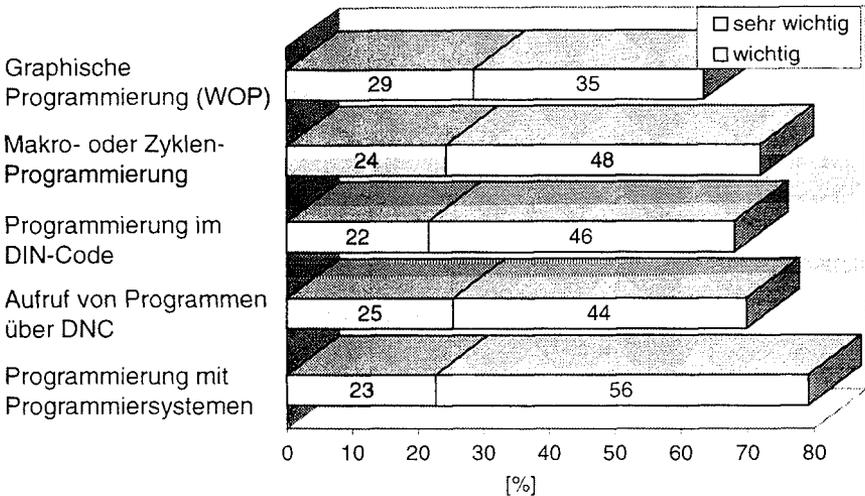


Abb. 1: Funktionen zur Programmeingabe und -veränderung

Erschwernisse sehen die Fachkräfte in dem Fehlerrisiko bei der Programmmeditierung im DIN-Code sowie in dem erheblichen Zeitaufwand bei der Einarbeitung in bestehende Programme oder bei der Programmdokumentation. Durch graphische Simulation des Programmfortschritts – einem leichten Wechsel zwischen Programmerstellung und Zerspanung sowie der farblich abgesetzten Geometrie der abgearbeiteten Bereiche – kann die Programmerstellung nach Einschätzung der Facharbeiter erheblich erleichtert werden (s. Abb. 2).

Beim Einfahren der Bearbeitungsprogramme ist der Änderungsbedarf durch unvorhergesehene Situationen besonders groß. An der Steuerung vorliegende NC-Programme sind nicht mehr allgemeingültig, sondern für eine bestimmte Steuerung bzw. Maschine generiert. Änderungen sind daher nur begrenzt und mit viel Aufwand möglich (vgl. Schulz, Fechter 1994).

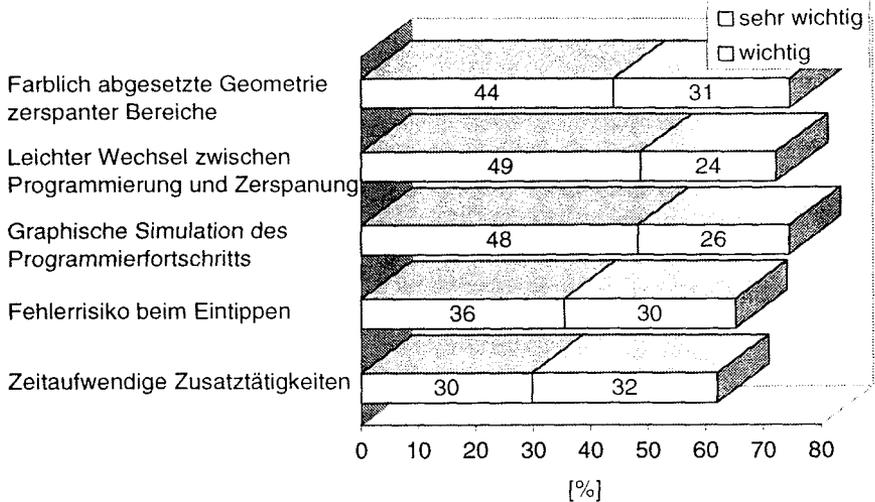


Abb. 2: Bedarf an Verbesserungen bei der Programmerstellung

Dabei äußerten bis zu Dreiviertel der Befragten den Wunsch nach schnelleren und einfacheren Eingriffsmöglichkeiten an der Maschine. Diese beziehen sich nicht nur auf technologische Änderungen, wie z.B. Anpassung der Schnittwerte, sondern auch auf die Optimierung der Rei-

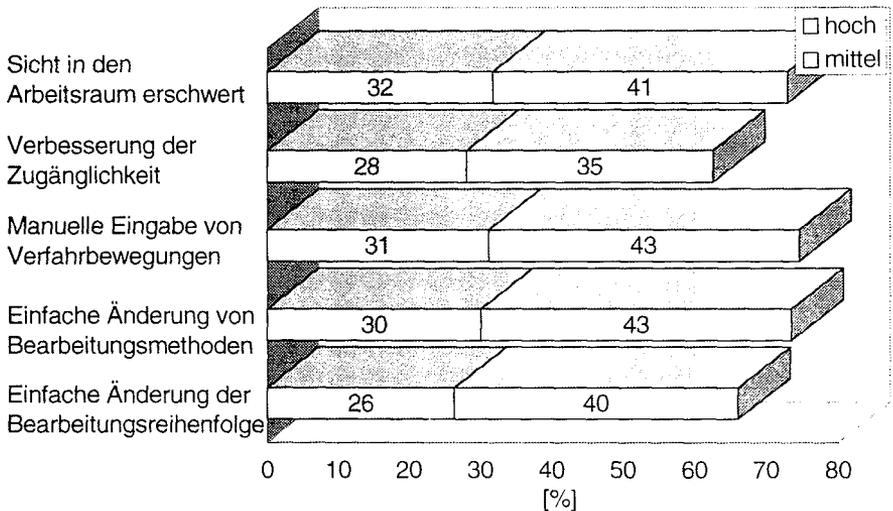


Abb. 3: Bedarf an Verbesserungen beim Einfahren

henfolge ganzer Bearbeitungsabschnitte (s. Abb. 3). Zusätzlich kommen Erschwernisse durch die Kapselung der Maschinen hinzu, die es den Facharbeitern nicht ermöglichen, den Bearbeitungsprozeß so zu beobachten und mitzuverfolgen, daß rechtzeitig eingegriffen werden kann.

Ähnliche Ergebnisse konnten im Projekt WesUF (Handlungsorientierte Lösungen für Werkzeugmaschinensteuerungen zur Unterstützung erfahrungsgeliteter und gruppenfähiger Facharbeit) ermittelt werden, die nun im Projekt HÜMNOS bestätigt und vertieft wurden. Zusammenfassend zeigen die Befragungen beider Projekte folgende typische kritische Arbeitssituationen, in denen die Facharbeiter nicht ausreichend unterstützt werden (vgl. Rose u.a. 1995):

- Das Verstehen und die Aneignung von Bearbeitungsprogrammen nach DIN 66025 sind bei größeren Programmen durch Unübersichtlichkeit und mangelnde Strukturierung zeitaufwendig und mühsam.
- Die Änderung von Bearbeitungsprogrammen vor oder während des Einfahrens ist häufig notwendig (z.B. durch andere Positionierung von Spannelementen, Fehlen vorgesehener Werkzeuge, abweichende Gußrohnteile).
- Parameter der NC-Programme erweisen sich im Prozeß als unangemessen (suboptimale Werkzeuge, Aufspannungen, Verfahwege).
- Die Arbeitsdokumentation von Bearbeitungs- und Prozeßdaten wird nur unzureichend unterstützt.
- Rückführung geänderter NC-Programme in die vorgelagerten Bereiche ist aufgrund der Unterschiede zwischen Programmier- und Steuerungssystem schwierig.
- Programmerstellung und -änderung mittels Zeileneditor sind fehleranfällig und zeitaufwendig.

2. Integration des Facharbeiterwissens über die STEP-Datenschnittstelle

Um diese Defizite nachhaltig zu beseitigen, ist eine Neudefinition der gesamten NC-Verfahrenskette notwendig. Derzeitige CAx-Systeme erlauben – wenn überhaupt – nur einen Austausch geometrischer Daten. Der

Facharbeiter aus der Fertigung muß die Rolle des Integrators selbst übernehmen und in den unterschiedlichen Bereichen der Arbeitsplanung oder Fertigungsplanung die Geometrie mit Fertigungswissen ergänzen und Reihenfolgen der Bearbeitung festlegen (vgl. Schützer 1995). Mit der Entwicklung von STEP als neuer Datenschnittstelle entsteht die Möglichkeit, ganzheitliche Informationen, die über die rein geometrischen Daten weit hinausgehen, auszutauschen. Kommerzielle Programme sind allerdings noch weit davon entfernt, mehr als den Geometriebereich in STEP zu unterstützen (vgl. Rose 1997a).

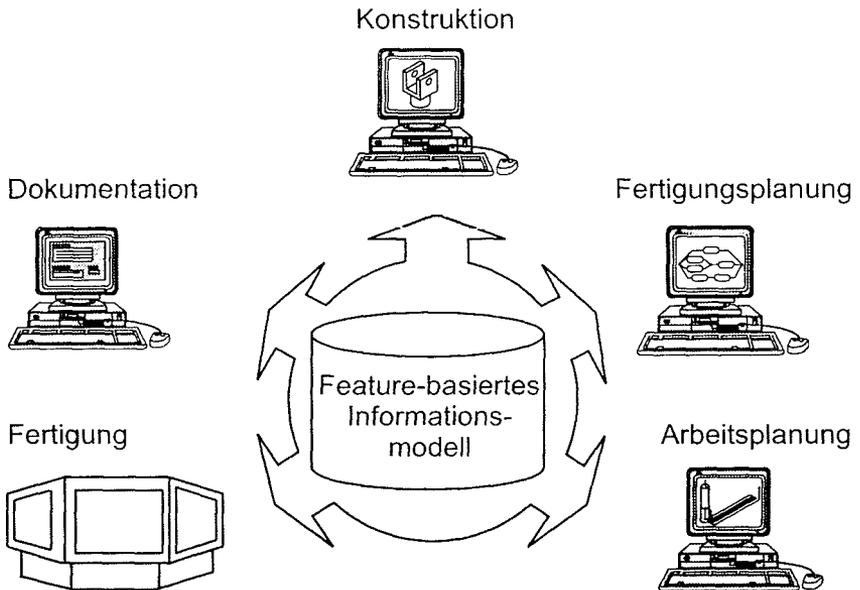


Abb. 4: NC-Verfahrenskette mit zentralem Informationsmodell

Noch schlechter funktioniert der Datenaustausch zwischen CAD/CAM-Systemen und den Maschinensteuerungen. Die erstellten Programme werden per NC-Code nach DIN 66025 übertragen. Dieser enthält geometrische Angaben des Zerspanvolumens, aber nur noch implizit in Form des überstrichenen Hüllvolumens der Werkzeuggeometrie entlang der Werkzeugbahnen. Änderungen in geometrischen Informationen des Roh- oder Fertigteils können somit nicht mehr an der Steuerung durchgeführt werden. Ebenso ist die Aufspannsituation inkl. Vorrichtungen nicht geometrisch im NC-Programm abgebildet. Notwendige Eingriffe sind daher nur manuell über den Zeileneditor möglich.

Anstelle der „Einbahnstraße“ des Datenflusses von den planenden Bereichen hin zur Fertigung kann eine Integration des Facharbeiterwissens nur durch ein gemeinsames zentrales Informationsmodell für alle beteiligten Bereiche gelingen (s. Abb. 4). Dabei liefern die vorgelagerten Bereiche den Basis-Input in Form von geometrischen Daten und Arbeitsplänen. Die Facharbeiter ändern und optimieren auf der Grundlage ihrer Erfahrung diese Vorgaben dann an der Maschine oder fügen fehlende Informationen hinzu.

3. Das Informationsmodell

Das im Projekt WesUF entwickelte Informationsmodell basiert auf Fertigungs-Features, die einzelne Bearbeitungsbereiche in geschlossene Einheiten zusammenfassen. Der Begriff „Feature“ wird in unterschiedlichen Ausprägungen verwendet. Die FEMEX (FEature Modelling EXperts) Gruppe lieferte eine allgemeingültige Beschreibung von Features (vgl. Bär, Weber 1996). Demnach läßt sich ein Feature wie folgt charakterisieren:

- Ein Feature ist ein informationstechnisches Element.
- Es stellt einen Bereich eines Produkts dar, der von besonderem Interesse ist.
- Es beinhaltet neben technischen Daten Angaben zur Semantik.
- Es stellt eine spezifische Sichtweise auf die Produktbeschreibung dar.

Bei der Definition der Features in WesUF wurden bestehende Ansätze der ISO 10303 STEP aus den Application Protocols AP 214 (vgl. ISO 10303 –214 1997) und AP 224 (ISO 10303 –224 1997) berücksichtigt. Im Unterschied zu Formfeature-Definitionen, wie sie in AP 214 oder AP 224 beschrieben sind, enthalten die Fertigungs-Features von WesUF die vollständige technologische und strategische Beschreibung der geplanten Verfahren mit den eingesetzten Werkzeugen.

Jedes Feature wird in einem oder in mehreren Bearbeitungsschritten gefertigt. Ein Bearbeitungsschritt setzt sich aus der Technologie, der Strategie und den Werkzeugdaten für einen Bearbeitungsvorgang zusammen, der mit einem einzigen Werkzeug erfolgt (s. Abb. 5).

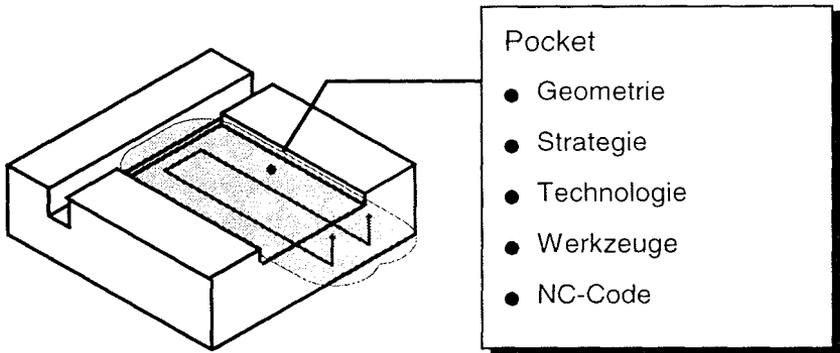


Abb. 5: Beschreibung eines Fertigungs-Features

Die Technologie legt Geschwindigkeiten wie z.B. Vorschub oder Drehzahl fest. Durch die Strategie werden Fräs- oder Bohrverfahren beschrieben, die für das Feature Verwendung finden. Aus diesen Angaben werden in Verbindung mit der geometrischen Beschreibung des Bearbeitungsobjekts und den maschinenspezifischen Angaben die Verfahrenswege generiert. Das Werkstück wird komplett auf Basis dieser Features beschrieben.

Das Informationsmodell enthält eine vollständige Beschreibung zur Fertigung des Werkstücks. Dazu bedarf es neben den eigentlichen geometrischen und fertigungstechnischen Angaben Informationen zur Fertigungsplanung. Da die Bearbeitungsschritte nicht in der Reihenfolge der Bearbeitungsobjekte, sondern nach Sortierkriterien – wie z.B. bestimmten Maschinen, Werkzeugen oder möglichst kurzen Verfahrenswegen – durchgeführt werden, ist das Informationsmodell durch Maschinenmodelle und Teilmaschinenmodelle strukturiert. Im Maschinenmodell werden alle Bearbeitungsschritte gesammelt, die auf einer Maschine abgearbeitet werden (s. Abb. 6).

Zusätzlich können maschinenspezifische Parameter – Bauraum, Anzahl der Achsen oder Korrekturwerte für Wärmegang oder Schleppfehler – berücksichtigt werden. In einem Teilmaschinenmodell werden alle Bearbeitungsschritte zusammengefaßt, die an einer Station bearbeitet werden. Daneben werden für die jeweilige Aufspannung deren Spannmittel und Transformationen abgebildet.

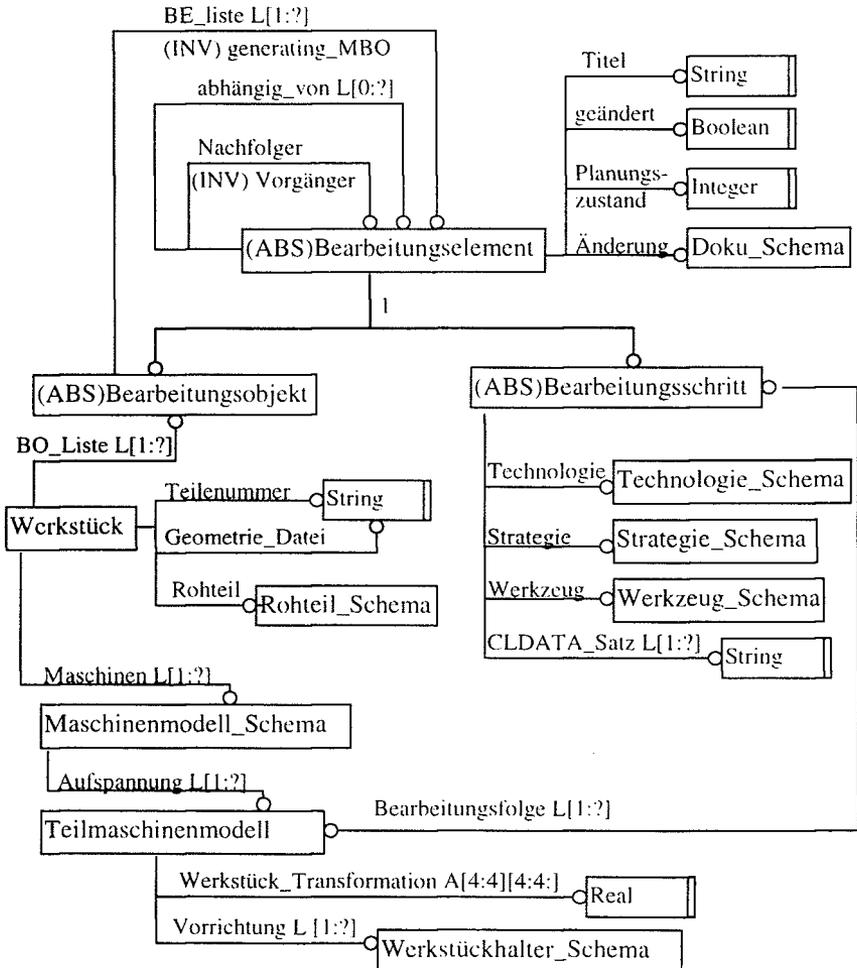


Abb. 6: Informationsmodell

4. Generierung eines Werkstückmodells für WesUF

Ausgehend von der Fertigteilgeometrie des Werkstücks werden signifikante Werkstückbereiche von einer Fachkraft an der Maschine selektiert. Das System generiert automatisch das Zerspanvolumen, das sich für den

rung lokal gespeichert. Beim Laden des aktuellen Programms wird aus den vorhandenen Verfahrenwegen (CLDATA) der NC-Code generiert (s. Abb. 7). Bei Änderungen werden die geänderten NC-Programme neu berechnet und auf der Steuerung lokal gesichert.

Im Gegensatz zur klassischen Verfahrenskette haben die Fachkräfte nun bei Änderungen nicht nur die Verfahrenwege als Manipulationsmedium, sondern direkten Zugriff auf die Bearbeitungsobjekte und -schritte. Zu Kontrollzwecken können die Verfahrenwege graphisch angezeigt werden – Änderungen werden jedoch nur in den Bearbeitungsobjekten oder -schritten vorgenommen. Auf diese Weise ist sichergestellt, daß die Daten des Informationsmodells konsistent bleiben. Im Bedienbereich „Bearbeiten“ werden die sich aktuell in Bearbeitung befindenden Programme eingelesen. Der entsprechende Bearbeitungsschritt wird über OSA-CA dem WesUF-Informationsmodell mitgeteilt und im WesUF-Baum selektiert. Dadurch können sich die Werker einen schnellen Überblick über die aktuelle Bearbeitung verschaffen.

6. Leichter Wechsel zwischen Programmerstellung und Zerspanung

Da durch das neue Prinzip des Informationsmodells die bisherige strikte Trennung von Planung und Ausführung aufgehoben wird, erhalten die Fachkräfte an den Maschinen neue Eingriffsmöglichkeiten während der Bearbeitung. Dadurch wird es ihnen nunmehr möglich, ihre Erfahrungen in die Steuerung des Bearbeitungsprozesses einfacher und vollständiger einzubringen. Gerade beim Einfahren neuer Programme ist der Bedarf an Manipulationsmöglichkeiten besonders groß. Jetzt ist den Fachkräften ein Testen des vorgegebenen Arbeitsablaufs möglich, und sie können bei Bedarf beliebig optimieren. Während bei herkömmlichen Systemen maximal Drehzahl und Vorschub einfach zu verändern sind, können jetzt nicht nur die Technologie, sondern auch der gesamte Bearbeitungsablauf für das Bearbeitungsobjekt geändert werden. Dieser ist als Baum graphisch auf der Steuerungsoberfläche präsentiert (s. Abb. 8). Weiterhin können die geänderten Abläufe durch die graphische Simulation direkt an der Steuerung überprüft werden.

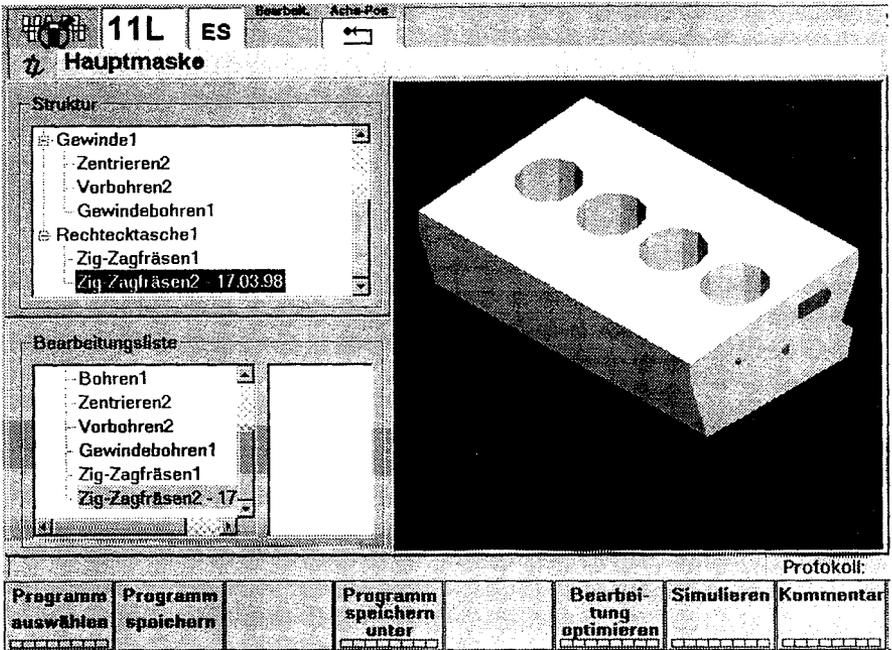


Abb. 8: Objektorientierte Darstellung des Bearbeitungsprogramms

7. Informationsverarbeitung entlang der NC-Verfahrenskette

Die Archivierung und Weitergabe von Erfahrungswerten, z.B. zwischen Schichtkollegen, aber auch in vor- und nachgelagerte Abteilungen, wird von bisherigen Steuerungen kaum unterstützt. Bisher wurde hier hauptsächlich mit „Bleistift und Papier“ gearbeitet. Der Bedarf an einer verbesserten Kommunikation mit anderen Abteilungen ist (wie in Abb. 9 zu sehen) jedoch sehr groß – sei es, um Änderungen in Genauigkeiten mit der Konstruktion abzustimmen, um Betriebsmittel anzufordern oder um Spannsituationen mit der NC-Programmierung abzuklären.

Eine Verbesserung der Kommunikationsmedien durch Installation eines Informationszentrums mit digitaler Kamera, Telefon, Telefax etc. (vgl. Fleig 1997) gibt dem Facharbeiter zwar neue Hilfsmittel zur Informationsbeschaffung an die Hand, doch setzen diese einen verfügbaren An-

sprechpartner voraus. In modernen Produktionsstrukturen müssen jedoch häufig Entscheidungen schnell und eigenverantwortlich von den Facharbeitern in der Produktion getroffen werden. Bei der Breitenerhebung im Projekt HÜMNOS gaben 93 % der befragten Anwender an, daß die Verantwortung der Abteilung Fertigung zunehmen wird (vgl. auch den Beitrag von Rose u.a. in diesem Band, S. 41 ff.).

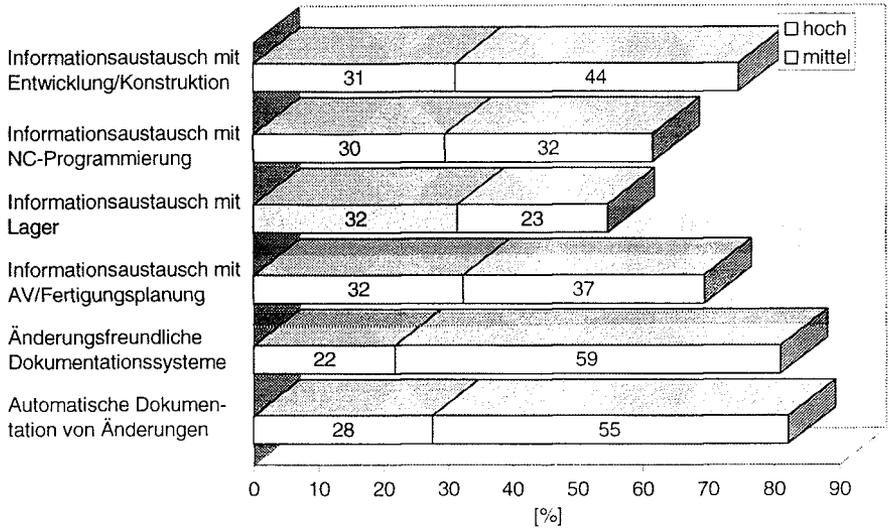


Abb. 9: Bedarf an Informationsaustausch zwischen Abteilungen

Oftmals reicht es für Umplanungen aus, diese selbständig in der Fertigung vorzunehmen, falls es möglich ist, auf alle relevanten Daten der Arbeitsplanung zuzugreifen. Rückfragen bei anderen Unternehmensbereichen sind dann nicht mehr notwendig. Entscheidend ist dabei jedoch eine durchgreifende Strukturierung der geplanten Bearbeitung. Dadurch wird der Zusammenhang zwischen geplanter Strategie und Technologie und dem dazugehörigen Geometriebereich sofort ersichtlich.

Als noch wichtiger schätzen die Anwender eine Verbesserung des Dokumentationswesens der Tätigkeiten ein. Wichtig ist dabei, daß sie soweit wie möglich automatisch erfolgt bzw. auf Daten und Informationen aus der Steuerung zurückgegriffen werden kann. Auch hier muß der Zusammenhang zwischen Dokumentation und entsprechendem Bearbeitungsabschnitt direkt ersichtlich sein.

Abhilfe kann durch die Integration von Dokumentation und Werkstückbeschreibung in einem gemeinsamen Datenmodell geschaffen werden. Dies kann aber nur in einem ganzheitlichen Informationsmodell realisiert werden, wie es WesUF darstellt. Damit besteht die Möglichkeit, zu geänderten Bearbeitungsschritten oder -objekten Kommentare (s. Abb. 10) zu ergänzen, die graphisch markiert werden. Kritische Produktionsabschnitte werden auf diesem Weg bei Übernahme der Programme schneller identifiziert, und zusätzliche Informationen können sofort abgefragt werden.

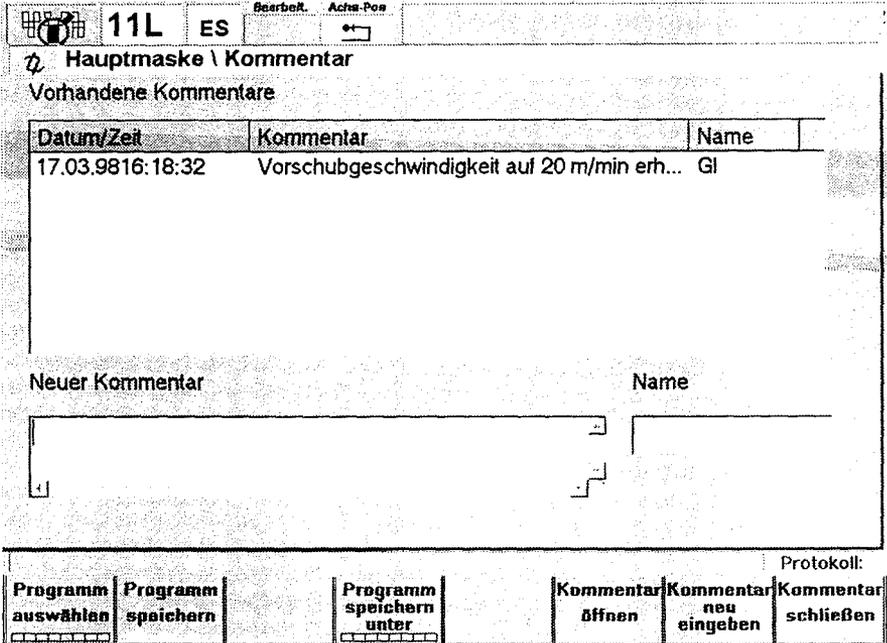


Abb. 10: Dokumentation von Eingriffen in die Bearbeitung

8. Zusammenfassung

Die neue Methode der Bearbeitungsbeschreibung auf der Basis von Bearbeitungsobjekten und -schritten ermöglicht eine wesentlich bessere Handhabung von Bearbeitungsprogrammen und die einfache Integration des Erfahrungswissens des Facharbeiters.

Die wesentlichen Vorteile sind:

- Informationen entlang der NC-Verfahrenskette sind bidirektional austauschbar. Das durch die Erfahrung des Facharbeiters eingebrachte Wissen kann durch das Abbilden auf einem gemeinsamen Datenmodell (Informationsmodell) nun auch den planenden Bereichen durch Rückübertragung zur Verfügung gestellt werden.
- Durch die eindeutige Informationsstrukturierung kann sich der Facharbeiter besser auf die kritischen Arbeitssituationen (z.B. kurzfristige Werkzeugwechsel aufgrund von Werkzeugbruch) konzentrieren und somit die Prozeßbeherrschung entscheidend verbessern.
- Der Facharbeiter kann ohne Schwierigkeiten aufgrund seiner Erfahrung ein NC-Programm einfach und schnell ändern.
- Der Zugriff auf die Planungsdaten wird durch die Strukturierung in Bearbeitungsobjekte und -schritte erheblich erleichtert.
- Gemeinsames Arbeiten auf Basis eines Datenmodells schafft darüber hinaus eine konsistente und redundanzfreie Beschreibung der Bearbeitungsaufgabe.
- Definition und Dokumentation der Bearbeitung erfolgen in einem einzigen Datenmodell.

Hartmut Schulze, Marco Litto, Helmuth Rose, Alfred Storr

Handlungsbaustein Diagnose im Interaktionssystem – Technische Unterstützung erfahrungsbasierter Störungsbewältigung in der Serienfertigung

1. Zielsetzung für das HÜMNOS-Diagnosemodul aus Sicht von Anwendern und Herstellern
2. Analyse der Störungsbewältigung
3. Anforderungen an ein einheitliches und erfahrungsförderliches Diagnosesystem
4. Konzept für ein einheitliches und erfahrungsförderliches Diagnosesystem
5. Realisierung des HÜMNOS-Diagnosemoduls
6. Zusammenfassung und Ausblick

Im HÜMNOS-Verbund wurde ein Prototyp für den Handlungsbaustein „Diagnose“ im Interaktionssystem entwickelt und in ersten Evaluationen von Fachkräften bewertet. Mit dem HÜMNOS-Diagnosemodul konnte das Potential einer offenen Steuerungsarchitektur für die Entwicklung wiederverwendbarer und nutzerorientierter Anwendungsapplikationen exemplarisch demonstriert werden. Der Prototyp setzte dabei sowohl auf einer Schwachstellenanalyse bisheriger Diagnosesysteme als auch auf einer vertiefenden Untersuchung des Arbeitshandelns von Produktionsmitarbeitern vor Ort bei der Störungsbewältigung auf. In diesem Beitrag werden Anforderungen an ein verbessertes Diagnosesystem für die Serienfertigung aus Sicht von Hersteller- und Anwenderunternehmen und aus der Sicht von Werkern und Instandhaltern dargestellt. Darauf aufbauend wird das Diagnosemodul in seiner Konzeption und Realisierung beschrieben.

1. Zielsetzung für das HÜMNOS-Diagnosemodul aus Sicht von Anwendern und Herstellern

Entwicklung, Optimierung und Pflege von Diagnosesystemen erfordern im Maschinen- und Anlagenbau eine enge Kooperation zwischen Herstellerbetrieben und Anwenderfirmen. Absprachen zwischen Herstellern und Anwendern sind um so mehr gefordert, je mehr Anwendungsmodulare auf die spezifischen Bedingungen der Produktionsarbeit beim Anwender vor Ort hin ausgelegt werden sollen. Dabei unterscheiden sich jedoch die Anforderungen und Perspektiven, die Hersteller und Anwender jeweils mit der Entwicklung von Diagnosesystemen verbinden.

1.1 Ziele von Anwenderunternehmen

Für Anwenderfirmen stehen die *Leistungsfähigkeit* und die *einfache Benutzbarkeit* von Diagnosesystemen bei der Störungsbewältigung im Vordergrund. Trotz hohen Forschungs- und Entwicklungsaufwands liegt die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen in der Serienfertigung seit Ende der 80er Jahre bei ca. 70 % (vgl. Schüpbach 1994, S. 64). Die bisher mit der Perspektive einer möglichst automatischen Ursachenerkennung entwickelten Systeme sind offensichtlich nicht in der Lage, die Ausfallzeiten entscheidend zu verringern. Weiterhin sind zusätzliche Applikationen aufgrund fehlender Schnittstellen zwischen Steuerungen und Anwendungsmodulen nur mit enormem Zusatzaufwand in einen bestehenden Maschinen- und Steuerungspark integrierbar. Die große Vielfalt der eingesetzten Systeme erschwert eine einheitliche Benutzung aufgrund der unterschiedlichen Handhabungslogiken. Insbesondere ist eine flexible Betreuung – wie für erfolgreiche Gruppenarbeit erforderlich – behindert, da nicht alle Mitarbeiter alle Steuerungen gleichermaßen beherrschen. Insofern haben die Anwender vor allem ein Interesse an Diagnosesystemen, die sich nach Art lernender Systeme an die spezifischen Rahmenbedingungen vor Ort adaptieren lassen und deren Benutzung nutzerorientiert und nach herstellerübergreifend einheitlichen Prinzipien organisiert ist.

1.2 Ziele von Herstellerunternehmen

Für Hersteller von Diagnosesystemen sind die *kostengünstige Entwicklung* und *Optimierung* sowie die *Wiederverwendbarkeit entwickelter Lösungen* entscheidend. Fehlende Schnittstellen zu den Steuerungen stellen

dabei ein gravierendes Hindernis dar. Dies wird besonders dann deutlich, wenn in verketteten Systemen im Verbund von Steuerungen verschiedener Hersteller Diagnoseinformationen bereitgestellt und verarbeitet werden sollen. In der Regel ist ein besonderer Anpassungsaufwand notwendig, um auf benötigte Daten einheitlich in der gesamten Anlage zugreifen zu können. Aufgrund des Kostendrucks in der Werkzeugmaschinenindustrie liegt hier der gemeinsame Nenner häufig bei nur einer Schnittstelle, die es erlaubt, Fehlermeldungen verschiedener Steuerungen einheitlich anzuzeigen. Für die Praxis ist dies oft nicht ausreichend.

Einer Wiederverwendbarkeit entwickelter Module und technischer Lösungen, die für eine günstige Kosten-Nutzen-Bilanz auf seiten der Hersteller ausschlaggebend ist, stehen ebenfalls Hindernisse entgegen. Bisher ist es den Herstellern z.B. noch kaum möglich, die in steuerungsinternen Logbüchern bei Anwendern erfaßten Störungsdaten übergreifend auszuwerten und für ähnliche Situationen zu nutzen. Eine Ursache hierfür liegt in der mangelnden Strukturierung der Informationen in Logbüchern.

1.3 Offene Steuerungsarchitektur als Lösungsansatz

Neue Möglichkeiten, die Anforderungen der Hersteller mit denen der Anwender zu vereinen, eröffnete das Projekt OSACA (vgl. Idas-Osaca 1997). In dem auf OSACA aufsetzenden Projekt HÜMNOS wurde der Lösungsansatz verfolgt, mittels der Entwicklung praxisgerechter Anwendungsmodule die Potentiale offener Steuerungen exemplarisch zu demonstrieren. Eine dieser Applikationen stellte ein Diagnosemodul dar, das einerseits herstellerübergreifend und wiederverwendbar einsetzbar sein und andererseits das Arbeitshandeln von Werkern und Instandhaltern bei der Störungsbewältigung besser als bisher unterstützen sollte.

2. Analyse der Störungsbewältigung

Zur Ableitung von Anforderungen an ein Diagnosemodul zur besseren Unterstützung von Nutzern wurde im Projekt HÜMNOS zweigleisig vorgegangen. Einer Analyse von Schwächen und Defiziten der in der Serienfertigung eingesetzten Diagnosesysteme schloß sich eine Untersuchung des Handelns von Werkern und Instandhaltern bei der Bewältigung von Störungen an. Zu diesem Zweck wurden schichtbegleitende Beobachtun-

gen des Arbeitshandelns vor Ort und fokussierte Interviews mit Fachkräften durchgeführt. Ausgangspunkt der Störungsbewältigung stellen in der Serienfertigung ganz überwiegend Maschinenstillstände dar, die von den Fachkräften schnellstmöglich bemerkt werden müssen. Die Wahrnehmung sich anbahnender Störungen, die in der Einzelfertigung u.a. im Rahmen des Projekts CeA (Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit) untersucht wurde (vgl. Martin 1995), nahm in den Untersuchungen einen geringeren Stellenwert ein und wird daher an dieser Stelle vernachlässigt.

2.1 Schwachstellen herkömmlicher Diagnosesysteme

Die im Projekt HÜMNOS durchgeführte *Schwachstellenanalyse* offenbarte gravierende Defizite der Diagnosesysteme, die in den Anwenderbetrieben im Bereich der Serienfertigung zum Einsatz kamen. Als besonders hinderlich erwies sich ihre mangelnde Eignung, Werker und Instandhalter bei der Störungsbewältigung angemessen zu unterstützen. Insbesondere setzten die Systeme nicht am Erfahrungswissen der Fachkräfte an; eine diesbezügliche Unterstützung fehlte nahezu gänzlich. Tabelle 1 zeigt eine Ergebnisübersicht, in der charakteristische Schwachstellen zentralen Handlungsabschnitten der Störungsbewältigung zugeordnet sind, die weiter unten dargestellt werden.

Die *mangelnde Adaptierbarkeit* an spezifische Fertigungsbedingungen hat sich in den empirischen Untersuchungen als eine der größten Schwachstellen herkömmlicher Diagnosesysteme erwiesen. Eine Anreicherung der Datenbasis mit neuen oder zusätzlichen Störinformationen und mit Erfahrungswerten ist überwiegend nicht vorgesehen. Die befragten Werker und Instandhalter formulierten einen großen Technikbedarf in Richtung einer angemesseneren Unterstützung bei der Bewältigung von Erststörungen wie auch von Wiederholstörungen. Dabei bietet gerade auch eine bessere technisch-organisatorische Unterstützung der Bewältigung von Wiederholstörungen ein relevantes Produktivitätspotential. In den empirischen Untersuchungen fiel der hohe Anteil von Störungen auf, die den Fachkräften vor Ort bekannt waren. Abbildung 1 zeigt die von Werkern und Instandhaltern grob geschätzte Verteilung von Störfällen in der Serienfertigung.

Handlungsabschnitt	Schwachstellen von Diagnosesystemen
Störungswahrnehmung und Ursachenklärung	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlerbeschreibungen des Systems sind häufig falsch, ungenau, mehrdeutig und nicht maschinenspezifisch oder fehlen • Fehlerbeschreibungen geben kaum Hinweise auf den Fertigungskontext und die Störungshistorie • Fehlerklassifikationen können nicht maschinenspezifisch angepaßt werden • Neue Störgründe können nicht ergänzt werden • Der Störort kann nicht angezeigt werden
Störungsbehebung und Wiederanfahrt	<ul style="list-style-type: none"> • Hinweise für Störungsbehebungen fehlen häufig • Dokumentationen der Elektrik, der Mechanik und Beschreibungen von Maschinenfunktionen sind häufig nicht an der Maschine zugreifbar • Hinweise und Funktionen zum störungsfreien Spindelrückzug in die Grundstellung sind nicht vorgesehen
Dokumentation	<ul style="list-style-type: none"> • Dokumentieren wird technisch unzureichend unterstützt • Die Tätigkeit des Dokumentierens ist nicht in die Mensch-Maschine-Interaktion einbezogen • Schwachstellenanalysen sind erschwert, da Diagnosedaten und sonstige Produktionsdaten getrennt archiviert werden
Benutzen des Systems	<ul style="list-style-type: none"> • Übertragen von Benutzungserfahrung von einem System auf ein anderes ist infolge hersteller- und generationsspezifischer Unterschiede behindert • Orientierung über das System ist infolge tief gestaffelter Menüs und durch die Verwendung facharbeitsfremder Begriffe erschwert

Tab. 1: Schwachstellen herkömmlicher Diagnosesysteme

Der hohe Anteil der von den Werkern direkt behobenen Störungen deckt sich mit früheren Untersuchungen. Schüb bach und Kuark ermittelten in einem weitgehend automatisierten Fertigungssystem einen Anteil selbst behobener Störungen an der Gesamtzahl aller störungsbedingten Maschinenstillstände von „rund 70 %“ (vgl. Schüb bach 1994, S. 111). Der Zeitvorteil einer unmittelbaren Bewältigung vor Ort ließe sich noch steigern, wenn die Behebung von Wiederholstörungen besser unterstützt würde. Vor diesem Hintergrund kommt der Organisation eines Erfahrungsaus-

tauschs eine herausragende Bedeutung zu. Sowohl in der Gruppe von Facharbeitern als auch in der Gruppe der Instandhalter ist im Vergleich zum Erfahrungsspektrum einer einzelnen Fachkraft eine größere Anzahl von Störungen bekannt. Bei der Dokumentation und beim Austausch von Erfahrung werden die Fachkräfte bisher technisch und organisatorisch jedoch kaum unterstützt. Infolgedessen wurde in den Untersuchungen z.B. nur von sporadisch stattfindenden Gruppenbesprechungen im Anschluß an besonders gravierende oder exemplarische Störungen berichtet. Auch das Anfertigen von Dokumentationen geschieht eher selten – zu groß sei der Produktionsdruck direkt im Anschluß an eine Störung.

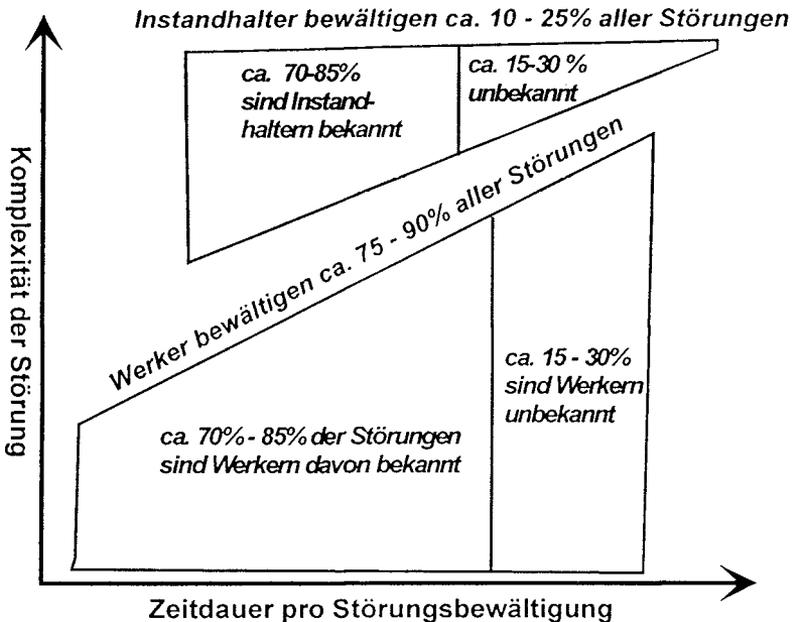


Abb. 1: Schätzung von Störungsanteilen

2.2 Merkmale der Störungsbewältigung von Produktionsarbeitern

Das Handeln von Fachkräften bei der Störungsbewältigung basiert sowohl auf Fachwissen, z.B. über den Systemaufbau und -ablauf, als auch auf praktischen Erfahrungen mit Störungsverläufen. Der Einfluß von Fachwissen und kognitiven Diagnosestrategien ist in der Literatur bereits

breit beschrieben (vgl. Konradt 1996). Weniger gut erforscht ist der Einfluß der Erfahrung und deren Wechselwirkung mit dem Fachwissen und dem Handeln (vgl. Wehner, Waibel 1996). Im folgenden werden auf der Basis der Analysen Merkmale der Störungsbewältigung in Zusammenhang mit der Erfahrung von Produktionsarbeitern beschrieben.

2.2.1 Die Handlungssequenz „Störungsbewältigung“

In den Analysen des Arbeitshandelns zur Bewältigung von Störungen fand sich eine typische Abfolge von Handlungsabschnitten, im folgenden Handlungssequenz genannt. Die einzelnen Handlungen der Werker und Instandhalter gliedern sich in unterscheidbare Abschnitte, die im Idealfall von der Wahrnehmung einer bereits eingetretenen Störung bis hin zur Dokumentation reichen:

- *Störungswahrnehmung*: Die Werker sind in der Regel die ersten, die auf einen Maschinenstillstand oder ähnlich gravierende Folgen eines Fehlers im Maschinen- und Anlagensystem aufmerksam werden. Den ersten Schritt einer Störungsbewältigung beschrieben sie als ein Aufmerksam-Werden auf eine eingetretene Störung. Die Instandhalter werden demgegenüber erst aktiv, wenn sie von den Werkern hinzugezogen werden.
- *Ursachenklärung*: Das Vorgehen der Werker und Instandhalter bei der Klärung der Ursachen einer Störung umfaßt verschiedene Aspekte. Charakteristisch findet sich ein voranschreitender Orientierungsprozeß, der sich auf die mit der Störung einhergehenden Merkmale bezieht. In der Regel handelt es sich um Informationen, die ohne ein Verfahren der Maschine zugänglich sind. Darüber hinaus kennzeichnet sich die Ursachenklärung durch einen mehr oder weniger expliziten Prozeß der Hypothesenbildung und -prüfung, in dessen Verlauf dann auch Maßnahmen ergriffen werden, die eine Veränderung des Maschinenzustands nach sich ziehen. Ein sehr häufiger Eingriff besteht in diesem Zusammenhang in der vorsichtigen Reproduktion der Störung durch ein Wiederanfahren der Maschine.
- *Störungsbehebung*: Haben die Werker bzw. die Instandhalter Fehler als ursächlich für die Störung identifiziert, so ergreifen sie Maßnahmen mit dem Ziel, die Störungsursache zu beheben. Werden z.B. kurzfristige Irritationen der sensorgesteuerten Überwachungssysteme durch

Späne erkannt, besteht die Störungsbehebung lediglich in einem „Wegdrücken“, d.h. in einem Quittieren der Fehlermeldung über die Steuerung. Auch das Hinzuziehen von Experten (z.B. Kollegen, Systemführer, Instandhalter oder Monteure der Herstellerfirma) im Anschluß an die Bewertung, daß eine eigene Behebung mit vertretbarem Aufwand nicht möglich ist, stellt hier eine Maßnahme zur Behebung dar.

- *Wiederanfahrt*: Nach der (beabsichtigten) Behebung der Störungursache wird die Produktion wieder angefahren – probeweise und vorsichtig. Die Wiederanfahrt stellt dabei nicht nur den Abschluß der Störungsbewältigung dar. Ihr kommt vielmehr innerhalb der Handlungssequenz eine bedeutsame Kontrollfunktion zu, indem sie Aufschluß darüber gibt, ob der ursächliche Fehler tatsächlich identifiziert und behoben wurde, oder ob weitere Maßnahmen zur Ursachenklärung und Behebung notwendig sind.
- *Dokumentation*: Die Handlungssequenz der Störungsbewältigung endet aus Sicht der Werker und Instandhalter mit dem Dokumentieren der Merkmale der Störung, der identifizierten Ursachen und der letztlich erfolgreichen Maßnahmen zur Störungsbehebung, um eine Bewältigung im Wiederholungsfall zu unterstützen.

In jedem dieser einzelnen Abschnitte der Handlungssequenz zur Störungsbewältigung fanden sich mitlaufende Bewertungsschleifen. Die Fachkräfte wogen immer wieder den Aufwand und Nutzen von in Frage kommenden Maßnahmen zur Störungsbewältigung ab. In Tabelle 2 sind den verschiedenen Handlungsabschnitten Einzeltätigkeiten zugeordnet, wie sie sich in den Beobachtungen und Interviews herauskristallisiert haben.

Die dargestellte Handlungssequenz zur Störungsbewältigung bildet in ihrer Gesamtheit ein idealisiertes Vorgehen ab, wie es die Werker und Instandhalter in den Interviews als optimal beschrieben haben. In der Praxis fanden sich in allen Abschnitten mehr oder weniger große Behinderungen. Wie schon erwähnt, wurde nur sehr vereinzelt und nahezu ohne jede technische Unterstützung dokumentiert, wobei gleichzeitig das Festhalten bewältigter Störungen als besonders wichtig für eine effiziente Bewältigung von Wiederholstörungen angesehen wurde.

Die einzelnen Handlungsabschnitte der Sequenz werden von den Workern und Instandhaltern in ihrem Inhalt und in ihrer Aufeinanderfolge

Handlungsabschnitte	Typische Einzeltätigkeiten
Störungswahrnehmung	<p>Aufmerksam werden auf eine Störung u.a.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • anhand von Störlampen • anhand von Fehlermeldungen des Diagnosesystems • anhand von Meldungen aus der Qualitätsprüfung
Ursachenklärung	<p>Orientieren und Bemerkern von Auffälligkeiten durch Begutachten u.a.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • des Bearbeitungsstands • des Werkzeug- und Werkstückzustands • der Spindelstellung • des Bearbeitungsinnenraumes <p>Bilden und Prüfen von Hypothesen über die Störungsursachen u.a. durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überprüfen symptombezogener Erfahrungswerte • tastende Suche nach weiteren Merkmalen und Symptomen (z.B. Rekonstruktion der Störung mittels Wiederanfahren) • Eingrenzen von Störort und Störart • Hinzuziehen von „Experten“
Störungsbehebung	<p>Beseitigen von Störungsursachen u.a. durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • „Quittieren“ der Störung über die Steuerung • Austausch defekter Teile • Reparatur
Wiederanfahrt	<p>Wiederanfahren der Maschine u.a. durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • „Freifahren“ der Spindel in Grundstellung • satzweises Abfahren des Bearbeitungsprogramms • Umschalten in den Automatikbetrieb
Dokumentation	<p>Aufbereiten von Erfahrung u.a. durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • individuelle Störungsbücher (z.B. Skizzen über Fehlerort, Beschreibung von Symptomen, Ursachen und Behebungsmaßnahmen) • maschinenspezifische Störungsbücher • Erfahrungsaustausch in der Gruppe über exemplarische Störfälle im Anschluß an eine Störungsbewältigung

Tab. 2: Einzeltätigkeiten der Störungsbewältigung

flexibel an die jeweilige Störsituation angepaßt, z.B. wird nicht immer die gesamte Abfolge vollständig durchlaufen. Zum Teil erkennen die Fachkräfte schon bei der ersten Orientierung, daß es sich um eine sehr komplexe Störung handelt, die sie nur mit viel Aufwand selbst beheben können. In solch einem Fall ziehen sie dann sofort weitere Experten hinzu. Die Sequenz kann während eines Störungsfalles auch mehrmals durchlaufen werden, wenn z.B. bei der ersten Störungsbewältigung der ursächliche Fehler nicht behoben wird. Ebenso handelt es sich des öfteren auch nicht um einen Hypothesenbildungsprozeß im eigentlichen Sinn. Häufig prüfen die Werker und Instandhalter unmittelbar die bereits infolge der ersten Begutachtung aufgrund ihrer Erfahrung „vor Augen stehenden“ wahrscheinlichen Fehlerquellen. Die flexible Abfolge der einzelnen Abschnitte der Handlungssequenz ist in Abbildung 2 veranschaulicht:

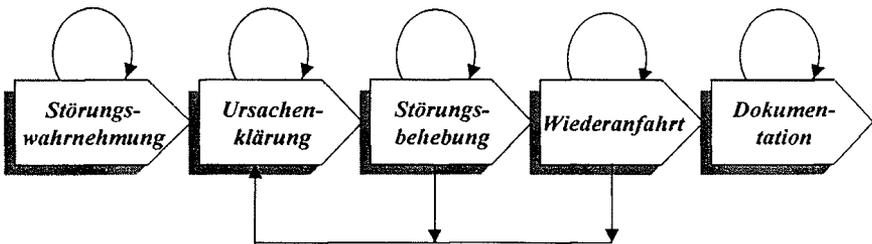


Abb. 2: Handlungssequenz Störungsbewältigung

Das Besondere der beschriebenen Handlungssequenz liegt für die Werker darin, daß sie ihnen Orientierung verschafft, in welchem Schritt der Störungsbewältigung sie sich befinden. Durch die Unterteilung der Störungsbewältigung in verschiedene Abschnitte und basierend auf ihren Erfahrungen mit der zeitlichen Struktur von Störungsverläufen sind sie in der Lage, nach Bewertung von Aufwand und Nutzen situationsoptimale Maßnahmen einzuleiten.

2.2.2 Der Stellenwert von Erfahrung bei der Störungsbewältigung

Der Erfahrung der Fachkräfte kommt bei der Störungsbewältigung in jedem Abschnitt der Störungssequenz eine herausragende Bedeutung zu. In den Beobachtungen des Arbeitshandelns im Rahmen der empirischen Untersuchungen fand sich ein großes Spektrum *erfahrungsbasierter Erkenntnisleistungen*.

Bereits beim ersten Orientieren über eine Störung, z.B. anhand der Störungsmeldung oder durch einen „Blick“ in den Maschineninnenraum, fallen erfahrenen Fachkräften Abweichungen vom Normalzustand auf. Diesem Erkennen von Ungewöhnlichem und Abweichendem liegen Vorstellungen darüber zugrunde, was in einer spezifischen Situation als normal anzusehen ist (vgl. Schulze, Witt 1997). Eine solche Hintergrundvorstellung eines Normallaufs wird im täglichen Erleben des Fertigungsprozesses mit den Maschinen und ihren spezifischen „Macken“ oder „Marotten“ (Fischer u.a. 1995) erworben. Im Erleben zeigt sich das Entdecken von Abweichendem als ein Spektrum von Wahrnehmungen, die von vagen und gefühlsmäßigen Ahnungen bis hin zu einer hohen Gewißheit reichen, daß einem bestimmten Symptom in einem spezifischen Fertigungskontext eine bestimmte Ursache zugrundeliegt. Solche auf Erfahrung beruhenden Verknüpfungen zwischen Symptom und Ursache sind mit *symptombezogenen Erfahrungswerten* gemeint. Die folgende Beschreibung einer Störungsbewältigung aus der teilnehmenden Beobachtung gibt hierfür ein charakteristisches Beispiel: Ein Facharbeiter an einer Transferstraße untersuchte bei der Fehlermeldung „Werkzeugbruch“ am Montagmorgen bei Schichtbeginn direkt die zu diesem Zeitpunkt an dieser Anlage sehr häufig auftretende Ursache „verharztes Kühlschmiermittel auf der Werkzeugschneide“ durch Inaugenscheinnahme des Werkzeugs. In dem Fall verstand der Werker aufgrund seiner Erfahrung die Fehlermeldung „Werkzeugbruch“ als Symptom für eine ganz bestimmte Ursache. Typisch an dieser Beobachtung ist, daß Werker, wenn sie eine aktuelle Störung aufgrund der Merkmale und Symptome als weitgehend ähnlich zu einem bereits bekannten Störfall erkennen, direkt prüfen, ob die bekannte Fehlerursache für die aktuelle Störung zutrifft. Symptombezogene Erfahrungswerte ermöglichen die Bewältigung von ca. 75 bis 90 % aller auftretenden Störungen (s. Abb. 1).

Über die Entdeckung von Abweichungen vom Normalen und über die Ausbildung von symptombezogenen Erfahrungswerten hinaus zeigt sich Erfahrung bei der *Auswahl und dem Einsatz von Vorgehensweisen*, wenn die Störung den Werkern unbekannt ist. In solchen Fällen stehen ihnen keine symptombezogenen Erfahrungswerte über wahrscheinliche Ursachen zur Verfügung. In den teilnehmenden Beobachtungen konnten mehrere Vorgehensweisen bei der Ursachenklärung (s. Abb. 2) neuer bzw. unbekannter Störungen unterschieden werden:

- Eine Vorgehensweise läßt sich als ein *tastendes Suchen* nach aussagekräftigen Symptomen und Merkmalen beschreiben. Hierzu zählt u.a.

die Rekonstruktion einer Störung durch das schrittweise Wiederanfahren der Maschine. Auch die Suche nach weiteren Symptomen, die zunächst nicht unmittelbar zugänglich sind – wie beispielsweise das Messen von elektrischen Spannungszuständen an bestimmten Meßpunkten –, ist hierfür typisch.

- Eine weitere Vorgehensweise besteht in einem *Eingrenzen von Ort und Art der Störung*. Fachkräfte unterscheiden z.B. zwischen *Maschinenstörungen* und *Prozeßstörungen* und versuchen eine Zuordnung der vorliegenden Störung in diese Kategorien. Einer Maschinenstörung liegt ein Ausfall oder ein Verschleiß von Maschinenkomponenten zugrunde. Ein typisches Beispiel ist der Ausfall eines Näherungsschalters durch Kühlschmiermittel. Weitere Differenzierungen betreffen die Art der Maschinenkomponenten (z.B. mechanisch oder elektrisch). Von einer Prozeßstörung sprechen die Fachkräfte dann, wenn eine Störung durch Einflußgrößen ausgelöst wird, die in Zusammenhang mit der spanenden Bearbeitung stehen. Dazu zählen z.B. Spanflug, Programmparameterfehler, Werkzeugverschleiß und -bruch. Maßnahmen zum Eingrenzen von Störungen gehen in komplexen Fällen bis hin zum systematischen Nachvollzug des Systemablaufs (z.B. Spannungsverläufe).
- Im Falle neuer Fehler kommt darüber hinaus ein weiteres Prinzip zum Zuge, das sich als *kooperative Störungsbewältigung* bezeichnen läßt. Je nachdem, ob es sich um eine Störung handelt, von der bekannt ist, daß sie von der Fachkräftegruppe schon einmal bewältigt wurde (Hinzuziehung von Kollegen), es sich um einen Bearbeitungsprogrammfehler handelt (Hinzuziehung von Programmierern), ein mechanisches Bauteil (Hinzuziehung von Instandhaltern mit der Fachrichtung Schlosser) oder ein elektrisches Bauteil defekt ist (Hinzuziehung von Instandhaltern mit der Fachrichtung Elektriker), werden verschiedene Experten hinzugezogen.

Bei all diesen Vorgehensweisen im Falle einer den Fachkräften unbekannt Störung geht es ihnen darum, möglichst schnell einen Überblick über das Ausmaß der Störung, ihren Ort und ihre Art zu gewinnen. Dies ist notwendig, um einerseits Aufwand und Nutzen einer eigenen Bewältigung abwägen und um andererseits jene Experten hinzuziehen zu können, die für eine Bewältigung aufgrund ihrer Fachkenntnisse und Erfahrung am ehesten geeignet sind. Die Erfahrung der Werker zeigt sich somit bei bekannten oder ähnlichen Störungen in Form systembezogener

Erfahrungswerte und bei neuen Störungen in Auswahl und Durchführung geeigneter Vorgehensweisen.

2.2.3 Merkmale kooperativer Störungsbewältigung durch Werker und Instandhalter

In den Untersuchungen konnte des öfteren eine erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Werkern und Instandhaltern auf der Basis eines gegenseitigen Erfahrungsaustauschs beobachtet werden. Dabei stellt die Integration der verschiedenen Perspektiven und Sichtweisen eine besondere Leistung dar. Die jeweiligen Sichtweisen gründen auf Vorstellungen über den Prozeßablauf und über die Funktions- und Benutzungsbedingungen des Maschinensystems. Die entstehende Transparenz der ablaufenden Prozesse und Eingriffsmöglichkeiten wird geprägt durch die Art und Weise des täglichen Handelns. Die jeweiligen Orientierungen des Handelns und die resultierenden unterschiedlichen Ausformungen von Transparenz bei Werkern und Instandhaltern zeigt Abbildung 3.

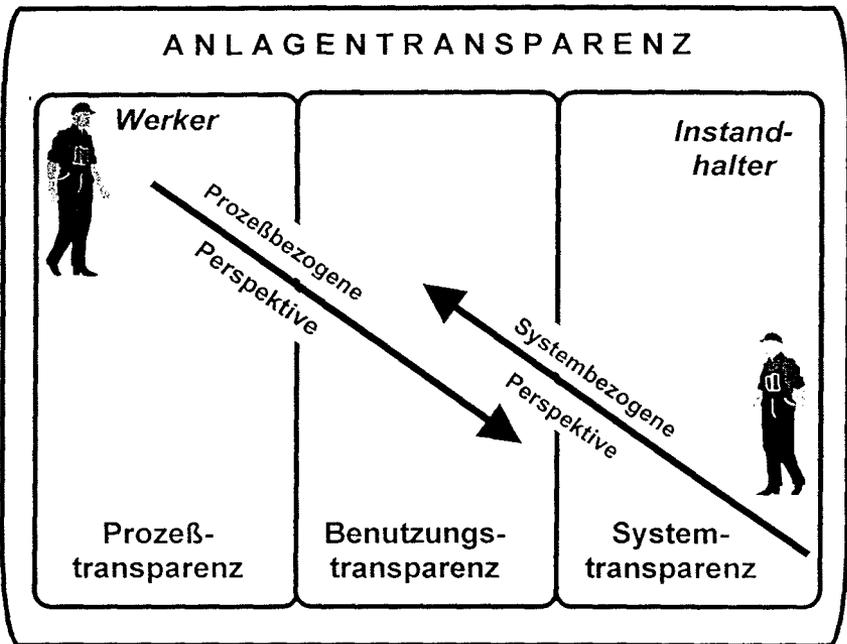


Abb. 3: Sichtweisen von Werkern und Instandhaltern

Werker nähern sich Störungen vom technologischen Bearbeitungsprozeß her. Dies resultiert aus ihrer fertigungsbezogenen Handlungsorientierung; ihr Handeln zielt vor allem auf die Optimierung und Aufrechterhaltung des Bearbeitungsprozesses ab. Instandhalter denken stärker in Maschinen- und Systemabläufen, ihr Handeln ist auf das möglichst schnelle Wiederherstellen der maschinellen Funktionsfähigkeit ausgerichtet. Werker und Instandhalter bilden somit entsprechend ihres Handlungs- und Erfahrungshintergrundes unterschiedlich ausgeprägte Transparenzformen aus, die sie in die gemeinsame Störungsbewältigung einbringen:

- *Werker* bringen vor allem eine ausgeprägte *Prozeßtransparenz* ein, die auf Informationen aus dem Bereich des Bearbeitungsprozesses gründet, z.B. auf Informationen über vollzogene Bearbeitungsschritte, über den Spindelstand oder über den Werkstückzustand. Ihre Transparenz über die Benutzung des Maschinensystems bezieht sich hauptsächlich auf die Verwendung und Handhabung technologischer Funktionen, so z.B. zum Verfahren der Achsen etc.
- *Instandhalter* bringen vor allem eine ausgeprägte *Systemtransparenz* ein, die sich auf Informationen über interne Steuerungs- und Datenabläufe gründet. Bei der Bewältigung komplexer Störungen kommt Informationen aus dem Bereich des Maschinensystems eine große Bedeutung zu, wie z.B. den Prüfergebnissen von Daten- und Signalflüssen. Die Benutzungstransparenz von Instandhaltern betrifft stärker die Handhabung von Funktionen zur Analyse des Maschinensystems.

In der Zusammenarbeit können beide voneinander profitieren: der Instandhalter, indem der Werker ihm den Störungsverlauf im Kontext des Bearbeitungsprozesses schildert und das Betätigen der Maschinenfunktionen übernimmt, und der Werker, indem er etwas über Datenflüsse und Prüfmöglichkeiten erfährt und zukünftig einige Prüfungen selbst vornehmen kann. Eine gelingende kooperative Störungsbewältigung zeichnet sich durch einen Erfahrungstransfer aus, in dessen Verlauf beide anhand eines konkreten Störfalles nachvollziehen, wie der andere jeweils denkt. Dies äußert sich beispielsweise, wenn Werker als Ergebnis ihres Vorgehens günstige Voraussetzungen für die Arbeit der Instandhalter schaffen. So fuhren die Werker in den Untersuchungen des öfteren die Maschine in einen Zustand, der für die Instandhalter besonders aussagekräftig war. Voraussetzungen für einen funktionierenden Erfahrungsaustausch bestehen in gegenseitiger Wertschätzung der jeweils anderen Ar-

beit und in einem gleichberechtigten Umgang miteinander. In diesem Zusammenhang sind organisatorische Rahmenbedingungen angesprochen, die an dieser Stelle nicht vertieft werden können. Sie betreffen u.a. eine Förderung der Herausbildung gemeinsamer Ziele, z.B. über die Formulierung nur gemeinsam zu erfüllender Hauptaufgaben, oder schaffen Möglichkeiten für zufällige Begegnungen und Absprachen.

3. Anforderungen an ein einheitliches und erfahrungsförderliches Diagnosesystem

Aus den dargestellten Befunden zur Störungsbewältigung von Werkern und Instandhaltern und den darauf bezogenen Defiziten herkömmlicher Diagnosesysteme lassen sich aus Sicht von Anwendern und Herstellern Anforderungen an ein Diagnosemodul ableiten, die in Tabelle 3 zusammengefaßt sind:

Zur Umsetzung dieser Anforderungen wurde im Projekt HÜMNOS zunächst ein Gesamtkonzept für ein Diagnosesystem erarbeitet. Darauf aufbauend wurden anschließend einige Benutzungsfunktionen zur Unterstützung der Bewältigung von Wiederholstörungen in einem Diagnosemodul spezifiziert und realisiert.

4. Konzept für ein einheitliches und erfahrungsförderliches Diagnosesystem

Zur Umsetzung der verschiedenen Anforderungen von Herstellern und Anwendern wurde im Rahmen des Projektes HÜMNOS ein umfassendes Diagnosekonzept entwickelt, das – wie in Abbildung 4 dargestellt – anhand der Aufgabenbereiche Störungsbewältigung, Anlagentransparenz und Störungsvermeidung strukturiert wird. Dabei wurde auf Ergebnisse der Projekte AIS (Anlageninformationssystem, gefördert vom Wirtschaftsministerium des Landes Baden-Württemberg) und MoWiMa (Modellierung und Wiederverwendung von Maschinen, gefördert vom BMBF) sowie auf Erfahrungen mit einem bei Daimler-Benz entwickelten Diagnosesystem zurückgegriffen (vgl. Anders u.a. 1997).

Fokus	Anforderung
Erfahrungsbasierte Störungsbewältigung	<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung aller Abschnitte der Handlungssequenz durch Benutzungsfunktionen • Bereitstellung der Benutzungsfunktionen entsprechend dem Ablauf der Handlungssequenz • Unterstützung der Wiederanfahrt in ihrer Rückkopplungsfunktion • Unterstützung der Bewältigung von Wiederholstörungen und von neuen Störungen • Unterstützung bei der Archivierung und Bereitstellung symptombezogener Erfahrungswerte • Unterstützung der Vorgehensweisen des „tastenden Suchens“, des „Eingrenzens“ sowie der „kooperativen Störungsbewältigung“
Transparenz und Benutzung	<ul style="list-style-type: none"> • Angebot umfangreicher Orientierungsmöglichkeiten (z. B. über die Störungshistorie, Behebungsmaßnahmen, Systemaufbau) • Nutzerorientierte und herstellerübergreifende Vereinheitlichung der Interaktionsprinzipien
Offene Schnittstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie- und herstellerübergreifende Verwendung von Diagnosefunktionalitäten • Festlegung einer einheitlichen und offenen Schnittstelle zwischen Steuerungs- und Maschinenkomponenten
Wiederverwendbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Verfahren zur systematischen Verwaltung und Bereitstellung von Anlagendokumenten • Übergreifende Nutzung der Nutzererfahrungen zur Optimierung ähnlicher Baugruppen

Tab. 3: Anforderungen von Anwendern und Herstellern

Es werden sowohl Tätigkeiten in der Produktion (Betrieb) als auch Tätigkeiten zur Veränderung von Anlagen (Optimierung) im Umfeld der Diagnose berücksichtigt. Durch Auswertungen systematisch erfasster erfahrungsbezogener Informationen können im Zuge einer *Optimierung* Schwachstellen aufgedeckt und beseitigt werden. Damit soll das Diagnosesystem, basierend auf den Erfahrungen von Werkern und Instandhaltern, dazu beitragen, Störungen im Vorfeld zu vermeiden, Stillstandszeiten zu verringern und dadurch die Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen. Die Koppelung von Störungsbewältigung und Störungsvermeidung über ein

Informationsmodell ermöglicht es, eine Optimierung von Anlagen durchgängig auf Daten aufzubauen, die während des Betriebes der Anlage erfaßt wurden.

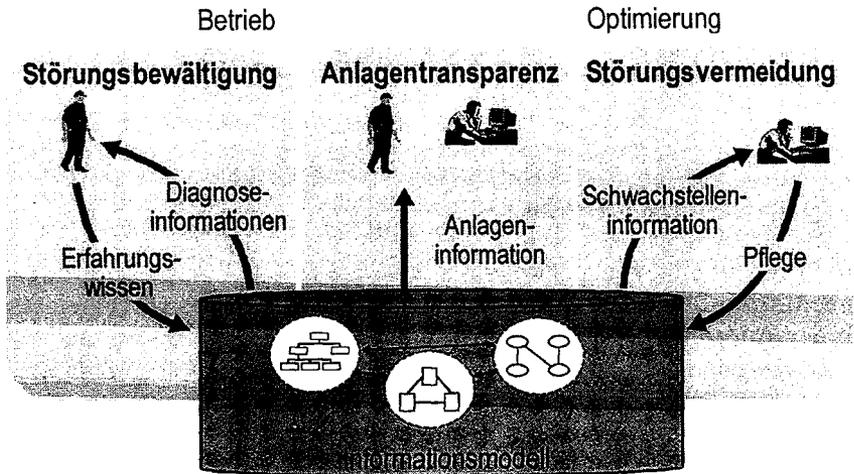


Abb. 4: Aufgaben des Diagnosesystems

4.1 Unterstützung der erfahrungsbasierten Störungsbewältigung

Eine erfahrungsbasierte Störungsbewältigung von Werkern und Instandhaltern läßt sich durch einen handlungsorientierten Aufbau der Benutzungsschnittstelle des Diagnosemoduls unterstützen. Dadurch können Informationen und Funktionen entsprechend der Reihenfolge der Handlungsabschnitte bei der Störungsbewältigung angeboten werden. Dem Nutzer werden einerseits relevante und erfahrungsbezogene Diagnoseinformationen für jeden Handlungsabschnitt bereitgestellt, andererseits kann er Erfahrungswerte situationspezifisch dokumentieren.

Durch die Verarbeitung und Bereitstellung von Informationen der Kategorie symptombezogener Erfahrungswerte hilft das Diagnosesystem dem Werker, sich an vergangene, ähnliche Diagnosefälle zu erinnern. Eine darauf aufbauende Verarbeitung von Informationen der Kategorie „Vorgehensweisen“ könnte die Lücke zur Bewältigung neuer Störungen schließen. Im Gegensatz zur Beschreibung von Ursachen und Maßnahmen sind hier jedoch wesentlich komplexere Zusammenhänge zu be-

schreiben, beispielsweise die Verwendung eines Meßgerätes, um einen Kabelbruch einzukreisen. Der hohe Aufwand zur Beschreibung von Vorgehensweisen und zur Pflege der Datenbasis ist erst dann vertretbar, wenn es gelingt, erfaßte Vorgehensweisen aus einem anlagenspezifischen Fall zu verallgemeinern und für andere Anlagenvarianten wiederzuverwenden. Dazu ist im Vergleich zur Unterstützung symptombezogener Erfahrungswerte ein höherer Aufwand insbesondere bei der Anlagenmodellierung zu berücksichtigen.

4.2 Steuerungsintegration

Die Anforderung von Anwendern nach einer steuerungsübergreifend einheitlichen Benutzungsschnittstelle der Diagnose läßt sich gemeinsam mit der Anforderung der Hersteller nach einem einheitlichen Diagnosesystem für alle Anlagen durch den Einsatz offener Steuerungen umsetzen. Offene Steuerungen bieten technologie- und herstellerübergreifend einheitliche Kommunikationsmechanismen zwischen verschiedenen Steuerungsmodulen. Die Aufgaben der Diagnose wurden dazu im Projekt HÜMNOS in eine Primär- und eine Sekundär-Diagnose gegliedert. Generalisierbare Funktionen, wie die Verwaltung von Fehlermeldungen oder das Verarbeiten von Erfahrungswerten, sind der Sekundär-Diagnose zu-

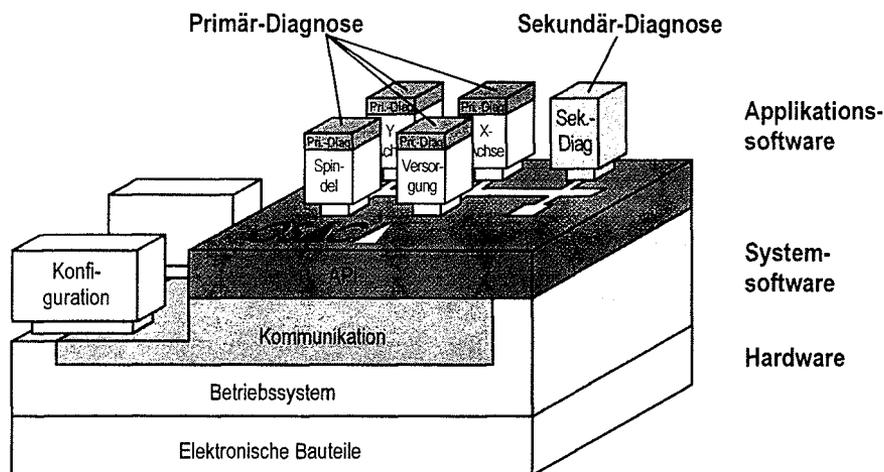


Abb. 5: Einbettung der Diagnose in eine offene Steuerung

geordnet. Im Gegensatz dazu können bestimmte Funktionsabläufe der Diagnose nur von der Steuerung koordiniert werden. Funktionen zur Überwachung, zur Fehlererkennung und zur Reaktion auf Fehler gehören daher zur Primär-Diagnose. Die Einbindung der Diagnosefunktionen in die offene OSACA-Steuerung wird in Abbildung 5 verdeutlicht.

Die OSACA-Steuerungsarchitektur besteht aus einer Steuerungsplattform und darauf instanziierten Architektur-Objekten (AO), die über die Plattform miteinander kommunizieren können (vgl. Sperling, Lutz 1996). Die Gliederung in Primär- und Sekundär-Diagnose ist in der Verteilung der Steuerungsaufgabe auf AOs wiederzuerkennen. Die Primär-Diagnose ist Bestandteil jedes AO der Plattform (Eigen-Diagnose). Funktionen der Sekundär-Diagnose sind in separaten AOs zusammengefaßt. Die Kommunikation zwischen Architektur-Objekten der OSACA-Plattform findet mittels Kommunikationsobjekten statt, die eine Kommunikation zwischen zwei AOs ermöglichen. Als Schnittstelle zwischen Primär- und Sekundär-Diagnose wurde ein Kommunikationsobjekt definiert, durch das beliebige AOs der OSACA-Plattform Diagnoseereignisse – wie beispielsweise Fehlermeldungen oder Warnungen – an die Sekundär-Diagnose senden können. Die Sekundär-Diagnose greift weiterhin auf Kommunikationsobjekte der AOs zu, um relevante Zustandsgrößen – beispielsweise die Ist-Position einer Vorschubachse – auszulesen und anzuzeigen. Relevante Zustandsgrößen eines jeden AOs müssen also in Kommunikationsobjekten gespiegelt werden, damit sie während der Fehlersuche bei Bedarf abgefragt werden können.

Die Kommunikationsschnittstelle für Diagnoseereignisse ist so spezifiziert, daß der Informationsfluß während des Betriebs lediglich von der Primär- zur Sekundär-Diagnose stattfindet. Dadurch werden Wechselwirkungen zwischen der Steuerung und dem Diagnosesystem vermieden, die Sekundär-Diagnose übernimmt lediglich beobachtende Aufgaben, und der Aufwand für eine Integration der Diagnose in eine offene Steuerung ist minimal.

4.3 **Transparenz und Benutzung**

Durch eine Aufbereitung von Informationen, die es dem Produktionsmitarbeiter erleichtert, einen Überblick über System, Prozeß und Benutzung zu erhalten, kann die Transparenz erhöht werden. Anlagendokumente (Stromlaufpläne, mechanische Konstruktionszeichnungen) werden dazu

nach situationspezifischen Kriterien bereitgestellt, indem sie mit Daten aus der Steuerung und erfaßter erfahrungsbezogener Information der Produktionsmitarbeiter (Ursachen und Maßnahmen) verknüpft werden. Basierend auf den Möglichkeiten offener Steuerungen können Informationen über den aktuellen Zustand der Anlage abgefragt werden.

5. Realisierung des HÜMNOS-Diagnosemoduls

Das im HÜMNOS-Projekt realisierte Diagnosemodul beschränkt sich auf die Verarbeitung von *Informationen der Kategorie symptombezogener Erfahrungswerte* (vgl. Litto 1998). Ein Vergleich mit Abbildung 1 zeigt, daß ein entsprechendes Diagnosesystem die Werker in etwa 70 bis 85 % der Störungsfälle direkt unterstützen kann. In Abbildung 6 ist der Grundgedanke der Realisierung des HÜMNOS-Diagnosemoduls zur Unterstützung von Wiederholstörungen dargestellt.

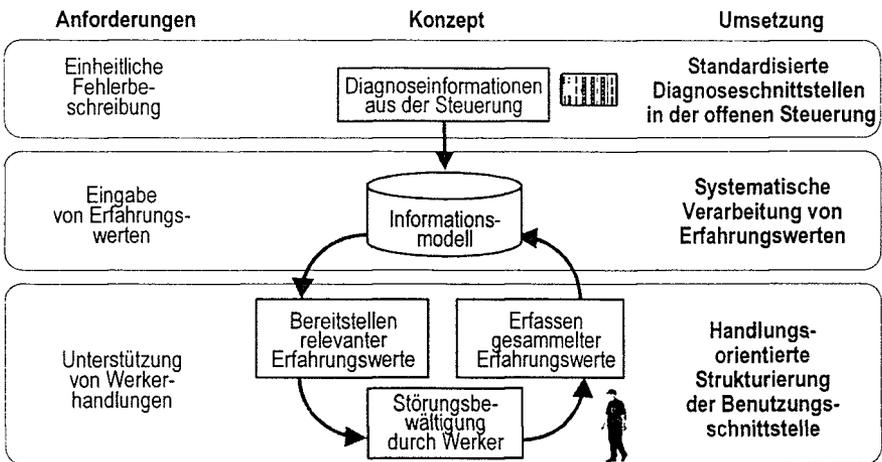


Abb. 6: Werkerorientiertes Diagnosekonzept

Diagnoseinformationen der offenen Steuerung und Erfahrungswerte, die Werker bei der Bewältigung von Störungen gesammelt haben, werden in einem Informationsmodell systematisch abgebildet. Wiederholen sich Störungen, werden relevante Informationen aus dem Modell bereitgestellt.

Es entsteht ein Kreislauf von Erfahrungswerten, der für die Unterstützung des Werkers und für die Aktualität des Modells von Bedeutung ist.

5.1 Realisierung einer systematischen Verarbeitung von Erfahrungswerten

Für die Wiederverwendung von Erfahrungswerten ist eine textuelle Dokumentation von Störungen nicht geeignet, da relevante Informationen nicht systematisch erfaßt und abgebildet werden können. Die Analyse der Anforderungen aus Nutzersicht hat ergeben, daß Werker Störungen durch die Angabe des Entstehungsortes und der Ursache sowie der Maßnahmen zur Behebung beschreiben und klassifizieren.

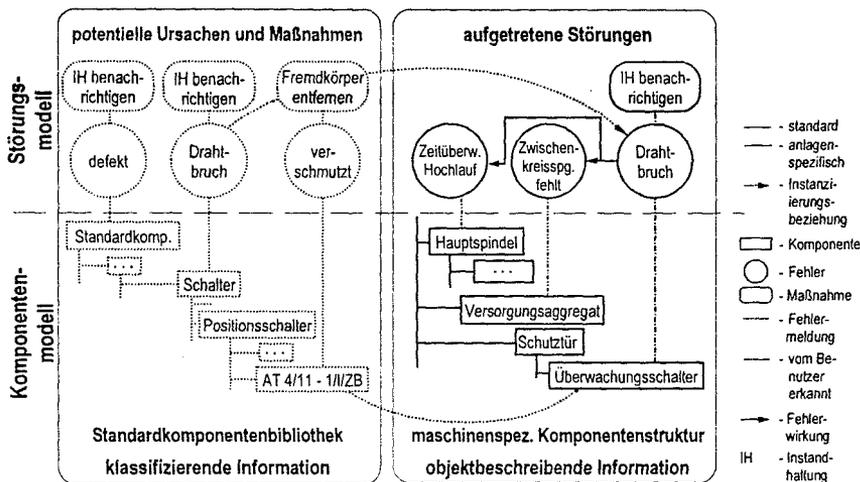


Abb. 7: Informationsmodell

Das in Abbildung 7 dargestellte Informationsmodell hat die Aufgabe, Informationen aus der Steuerung mit den Erfahrungen der Werker zusammenzuführen. Wie in Abbildung 8 verdeutlicht, besteht es aus zwei Teilmodellen. Im *Komponentenmodell* werden bauliche und softwaretechnische Komponenten einer Maschine strukturiert. Auf dem Komponentenmodell baut das *Störungsmodell* auf, in dem Störungen durch Diagnoseereignisse der offenen Steuerung und Erfahrungswerte der Werker abgebildet werden.

Um den Aufwand zur Modellierung einer spezifischen Maschine zu minimieren, wird – in Anlehnung an die Objektorientierung (vgl. Booch 1994) – zwischen *klassifizierenden* und *objektbeschreibenden Informationen* unterschieden. Während in der klassifizierenden Hälfte maschinenübergreifend wiederverwendbare Daten abgebildet werden, enthält die objektbeschreibende Hälfte die Abbildung einer konkreten Maschine. Im Komponentenmodell wird daher zwischen einer Bibliothek von Standardkomponenten und einer maschinenspezifischen Komponentenstruktur unterschieden (vgl. Lutz, Lewek 1997). Über Verbindungen zwischen beiden Beschreibungsformen – wie in Abbildung 7 am Beispiel des Überwachungsschalters vom Typ AT4/11-1/I/ZB gezeigt – kann für jede spezifische Komponente auf Informationen der Bibliothek zurückgegriffen werden. Dort werden Referenzen zu geeigneten Dokumenten, beispielsweise Übersichtsgraphiken, Funktionsbeschreibungen oder Fotos, hergestellt (vgl. Brandl 1997).

Im Störungsmodell werden den Standardkomponenten *potentielle Ursachen und Maßnahmen* zugeordnet. Die Vererbungshierarchie der Bibliothek ermöglicht es dabei, Eigenschaften mehrerer Standardkomponenten zusammenzufassen. Die potentielle Ursache „Drahtbruch“ ist beispielsweise der Standardkomponente „Schalter“ zugeordnet, da sie bei allen Schaltern der Komponentenbibliothek auftreten kann.

Die oben rechts in Abbildung 7 dargestellte Störung wurde durch die Steuerung erkannt, und durch die Diagnoseereignisse „Zeitüberwachung Hochlauf“ für die Hauptspindel und „Zwischenkreisspannung fehlt“ für das Versorgungsaggregat gemeldet. Der Werker hat während der Ursachenklärung festgestellt, daß der Sicherheitskreis durch einen Drahtbruch am Überwachungsschalter der Schutztür unterbrochen war. Dadurch wurde die Zwischenkreisspannung abgeschaltet, was zur Folge hatte, daß die Spindel ihre Solldrehzahl nicht erreichte. Die Störung wurde vom Instandhalter behoben und vom Werker dokumentiert.

Das grundlegende Prinzip der Störungsmodellierung liegt darin, sowohl Diagnoseereignisse der Steuerung als auch Störungsursachen, die von Fachkräften identifiziert wurden, als Fehler einer Störung zu verstehen. Eine Beschreibung durch *Fehler und Fehlerwirkungen* ermöglicht es, Störungen in einer beliebigen Detaillierung, abhängig von der Auflösung der Komponentenstruktur und der Anzahl der pro Störung abgebildeten Fehlerwirkungen, darzustellen.

Der auf dem Informationsmodell basierende Kreislauf von Erfahrungswerten ist in Abbildung 8 verdeutlicht. Eine Störung wird i.d.R. durch Überwachungsfunktionen der Steuerung erkannt, die relevante Informationen als Diagnoseereignisse (Fehler, Warnungen etc.) bereitstellen. Sie werden verwendet, um das Störungsmodell zu aktualisieren. Verknüpft mit Informationen aus dem Komponentenmodell werden sie dem Anwender als Fehler der Störung angezeigt, um den Handlungsabschnitt der Störungswahrnehmung zu unterstützen.

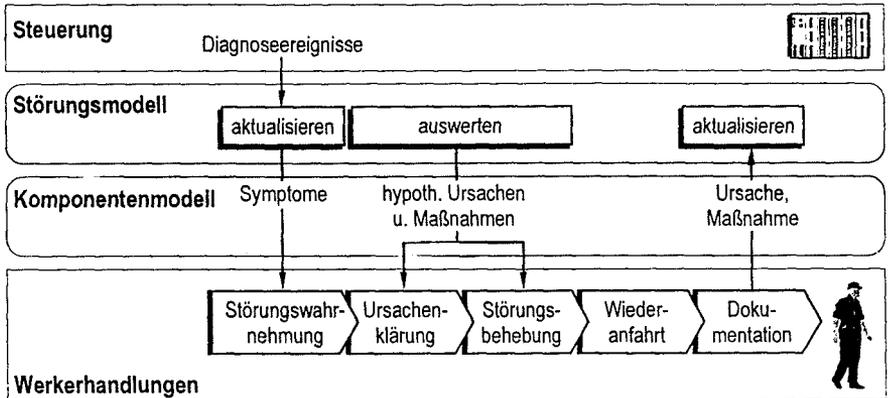


Abb. 8: Verarbeitung von Erfahrungswerten

Für die Handlungsabschnitte Ursachenklärung und Störungsbehebung werden relevante Erfahrungswerte durch Auswertung des Störungsmodells bestimmt und als *hypothetische Ursachen und Maßnahmen* bereitgestellt. Nach der erfolgreichen Bewältigung einer Störung dokumentiert der Werker die gewonnenen Erfahrungen (Ort, Ursache, Maßnahme). Im einfachsten Fall bestätigt er eine der vom System bereitgestellten hypothetischen Ursachen und Maßnahmen. Trat eine neue Störung auf, dokumentiert er im ersten Schritt den verursachenden Ort, indem er die entsprechende Komponente selektiert. Daraufhin werden potentielle Ursachen und Maßnahmen für diesen Ort aus dem Modell abgefragt und angezeigt. Der Werker selektiert eine zutreffende Ursachen-Maßnahmen-Kombination und schließt damit die Dokumentation ab. Wenn eine Ursache lokalisiert wurde, die nicht in der Liste potentieller Ursachen aufgeführt ist, wählt der Werker die allgemeine Ursache „defekt“ mit der Maßnahme „Instandhalter benachrichtigen“ (Abb. 7). Die Bibliothek potentieller Ursachen und Maßnahmen kann anschließend vom Instandhalter

erweitert werden, damit die neue Ursache künftig genauer spezifiziert und bereitgestellt werden kann.

5.2 Realisierung standardisierter Diagnoseschnittstellen

Die im Diagnosemodul realisierten Funktionen der Sekundär-Diagnose (s. Abb. 5) sind – wie in Abbildung 6 verdeutlicht – durch einen Diagnose-Server und über Diagnose-Benutzungsschnittstellen in die OSACA-Steuerung eingebettet.

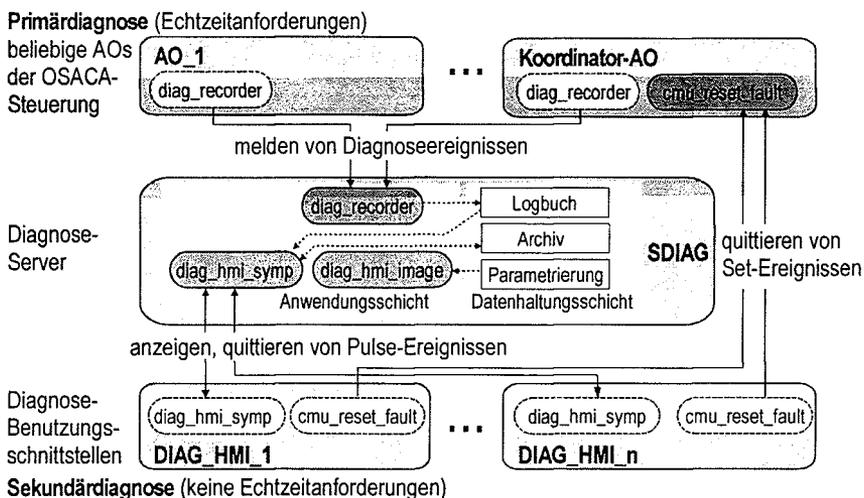


Abb. 9: Einbettung in die offene Steuerung

Der *Diagnose-Server (SDIAG)* besteht aus einer Datenhaltungs- und einer Anwendungsschicht. Die Datenhaltungsschicht ist durch Logbuch, Archiv und Parametrierung definiert. Im Archiv wird das Informationsmodell bereitgestellt. Die Funktionen der Anwendungsschicht (Erfassen, Symptome bereitstellen etc.) sind durch OSACA-Prozobjekte strukturiert, die während der Laufzeit des Servers nach Bedarf angelegt und gelöscht werden. Die Benutzungsschnittstellen sind als Client-AOs mit dem Diagnose-Server und dem Koordinator der Steuerung verbunden.

Diagnoseereignisse werden in der Primär-Diagnose erkannt und direkt durch das standardisierte Kommunikationsobjekt *diag_recorder* an den

Diagnose-Server gemeldet. Da die Güte der Abbildung einer Störung im Störungsmodell von der Anzahl der Fehler abhängt, ist es für das Ergebnis späterer Auswertungen von Bedeutung, daß bei einer Störung möglichst viele Diagnoseereignisse gemeldet werden. Eine Vorfilterung in der Primär-Diagnose würde die Wahrscheinlichkeit, daß eine bereitgestellte hypothetische Ursache die tatsächliche Ursache einer vorliegenden Störung angibt, verringern.

Diagnoseereignisse werden in *Set-Ereignisse*, die von der Primär-Diagnose gesetzt und zurückgesetzt werden (z.B. Schutztür geöffnet/geschlossen), und *Pulse-Ereignisse*, die von der Primär-Diagnose nur gesetzt werden (z.B. kurzzeitiger Fehler im Drehstromnetz), unterschieden. Die gemeldeten Ereignisse werden in das Logbuch eingetragen, das Modell wird aktualisiert und Symptome werden zur Anzeige an die Benutzungsschnittstellen übertragen (*diag_hmi_symp*). Quittiert der Benutzer eine Störung, werden die Pulse-Ereignisse direkt im Diagnose-Server gelöscht (*diag_hmi_symp*) und die Set-Ereignisse über das Koordinator-AOs quittiert (*cmu_reset_fault*). Der Koordinator versucht, AOs, die sich im gestörten Zustand befinden, in einen ungestörten Zustand zu versetzen. Bei diesem Übergang müssen AOs gemeldete Set-Ereignisse zurücksetzen.

5.3 Realisierung einer handlungsorientierten Benutzungsschnittstelle

Der Kreislauf von Erfahrungswerten wird durch verschiedene Betriebszustände der Benutzungsschnittstelle unterstützt, die durch den in Abbildung 10 dargestellten Zustandsgraphen des *diag_hmi*-AOs beschrieben sind.

Das AO ist nach dem Start im *Leerlauf*-Zustand. Es wird keine Diagnoseoberfläche angezeigt. Werden Diagnoseereignisse von der Steuerung gemeldet, schaltet das AO in den Zustand *Bereitstellen* und unterstützt die Handlungsschritte Störungswahrnehmung, Ursachenklärung und Störungsbehebung (vgl. Abb. 8). Stehen keine Fehler mehr an, schaltet es in den Zustand *Warten*, wodurch die Diagnoseoberfläche nicht mehr angezeigt wird. Erst wenn die Maschine wieder produziert, wechselt das AO in den Zustand *Erfassen*. Die Oberfläche unterstützt nun den Handlungsschritt *Dokumentieren*. Wenn ein Fehler gemeldet wird, schaltet das *diag_hmi*-AO aus einem beliebigen Zustand in den Zustand *Bereitstellen*.

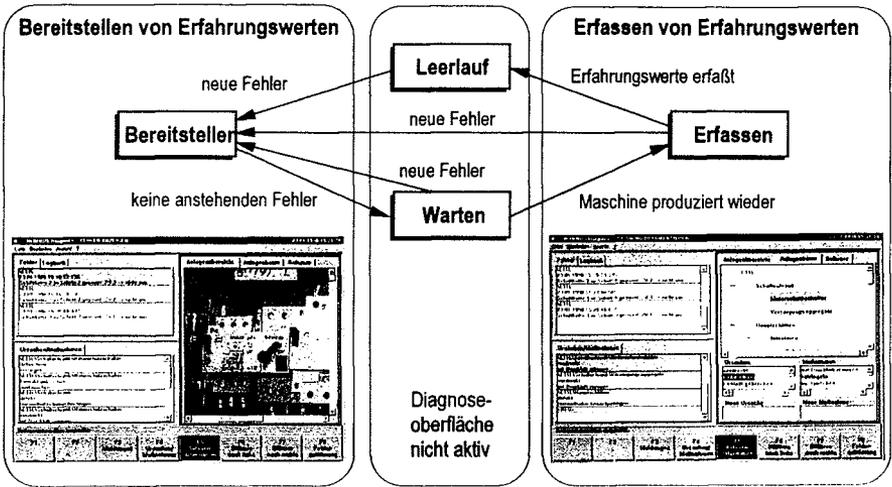


Abb. 10: Handlungsorientierte Benutzungsschnittstelle

6. Zusammenfassung und Ausblick

Das im Rahmen des HÜMNOS-Projektes entwickelte Diagnosekonzept eröffnet umfassende Möglichkeiten, um die aus Nutzersicht sowie die von Anwender- und Herstellerunternehmen genannten Mängel heutiger Diagnosesysteme zu beheben und damit die Akzeptanz offener Steuerungen zu erhöhen. In dem im Rahmen des HÜMNOS-Verbundes realisierten Diagnosemodul wurden innerhalb eines Kreislaufs von Erfahrungswerten die in der Maschine aufgetretenen Störungen systematisch erfasst und in einem Informationsmodell abgebildet. Damit wurde den Werkern eine Unterstützung bei Wiederholstörungen angeboten, die sich in ersten Evaluationen als sehr hilfreich herausgestellt hat (vgl. den Beitrag von Schulze u.a. in diesem Band, S. 113 ff.). Durch die Erfassung und Verarbeitung erfahrungsbezogener Informationen entsteht eine Datenbasis, die über die Unterstützung der Nutzer hinaus als Grundlage für Schwachstellenanalysen und gezielte konstruktive Verbesserungen verwendet werden kann. Weiterhin stehen dem Hersteller statistische Daten zur Verfügung, die eine systematische Abschätzung der zu erwartenden Verfügbarkeit neuer Anlagen ermöglichen.

Das Diagnosemodul ist auf der Basis des im HÜMNOS-Verbund entwickelten Gesamtkonzepts zukünftig um Funktionen für die Unterstützung der Bewältigung von neuen Störungen wie auch um solche zur Unterstützung der Störungsvermeidung zu ergänzen. Um letztere auch beim Hersteller durchführen zu können, ist das Modul so weiterzuentwickeln, daß ein durchgängiger Informationsfluß zwischen Anwendern und Herstellern möglich wird. Eine besondere Rolle spielt dabei eine objektorientierte Struktur des Informationsmodells, in der grundlegend zwischen klassifizierender Information (Bautypen eines Endschalters, Softwareklassen eines Architekturobjektes etc.) und instanzenspezifischer Information (Seriennummer eines Antriebes, Logbuch einer Anlage etc.) unterschieden wird.

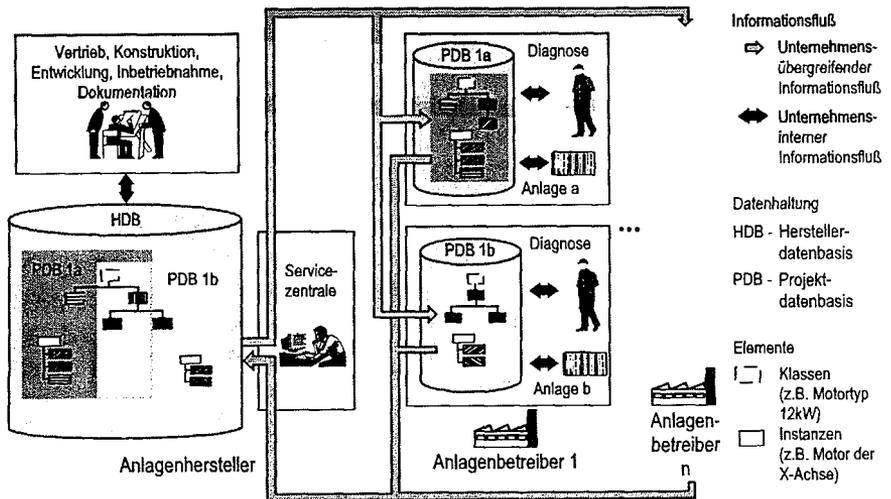


Abb. 11: Herstellerübergreifendes Informationsmodell

Über die Servicezentrale des Herstellers können Erfahrungen aus dem Betrieb einer Anlage für andere Anlagen des gleichen Typs wiederverwendet werden. Dies erfordert eine tieferegehende Kooperation zwischen Herstellern und Anwendern mit dem Ziel, den Informationsfluß zu intensivieren. Auf diesem Wege lassen sich letztendlich auch die Verfügbarkeiten von Fertigungseinrichtungen erhöhen. Die Grundlage hierfür stellt das im Projekt HÜMNOS entwickelte Konzept zur Verfügung.

Martin Delp, Christof Meier, Ralf Eissler

Nutzerorientierte Taxonomie der Begriffe und Symbole zur Beschreibung von Werkzeugmaschinensteuerungen

1. Zusammenfassung
2. Ausgangssituation bei der Entwicklung und Nutzung von Steuerungssystemen für Werkzeugmaschinen
3. Ziele eines Style-Guide
4. Maschinennutzung als Arbeitsaufgabe
5. Vorgehen
6. Ergebnisse
7. Umsetzung

1. Zusammenfassung

Ziel einer einheitlichen Benutzungsoberfläche ist es, die Gestaltung von CNC-Oberflächen von Werkzeugmaschinen so zu vereinfachen, daß der Benutzer die Steuerungen verschiedener Hersteller ohne Umgewöhnung bedienen kann.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde im Rahmen des Projektes HÜMNOS ein Style-Guide erarbeitet und den Nutzergruppen zur Verfügung gestellt:

- In dem *Regelwerk* sind die wichtigsten Grundsätze zur ergonomischen Gestaltung einer benutzer- und aufgabengerechten sowie einheitlichen Oberfläche zusammengestellt.
- Im *Lexikon* ist ein Grundstock von rd. 350 Begriffen aus der Welt der Fertigungstechnik ausgewählt und erläutert. Diese sind, soweit sinnvoll, mit Bildzeichen und/oder einer Abkürzung ergänzt sowie in die Sprachen Englisch, Französisch, Spanisch, Italienisch übersetzt.

- Die *Dialoge* beschreiben Basisdialoge, wie sie in allen Steuerungen vorkommen, und vereinheitlichen die Grundstruktur eines Benutzerdialoges.

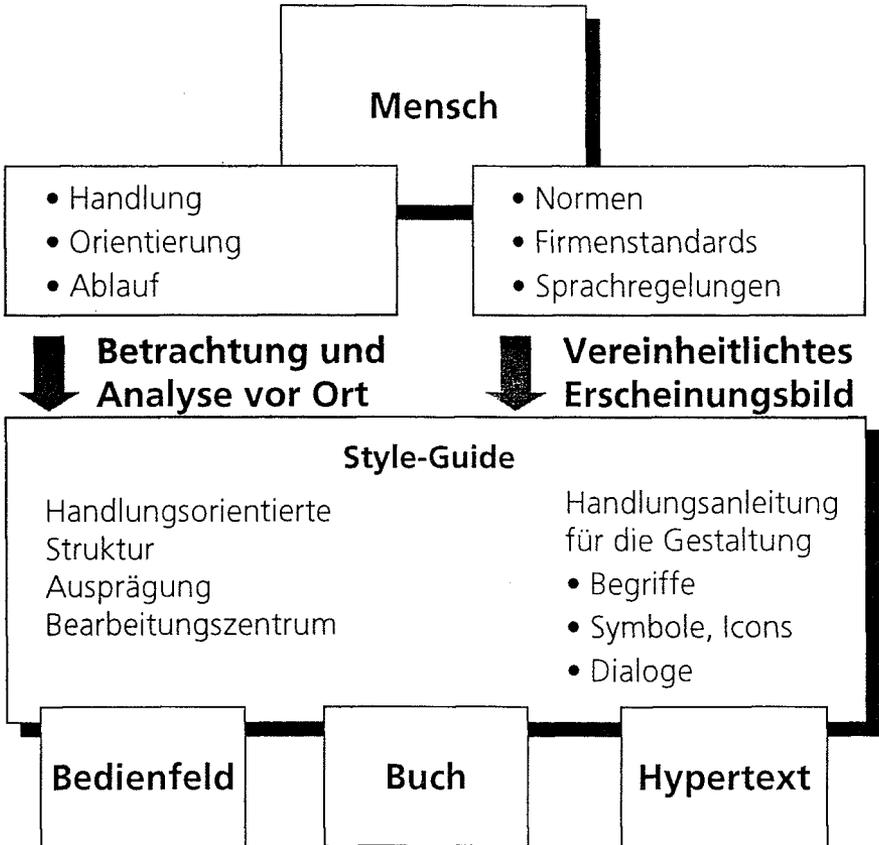


Abb. 1: Easy to use

2. Ausgangssituation bei der Entwicklung und Nutzung von Steuerungssystemen für Werkzeugmaschinen

Entwicklung und Markteinführung von Steuerungssystemen bis hin zu ihrer Nutzung sind traditionell durch eine gestufte Vorgehensweise geprägt.

- Die Steuerungshersteller entwickeln das Steuerungssystem.
- Maschinenhersteller adaptieren die Steuerung an ihre Maschinen.
- Anwender benutzen die Maschinen zur Erfüllung ihrer Aufgabe unter Verwendung der Nutzeroberfläche der Steuerung.

In zeitlicher Hinsicht vollziehen sich diese drei Tätigkeitsbereiche traditionell in mehr oder weniger weit auseinanderliegenden Zeitabschnitten. Dabei besteht tradiert kein unmittelbarer Kontakt der Akteure zueinander. Man könnte diese Vorgehensweise einem Wasserfallmodell vergleichen.

Die Aspekte, die diesem traditionellen Modell zugrundeliegen, sollen im folgenden noch etwas näher beleuchtet werden:

2.1 Steuerungsentwicklung

Der primäre Fokus der Entwickler liegt darin, die Steuerungsfunktionen – im Sinne der eigentlichen Funktion (Bewegung, Technologiesteuerung etc.) – zu entwerfen und in Hardware und Software zu realisieren. Der Schwerpunkt der anzuwendenden Kenntnisse liegt dabei auf der Beherrschung der Methoden zur Hardware-Entwicklung bzw. Software-Entwicklung. Gerade bei letzterem stehen die Aspekte der verwendeten Programmiersprachen, die Strukturierung der Software, das Testen und Debugging der Software etc. im Vordergrund. Neben der Funktionsentwicklung werden selbstverständlich auch die Funktionen der Benutzungsoberfläche entwickelt. Da zunächst jedoch die pure Funktionalität im Vordergrund steht, geraten diese Benutzungsoberflächen leicht zu Steuerungsoberflächen. Da diese Entwicklung im Wettbewerb zu anderen Steuerungsherstellern erfolgt, ist Geheimhaltung oberstes Gebot, um nicht Wettbewerbsvorteile zu verspielen. Nur in Ausnahmefällen wird der Systementwurf von Planungsspezialisten der Steuerungshersteller gemeinsam mit Fachkollegen des Maschinenherstellers sowie großer Endkunden definiert. Heutige Steuerungsoberflächen sind häufig evolutionär gewachsen bzw. – so sie neu entworfen wurden – weitgehend von Fachleuten ohne oder mit wenig Rückkopplung zur Fertigungsebene – also zum Endanwender – technikgetrieben konzipiert worden.

2.2 Maschinenhersteller

Wenn der Maschinenhersteller nicht Eigenbauer der Steuerung ist, bezieht er sie gemäß Angebot vom Steuerungshersteller als serienmäßige Steuerung und adaptiert sie an seine Maschine. Bei Verwendung von serienmäßigen Steuerungen besteht hierbei nur in ganz ausgewählten Bereichen eine maschinenspezifische Adaption. Moderne Steuerungen mit sog. OEM-Schnittstellen bieten für den Maschinenhersteller dagegen bereits eine weite Gestaltungsmöglichkeit der Nutzeroberfläche bis hin zur Bereitstellung maschinenspezifischer Steuerungsfunktionen.

2.3 Endanwender

Der Endanwender setzt die Maschinen zur Erfüllung seiner Produktionsaufgabe ein, wobei sein Partner bei der Beschaffung der Maschinen in erster Linie der Maschinenbauer ist. Die kaufentscheidenden Kriterien sind traditionell die Funktionalität, der Preis und die Wirtschaftlichkeit. Dabei wurde lange Zeit die Wirtschaftlichkeit auf die Beherrschung der direkten produktionsbestimmenden Faktoren wie Durchlaufzeit, Bearbeitungszeiten etc. fokussiert. In Abhängigkeit der Systemgrundlage der Steuerung konnten in geringem Maße die Maschinen/Steuerungen besonderen Aufgaben angepaßt oder mit anwenderspezifischen Zusätzen versehen an die Gegebenheiten der Anwender adaptiert werden.

Hieraus ergibt sich die bekannte Situation der großen Vielfalt steuerungs- und maschinenspezifischer Benutzungskonzepte, Funktionen etc. Aufgrund des völligen Fehlens übergeordneter Abstimmungsprozesse und des großen Gestaltungsspielraums der Hersteller und Systementwickler ergibt sich folglich eine große Vielfalt in Begriffs- und Symbolverwendung, Farbgebung usw. Weit gravierender ist, daß auch die Strukturen der Nutzeroberflächen grundverschieden sind, und somit eigentlich gleiche Aufgaben mit ganz unterschiedlichen Vorgehensweisen an den verschiedenen Steuerungen zu behandeln sind.

Darüber hinaus kommen die Bedürfnisse der Endnutzer im Abstimmungsprozeß vor Beschaffung einer Maschine nur in besonders gelagerten Fällen – und dann auch nur durch mehrere Stufen (Vertrieb, Einkauf, Fertigungsplanung) gefiltert – zur Geltung.

Neben diesem Filtereffekt sind bei dieser Vorgehensweise, die oftmals den Charakter der nutzerbezogenen Nachbesserung trägt, ein erheblicher Zeitbedarf und Kosten für Abklärung und Nachentwicklung negativ zu verzeichnen.

Eine weitere gravierende Folge dieses Vorgehens ist ein immenser Aufwand bei den Anwendern für Schulung und Einarbeitung in die Nutzung der verschiedenen Systeme. Da sich weiterhin meist mehrere Systeme unterschiedlicher Steuerungshersteller und Maschinenhersteller gleichzeitig in einem Nutzungsbereich befinden, ist die Gefahr von Fehlbedienungen beim Wechsel zwischen verschiedenen Steuerungssystemen groß. Das macht sich auch in der Applikationsstruktur bemerkbar.

Es gibt zwar aus der Frühphase der Numerischen Steuerungstechnik eine Vielzahl von Richtlinien, Begriffs- und Bildzeichensammlungen. Diese beschränkten sich jedoch auf die mechanische und elektrische Konstruktion von Bedienelementen und deren Anordnung. Style-Guides zur Oberflächengestaltung von Steuerungen, deren Funktionalität zudem mehr und mehr durch Programme und nicht mehr unmittelbar durch Hardware geprägt wird, gab es bisher nur für Bürosysteme und mit dem Einzug von Großrechnern mit Leitwarten in die Prozeßautomatisierung. Diese Style-Guides sind jedoch wegen der anders gelagerten technischen Voraussetzungen und Applikationen nicht auf das Fertigungsumfeld zu übertragen.

3. Ziele eines Style-Guide

Ein Style-Guide für Werkzeugmaschinen soll die Gestaltung der Oberflächen von CNC-Steuerungen von Werkzeugmaschinen so vereinheitlichen, daß der Benutzer die Steuerungen verschiedener Hersteller ohne Umgewöhnung bedienen kann.

Die Idee ist in der Büroumgebung bekannt. Die Anwendungen verschiedener Softwareanbieter werden in den Grundzügen der Bedienung so angeglichen, daß die Systeme intuitiv bedient werden können: Aus der Bedienung eines Systems kann auf die Bedienung anderer Systeme geschlossen werden. Dabei wurden viele Merkmale festgelegt, die dem Nutzer in der Büroumgebung heute in Fleisch und Blut übergegangen und deshalb nach einer Eingewöhnungszeit nicht mehr bewußt sind.

Diese Regeln können jedoch aufgrund anderer Anforderungen für die Oberflächen von Werkzeugmaschinensteuerungen nicht übernommen werden. Andere Bedienungskonzepte müssen zum Einsatz kommen, die beispielsweise eine Bedienung auch ohne Zeigedisplay ermöglichen.

Zudem besteht die wichtigste Aufgabe in der Steuerung von Maschinenfunktionen, nicht in der Editierung von Dokumenten. Ein Bedienfehler kann erheblichen materiellen Schaden anrichten und sogar Gefahr für Leib und Leben der Nutzer verursachen. Der Nutzer muß deshalb erkennen können, welche seiner Aktionen möglicherweise schwerwiegende Folgen nach sich ziehen.

Ein Style-Guide wendet sich dabei gleichermaßen an die drei erwähnten Interessengruppen. An erster Stelle sind die Steuerungshersteller und Entwickler von Werkzeugmaschinensteuerungen zu nennen, die in ihrer Arbeit viele Grundbegriffe und Dialoge festlegen und verwenden. Eine ebenso große Bedeutung haben die Hersteller von Werkzeugmaschinen, die zugekaufte Steuerungen auf die jeweilige Maschinenaufgabe anpassen. Aber auch der Käufer und Nutzer der Maschinen kann sich anhand dieser Unterlage einen Einblick in die Gestaltung einer offenen Steuerungsoberfläche verschaffen und so seine Vorstellungen gegenüber dem Lieferanten klarer zum Ausdruck bringen. Der Style-Guide ist somit wesentliches Werkzeug zur Erstellung des geschlossenen Wirkungskreises bei der Realisierung zukünftiger Systeme mit dem Ziel, Anwenderwissen herstellerübergreifend und damit wettbewerbsneutral den Entwicklern zugänglich zu machen.

4. Maschinennutzung als Arbeitsaufgabe

Betrachtet man die Entwicklungen in der Produktionstechnik der letzten Jahre, so läßt sich feststellen, daß durch den fortschreitenden Einsatz der Mikrorechnerntechnik in Werkzeugmaschinensteuerungen die Funktionalität von Bediensystemen stark zugenommen hat. Diese Fortentwicklung der Technik stößt immer mehr an die Leistungsfähigkeit jener Menschen, die diese Maschinen benutzen.

Verstärkt werden diese Entwicklungen noch durch Veränderungen in arbeitsorganisatorischen Bereichen wie der Einführung von Gruppenarbeit oder Lean Production. Heute wird von einem Produktionsmitarbeiter er-

wartet, daß er sowohl mehrere unterschiedliche Maschinen bedienen als auch Wartungsarbeiten und Fehlerbehebungsmaßnahmen selbsttätig durchführen kann. Diesen Anforderungen kann der Produktionsmitarbeiter nur dann gerecht werden, wenn er durch ergonomische Bediensysteme, die sich an seinen Fähigkeiten und Fertigkeiten orientieren, in seinen Aufgaben unterstützt wird.

Ergonomische Bediensysteme zeichnen sich durch übergeordnete Eigenschaften aus, die von unabhängigen Standardisierungsorganisationen festgeschrieben wurden und international validiert sind. Die zwei wichtigsten Eigenschaften sind die Aufgabenangemessenheit und die Erwartungskonformität.

- Ein Bediensystem ist aufgabenangemessen, wenn es den Benutzer unterstützt, seine Arbeitsaufgabe effektiv und effizient zu erledigen.
- Ein Bediensystem ist erwartungskonform, wenn es konsistent ist und den Erwartungen des Benutzers – z.B. seinen Kenntnissen aus dem Arbeitsgebiet, seiner Ausbildung und seiner Erfahrung – sowie den allgemein anerkannten Konventionen entspricht.

Zusätzlich zu diesen allgemeinen Gestaltungskriterien wurden noch HÜMNOS-Gestaltungskriterien definiert, die speziell für Bediensysteme von NC-Werkzeugmaschinen relevant sind. Abgeleitet wurden diese Kriterien aus den Ergebnissen von Nutzerbefragungen in unterschiedlichen Fertigungsbereichen (Einzel-, Kleinserien- und Serienfertigung) mit unterschiedlichen Bearbeitungstechnologien (Dreh-, Fräs- und Schleifbearbeitung). Unabhängig vom Fertigungsbereich und von der eingesetzten Bearbeitungstechnologie gliedern sich die Tätigkeiten der Maschinenbenutzer in acht Handlungsbausteine, die je nach Organisationsform der Fertigung unterschiedlich ausgeprägt sind. Damit der Maschinenbenutzer in seinen Tätigkeiten optimal unterstützt wird, sollte die oberste Ebene der Menüstruktur des Bediensystems – die sog. Bedienbereiche – den ermittelten Handlungsbausteinen entsprechen (Abb.2).

Eine wesentliche Forderung der Maschinenbenutzer ist die einheitliche Gestaltung zukünftiger Bediensysteme von NC-Werkzeugmaschinen. Bediensysteme, die einheitlich aufgebaut sind und die sich nach einheitlichen Prinzipien bedienen lassen, verringern die Einarbeitungszeit, den Schulungsaufwand und die Wahrscheinlichkeit der Fehlbedienung. Sie ermöglichen somit eine effektivere und damit wirtschaftlichere Nutzung des Arbeitssystems.

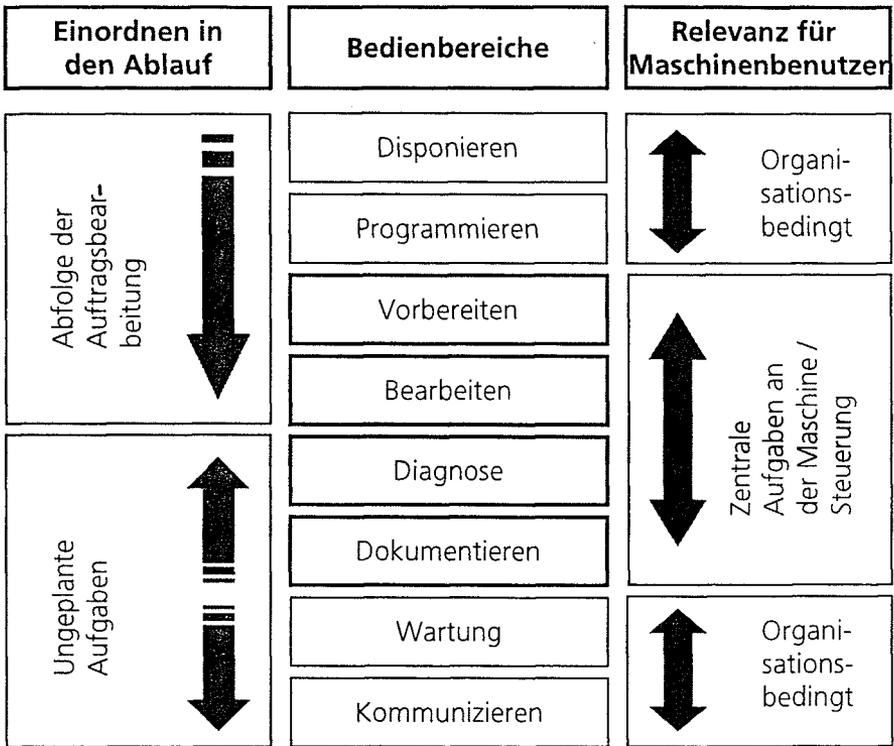


Abb. 2: Einheitliche Bedienbereiche

Die Forderungen nach Vereinheitlichung und handlungsorientierter Auslegung von Bediensystemen sind z.T. widersprüchlich. Eine Vereinheitlichung der Bediensysteme darf nicht dazu führen, daß die spezifischen Anforderungen der Nutzer und die spezifischen Eigenschaften der Maschine nicht mehr berücksichtigt werden können. Deswegen muß ein Style-Guide, der die Vereinheitlichung von Bediensystemen zum Ziel hat, an zwei Seiten ansetzen. Er kann sowohl Grobstrukturen – wie den Menüaufbau, den Bildschirmaufbau oder das Bedienfeldlayout – vorgeben als auch Elementarobjekte – wie Begriffe, Abkürzungen oder Basisdialoge – festschreiben. Dazwischen muß er aber noch genügend Raum lassen, damit das Bediensystem an die spezifischen Anforderungen der Nutzer angepaßt werden kann. Hier kann ein Style-Guide nur einheitliche Gestaltungsregeln und Empfehlungen geben (Abb. 3).

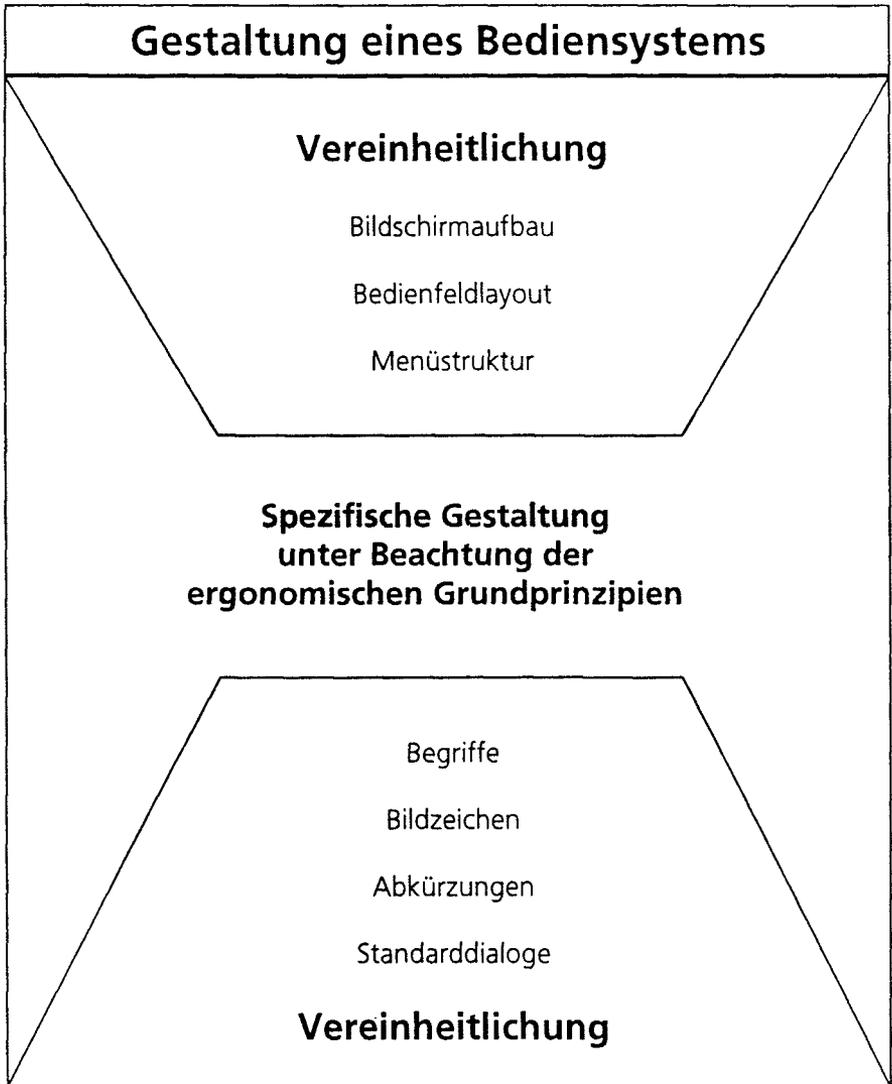


Abb. 3: Einheitliche Gestaltung eines Bediensystems

5. Vorgehen

Zu Beginn des Projektes stellte sich die Situation für Anbieter und Nutzer von Steuerungen wie in Abschnitt 1 beschrieben dar. Aufgrund dieser Ausgangssituation wurde folgendes Vorgehen gewählt:

Vorhandene Begriffe, Abkürzungen, Bildzeichen, Dialogobjekte und Dialoge aus dem Bereich Werkzeugmaschinen sowie aus anderen Bereichen wurden zusammengestellt. Begriffe aus den beteiligten Unternehmen wurden gesammelt, in gemeinsamen Diskussionen gegeneinander abgeglichen, ggf. neu definiert und auf den notwendigen Mindestumfang reduziert. Bekannte und neu entworfene Bildzeichen wurden im Rahmen einer Anwenderbefragung auf Erkennbarkeit, Merkbarkeit und Verwechslungssicherheit evaluiert und überarbeitet. Die Begriffe wurden mit den zugeordneten Bildelementen und der Übersetzung in vier europäische Sprachen in ein Lexikon eingefügt, das den Zugriff unter formalen und unter inhaltlichen Kriterien zulässt.

Parallel hierzu wurden vorhandene Style-Guides aus dem Bürobereich, nationale und internationale Normen, Richtlinien und Fachliteratur hinsichtlich der Relevanz auf Oberflächenentwicklung im Fertigungsfeld ausgewertet. Geeignete Regelungen wurden extrahiert und in das entstehende Regelwerk übernommen.

Auf Basis der Nutzerbefragung wurden die Anforderungen der Maschinennutzer – überwiegend aus der Automobilproduktion – neu beschrieben. Spezielle Anforderungen ergaben sich aus der Forderung einer handlungsorientierten Dialoggestaltung, wobei unterschiedliche Berufsgruppen und unterschiedlicher Erfahrungshintergrund eine Differenzierung in der Oberflächengestaltung ermöglichten. Auf Grundlage dieser Vorgaben wurden sog. Basisdialoge definiert, die für die häufigsten Dialoge die Grundstruktur festlegen.

Die so entstandenen drei Bestandteile des Style-Guide wurden untereinander abgeglichen und in Buchform herausgegeben. Zur leichteren Erschließung wurde die Begriffssammlung mit Übersetzung, Abkürzungen und Bildzeichen zusätzlich als interaktives Lexikon herausgegeben.

Die beispielhafte Umsetzung eines Style-Guide-konformen Bedienfeldes dient der Veranschaulichung der Projektergebnisse und kann im Dialog

mit den Anwendern, mit Entwicklern und mit anderen Fachleuten die Idee der neugestalteten Oberfläche vermitteln und zugleich wertvolle Hinweise auf den Einsatz in der Praxis geben.

6. Ergebnisse

6.1 Style-Guide in Buchform

Der Style-Guide besteht aus drei Teilen: dem Regelwerk, dem Lexikon und einer Dialogsammlung.

In dem umfangreichen Regelwerk werden die wichtigsten Grundsätze zur ergonomischen Gestaltung einer benutzer- und aufgabengerechten sowie einheitlichen Oberfläche zusammengestellt. Ergonomisch bedeutet, daß die Interaktion mit der Maschine bzw. mit der Steuerung leicht zu erlernen ist, sich auch ungeübte Benutzer schnell zurechtfinden und nicht mit Streß und Frustration belastet werden. Einheitlich bedeutet, daß der Benutzer mit zukünftigen Steuerungen in gleicher Weise arbeiten kann und sie sich ihm immer soweit wie möglich gleich präsentieren.

In dem Lexikon werden rd. 350 Begriffe (s. auch Abb. 5) aus den Bereichen Allgemeines, Bedienung und Tätigkeiten in ihrer inhaltlichen Bedeutung festgelegt und erläutert und – soweit sinnvoll – mit einem Bildzeichen und/oder einer Abkürzung belegt sowie Englisch, Französisch, Spanisch und Italienisch übersetzt. Die Verwendung eines solchen vereinheitlichten Wortschatzes erleichtert nicht nur die Eingewöhnung auf eine neue Oberfläche, sondern verbessert auch die Kommunikation zwischen Oberflächenentwicklern.

Die Dialoge (Abb. 4) beschreiben rd. 15 Basisdialoge, wie sie in allen Steuerungen vorkommen. Sie beschränken sich auf reine Steuerungsfunktionen, ohne technologiespezifische Einflüsse zu berücksichtigen. Hier ist neben dem Effekt der Vereinheitlichung auch die Schaffung einer einheitlichen Syntax zu erwähnen. Diese kann die Kommunikation zwischen Oberflächenentwicklern erleichtern, da Handlungsabläufe auf ihre logische Struktur ohne Ablenkung durch gestaltete Masken beschränkt werden.

Auftrag anwählen

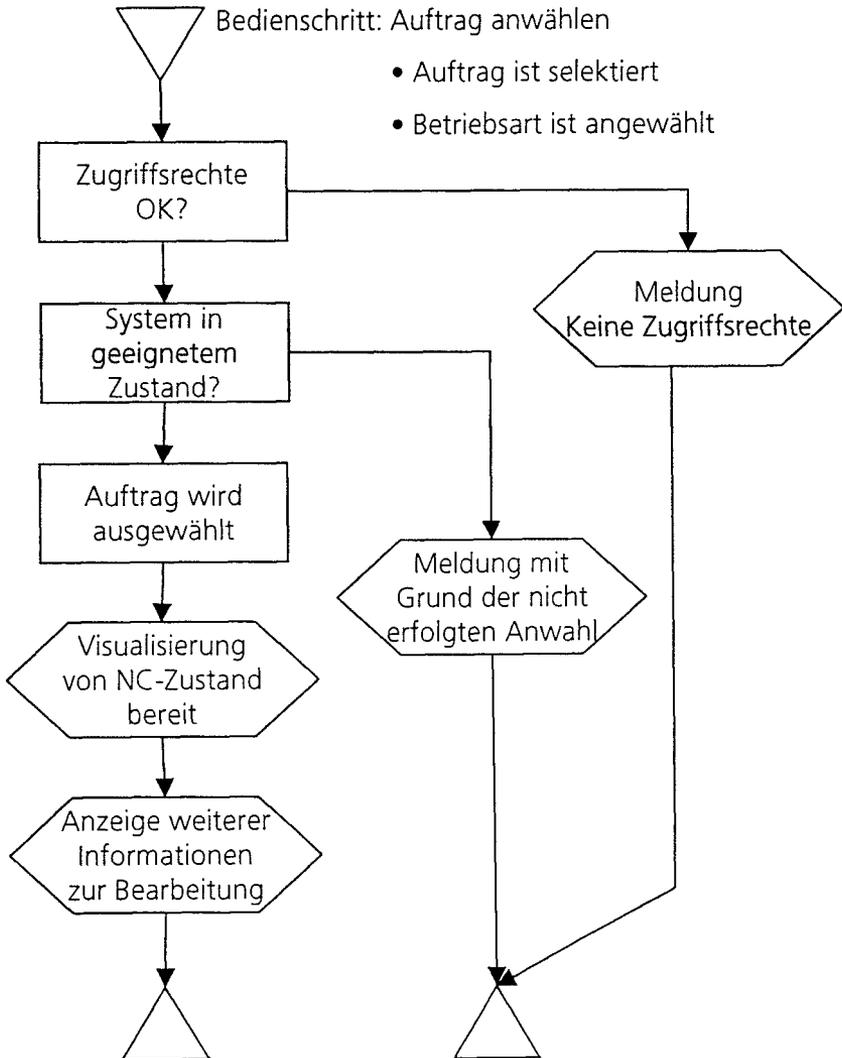


Abb. 4: Basisdialog (Beispiel)

Im Anhang des Style-Guide sind beispielhafte Umsetzungen für Oberflächen enthalten, um die Regeln und Vorschriften anschaulich zu illustrieren.

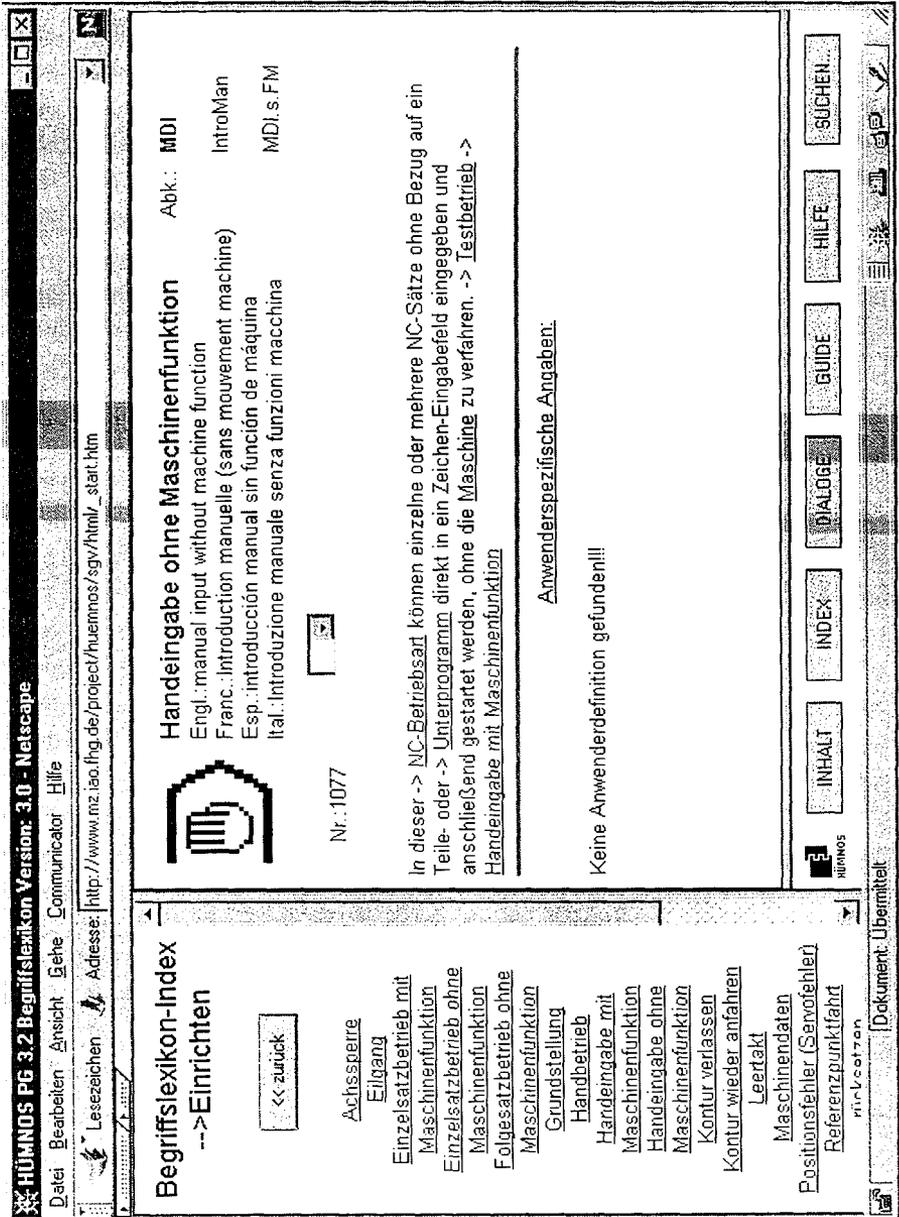


Abb. 5: Oberfläche des Style-Guide-Viewer

6.2 Style-Guide als Hypertextsystem

Zusätzlich zu der vorliegenden Papierversion existiert ein interaktives Verwaltungswerkzeug, das ebenfalls die Bestandteile Regelwerk, Lexikon und Dialoge enthält. Der Anwender wird durch dieses Werkzeug besonders bei der Suche im Lexikon unterstützt. Dieses Verwaltungswerkzeug besteht aus zwei Teilen: dem VIEWER und dem EDITOR.

Technisch basiert der Viewer (Abb. 5) auf der Seitenbeschreibungssprache HTML und kann problemlos mit den meisten Browsern (Netscape Navigator, Microsoft Internet Explorer u.a.) genutzt werden. Der Viewer ist kostenfrei erhältlich.

Die Begriffsliste kann dabei mittels eines Editierungswerkzeuges durch den Anwender um firmenspezifische Begriffe, Erläuterungen, Bildzeichen, Abkürzungen und Übersetzungen ergänzt werden. Ein solches Tool unterstützt die Vereinheitlichung der Syntax in den Entwicklungsteams und -abteilungen.

6.3 Demonstrator

Zur Evaluation des Style-Guide wurde die Bedienoberfläche einer Transferstraße beispielhaft umgesetzt. Diese Realisierung soll dazu dienen, den erarbeiteten Style-Guide zu veranschaulichen und einem breiten Publikum zugänglich zu machen.

Der Demonstrator umfaßt sowohl die Gestaltung der Hardware, also des Bedienfeldes, als auch die Gestaltung der einzelnen Masken, die kontextabhängig im Monitor eingeblendet werden. Beides wird auf einem PC simuliert und kann über Tastatur und Maus bedient werden. Der Demonstrator umfaßt nicht die komplette Funktionalität einer NC-Steuerung, vielmehr liegt der Schwerpunkt der Realisierung auf den Bedienbereichen „Vorbereiten“ und „Bearbeiten“.

Das *Bedienfeld* (Abb. 6) ist in drei Bereiche aufgeteilt, welche durch ihren typischen Verwendungszweck gekennzeichnet sind:

- Anzeige und Navigation
 - Bedienbereich-Tasten
 - Navigationsblock

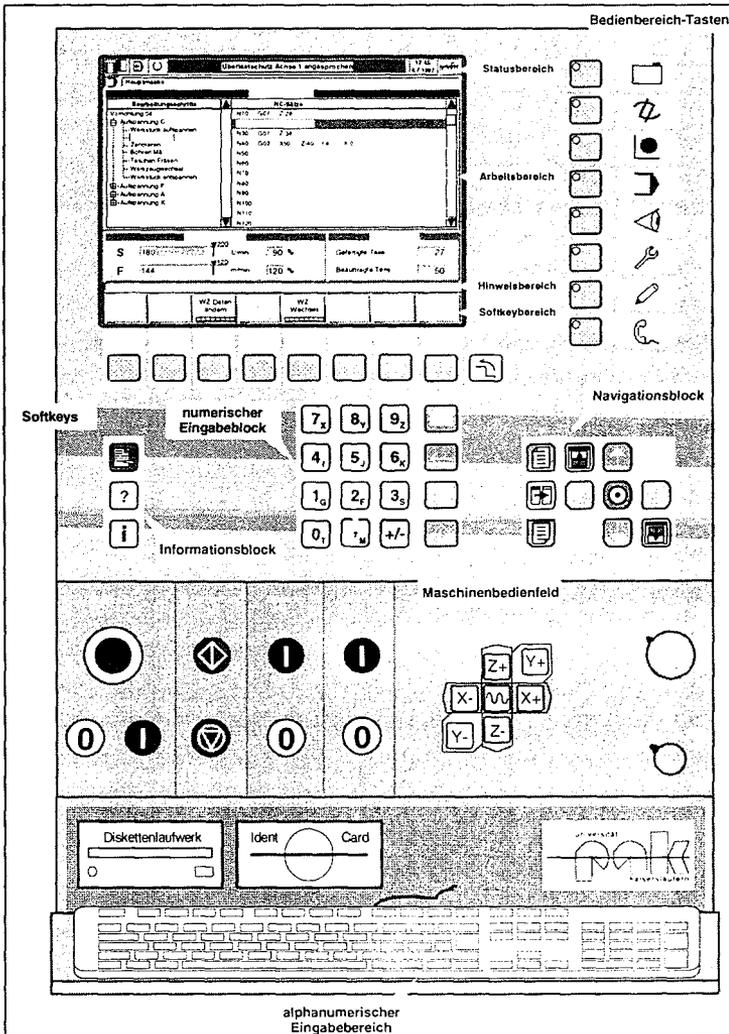


Abb. 6: Beispiel eines Bedienfeldes

- Informationsblock
- Softkeys
- Informationsblock
- Auslösen von Maschinenbewegungen
- Eingabe von alphanumerischen Daten.

Diese Aufteilung soll gewährleisten, daß die Unsicherheit der Benutzer bezüglich der Auswirkung und Bedeutsamkeit von Bedienungshandlungen reduziert wird. Vor allem die deutliche Abgrenzung derjenigen Tasten, die Maschinenbewegungen zur Folge haben, ist ein wichtiges Anliegen der Maschinenbenutzer.

Die Grobstruktur aller Masken ist identisch und enthält folgende Bereiche:

- **Statusbereich**
 Im Statusbereich erscheinen die asynchronen Maschinenmeldungen sowie Datum und Uhrzeit.
- **Arbeitsbereich**
 Der Arbeitsbereich ist der größte zusammenhängende Bereich und für die maskenspezifischen Informationen bestimmt.
- **Hinweisbereich**
 Im Hinweisbereich erscheinen die kontextspezifischen Bedienungshinweise.
- **Softkeybereich**
 Im Softkeybereich wird die Funktion der einzelnen Softkeys beschrieben.

Ausdehnung und Position der Bereiche sind fest definiert, so daß eine Überlagerung wichtiger Informationen durch davorliegende Fenster ausgeschlossen ist.

7. Umsetzung

Die Anpassung vorhandener Oberflächen oder die Gestaltung neuer Oberflächen kann in fünf Schritten erfolgen.

1. **Ermittlung der Anforderungen**
 - Aufnahme der Maschinen- und Steuerungsfunktionen,
 - Beschreibung von Nutzergruppen und deren Aufgaben.

2. Überprüfung des bestehenden Bediensystems hinsichtlich ergonomischer Gestaltungskriterien mit Hilfe des HÜMNOS-Style-Guide
3. Abgleich der bisher verwendeten Begriffe, Abkürzungen und Bildzeichen mit Hilfe des Verwaltungswerkzeugs
 - Anpassen der bisher verwendeten Begriffe, Abkürzungen und Bildzeichen an die HÜMNOS-Definitionen,
 - Anlegen firmenspezifischer Begriffe, Abkürzungen und Bildzeichen.
4. Gestaltung des neuen Bediensystems mit Hilfe des HÜMNOS-Style-Guides und unter Beachtung von Normen und Richtlinien
5. Evaluation des neuen Bediensystems durch zukünftige Nutzer

Während die Anpassung der Bildzeichen und der Bediendialoge weitgehend formalisiert erfolgen kann, erfordert die Gestaltung der ergonomischen Bedienung bereits ein tieferes Verständnis der Arbeits- und der Steuerungsaufgaben. Die Basis einer jeden Verständigung ist allerdings die Verwendung der neuen Begriffe, auch in ihrer vielleicht neuen Bedeutung. Vermutlich ist die Erstellung eines internen Lexikons zur Zuordnung der bisher gebräuchlichen Begriffe zu den Bedeutungsinhalten des HÜMNOS-Lexikons hilfreich. Diese Zuordnung ist die entscheidende Voraussetzung für Entwicklung und Vertrieb einer neuen Benutzungsschnittstelle.

Helmuth Rose, Siegmar Haasis, Hartmut Schulze

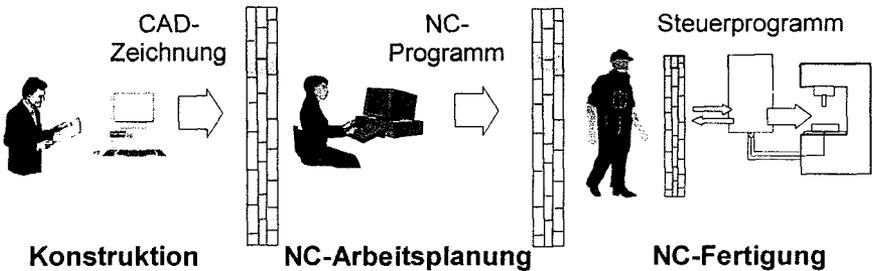
Technische Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit mit Prozeßketten in der Produktion

1. Schwachstellen existierender Prozeßketten und neue Anforderungen
2. Handlungsorientierte Fertigungsinformationsmodelle
3. Aufgabennetze als Basis für erfahrungsgeleitete Arbeit mit Prozeßketten

Die gegenwärtigen Wettbewerbsbedingungen in der industriellen Produktion sind durch verkürzte Produktlebenszyklen, kürzere Marktausschöpfungszeiten und steigende Qualitätsmaßstäbe geprägt. Vorteile gewinnt der Anbieter, der seine Produktideen schnell umsetzen und hierbei auch Komponenten anderer Hersteller verwenden kann. Um diese Vorteile zu nutzen, befinden sich führende Unternehmen schon seit längerer Zeit in einem Restrukturierungsprozeß. Beispiele hierfür sind die Einführung von abteilungsübergreifenden Prozeßketten für integrierte Produktentwicklung und Produktion sowie die Einrichtung von Produktionsnetzwerken. Im Rahmen solcher unternehmensübergreifender Informationskreisläufe werden Teilaufgaben – u.a. aus Konstruktion oder Fertigung – an Zulieferer vergeben, die kostengünstiger entwickeln bzw. produzieren können. Die im Rahmen inner- und überbetrieblicher Prozeßketten entstandenen Systemlösungen stoßen jedoch bei weiterer Beschleunigung der Innovationsprozesse an Grenzen. Insbesondere bereitet der Austausch von Daten und Informationen, aber auch der Austausch von Erfahrungen der verschiedenen Beteiligten entlang von Prozeßketten Schwierigkeiten. In dem Beitrag werden Schwachstellen existierender Verfahrensketten aufgezeigt, um anschließend ein Lösungskonzept in Form eines handlungsorientierten Fertigungsinformationsmodells vorzustellen.

1. Schwachstellen existierender Prozeßketten und neue Anforderungen

Die bislang eingerichteten betrieblichen Prozeßketten und überbetrieblichen Produktionsnetzwerke basieren in der Regel auf einer linear-sequentiellen Aufgabenteilung. Die Produktionsbereiche Konstruktion, NC-Planung und NC-Fertigung bearbeiten dabei ihre jeweiligen Aufgaben mit spezifischen Systemen und übertragen ihre Daten über spezielle Schnittstellen. Charakteristische Schwachstellen für den Datenaustausch in Produktionsnetzwerken sind nach Ergebnissen der vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) geförderten Projekte WesUF (vgl. Rose 1996), HÜMNOS (vgl. VDW 1998) und CeA (vgl. Martin 1995) in Abbildung 1 zusammengefaßt.



- Barrieren durch:**
- Unidirektionalität
 - Informationsverlust
 - erschwerte Zusammenarbeit

Abb. 1: Barrieren existierender Prozeßketten

In den genannten BMBF-Projekten wurden zu den hier dargestellten Schwachstellen empirische Ergebnisse zusammengetragen. Die nebenstehende Tabelle gibt einen Überblick über die ermittelten Befunde.

Die Analyse heutiger Prozeßketten in Unternehmen im Rahmen der angesprochenen BMBF-Projekte zeigt zudem, daß eine Vielzahl unterschiedlicher EDV-Systeme mit verschiedenartigen Datenbasen entweder nur Informationsbruchstücke über verfügbare Geometrieschnittstellen austauschen oder aber gar nicht miteinander kommunizieren können. Ferner verkörpern der 2.5D- und 3D- bzw. der freiformflächenbasierte Fertigungs-

<p>Schwachstelle 1: Unidirektionale Informationsflüsse</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vorherrschen sequentieller Informationsverarbeitung • Redundante Datenhaltung je Sequenz <p>Empirische Befunde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geringe Umplanungsquote von NC-Programmen auf NC-Maschinen (ca. 5 %) • Aufwendige Postprozessoranpassung • Unzureichende Rückdokumentation von Änderungen aus der Werkstatt • Häufig redundante Verwaltung der NC-Programme
<p>Schwachstelle 2: Informationsverluste</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Informationsverluste durch Datenschnittstellen zwischen Abteilungen • Hoher Aufwand beim Nachvollzug reduzierter Information <p>Empirische Befunde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geringe Übernahme von CAD-Geometriedaten: 68 % der Zeichnungen auf CAD Basis, aber nur 10 % werden zur NC-Programmierung übernommen • Hoher Aufwand durch Nachmodellierung der Geometrie in der NC-Programmierung • Informationsverlust bei Überführung der Bearbeitungsstrategie in Verfahrenwege und Maschinenfunktionen • Hoher Einfahraufwand durch geringe Transparenz der NC-Programme
<p>Schwachstelle 3: Mangelnder Erfahrungsaustausch</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Geringer prozeßkettenübergreifender Erfahrungstransfer • Erschwerte Zusammenarbeit entlang der CAD/CAP/NC-Verfahrenskette <p>Empirische Befunde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Werkstattmitarbeiter beuteilten die Absprache mit der Konstruktion als erschwert • Werkstattmitarbeiter schätzten den Bedarf an Absprachen mit Konstruktion, NC-Planung und Lager als mittel bis hoch ein • Gegenseitiger Austausch zwischen NC-Programmierung und Fertigung ist durch unterschiedliche Programmiersysteme behindert

Schwachstellen von Prozeßketten

strang zwei vollständig getrennte und autarke Teilprozeßketten, wie es in Abbildung 2 veranschaulicht ist (vgl. Haasis 1997).

Infolge der beschriebenen autarken Prozeßketten entstehen Reibungsverluste; insgesamt ist ein hoher – und häufig ungeplanter – Abstimmungsaufwand zu verzeichnen. Dies wurde z.B. in teilnehmenden Beobachtungen im Form- und Gießwerkzeugbau offenbar. Zu Fertigungsverzögerungen kam es häufig dann, wenn ein Facharbeiter bei der Bearbeitung eines komplexen, aus integrierten 2D- und 3D-Geometrien bestehenden Werkstücks feststellte, daß die beiden NC-Programme von unterschiedlichen Bezugspunkten ausgingen.

Die bisher entwickelten CAx-Systeme – wie CAD-Systeme, Arbeitsplanungssysteme oder NC-Programmiersysteme – sowie deren additive Kombination sind nach Auffassung der Autoren nicht in der Lage, die genannten Schwachstellen von Prozeßketten – Unidirektionalität, Informationsverlust und mangelnder Erfahrungsaustausch – abzubauen. Um diese Defizite zu überwinden, müssen andere als bisher übliche technische Voraussetzungen geschaffen werden. Dabei ist die Überwindung dieser Schwachstellen keineswegs ein ausschließlich informationstechnisches Problem, wie verschiedene mittlerweile aufgegebenen CIM-Lösungen belegen. Sollen Fachkräfte mit unterschiedlicher Ausbildung und verschiedenen Aufgabenschwerpunkten ihre Erfahrungen austauschen können, um z.B. Prozesse zu optimieren und zu koordinieren, kommt es darauf an, daß sie sich beim Austausch von Informationen in einem Bezugssystem mit gemeinsam geteilten Objekt- und Sprachkonventionen aufeinander beziehen und es ihnen gleichzeitig gelingt, ihre je eigene Sicht auf informationstechnisch modellierte Ereignisse einzubringen. Es gilt also, Lösungen zu entwickeln, die nicht nur informationstechnischen Anforderungen, sondern auch den Ansprüchen verteilter Arbeit entlang von Prozeßketten genügen.

2. Handlungsorientierte Fertigungsinformationsmodelle

Eine adäquate informationstechnische Lösung zur Überwindung der Defizite herkömmlicher Prozeßketten liegt in der Entwicklung von übergreifenden und durchgängigen objektbasierten Informationsmodellen, die einen bidirektionalen Informationsfluß gewährleisten können (s. auch den

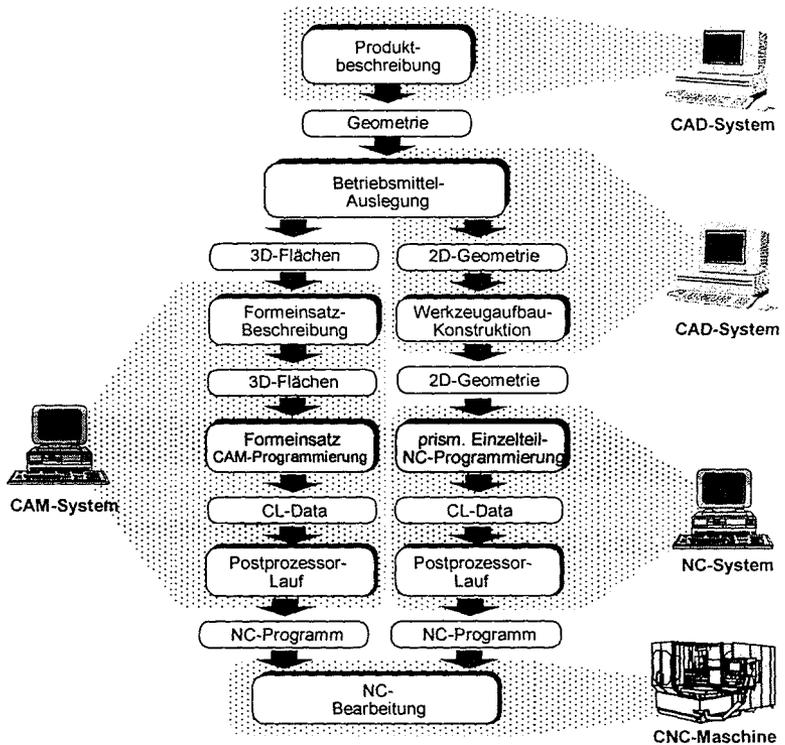
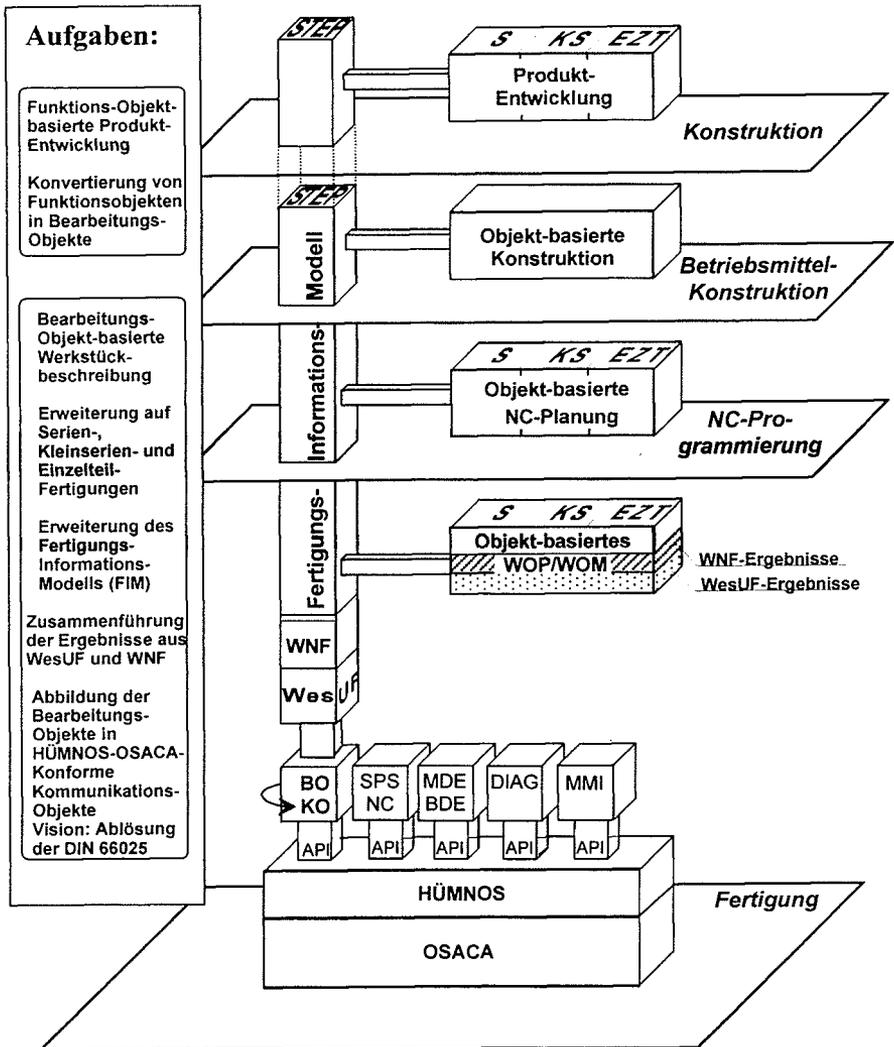


Abb. 2: Getrennte und autarke Prozeßketten

Beitrag von Schulz und Glockner in diesem Band, S. 157 ff.). Dies wird möglich, wenn die verwendeten Objekte (z.B. Funktions-, Geometrie-, Bearbeitungs- und Prüfobjekte) miteinander kombinierbar und die damit gekoppelten Methoden an verschiedenen Arbeitsplätzen für verschiedene Aufgabenstellungen anwendbar sind. Um verteilte Arbeit entlang Prozeßketten technisch angemessen unterstützen zu können, sind aus Sicht der Industrie die folgenden Voraussetzungen zu schaffen:

- Entwicklung und Installation eines einheitlichen Fertigungsinformationsmodells entlang Prozeßketten zur Gewährleistung eines durchgängigen und bidirektionalen Datenaustauschs;
- Modellierung von Bearbeitungsvorgängen anhand wirklichkeitsnaher Objekte und zugeordneter Merkmale zur Schaffung modularer und erweiterbarer Systeme;



S= Serienteile (-Fertigungen)
 KS= Kleinserienteile (-Fertigungen)
 EZT= Einzelteile (-Fertigungen)

Abb. 3: Eine mögliche CAD/CAP/NC-Prozesskette

- Entwicklung und Einführung handlungsorientierter Interaktionssysteme zur Vereinheitlichung der Benutzerstrukturen in Einzelteil-, Kleinserien- und Serienfertigung;
- Gestaltung konfigurierbarer Applikationen zur aufgabenspezifischen Anpassung des Benutzungsmodells und Funktionsumfangs von Softwarebausteinen.

Eine Umsetzung dieser Voraussetzungen und Anforderungen in Form der Basisstruktur einer zukünftigen CAD/CAP/NC-Prozeßkette ist aufgrund von WNF-Ergebnissen (vgl. Kruppe 1996) sowie OSACA-Ergebnissen (vgl. Idas-Osaca 1997) versucht worden und in Abbildung 3 dargestellt.

Unter dem Aspekt interpersoneller Verständigung kommt es bei der Gestaltung und Modellierung von Prozeßketten darauf an, die spezifische Handlungsorientierung der Mitarbeiter eines Aufgabenbereichs zu unterstützen und damit Möglichkeiten zu sichern, Erfahrungen machen und anzuwenden zu können – denn hier liegen typische Schwachstellen von CIM-Lösungen (zum Thema berufliche Erfahrung vgl. u.a. Schulze, Witt 1997).

Die Unterstützung unterschiedlicher Handlungsorientierung und Erfahrungshintergründe durch ein übergreifendes Informationsmodell ist dabei alles andere als trivial, wie ein kurzer Blick auf die Handlungsvollzüge und Denkformen in Konstruktion, NC-Planung und Fertigung veranschaulichen soll. *Konstrukteure* denken und handeln entsprechend ihren Aufgaben und Zuständigkeiten vor allem in Funktionseinheiten. Das in Abbildung 4 dargestellte Feature zeigt eine mögliche Form funktionsbezogener Einheiten (vgl. Haasis 1997).

Die Vorgehensweise von NC-Planern orientiert sich stärker an geometrischen Bearbeitungseinheiten und Fertigungstoleranzen. Die im Projekt WesUF entwickelten Bearbeitungsobjekte sind nach ersten Analysen gut geeignet, diese Form des Denkens und Handelns zu unterstützen. Ein Beispiel für ein solches geometrisches Bearbeitungsobjekt zeigt Abbildung 5.

Fachkräfte aus der Fertigung wiederum richten ihr Denken und Handeln entsprechend ihren Bearbeitungsaufgaben stärker an werkzeug- und NC-Verfahrweg-bezogenen Einheiten aus. Dies sollen exemplarisch die Planungen von Fachkräften bezüglich der NC-Verfahrwege einer spanabhe-

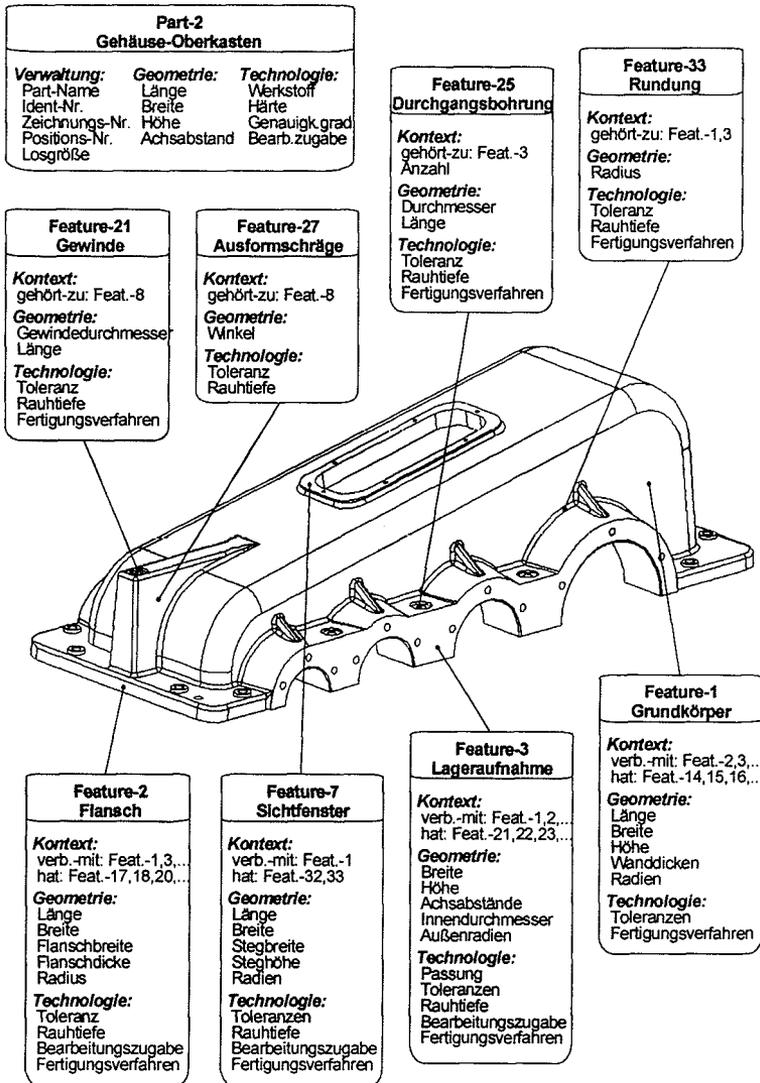


Abb. 4: Funktionsobjekt-orientierte Beschreibung eines Gehäuseoberteils

benden Bearbeitung anhand eines Beispielteils verdeutlichen. Wie in den Abbildungen 6 und 7 veranschaulicht, spielt in ihrer Planung und Ausführung eine Verschränkung von zu bearbeitender Fläche mit adäquaten Werkzeugen eine zentrale Rolle (vgl. Schulze 1996). Ein wesentliches –

fertigungsökonomisches – Zielkriterium besteht in der Abnahme von möglichst viel Zerspanungsvolumen pro Bearbeitungsgang bzw. pro Werkzeug. Oder wie es die Fachkräfte in Interviews ausdrückten: „Was kann ich mit dem Werkzeug noch mitmachen?“

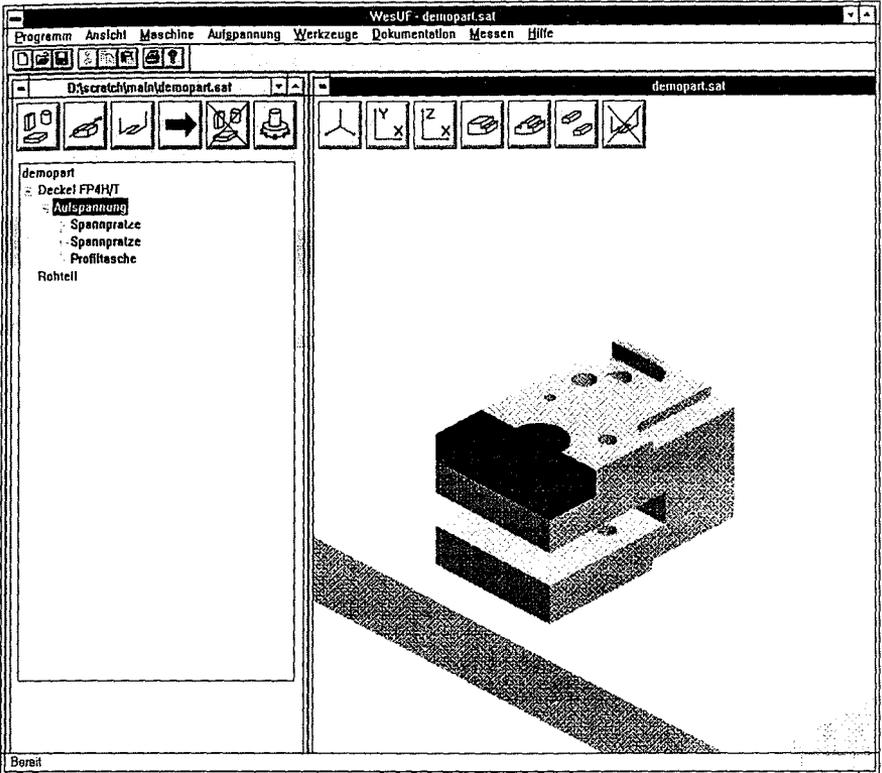


Abb. 5: Exemplarische NC-Planung auf Basis von Bearbeitungsobjekten

3. Aufgabennetze als Basis für erfahrungsgelitete Arbeit mit Prozeßketten

Die Umsetzung der hier aufgezeigten Perspektive zur Überwindung der bisherigen Schwachstellen von Prozeßketten durch ein handlungsorien-

tiertes Fertigungsinformationsmodell erlaubt es, sowohl innerbetrieblich Aufgabennetze einzurichten als auch überbetriebliche Vernetzungen zu schaffen. Damit kann ein schneller Informationsfluß zwischen Arbeitsplätzen zur Bewältigung der je Produktionsbereich verschiedenen Aufgaben ermöglicht werden. Aufgrund eines einheitlichen Fertigungsinformationsmodells kann weiterhin auf gemeinsame Bezugsobjekte als Grundlage der gegenseitigen Verständigung zugegriffen werden, um kollektive Erfahrungsbildung und kollektiven Erfahrungstransfer zu sichern. Erst wenn verschiedene Sichten auf die Bezugsobjekte zugelassen werden, können die Berücksichtigung aufgabenspezifischer, differenzierter Herangehensweisen je Arbeitsplatz und damit die individuelle Bildung, Anwendung und auch Weitergabe von Erfahrung ermöglicht werden.

Vom BMBF geförderte und erwähnte Projekte

HÜMNOS	Entwicklung herstellerübergreifender Module für den nutzerorientierten Einsatz offener Steuerungsarchitekturen
WNF	Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung
WesUF	Handlungsorientierte Lösungen für Werkzeugmaschinensteuerungen zur Unterstützung erfahrungsgeliteter und gruppenfähiger Facharbeit
CeA	Computergestützte erfahrungsgelitete Arbeit mit Werkzeugmaschinen
OSACA	Open System Architecture for Controls within Automation Systems

Literatur

- Albrecht, L.; Leinmüller, M.; Litto, M.; Meier, H.; Stäbler, H.: PG5 – Konfigurierbare Module zur Systemüberwachung. In: VDW (Hrsg.): Trendwende in der Steuerungstechnik, Frankfurt 1998, S. 121-139.
- Anders, A.; Siegel, C.; Storr, A.: Adaptive Supervision System for Transfer Lines, Symposium Production 2000: Autonomous Cooperative and Adaptable Manufacturing Units in Computer Network, Universität Stuttgart, hektogr., Stuttgart 1997.
- Apple Computer Inc. (ed.): Macintosh Human Interface Guidelines, New York 1992.
- Asdonk, J.; Bredeweg, U.; Kowol, U.: Innovation als rekursiver Prozeß – Zur Theorie und Empirie der Technikgenese am Beispiel der Produktionstechnik. In: Zeitschrift für Soziologie, Heft 4, 20. Jg., 1991, S. 290-304.
- Asdonk, J.; Bredeweg, U.; Kowol, U.: Innovation, Organisation und Facharbeit, Bielefeld 1993.
- Asdonk, J.; Bredeweg, U.; Kowol, U.: Evolution in technikerzeugenden und technikverwendenden Sozialsystemen – dargestellt am Beispiel des Werkzeugmaschinenbaus. In: W. Rammert; G. Bechmann (Hrsg.): Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 7, Frankfurt/New York, 1994, S. 67-94.
- Bär, T.; Weber, C.: Neues aus dem Bereich der Feature-Technologie. In: CAD-CAM Report, Nr. 9, 1996, S. 96-106.
- Belzer, V.: Unternehmenskooperationen – Erfolgsstrategien und Risiken im industriellen Strukturwandel, München 1993.
- Bieber, D.: Probleme unternehmensübergreifender Organisation von Innovationsprozessen. In: D. Bieber (Hrsg.): Technikentwicklung und Industriearbeit, Frankfurt/New York 1997, S. 111-140.
- Bieber, D.; Möll, G.: Technikentwicklung und Unternehmensorganisation – Zur Rationalisierung von Innovationsprozessen in der Elektroindustrie, Frankfurt/New York 1993.
- Bierhoff, H.W.; Müller, G.F.: Kooperation in Organisationen. In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, Heft 2, 1993, S. 42-51.
- Böhle, F.; Milkau, B.: Vom Handrad zum Bildschirm – Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozeß, Frankfurt/New York 1988.
- Böhle, F.; Rose, H.: Technik und Erfahrung – Arbeit in hochautomatisierten Systemen, Frankfurt/New York 1992.
- Böhle, F.; Schulze, H.: Subjektivierendes Arbeitshandeln – Zur Überwindung einer gespaltenen Subjektivität. In: Ch. Schachtner (Hrsg.): Technik und Subjektivität, Frankfurt 1997, S. 26-46.

- Bolte, A.; Lehmann, R. (Hrsg.): *Erfahrungsgeleitete Arbeit in der CNC/CAD-Funktionskette – Stand und Entwicklungsoptionen*, Kassel 1992.
- Brandl, T.: *Elektronisches Handbuch mit integrierter Diagnosefunktion*, Vortrag im Seminar „Integrierte Softwaretechnik für den Maschinenbau“, Universität Stuttgart, Institut für Steuerungstechnik, Stuttgart 1997.
- Bredeweg, U.; Kowol, U.; Krohn, W.: *Innovationstheorien zwischen Technik und Markt – Modelle der dynamischen Kopplung*. In: W. Rammert; G. Bechmann (Hrsg.): *Technik und Gesellschaft*, Frankfurt/New York 1994, S. 187-205.
- Borg, I.: *Mitarbeiterbefragungen – Strategisches Auftau- und Einbindungsmanagement*, Göttingen 1995.
- Booch, G.: *Objektorientierte Analyse und Design*, Bonn 1994.
- Bronder, Ch.: *Kooperationsmanagement – Unternehmensdynamik durch strategische Allianzen*, Frankfurt/New York 1993.
- Bühler, E.: *Aspekte der Endanwender von Werkzeugmaschinen*. In: Daimler-Benz (Hrsg.): *HÜMNOS-Abschlußpräsentation, gesammelte Vorträge*, Stuttgart, 19. März 1998.
- Carus, U.; Schulze, H.: *Leistungen und konstitutive Komponenten erfahrungsgeleiteter Arbeit*. In: H. Martin (Hrsg.): *CeA – Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit*, London/Berlin/Heidelberg etc. 1995, S. 48-82.
- Computers and People Series (eds.): *The Separable User Interface*, London 1992.
- Coy, W.; Gorny, P.; Kopp, I.; Skarpelis, C. (Hrsg.): *Menschengerechte Software als Wettbewerbsfaktor – Forschungsansätze und Anwenderergebnisse aus dem Programm „Arbeit und Technik“*, Stuttgart 1993.
- Dahmer, J.: *Benutzerbeteiligung in der Technikentwicklung – Methoden der Technikanalyse und -bewertung am Beispiel von Industrierobotern*, Dortmund 1997.
- Dalheimer, V.: *Organisationsdynamik als Seminar – ein Widerspruch?* In: B. Voß (Hrsg.): *Kommunikations- und Verhaltenstraining*, Göttingen 1995, S. 233-242.
- Delhees, K.H.: *Soziale Kommunikation*, Opladen 1994.
- Dey, W.; Leonhardt, H.-P.; Spieß, H.: *Graphische Symbole Werkzeugmaschinen (Übersicht)*, Berlin/Wien/Zürich 1983.
- DIN (Hrsg.): *DIN-Fachbericht 4 – Graphische Symbole zur Anwendung an Einrichtungen (Bildzeichen – Übersicht)*, Berlin/Wien/Zürich 1995.
- Eberts, R.E.: *User Interface Design*, Englewood Cliffs 1994.
- Endres, E.; Wehner, T.: *Zwischenbetriebliche Kooperation aus prozessualer Perspektive*. In: D. Sauer; H. Hirsch-Kreinsen (Hrsg.): *Zwischenbetriebliche Arbeitsteilung und Kooperation*, Frankfurt/New York 1996, S. 81-120.
- Erzberger, H.; Ilg, R.; Görner, C.: *Berührungsempfindlicher Bildschirm als Alternative zu herkömmlichen Eingabemitteln?* In: *Arbeitsunterlage des Fraunhofer IAO*, Stuttgart 1990.

- Fechter, T.: Neue Wege in der NC-Technik. In: H.W. Kurth (Hrsg.): Entwicklungsmanagement: Simultaneous Engineering, Tagungsbericht zu den 2. Entwicklungsmanagementtagen, 14. bis 15.6.1994 in Gießen, Herborn 1994, S. 316-325.
- Failmezger, R.; Urban, R.; Drexler, E.: Analyse von Belastungs- und Beanspruchungsprozessen an CNC-Maschinen, Bremerhaven 1989.
- Fischer, M.; Jungeblut, R.; Römmermann, E.: Jede Maschine hat ihre eigenen Marotten! Bremen 1995.
- Fleig, J.: Unterstützung der Mitarbeiter in der Werkstatt durch einen Facharbeiter – Informationssystem. 1. Kasseler Kolloquium, Gesamthochschule Kassel, Kassel 1997, S. 111-117.
- Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Hrsg.): Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen als Element rechnerintelligenter Produktionsstrukturen, Institut für Arbeitswissenschaften, Kassel 1992.
- Fritsch, M.: Arbeitsteilige Innovation – Ein Überblick über neuere Forschungsergebnisse. In: D. Sauer; H. Hirsch-Kreinsen (Hrsg.): Zwischenbetriebliche Arbeitsteilung und Kooperation, Frankfurt/New York 1996, S. 15-47.
- Frommann, R.: Projektmanagement im Anlagenbau: Betroffene zu Beteiligten machen. In: VDMA; VdTÜV (Hrsg.): Fit für den Weltmarkt, Frankfurt 1997, S. 215-235.
- Fuchs, P.; Hartmann, E.: Partizipative Software-Gestaltung – Methoden und Instrumente zur Beteiligung der Nutzer. In: W. Coy u.a. (Hrsg.): Menschengerechte Software als Wettbewerbsfaktor, Stuttgart 1993, S. 348-361.
- Fuchs-Frohnhofen, P.; Hartmann, E.A.; Schindler, W.; Tischer, R.: Lernen & Fertigen – Anregungen für die Integration von Lernen und Fertigen in kleinen und mittleren Unternehmen, RWTH, Hochschuldidaktisches Zentrum (HDZ), hektogr., Aachen 1994.
- Grabowski, H.; Geiger, K.: Neue Wege der Produktentwicklung, Stuttgart 1997.
- Green, M.: Report on Dialogue Specification Tools. In: G. Pfaff (ed.): User Interface Management Systems, Berlin/Heidelberg/New York 1985, pp. 9-20.
- Haasis, S.: Nutzenpotentiale der durchgängigen Feature-Verarbeitung, VDI Bericht Nr. 1322, Düsseldorf 1997.
- Hartmann, M.; König, B.: Standortsicherung durch Innovation – Grundlagen zukünftiger Strategien und Prozesse. In: B. Lutz u.a. (Hrsg.): Produzieren im 21. Jahrhundert, Frankfurt/New York 1996, S. 145-192.
- Heidenreich, M.; Kerst, Ch.; Munder, I.: Innovationsstrategien im deutschen Maschinen- und Anlagenbau. In: M. Heidenreich (Hrsg.): Innovationen in Baden-Württemberg, Baden-Baden 1997, S. 145-158.
- Hirsch-Kreinsen, H.: Institutionelle und personelle Innovationsvoraussetzungen des Werkzeugmaschinenbaus. In: H. Rose (Hrsg.): Nutzerorientierung im Innovationsmanagement, Frankfurt/New York 1995, S. 11-38.
- Hirsch-Kreinsen, H.: Innovationschwächen der deutschen Industrie – Wandel und Probleme von Innovationsprozessen. In: G. Bechmann; W. Rammert (Hrsg.): Technik und Gesellschaft, Frankfurt/New York 1997, S. 153-174.

- Hirsch-Kreinsen, H.: Organisation und Koordination eines transnationalen Unternehmensnetzwerks. In: M. von Behr; H. Hirsch-Kreinsen (Hrsg.): Globale Produktion und Industriearbeit, Frankfurt/New York 1998, S. 37-62.
- Hirsch-Kreinsen, H.; Merz, E.: Organisation und Kooperation als strategische Ressourcen der Zukunft. In: B. Lutz (Hrsg.): Strategiefähigkeit und Zukunftssicherung der deutschen Industrie, Düsseldorf 1997, S. 66-89.
- Hörning, K.; Dollhausen, K.: Metamorphosen der Technik, Opladen 1997.
- IAO (Delp, M.): Style Guide Werkzeugmaschinen, Stuttgart 1997.
- Idas-OSACA Consortium (Hrsg.): OSACA – Open System Architecture for Controls within Automation Systems, Handbuch, Stuttgart 1997.
- ISO 10303 –214: Application Protocol „Core Data for Automotive Mechanical Design Processes“, 1997.
- ISO 10303 –224: Application Protocol on Mechanical Product Definition for Process Planning Using Form Features, 1997.
- Johannsen, G.: Mensch-Maschine-Systeme, Berlin 1993.
- Kalkowski, P.: Innovationsstrategien des deutschen Maschinenbaus. In: VDI-Z, Heft 7/8, 1997, S. 26-30.
- Kalkowski, P.; Manske, F.: Innovation im Maschinenbau. In: SOFI-Mitteilungen, Januar 1993, S. 62-85.
- Kleining, G. (Hrsg.): Lehrbuch Entdeckende Sozialforschung – Von der Hermeneutik zur qualitativen Heuristik, Band 1, Weinheim 1995.
- König, E.; Volmer, G.: Systemische Organisationsberatung, Weinheim 1993.
- Konradt, U.: Gestaltung gebrauchstauglicher Anwendungssysteme, Wiesbaden 1996.
- Krainz, E.E.: Steuern von Gruppen. In: B. Voß (Hrsg.): Kommunikations- und Verhaltenstraining, Göttingen 1995, S. 206-220.
- Kruppe, E.: Verbundprojekt werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung. Vortragsband des 2. Workshop vom 6. März 1996, Tegement interorganisationaler Beziehungen, Opladen 1994, S. 160-193.
- Lullies, V.; Bollinger, H.; Weltz, F.: Wissenslogistik, Frankfurt/New York 1993.
- Lutz, B.: Neue Herausforderungen und neue Chancen der deutschen Industrie. In: B. Lutz (Hrsg.): Strategiefähigkeit und Zukunftssicherung der deutschen Industrie, Düsseldorf 1997, S. 7-24.
- Lutz, R.; Lewek, J.: Objektorientierte Informationsmodellierung und Steuerungssoftware – rechnerunterstützt aus dem Baukasten, Vortrag im Seminar „Integrierte Softwaretechnik für den Maschinenbau“, Universität Stuttgart, Institut für Steuerungstechnik, Stuttgart 1997.
- Malsch, Th.: Technologiepolitik braucht Innovationsmanagement – Ein Beitrag zur Standortdebatte. In: Jahrbuch Arbeit und Technik, Bonn 1994, S. 213-285.
- Martin, H. (Hrsg.): CeA – Computergestützte erfahrungsgeladene Arbeit, London/Berlin/Heidelberg etc. 1995.

- Martin, H.; Rose, H. (Hrsg.): CNC-Entwicklung und -Anwendung auf der Basis erfahrungsgeliteter Arbeit, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Fb 658, Bonn 1992.
- Oberschulte, H.: Organisatorische Intelligenz – ein Vorschlag zur Konzeptdifferenzierung. In: G. Schreyögg; P. Conrad (Hrsg.): Wissensmanagement, Berlin 1996, S. 41-82.
- OSF/Motif (eds.): Style-Guide – Prentice Hall, Englewood Cliffs 1993.
- Picot, A. (Hrsg.): Telekooperation und virtuelle Unternehmen – Auf dem Weg zu neuen Arbeitsformen, Heidelberg 1997.
- Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R.: Die grenzenlose Unternehmung, Wiesbaden 1996.
- Pohlmann, M.: Antagonistische Kooperationen und distributive Macht – Anmerkungen zur Produktion in Netzwerken. In: Soziale Welt, Heft 1, 1996, S. 44-67.
- Prange, Ch.: Interorganisationales Lernen – Lernen in, von und zwischen Organisationen. In: G. Schreyögg; P. Conrad (Hrsg.): Wissensmanagement, Berlin 1996, S. 163-190.
- Pritschow, G.: Trendwende in der Steuerungstechnik. In: Daimler-Benz (Hrsg.): HÜMNOS-Abschlußpräsentation, gesammelte Vorträge, Stuttgart, 19. März 1998.
- Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K.: Wissen managen, Wiesbaden 1997.
- Rammert, W.: Technik aus soziologischer Perspektive, Opladen 1993.
- Rauterberg, M.; Spinas, P.; Strohm, O.; Ulich, E.; Waeber, D.: Benutzerorientierte Software-Entwicklung – Konzepte, Methoden und Vorgehen zur Benutzerbeteiligung, Stuttgart 1994.
- Redelius, J.: Untersuchung zur Lesbarkeit von Bildschirmschriften, 1997 (<http://bacon.meyle-mueller.de/>).
- Reichwald, R.; Bey, I.: Thesen zur Forschungs- und Technologiepolitik. In: B. Lutz (Hrsg.): Strategiefähigkeit und Zukunftssicherung der deutschen Industrie, Düsseldorf 1997, S. 90-107.
- Reichwald, R.; Möslein, K.; Sachenbacher, H.; Englberger, H.; Oldenburg, S.: Telekooperation, verteilte Arbeits- und Organisationsformen, Berlin/Heidelberg/New York 1998.
- Rose, H.: Produktentwicklung im 21. Jahrhundert. Beispiel Werkzeugmaschinenbau. In: VDI-Z, Heft 9, 136. Jg., 1994, S. 26-29.
- Rose, H.: Herstellerübergreifende Kooperation und nutzerorientierte Technikentwicklung als Innovationsstrategie. In: H. Rose (Hrsg.): Nutzerorientierung im Innovationsmanagement, Frankfurt/New York 1995, S. 195-218.
- Rose, H. (Hrsg.): Objektorientierte Produktionsarbeit – Neue Konzepte für die Fertigung, Frankfurt/New York 1996.
- Rose, H. (Hrsg.): Nutzergerechte Repräsentations- und Interaktionsformen für objektorientierte Informationsmodelle. In: H. Rose (Hrsg.): Objektorientierte Produktionsarbeit, Frankfurt/New York 1996a, S 245-287.

- Rose, H.: Interpersoneller Erfahrungsaustausch als Instrument projekt- und phasenübergreifender Arbeitskoordination. In: VDMA (Hrsg.): Fit für den globalen Markt? – Leitfaden für das Qualitätsmanagement und Projektmanagement, Frankfurt 1997, S. 122-128.
- Rose, B.: STEP kommt in die Gänge. In: CAD/CAM, Nr. 1, 1997a, S. 98-104.
- Rose, H.; Schulze, H.: Innovation durch Kooperation. In: VDW (Hrsg.): Trendwende in der Steuerungstechnik, Frankfurt 1998, S. 171-193.
- Rose, H.; Schulze, H.; Wahl, M.: Nutzeranforderungen für die Arbeit mit Steuerungssystemen. In: VDW (Hrsg.): Trendwende in der Steuerungstechnik, Frankfurt 1998, S. 59-85.
- Rose, H.; Schulze, H.; Wiegand, R.: Facharbeit in einem „agilen intelligenten Produktionssystem“. In: VDI-Z 137, Heft 11/12, 1995, S. 22-25.
- Rose, H.; Selb, K.; Funk, U.; Siegel, Ch.; Schulze, H.; Wahl, M.: Potentiale offener Steuerungsarchitekturen für die Arbeitsgestaltung. In: VDI-Z (Integrierte Produktion), Heft 7/8, 1997, S. 56-59.
- Sauer, D.: Auf dem Weg in die flexible Massenproduktion. In: M. Deiß; V. Döhl (Hrsg.): Vernetzte Produktion, Frankfurt/New York 1992, S. 49-79.
- Sauer, D.; Döhl, V.: Die Auflösung des Unternehmens? – Entwicklungstendenzen der Unternehmensreorganisation in den 90er Jahren. In: ISF-München u.a. (Hrsg.): Jahrbuch Sozialwissenschaftliche Technikberichterstattung 1996 – Schwerpunkt: Reorganisation, Berlin 1997, S. 19-76.
- Schäfer, W.: Offene Systemarchitekturen als Perspektive für Werkzeugmaschinensteuerungen. In: H. Rose (Hrsg.): Objektorientierte Produktionsarbeit, Frankfurt/New York 1995, S. 55-63.
- Schäfer, W.: Ziele, Inhalte und Ergebnisse von HÜMNOS. In: Daimler-Benz (Hrsg.): HÜMNOS-Abschlußpräsentation, gesammelte Vorträge, Stuttgart, 19.3.1998.
- Scheele, B.: Dialog-Konsens-Methoden zur Rekonstruktion subjektiver Theorien – die Heidelberger Struktur-Lege-Technik (SLT), konsensuale Ziel-Mittel-Argumentation und kommunikative Fluß-Diagramm-Beschreibung von Handlungen, Tübingen 1988.
- Schmidt, S.; Werle, R.: Koordination und Evolution. Technische Standards im Prozeß der Entwicklung technischer Systeme. In: W. Rammert; G. Bechmann (Hrsg.): Technik und Gesellschaft, Frankfurt/New York 1994, S. 95-126.
- Schmierl, K.: Wandel der Markt-, Entwicklungs- und Kooperationsbedingungen im Werkzeugmaschinenbau. In: D. Bieber u.a. (Hrsg.): Neue Strukturen des Technikmarktes, hektogr. Bericht, München 1997, S. 59-125.
- Schneider, G.; Wahl, M.: Mensch-Maschine-Kommunikation in der Anlagentechnik – Funktionen, Schwachstellen, Anforderungen. Seminarschrift, Universität Kaiserslautern, pak, Kaiserslautern 1995.
- Schultz-Wild, L.; Lutz, B.: Industrie vor dem Quantensprung – Eine Zukunft für die Produktion in Deutschland, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1997.
- Schulz, H.; Fechter, T.: Defizite der heutigen Werkstückprogrammierung. In: Werkstatt und Betrieb, Heft 1-2, 127. Jg., 1994, S. 18-21.

- Schulze, H.: Beurteilung des Prototyps einer objektorientierten Steuerung durch Fachkräfte. In: H. Rose (Hrsg.): Objektorientierte Produktionsarbeit, Frankfurt/New York 1996, S. 173-204.
- Schulze, H.: Die Bewältigung „normaler“ und „kritischer“ Situationen in der industriellen Fertigung. In: Zeitschrift für Politische Psychologie, Heft 5, 1997, S. 355-380.
- Schulze, H.; Witt, H.: Rechnergestützte Facharbeit und berufliche Bildung. In: M. Fischer (Hrsg.): Rechnergestützte Facharbeit und berufliche Bildung, Tagungsband, Bremen 1997.
- Schulz-Schaeffer, I.; Jonas, M.; Malsch, Th.: Innovation reziprok – Intermediäre Kooperation zwischen akademischer Forschung und Industrie. In: Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 9: Innovation – Prozesse, Produkte, Politik, Frankfurt/New York 1997, S. 91-152.
- Schulz von Thun, F.: Miteinander reden, Reinbek 1994.
- Schüpbach, H.: Prozeßregulation in rechnerunterstützten Fertigungssystemen, Schriftenreihe Mensch, Technik, Organisation, Band 4, Zürich/Stuttgart 1994.
- Schützer, K.: Integrierte Konstruktionsumgebung auf der Basis von Fertigungsfeatures, Diss., TU Darmstadt, Darmstadt 1995.
- Siegler, H.: Strategie der Maschinenhersteller. In: Daimler-Benz (Hrsg.): HÜMNOS-Abschlußpräsentation, gesammelte Vorträge, Stuttgart, 19. März 1998.
- Siemens AG Karlsruhe (Hrsg.): Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation, München 1994.
- Sperling, W.; Lutz P.: Enabling Open Control Systems. In: M. Jamshidi et al. (eds.): Robotics and Manufacturing, 1996.
- Sun Microsystems, Inc. (ed.): OPEN LOOK – Graphical User Interface Functional Specification, New York 1989.
- Sydow, J.; Windeler, A.: Über Netzwerke, virtuelle Integration und Interorganisationsbeziehungen. In: J. Sydow; A. Windeler (Hrsg.): Management interorganisationaler Beziehungen, Opladen 1994, S. 1-21.
- Teubner, G.: Die vielköpfige Hydra – Netzwerke als kollektive Akteure höherer Ordnung. In: W. Krohn; G. Küppers (Hrsg.): Emergenz – Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung, Frankfurt 1992, S. 189-216.
- Theis, A.M.: Organisationskommunikation, Opladen 1994.
- VDI-AWF (Hrsg.): Lexikon der Produktionsplanung und -steuerung, Düsseldorf 1983.
- VDW (Hrsg.): Rahmenplan „Entwicklung herstellerübergreifender Module für den nutzerorientierten Einsatz der offenen Steuerungsarchitektur“, Antrag an das BMBF, Frankfurt, September 1995.
- VDW (Hrsg.): Trendwende in der Steuerungstechnik – Herstellerübergreifend offene Systeme, VDW Forschungsberichte, Frankfurt 1998.
- Voigt, E.: Tätigkeitsstrukturen an Werkzeugmaschinen verschiedener Automatisierungsstufen, Bremerhaven 1986.

- Weber, W.G.; Oesterreich, R.: Leitfaden zur Verbesserung von Arbeitsbedingungen an CNC-Maschinen, Bremerhaven 1992.
- Wehner, T.; Endres, E.; Clases, Ch.: Situiertes Lernen und kooperatives Handeln in Praxisgemeinschaften. In: E. Endres; Th. Wehner (Hrsg.): Zwischenbetriebliche Kooperation, Weinheim 1996, S. 71-86.
- Wehner, T.; Raeithel, A.; Clases, Ch.; Endres, E.: Von der Mühe und den Wegen der Zusammenarbeit. In: E. Endres; Th. Wehner (Hrsg.): Zwischenbetriebliche Kooperation, Weinheim 1996a, S. 39-58.
- Wehner, T.; Waibel, M.Chr.: Erfahrungsbegebenheiten und Wissensaustausch als Innovationspotentiale des Handelns – Die Analyse betrieblicher Verbesserungsvorschläge, Technische Universität, Arbeitsbereich Arbeitswissenschaft, hektogr., Hamburg-Harburg 1996.
- Wersig, G.: Impulse der Chaos-Theorie für das Informations-Management. In: H. Scharfenberg (Hrsg.): Strukturwandel in Management und Organisation, München 1993, S. 435-453.
- Weyer, J.: Konturen einer netzwerktheoretischen Techniksoziologie, weder Ordnung noch Chaos. In: J. Weyer u.a. (Hrsg.): Technik, die Gesellschaft schafft, Berlin 1997, S. 23-46.
- Weyer, J.: Die Theorie sozialer Netzwerke zwischen Institutionalismus und Selbstorganisationstheorie. In: J. Weyer u.a. (Hrsg.): Technik, die Gesellschaft schafft, Berlin 1997a, S. 53-100.
- Weyer, J.: Partizipative Technikgestaltung – Perspektiven einer neuen Forschungs- und Technologiepolitik. In: J. Weyer u.a. (Hrsg.): Technik, die Gesellschaft schafft, Berlin 1997b, S. 329-346.
- Wheelwright, St.C.; Clark, K.B.: Revolution der Produktentwicklung, Frankfurt 1994.
- Wiesenthal, H.: Konventionelles und unkonventionelles Organisationslernen. In: Zeitschrift für Soziologie, Heft 2, 1995, S. 137-155.
- Wurche, S.: Vertrauen und ökonomische Rationalität in kooperativen Interorganisationsbeziehungen. In: J. Sydow; A. Windeler (Hrsg.): Management interorganisationaler Beziehungen, Opladen 1994, S. 142-159.
- Zahn, E.; Grescher, J.: Strategische Erneuerung durch organisationales Lernen. In: J. Bullinger (Hrsg.): Lernende Organisation, Stuttgart 1996, S. 41-74.

Die Autoren

Dipl.-Ing. Martin Delp, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Ralf Eissler, PAK, Universität Kaiserslautern

Dipl.-Ing. Uwe Funk, Daimler Chrysler, Werk Untertürkheim, Stuttgart

Dipl.-Ing. Christian Glockner, PTW, TU Darmstadt

Dr. Ing. Siegmар Haasis, Daimler Chrysler, Werk Untertürkheim, Stuttgart

Dipl.-Psych. Anja Hildebrandt, ABU, Psychologisches Institut I, Universität Hamburg

Dipl.-Ing. Ulrich Laible, Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), Universität Stuttgart

Dipl.-Ing. Marco Litto, Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), Universität Stuttgart

Dr. Ing. Christof Meier, Siemens AG, Erlangen

Dr. Manfred Moldaschl, Innovatop München und TU München

Dr. Helmuth Rose, ISF München

Prof. Dr.-Ing. Herbert Schulz, PTW, TU Darmstadt

Dipl.-Psych. Hartmut Schulze, ABU, Psychologisches Institut I, Universität Hamburg

Konrad Selb, BMW AG, München

Dr. Ing. Christoph Siegel, Daimler Chrysler, Werk Untertürkheim, Stuttgart

Prof. Dr. Ing. Alfred Storr, Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), Universität Stuttgart

Dr. Ing. Martin Wahl, PAK, Universität Kaiserslautern

Prof. Dr. Harald Witt, ABU, Psychologisches Institut I, Universität Hamburg

Prof. Dr. Ing. Detlef Zühlke, PAK, Universität Kaiserslautern

DAS INSTITUT FÜR SOZIALWISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNG E.V. – ISF MÜNCHEN –

RECHTSFORM, LEITUNG, FINANZIERUNG

Das ISF München ist ein eingetragener Verein mit anerkannter Gemeinnützigkeit. Es besteht seit 1965. Mitglieder des Vereins sind Personen, die auf den Forschungsfeldern des Instituts arbeiten. Die Leitung liegt beim Institutsrat (Vorstand), der aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ISF besteht.

Das ISF verfügt über keine öffentliche Grundfinanzierung. Die Forschungsvorhaben werden ausschließlich über zeit- und projektgebundene Mittel finanziert. Auftraggeber sind z.B. Bundes- und Landesministerien, die Europäische Union, verschiedene Stiftungen, Institutionen der allgemeinen Forschungsförderung sowie – im Verbund mit öffentlich geförderten Forschungsprojekten – Unternehmen.

FORSCHUNGSGEBIETE, KOOPERATIONEN

Das ISF forscht über neue Entwicklungen in Betrieb und Gesellschaft. Im Vordergrund stehen betriebliche Rationalisierungsstrategien (Technikgestaltung, Arbeitsorganisation), Personal- und Ausbildungspolitiken und deren Voraussetzungen und Folgen für Arbeitsmarkt, Bildungssystem und industrielle Beziehungen. Die Untersuchungen richten sich auf die Verknüpfung von praxisbezogener und theoretischer Forschung und auf den internationalen Vergleich. Dazu arbeitet das Institut mit wissenschaftlichen Einrichtungen anderer, auch technischer Disziplinen, mit Unternehmen sowie mit internationalen Experten zusammen.

Kooperationsvereinbarungen bestehen mit der Fakultät für Ökonomie der Tohoku-Universität in Sendai/Japan und mit dem Economic Research Center der Han Nam Universität in Taejon/Korea.

Die Forschungsergebnisse werden für Wissenschaftler und Praktiker aus Unternehmen, Verbänden und öffentlichen Institutionen aufbereitet.

MITARBEITER, FORSCHUNGSORGANISATION

Im ISF arbeiten ca. 20 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit sozial-, wirtschafts- und ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung sowie studentische Hilfskräfte und freie Mitarbeiter für Spezialgebiete. Die Forschungsarbeiten werden von Projektteams mit hoher Eigenverantwortung durchgeführt. Überlappende Teamkooperation sichert Synergieeffekte, die Zusammensetzung der Belegschaft Interdisziplinarität im Hause. Rund 9 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erledigen die Aufgaben der Verwaltung und Sachbearbeitung.

Ein Überblick über die bisherigen Arbeiten und Veröffentlichungen ist über das Institut erhältlich.

ISF MÜNCHEN JAKOB-KLAR-STR. 9 80796 MÜNCHEN
 TEL. 089/272921-0 FAX 089/272921-60 E-MAIL ISF@LRZ.UNI-MUENCHEN.DE
<http://homepages.muenchen.org/bm752233/>