

Management von Erfahrungen mit einem Assistenzsystem für die Arbeitsplanung

Zur Erlangung des akademischen Grades

eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

von der Fakultät für Maschinenbau der

Universität Karlsruhe

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Harald A. Gerken

aus Stuttgart

Tag der mündlichen Prüfung:	18. Dezember 2000
Hauptreferent:	o. Prof. Dr.-Ing. D. Spath
Korreferent:	o. Prof. Dr.-Ing. R. Anderl

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als Doktorand am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik (WBK) der Universität Karlsruhe (TH) unter der wissenschaftlichen Leitung von o. Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath in Zusammenarbeit mit dem IT-Bereich der DaimlerChrysler AG. Ihm danke ich für die gute Betreuung, die vielen hilfreichen Anregungen und fachlichen Diskussionen, sowie für die Übernahme des Hauptreferates.

Bei Herrn o. Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl bedanke ich mich für sein Interesse an dieser Arbeit und die Übernahme des Korreferats.

Herrn Jürgen Scharpf und Herrn Erich Bühler danke ich für die freundliche Aufnahme in das CoC Betriebsmittelentwicklung und Werkstattsteuerung im Bereich Informationstechnologie Personenwagen der DaimlerChrysler AG.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Siegmund Haasis, der die Anregung zu dieser Arbeit gab und sie stets unterstützte, sowie bei Herrn Dr.-Ing. Michael Weyrich, der in vielen konstruktiven Gesprächen den erfolgreichen Abschluß dieser Arbeit förderte.

Auch den Herren Roland Frank, Dipl.-Ing. Martin Lichtinger, Philippe Dufosse, Alain Quemat, Gustav Olling, Dr.-Ing. Christian Anders und Dr.-Ing. Marcus Schoenenberg gilt mein Dank für die sehr gute und fruchtbare Zusammenarbeit sowie die zahlreichen fachlichen Diskussionen. Frau Dr. rer. nat. Ulrike Näger danke ich für Ihre Unterstützung des Patentierungsprozesses. Allen weiteren Kollegen, Doktoranden und Studenten, die durch Ihre gute Zusammenarbeit zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, danke ich ebenfalls.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Frau Martina und meinen Eltern für Ihre Unterstützung und Ihren Rückhalt bedanken.

Stuttgart, im Dezember 2000

Harald Gerken

Inhalt

1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Die CAD/CAM-Prozeßkette	2
1.3 Arbeitsplanung in der CAD/CAM-Prozeßkette	5
1.4 Zielsetzung.....	9
2 Aktueller Stand der rechnerunterstützten Arbeitsplanung	11
2.1 Begriffserklärungen.....	11
2.2 Entwicklung von Expertensystemen	12
2.3 Wissensrepräsentation	13
2.4 Wissensakquisition	14
2.5 Expertensysteme in der Arbeitsplanung	16
2.5.1 Manuelle Wissensakquisition.....	16
2.5.2 Automatische Wissensakquisition.....	20
2.5.2.1 Neuronale Netze.....	20
2.5.2.2 Bayesian-belief Network	22
2.5.2.3 Lernen von Entscheidungsbäumen.....	23
2.5.2.4 Lernen von Konzepten.....	24
2.5.2.5 Fallbasiertes Schließen.....	25
2.6 Zusammenfassung und Vergleich.....	26
3 Anforderungen an ein Assistenzsystem und Lösungsansatz	31
3.1 Anforderungen	31
3.2 Lösungsansatz.....	33
4 Konzeption eines Assistenzsystems für die Arbeitsplanung	36
4.1 Die Verarbeitung von Erfahrungen.....	36
4.2 Informationsmodell.....	41
4.3 Konzeption der Wissensbasis	47
4.3.1 Fallbasis.....	47

4.3.2 Explizites problemspezifisches Wissen.....	57
4.4 Entwicklung eines Ähnlichkeitsmaßes	61
4.4.1 Anforderungen an ein Ähnlichkeitsmaß	61
4.4.2 Konzeption eines Ähnlichkeitsmaßes für das Assistenzsystem.....	62
4.4.3 Optimierung der Zeit zur Bestimmung des ähnlichsten Falls	68
4.5 Behandlung von Korrekturen	71
4.6 Kommunikation mit Konstruktion und Fertigung.....	74
4.7 Wartung	77
4.8 Einsatzgebiet des Assistenzsystems	77
4.9 Ausblick	80
4.9.1 Anbindung weiterer Systeme	80
4.9.2 Manuelle Recherche in der Fallbasis	81
4.9.3 Unterstützung mehrerer Entscheidungen	81
4.9.4 Ergänzung von regelbasierten Expertensystemen.....	82
5 Realisierung des Assistenzsystems	84
6 Validierung des Assistenzsystems	90
6.1 Test mit realen Daten.....	90
6.2 Bewertung.....	100
7 Ausblick.....	103
8 Zusammenfassung	105
Literatur	108

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Globalisierung und Liberalisierung des Welthandels führen zu einer Intensivierung des Wettbewerbs. Da sich unsere Gesellschaft zu einer Informationsgesellschaft entwickelt, sehen die Unternehmen wettbewerbsrelevante Vorteile verstärkt im Bereich des organisatorischen Prozesses des Erwerbs, Gebrauchs und der Weiterentwicklung von Informationen /BullingerWarschatPrietoWörner-98/ /ScheerBoldHagemeyerKraemer-97/.

Da die Menge verfügbarer Informationen exponentiell wächst, vergrößern sich in gleichem Maße die Anforderungen an die Prozesse im Unternehmen, die diese gezielt verfügbar machen sollen. Neben der Informationsflut sind die Kontextabhängigkeit der Information, konkurrierende Wissensansprüche und Kommunikationsprobleme weitere mögliche Problemfelder /Hubig-98/.

Aufgrund von Defiziten der Prozesse, die heute für den Umgang mit Informationen zur Verfügung stehen, ist eine personengebundene Speicherung im Gedächtnis am verbreitetsten /Zahn-98/. Einer schnellen und umfassenden Kommunikation dieser Informationen steht die fehlende Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien im Weg /BullingerWörnerPrieto-98/. Da außerdem eine Dokumentation isoliert oder gar nicht stattfindet, führen Vergessen und Personalfluktuaton zu einem Verlust der personengebundenen Informationen /ReyMaassenGabeibBrücher-98/.

Untersuchungen zeigen, daß die Unternehmen zum überwiegenden Teil erkannt haben, daß sie trotz der großen Bedeutung von Informationen für ihr Unternehmen diese nur zu einem geringen Teil und nicht optimal nutzen /BullingerWörnerPrieto-97/ /Schmid-99/.

Ausgangspunkte für Verbesserungen können dabei die Prozesse zur Strukturierung, Verteilung und Dokumentation der vorhandenen Informationen sein, da sie direkt

deren Nutzung beeinflussen /ReyMaassenGabeibBrücher-98/. Ziele dieser Prozesse sollten unter anderem eine rechtzeitige und unkomplizierte Informationsbeschaffung, die Vermeidung von unnötigen, irreführenden und falschen Informationen und von Parallelaktivitäten sein /GrabowskiRude-99/ /Gissler-99/.

Im folgenden wird diese Problematik am Beispiel der CAD/CAM-Prozeßkette¹ diskutiert. Wie noch gezeigt wird, ermöglichen die heute hier eingesetzten Systeme den Zugriff auf unterschiedliche Informationen, wie zum Beispiel Geometriedaten und Aufspannungen. Allerdings sind sie nicht in der Lage, die vorhandenen Informationen individuell und situativ zu bewerten, sowie das im Unternehmen vorhandene Erfahrungswissen zu erfassen.

1.2 Die CAD/CAM-Prozeßkette

Schneller aufeinander folgende Produktgenerationen und eine zunehmende Produktvielfalt stellen wachsende Anforderungen an die zur Produkterstellung notwendigen Geschäftsprozesse. Seit Anfang der 90er Jahre dienen diese Prozesse als Ausgangspunkt für organisatorische Verbesserungen in Unternehmen /Heilmann-98/.

Zur Verbesserung der Geschäftsprozesse sind daher zahlreiche Ansätze entwickelt worden, wie zum Beispiel Lean Enterprise /ClarkFujimoto-92/ /WomackJonesRoos-91/, Business Reengineering /HammerChampy-94/, Kaizen /Imai-94/, Concurrent Engineering /Lindberg-93/, Total Quality Management /MalornyKassebohm-94/ und Fraktale Fabrik /Warnecke-92/.

Gleichzeitig hat der IT²-Einsatz in den Unternehmen an Bedeutung gewonnen. Er soll vor allem den betrieblichen Informationsfluß straffen und beschleunigen. Dies hat zu vermehrten Anstrengungen bei der Einführung von Computer Integrated Manufacturing (CIM) geführt /KöhlEsserKemmnerFörster-89/. CIM wird dabei als

¹ Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing

² Information Technology

integrierter IT-Einsatz in allen mit der Produktion zusammenhängenden Bereichen verstanden /AWF-85/.

Ein Schwerpunkt des rechnerunterstützten Informationsflusses liegt in der CIM-Kette "Produkt" bei den Abteilungen, die Produktdaten aufbereiten und für die Produktion zur Verfügung stellen (Bild 1.2-1) /EversheimKönigWeckPfeifer-87/.

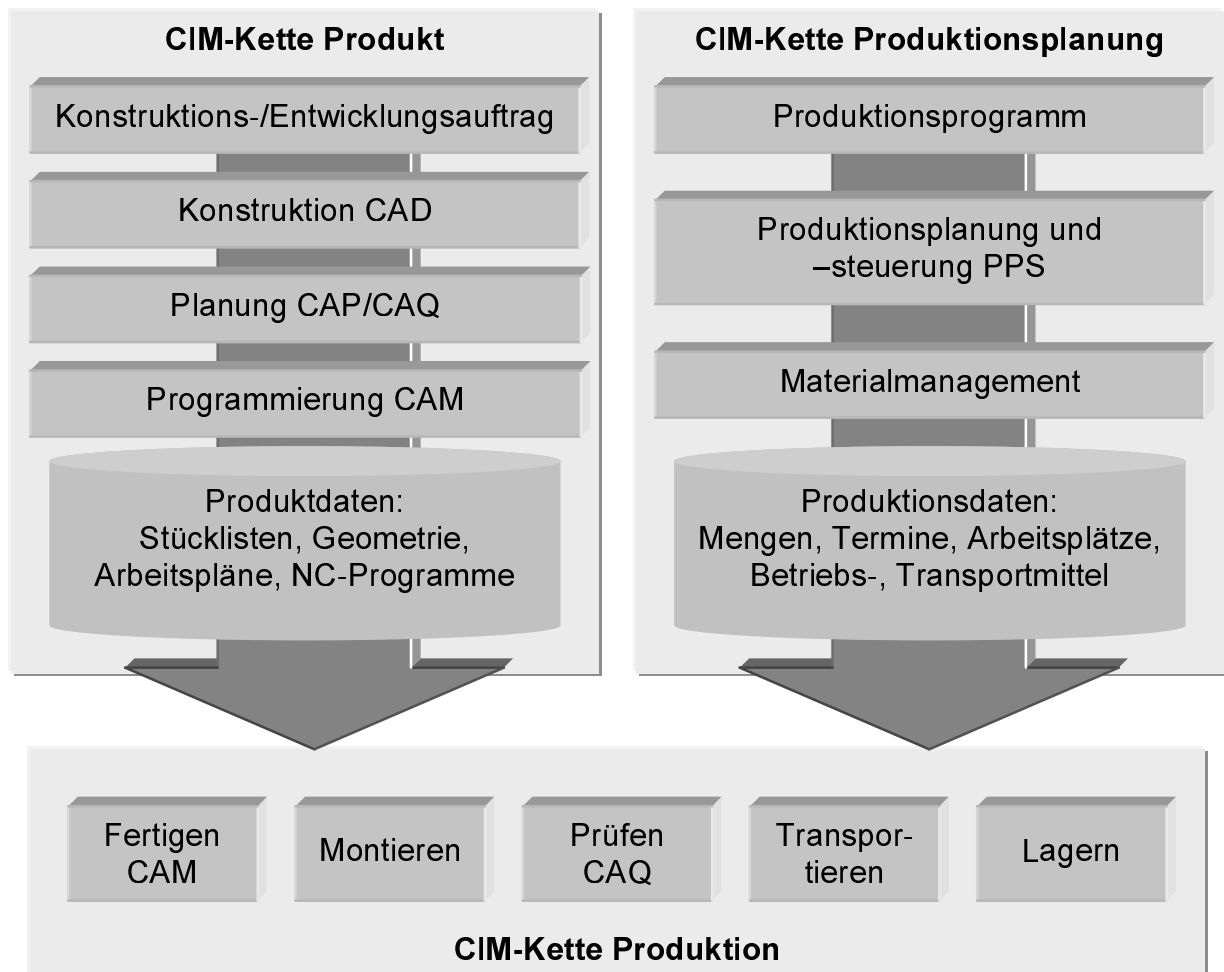


Bild 1.2-1: Schwerpunkte des rechnerunterstützten Informationsflusses nach /EversheimKönigWeckPfeifer-87/

Werden in dieser CIM-Kette NC-Programme erzeugt, spricht man von der sogenannten NC-Verfahrenskette. Sie umfaßt, wie in Bild 1.2-2 dargestellt, alle betrieblichen Funktionen von der Konstruktion über die NC-Planung und die NC-Programmierung bis zur NC-Bearbeitung, einschließlich Ressourcen-Management und Kommunikation /EversheimMüllerKatzky-94/. Sie beginnt mit der vor allem geometrieorientierten Produktbeschreibung in der Konstruktion. Im Rahmen der NC-

Planung werden dann alle fertigungsrelevanten Parameter festgelegt. In der NC-Programmierung werden daraus maschinenspezifische NC-Programme abgeleitet. Diese müssen vor der Bearbeitung an der passenden Werkzeugmaschine eingefahren werden. Dabei werden die NC-Programme getestet, korrigiert und optimiert /Klaiber-92/.

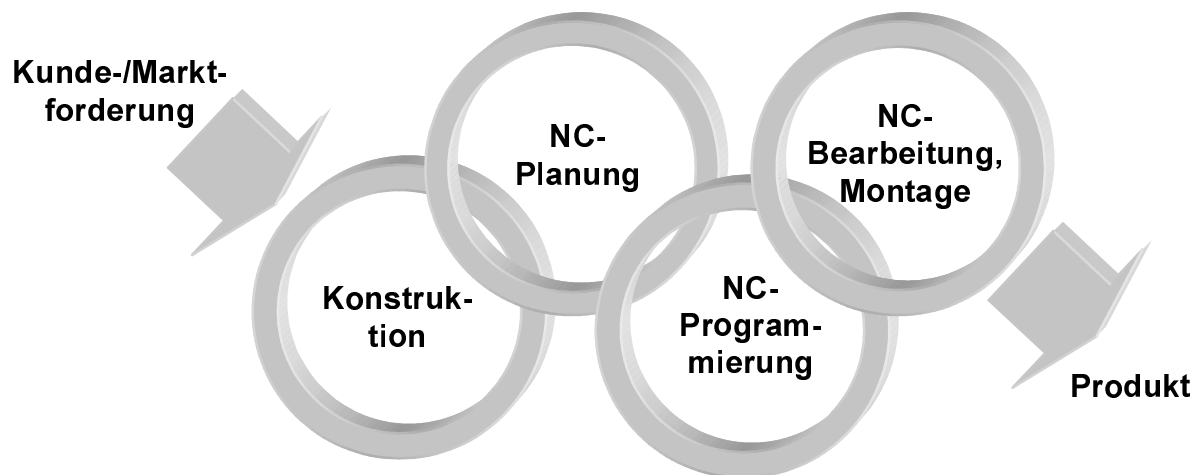


Bild 1.2-2: Die NC-Verfahrenskette /EversheimMüllerKatzky-94/

Aufgrund der zunehmenden Automatisierung von Konstruktions- und Planungstätigkeiten werden IT-Systeme, zum Beispiel CAD-, CAPP- oder CAM-Systeme, in nahezu allen Gliedern der Prozeßkette eingesetzt /EversheimDeuse-97/. Da die Durchgängigkeit der Prozeßkette großes wettbewerbsrelevantes Potential hat, ist eine unkomplizierte Kommunikation zwischen diesen Systemen erforderlich /SpathScharerBarrho-99/. Um diese gewährleisten zu können ist es notwendig, bestehende Insellösungen durch moderne Systeme abzulösen, die einen durchgängigen Informationsfluß in der CAD/CAM-Prozeßkette ermöglichen /Weule-93/ /HaasisFrankRommelWeyrich-00/.

Durch den verbreiteten Einsatz von NC-Maschinen spielt die NC-Verfahrenskette in produzierenden Betrieben eine zentrale Rolle /Rohr-91/. NC-Maschinen werden nicht mehr ausschließlich in der Prototypen- und Kleinserienfertigung eingesetzt, sondern zunehmend auch in der Großserienfertigung /SiegelAndersWinz-98/. Dies läßt sich durch die ansteigende Produktvielfalt und kürzeren Produktzyklen erklären, sowie durch die zunehmend geforderte Flexibilität /Ulbrich-96/, /EversheimKönigWeck-

Pfeifer-87/. Unternehmen, die NC-Maschinen in verschiedenen Bereichen einsetzen, stellen erhöhte Anforderungen an die Kommunikation und Dokumentation der erworbenen Erfahrungen /Sieth-97/. Darüber hinaus nimmt die Planungszeit bei steigender Losgröße zu /Eversheim-97/. Daher bietet eine Rechnerunterstützung der CAD/CAM-Prozeßkette auch bei anschließender Großserienfertigung ein großes Potential für Zeit- und Qualitätsgewinne.

1.3 Arbeitsplanung in der CAD/CAM-Prozeßkette

Die Arbeitsplanung ist nach REFA ein Element der Arbeitsvorbereitung. Sie „umfaßt alle einmalig auftretenden Planungsmaßnahmen, welche unter ständiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit die fertigungsgerechte Gestaltung eines Erzeugnisses oder die ablaufgerechte Gestaltung einer Dienstleistung sichern.“ /REFA-68/.

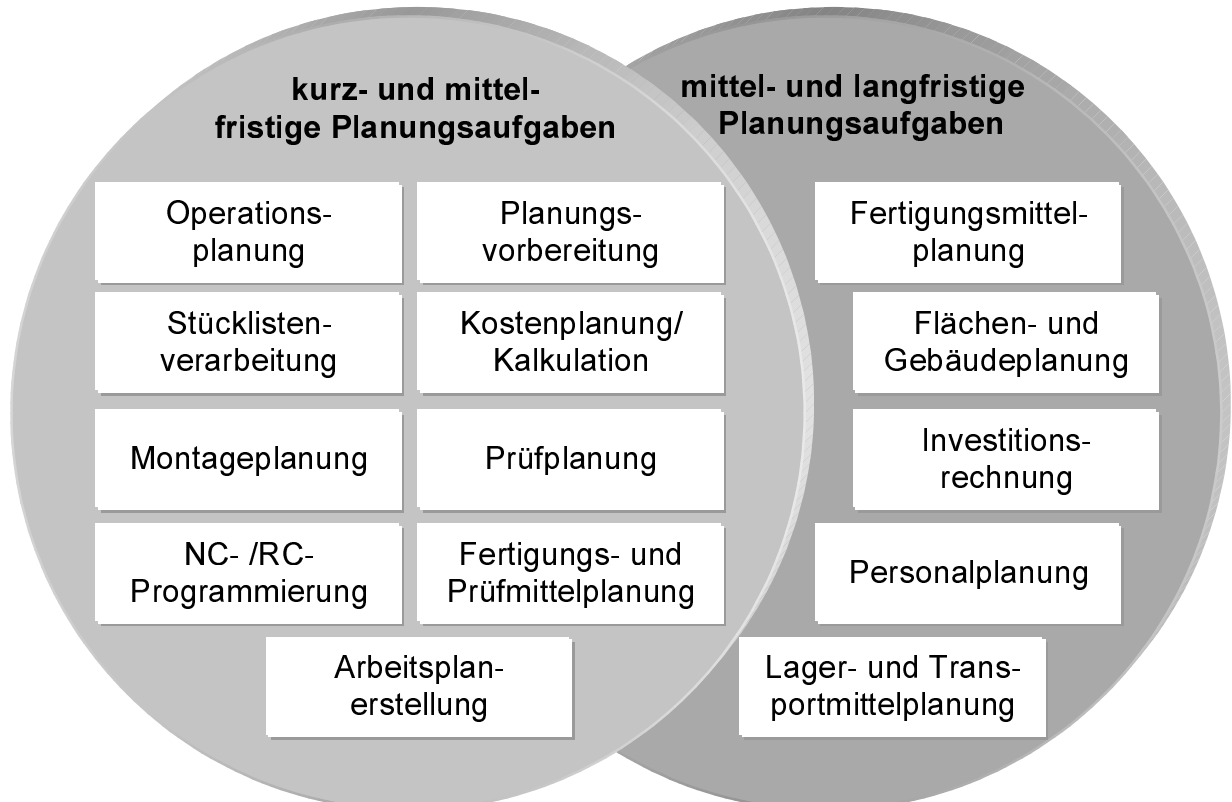


Bild 1.3-1: Die Aufgaben der Arbeitsplanung nach /Eversheim-97/

In produzierenden Betrieben wird in der Arbeitsplanung der Fertigungsprozeß vorbereitet (siehe auch Bild 1.3-1). Diese Tätigkeit ist im Informationsfluß das Bindeglied zwischen der Entwicklung und der Fertigung /RemboldBienFehrle-90/.

Im Rahmen der Arbeitsplanung für NC-Maschinen verursachen Arbeitsplanerstellung, Operationsplanung und NC-Programmierung den größten Teil des Planungsaufwandes /EversheimDahlSpenrath-89/. Die Arbeitsplanung umfaßt folgende Arbeiten /SpurKrause-84/:

- Bei der Bestimmung des Ausgangsteils werden die geometrischen und technologischen Daten sowie die zusätzlichen Informationen über den Rohzustand bereitgestellt.
- Die Gegenüberstellung von Roh- und Fertigteil ergibt die Bearbeitungsaufgabe, die nun in Einzelschritte zerlegt und optimiert werden muß. Dies geschieht bei der sogenannten Bestimmung der Arbeitsvorgangsfolge unter Berücksichtigung der fertigungstechnischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Randbedingungen /Zons-83/ (siehe Bild 1.3-2).

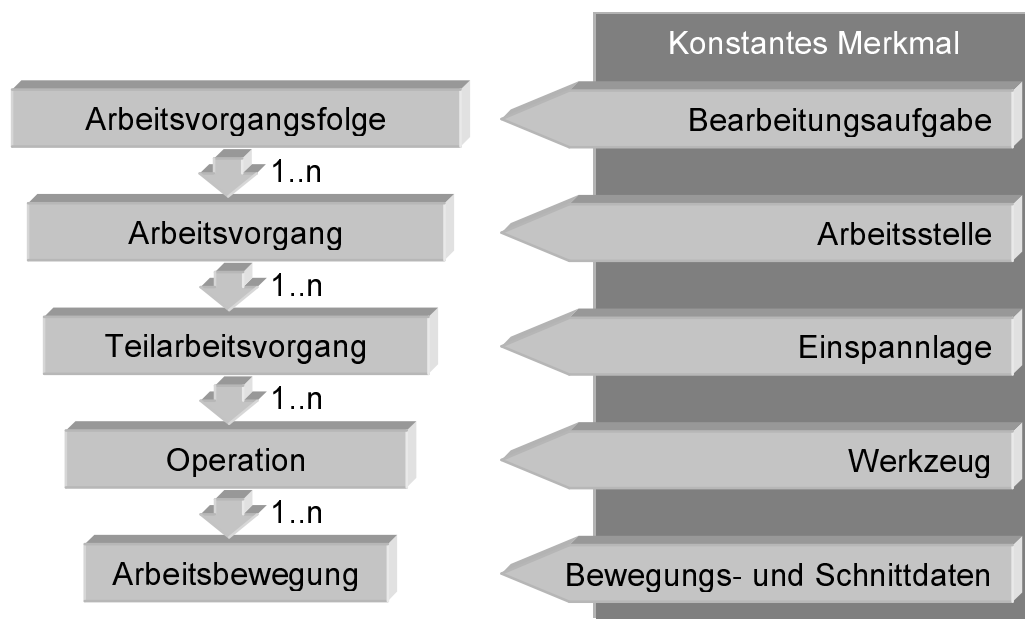


Bild 1.3-2: Begriffsdefinitionen bei der Bestimmung der Arbeitsvorgangsfolge nach /Zons-83/

- Bei der Auswahl der Maschinen müssen wirtschaftliche und technische Gegebenheiten, wie beispielsweise Arbeitsraumabmessungen und erzielbare Qualität, berücksichtigt werden.

- Werkzeuge, Vorrichtungen und Spannmittel sind in der Regel fest einer Maschine zugeordnet. Sie werden als Fertigungshilfsmittel bezeichnet und im sich anschließenden Arbeitsschritt festgelegt. Falls Sonderhilfsmittel vorgesehen sind, müssen die zur Bereitstellung notwendigen Tätigkeiten veranlaßt werden.
- Die abschließend berechneten Zeiten sind die Grundlage für Kostenrechnung, Entlohnung und die Inanspruchnahme der Fertigungskapazität. Während die Vorgabezeitermittlung bei der Einzel- und Kleinserienfertigung meist eine geringe Rolle spielt, hat sie bei der Großserienfertigung eine entscheidende Bedeutung.

Bei der anschließenden Operationsplanung werden die bei der Arbeitsplanung generierten Daten weiter detailliert, bis der durch das NC-Programm gegebene Detaillierungsgrad erreicht ist /SpurKrause-84/, /Eversheim-97/. Dazu sind nach Eversheim folgende Arbeiten notwendig /Eversheim-97/:

- Eine Detaillierung der in der Arbeitsplanung erzeugten Arbeitsvorgangsfolge bis hin zu einzelnen Arbeitsbewegungen (vergleiche Bild 1.3-2) und die Optimierung ihrer Reihenfolge.
- Bei der Werkzeugauswahl müssen die zur Durchführung der Operationen technisch notwendigen und wirtschaftlich sinnvollen Werkzeuge bestimmt werden.
- Bei der Bestimmung der Spannlagen wird versucht, die Zahl der notwendigen Umspannvorgänge und damit die Nebenzeiten zu minimieren. Abhängig von Losgröße und erzielbarem Zeitvorteil werden dann bei der Spannmittelplanung Sondervorrichtungen berücksichtigt.
- Im Rahmen der Schnittstrategiebestimmung werden die Arbeitsbewegungen detailliert geplant.
- Bei der Schnittwertermittlung erfolgt dann die Festlegung der Zerspandaten.

Auf Basis der bei der Fertigungs- und Operationsplanung gewonnenen Daten wird schließlich bei der NC-Programmierung ein steuerungsspezifisches NC-Programm generiert.

Die Rechnerunterstützung ist bei Tätigkeiten weit fortgeschritten, die - wie die Generierung des Werkzeugwegs, der Vorgabezeit oder des NC-Programms - ein unmittelbares Ergebnis vorangegangener Entscheidungen sind. Schwer

algorithmierbare und von vielen, unterschiedlich zu gewichtenden Größen beeinflusste Arbeiten, wie die Entscheidung für eine Arbeitsvorgangsfolge, werden jedoch selten unterstützt. Dabei wurden die Entscheidungssituationen in den vergangenen Jahren immer komplexer und die Entscheider stehen unter zunehmendem Zeitdruck /Steuernagel-94/.

Die Entscheidungen innerhalb der Arbeitsplanung werden zu einem erheblichen Teil von folgenden Aspekten bestimmt /EversheimMüllerKatzky-94/, /RemboldBienFehrle-90/, /Hausknecht-89/, /VDI-90/, /Weule-93/ /SpurKrause-84/, die nur selten vollständig bekannt sind /Golm-96/:

- Die Kosten der gefertigten Produkte und der zur Produktion erforderliche Kapitaleinsatz.
- Die Dauer der Fertigung und damit auch die Inanspruchnahme der Produktionskapazität.
- Die Gewährleistung der angestrebten Produktqualität.
- Die Flexibilität der Fertigung durch die Festlegung einzelner Bearbeitungen auf bestimmte Ressourcen oder auf eine relativ starre Bearbeitungsreihenfolge. Diese Flexibilität entscheidet über die Kosten, die bei Änderungen am Produkt, an der geforderten Stückzahl oder bei der Integration neuer Fertigungstechnologien entstehen.
- Die Folgen für den gesamten Lebenszyklus des Produkts.
- Technische, organisatorische oder andere Einschränkungen.
- Die Auswirkungen der Entscheidung auf andere Entscheidungen.

Informationen über die Auswirkungen einer Entscheidung sind in der Regel schwer oder überhaupt nicht zu beschaffen. Dafür gibt es zahlreiche mögliche Gründe, unter anderem:

- Zahlreiche Insellösungen, sowohl aus organisatorischer Sicht als auch bei der eingesetzten Software erschweren den Informationsfluß /Golm-96/, /Weule-93/, /KöhlEsserKemmnerFörster-89/.
- Mängel bei Standards zum Produkt- und Produktionsdatenaustausch /EversheimMüllerKatzky-94/.

- Fehlende, schwer zugängliche oder unstrukturierte Dokumentation von Auswirkungen und Grundlagen bekannter Entscheidungen /Rohr-91/, /SpurKrause-84/.
- Die zahlreichen, unterschiedlich zu gewichtenden Einflußgrößen auf eine Entscheidung erschweren zusätzlich eine vollständige Dokumentation und Übertragbarkeit der Ergebnisse /Burghardt-96/.

Dies hat dazu geführt, daß der Planungsprozeß und seine Ergebnisse entscheidend von der Erfahrung des Planers abhängen /SpurKrause-84/ und damit von subjektiven Entscheidungen geprägt werden /Rohr-91/, /Fleissner-98/.

1.4 Zielsetzung

Moderne IT-Systeme ermöglichen den Zugriff auf viele entscheidungsrelevante Daten und einen durchgängigen digitalen Informationsfluß innerhalb der CAD/CAM-Prozeßkette.

Allerdings wird dabei nur ein Teil der relevanten Informationen abgebildet. Umfassende Angaben über die Entstehung der Arbeitsplanung und die später damit erzielten Ergebnisse werden bisher vorwiegend im Gedächtnis der Beteiligten gespeichert. Durch die resultierenden Probleme in der Dokumentation und dem Zugriff auf diese Informationen und Erfahrungen wird deren Nutzung stark eingeschränkt.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Assistenzsystems, welches das Management von Informationen und Erfahrungen in der Arbeitsplanung übernimmt und darauf aufbauend den Bediener in verschiedenen Entscheidungssituationen berät.

Dazu müssen folgende Teilziele erreicht werden:

- Erfahrungen und Informationen über CAD/CAM-Daten sind in das Informationsmodell zu integrieren.

- Der bisherige Informationsfluß aus CAD/CAM-Daten muß um einen weiteren Strom aus zugehörigen Informationen und Erfahrungen ergänzt werden.
- Darauf aufbauend kann das Assistenzsystem in der Arbeitsplanung Informationen und Erfahrungen erfassen und dann bereitstellen, wenn sie benötigt werden.

Mit Hilfe eines solchen Assistenzsystems kann eine neue Stufe der Bedienerunterstützung erreicht werden. Zunächst wird durch diese Ergänzung des bisherigen digitalen Informationsflusses die Transparenz der Informationen durch eine umfassende Erfassung ihres Kontextes erhöht. Darüber hinaus kann durch das systematische Archivieren und Bereitstellen von Erfahrungen deren Nutzung deutlich verbessert werden.

2 Aktueller Stand der rechnerunterstützten Arbeitsplanung

2.1 Begriffserklärungen

Es wurden bisher zahlreiche Systeme entwickelt, um die Arbeitsplanung zu unterstützen. Wenn diese Unterstützung beispielsweise über das Suchen alter Arbeitspläne und das Auswerten von Formeln hinausgehen soll, ist das Einbringen von Wissen in das System notwendig /König-94/.

Mit Hilfe dieses Wissens wurden zahlreiche Systeme aufgebaut, die Fähigkeiten von Experten in einem begrenzten Aufgabengebiet nachbilden, sogenannte Expertensysteme /GMA-89/. Eine eindeutige Definition dieser Expertensysteme sowie eine Abgrenzung zu konventionellen Programmen wird durch das Fehlen allgemein anerkannter Kriterien erschwert /Haasis-95/. Eine Übersicht verschiedener Definitionen des Begriffs „Expertensystem“ findet sich in /Lehner-94/. Dort sind Expertensysteme entweder ausgehend von den Aufgaben, die sie erfüllen sollen, oder durch ihren Aufbau definiert.

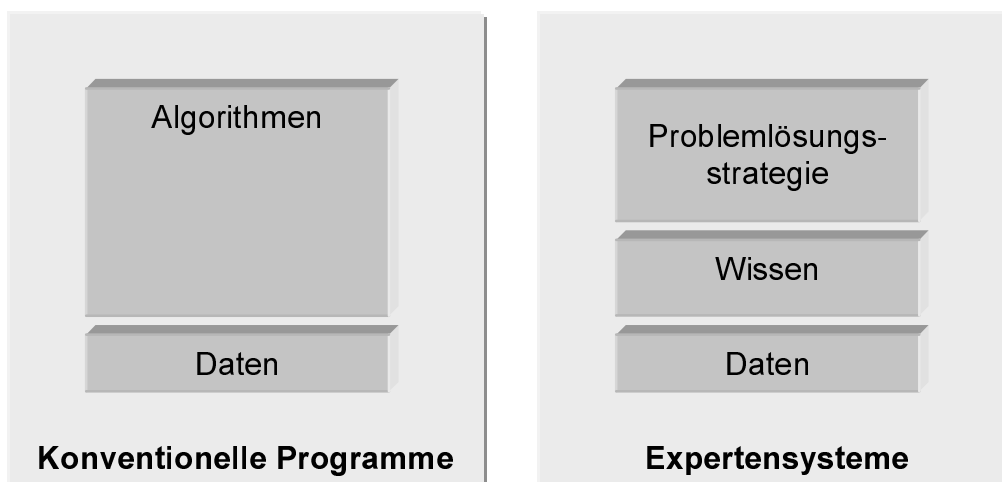


Bild 2.1-1: Vergleich von konventionellen Programmen und Expertensystemen
nach /Puppe-91/

In dieser Arbeit soll eine charakteristische Eigenschaft Expertensysteme von konventionellen Programmen abgrenzen: Die Trennung von Problemlösungs-

strategien und Wissen /Puppe-91/. Während bei konventionellen Programmen Wissen in Algorithmen einfließt, die direkt im Programmcode des Systems implementiert sind, trennen Expertensysteme klar zwischen Problemlösungsstrategien³ und Wissen (Bild 2.1-1).

Die Implementierung einfacher Algorithmen gestaltet sich damit bei konventionellen Programmen deutlich einfacher als bei Expertensystemen. Allerdings werden die Wartung des Systems und die Implementierung komplexer und umfangreicher Zusammenhänge bei konventionellen Programmen sehr aufwendig. Aufgrund der im vorangegangenen Kapitel dargestellten Aufgabenstellung sollen daher im folgenden konventionelle Programme nicht weiter betrachtet werden.

2.2 Entwicklung von Expertensystemen

Die Entwicklung von Expertensystemen erfolgt in der Regel in folgenden Schritten /Puppe-91/:

- 1) Die Problemcharakterisierung umfaßt die Entscheidungen über eine Problemlösungsstrategie und eine Art der Wissensrepräsentation.
- 2) Im nächsten Schritt muß die passende Problemlösungsstrategie bereitgestellt werden.
- 3) Schließlich wird die Wissensbasis aufgebaut. Dieser Schritt umfaßt die Wissensakquisition und die Überführung in die jeweilige Form der Wissensrepräsentation.
- 4) Während des Betriebs des Expertensystems kann aus verschiedenen Gründen eine Wartung notwendig sein. Diese kann Verbesserung, Weiterentwicklung oder eine Anpassung der Wissensbasis umfassen.

Die Entscheidung für eine bestimmte Art der Wissensrepräsentation in Schritt eins hat weitreichende Folgen für die weitere Entwicklung und den Einsatz des Expertensystems. Die Wissensakquisition in den Schritten drei und vier verursacht den größten Teil des Aufwands bei der Entwicklung und dem Einsatz eines

³ Diese umfassen Inferenzmaschine, Wissensakquisitions-, Erklärungs- und Dialogkomponente /AltenkrügerBüttner-92/

Expertensystems. Man spricht daher auch von dem „Flaschenhals“ bei Expertensystemen /SpechtWeiss-92/ /HuberNakhaeizadeh-93/. In den beiden folgenden Kapiteln sollen daher die Wissensrepräsentation und die Wissensakquisition näher betrachtet werden.

2.3 Wissensrepräsentation

Die Wissensrepräsentation in einem Expertensystem entscheidet über die Art der Problemlösungsstrategie, über die mögliche Transparenz des Systems für den Bediener und über den Wartungsaufwand des Expertensystems. Damit beeinflusst sie die Akzeptanz und die Wirtschaftlichkeit des Expertensystems in einem hohen Maße.

<u>Constraints</u>	<u>Objekte</u>	<u>Konnektionismus</u>
Explizite Repräsentation von Abhängigkeiten zwischen Objekten	Funktionaler Zugriff auf gekapselte Datenstrukturen mittels Nachrichten	Implizite Repräsentation durch gewichtete Verknüpfung vieler einfacher Verarbeitungsfunktionen
<u>Netze</u>	<u>Relationale Datenmodelle</u>	<u>Prozeduren und Funktionen</u>
Netzförmige Darstellung der Beziehung zwischen Objekten	Tabellenförmige Datenstrukturen mit zugehörigen Operationen	Fixierte Beschreibung von Aktionsabläufen
<u>Aktoren und Prozesse</u>	<u>Skripte</u>	<u>Logik</u>
Beschreibung mittels parallel arbeitender Objekte	Ereignisorientierte Repräsentationsform zur Darstellung von Abläufen	Formale, symbolisierte Sprache mit syntaktischen Ableitungsregeln für Aussagen
<u>Regelmenge</u>		
Beschreibung mittels Wenn-Dann-Relationen		

Bild 2.3-1: Verschiedene Arten der Wissensrepräsentation nach /GMA-89/

Für die Repräsentation von Wissen in Expertensystemen wurden in der Vergangenheit zahlreiche Methoden entwickelt. Beispiele sind in Bild 2.3-1 dargestellt. Eine umfassende Darstellung und Erläuterung verschiedener Arten der

Wissensrepräsentation findet sich in /Bench-90/, /Bundy-86/ und /Morik-89/. Diese sind in unterschiedlichem Maße für bestimmte Anwendungsgebiete und Formen der Wissensakquisition geeignet /Puppe-91/.

2.4 Wissensakquisition

Unter Wissensakquisition versteht man bei Expertensystemen die Übertragung von menschlichem Wissen in eine Wissensbasis /GMA-89/. Die Wissensakquisition umfaßt die Schritte der Identifikation, der Konzeptionalisierung und der Formalisierung, wie es in Bild 2.4-1 dargestellt ist.



Bild 2.4-1 Phasen der Wissensakquisition und deren Ergebnisse nach /AltenkrügerBüttner-92/

Die Wissensakquisition erfordert traditionell eine intensive und zeitaufwendige Zusammenarbeit mit einem Spezialisten für die Wissensdomäne. Diese Spezialisten haben häufig Probleme bei der Formalisierung ihres Wissens /ForsythRada-86/ und benutzen die Prinzipien und Regeln ihres Wissens selten bewußt, sondern meist intuitiv /Stender-89/. Widersprüche zwischen Experten und fehlendes Wissen über Zusammenhänge zwischen Wissensdomänen /Chorafas-90/ sind weitere Probleme der Wissensakquisition.

Eine Untersuchung von Expertensystemen in der Praxis /LehnerSchick-94/ ergab, daß neben der Glaubwürdigkeit der Ergebnisse die Kosten/Nutzen-Relation das meistgenannte Problem von Expertensystemen ist. Während der Nutzen von Expertensystemen - meist eine Entlastung von Experten bei Routinetätigkeiten /Puppe-91/ - in der Regel schwer quantifizierbar ist, gibt es für die entstehenden Kosten bereits detailliertere Untersuchungen.

Die Kosten, die bei Entwicklung und Betrieb eines Expertensystems entstehen, nehmen von der Problemcharakterisierung zur Wartung hin deutlich zu. Der Wartungsaufwand kann sogar für den langfristigen Einsatz eines Expertensystems zu groß sein /Puppe-91/. Die bereits erwähnte Untersuchung /LehnerSchick-94/ ergab, daß die meisten Wartungsarbeiten die Wissensbasis betreffen und der wichtigste Grund für die Wartung Änderungen des Wissensstands sind.

Weitere Gründe für Wartungsarbeiten der Wissensbasis sind /Herrmann-97/:

- Die Verwendung von heuristischem, fehlerbehaftetem Wissen, das Korrekturen notwendig macht.
- Die Unvollständigkeit der Wissensbasis. Sie ist darauf zurückzuführen, daß bei der Wissensakquisition noch nicht alle Fälle berücksichtigt werden können, die sich im Laufe des Einsatzes des Expertensystems zeigen.
- Veränderte externe Anforderungen und Charakteristika des Anwendungsgebiets.

Demnach ist die Wissensakquisition ein entscheidender Faktor für den wirtschaftlichen Einsatz eines Expertensystems. Daher wäre eine Automatisierung attraktiv /Puppe-91/, die es dem Experten erlaubt, selbständig die Wissensbasis zu erweitern oder zu ändern. Dies hat zur Entwicklung von zahlreichen, sogenannten lernenden Systemen geführt.

Den Kern eines solchen Systems bildet ein sogenanntes Lernverfahren. Die Komplexität des erlernten Wissens und damit die Mächtigkeit des lernenden Systems ist dabei stark von der Größe der verarbeitbaren Beispielmenge und der Anzahl der durchgeführten Iterationen abhängig /Stender-89/. Einen Überblick über verschiedene Lernverfahren bieten /Bundy-86/, /ForsythRada-86/, /Herrmann-97/,

/MitchellCarbonellMichalski-87/ und /Stender-89/. Verfahren zu Auswahl eines geeigneten Lernverfahrens werden zum Beispiel in /Steuernagel-94/ beschrieben.

Im folgenden werden bereits vorhandene Expertensysteme für die Arbeitsplanung vorgestellt und die für diese Arbeit relevanten Lösungsstrategien und Lernverfahren kurz erläutert.

2.5 Expertensysteme in der Arbeitsplanung

2.5.1 Manuelle Wissensakquisition

In der Regel werden Expertensysteme von Wissensingenieuren entwickelt, die bei der Wissensakquisition als Mittler zwischen Experte und Wissensbasis /GMA-89/ fungieren. Damit ergibt sich der in Bild 2.5-1 dargestellte Ablauf bei Entwicklung und Einsatz eines einfachen Expertensystems.

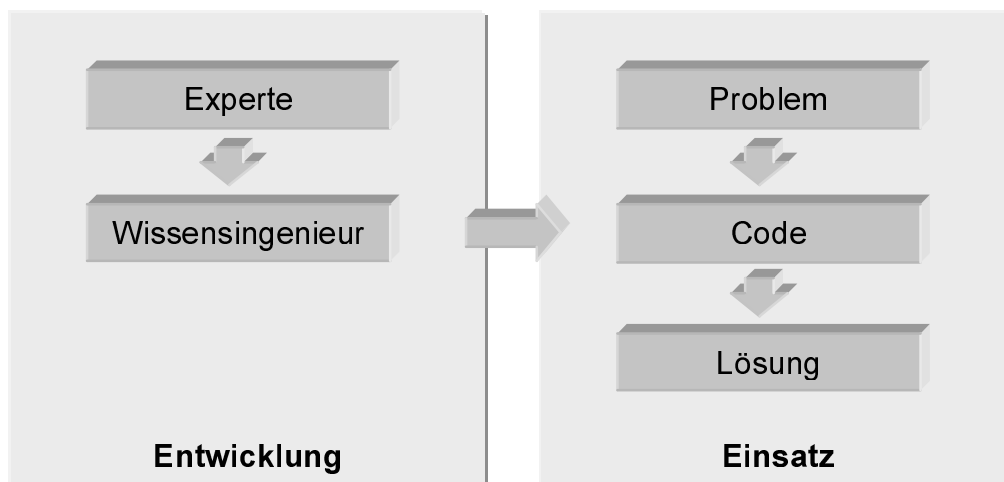


Bild 2.5-1: Ablauf bei Systemen ohne Benutzerinteraktion

Da Expertensysteme keine endgültigen Entscheidungen treffen sollten /Puppe-91/, wird die generierte Lösung vor ihrer Anwendung meist von menschlichen Experten zumindest auf Plausibilität geprüft und gegebenenfalls geändert. Auf diese Weise können Fehler des Expertensystems entdeckt werden. Dies sichert die Akzeptanz des Systems bei den Anwendern. Um die Fehler zu entfernen, muß in der Regel der Experte zusammen mit dem Wissensingenieur die Wissensbasis überarbeiten.

Bei komplexen Entscheidungen in der Arbeitsplanung kann von einer solchen Überprüfung ausgegangen werden. Damit ergibt sich ein Ablauf, wie er in Bild 2.5-2 dargestellt ist.

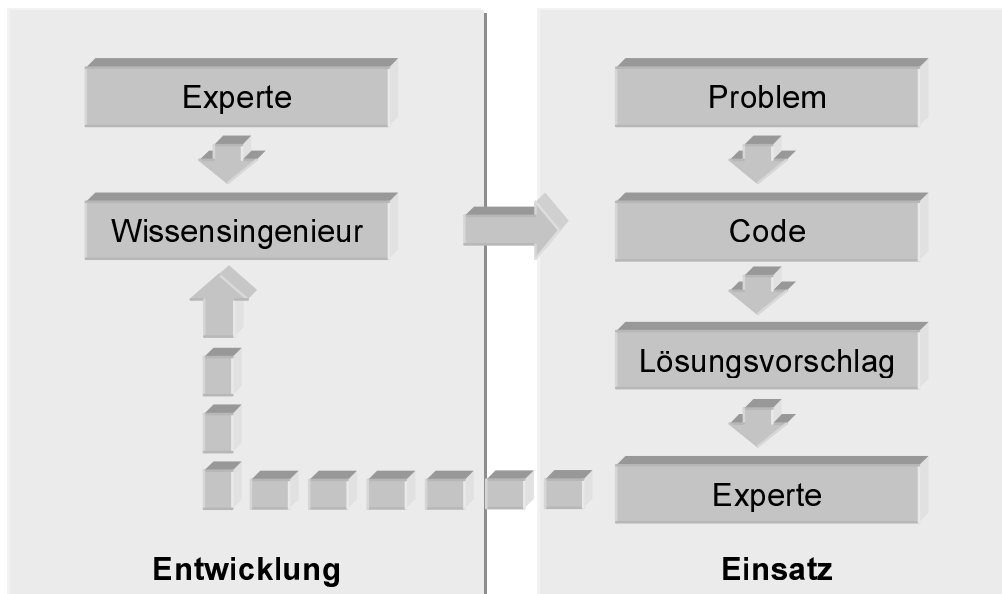


Bild 2.5-2: Ablauf bei Systemen mit Benutzerinteraktion, manuelle Wartung

Bei Systemen für die rechnerunterstützte Arbeitsplanung werden häufig Entscheidungstabellen eingesetzt /JüttnerFeller-89/ (Bild 2.5-3). Sie finden nicht nur fest kodiert in konventionellen Programmen Verwendung, sondern trennen auch teilweise zwischen Problemlösungsstrategien und Wissen. Entscheidungstabellenbasierte Systeme werden zum Beispiel von Mertens /Mertens-91/ als eigenständige Systemgruppe gesehen.

	Regel 1	Regel 2
Länge	< 400	≥ 400
Maschine	3	4

Bild 2.5-3: Ein Beispiel für eine Entscheidungstabelle

Für die rechnerunterstützte Arbeitsplanung wurden zahlreiche Systeme entwickelt, die Entscheidungstabellen nutzen. Die Bekanntesten sind AVOPLAN, ENGIN, ET-CAP und TABLO. Ihre Funktionen umfassen die Zeit- und Kostenermittlung und

benutzerspezifische Erweiterungen zur Generierung von Vorschlägen bei der Variantenplanung, Wiederholplanung und Betriebsmittelauswahl /JüttnerFeller-89/.

Vielfach werden bereits Systeme als Expertensysteme bezeichnet, die Regeln in irgendeiner Form interpretieren und bei denen keine klare Trennung zwischen Wissen und Problemlösungsstrategie vorhanden ist /König-94/. Es gibt damit unterschiedliche Arten von Systemen, die sich zwischen konventionellen Programmen und Expertensystemen bewegen.

Einfache regelbasierte Systeme wie FORGEPLANNER zur Auswahl des Ausgangsmaterials, der Maschine, der Arbeitsvorgänge, der Reihenfolge und zur Berechnung der Vorgabezeiten /FiguraBettendorf-90/ und T-CAPES zur Generierung von Arbeitsvorgangfolgen /ZhangShen-91/ beschränken sich vollständig auf Wenn-Dann-Regeln (Bild 2.5-4). Damit ist ihr Unterschied zu Systemen auf der Basis von Entscheidungstabellen gering. Vogt beschreibt ein System zur Ermittlung der Bearbeitungsfolge bei Bohrungen, das sowohl Wenn-Dann-Regeln als auch Constraints zur Abbildung des Planungswissens nutzt /Vogt-90/. TOPAS-F benutzt ein Regelsystem zur Technologieplanung beim Fräsen /Kuhn-92/. Außerdem können Wenn-Dann-Regeln zusammen mit Multimediaelementen zum manuellen Dokumentieren von Erfahrungen herangezogen werden /Glockner-99/. Beispiele für weitere Systeme, die einen Aufbau nach Bild 2.5-2 besitzen, sind in Bild 2.5-5 zusammengestellt.

Wenn Länge < 400 dann Maschine 3
Wenn Länge ≥ 400 dann Maschine 4

Bild 2.5-4: Ein Beispiel für Wenn-Dann-Regeln

Eine Expertenbefragung⁴ über Erfahrungen mit kommerziellen regelbasierten Systemen in der Arbeitsplanung zeigte, daß die große Zahl der notwendigen Regeln zu Problemen bei Änderungen und Ergänzungen führt, da die Auswirkungen auf andere Regeln nur mit enormem Aufwand vollständig untersucht werden können.

⁴ Befragt wurden Bernd Rommel, Dietmar Frank und Dr. Siegmund Haasis (DaimlerChrysler), sowie Alain Quemat (Dassault Systèmes)

Name	Autor	Beschreibung
-	/Domazet-90/	Werkzeugauswahl mit Entscheidungstabellen
-	/OngNee-94/	Aufspannungsplanung mit Regeln und Wissensrepräsentation in unscharfer Logik
-	/ZüstTaiber-90/	Planung von Operationen und deren Reihenfolge
AIPLANNER	/Ilsenberg-90/	Auftragsplanung mit Hilfe von Netzen
AUTAP	/Fuchs-81/	Regelbasiertes System zur Arbeitsplan-Erstellung von Rotations- und Blechteilen
AVOGEN	/Hamelmann-95/	Generieren von Arbeitsplänen für rotationssymmetrische Werkstücke mit Wenn-Dann-Regeln und Entscheidungs-Bäumen
CAPSY	/Stuckmann-78/	Arbeitsplanung für Rotations- und Blechteile mit Hilfe von Regeln
CATWISEL	/Haasis-95/	Generierung von Arbeitsplänen für Wellen, Zahnräder und Getriebegehäuse auf Basis von Entscheidungstabellen
DEKRAL	/TönshoffEhrlich-79/	Regelbasiertes System zur Verfahrensplanung von Rotationsteilen
FEXCAPP	/Lee-89/	Bestimmung von Werkzeugdurchmessern, Anfahrstrategien und Reihenfolgen
KAPLAN	/GiustiSantochiDini-89/	Bestimmung von Operationsfolgen bei rotationssymmetrischen Werkstücken mit Wenn-Dann-Regeln
PIA	/König-94/	Auswahl von Operationen und Werkzeugen mit Tabellen und Regeln
PROPEX	/KönigHennike-87/	Reihenfolgeplanung mit Regeln
ReDS	/Rodriguez-91/	Betriebsmittelplanung für die Leiterplattenmontage mit Constraints
SYRA	/GeißlerWilfert-96/	Operationsermittlung mit Entscheidungstabellen
XPLANE	/ErveKals-86/	Werkzeugauswahl, Operationen und Reihenfolgen mit Wenn-Dann-Regeln

Bild 2.5-5: Systeme mit manueller Wissensakquisition

2.5.2 Automatische Wissensakquisition

Es existieren zahlreiche Ansätze, um den Prozeß der Wissensakquisition bei der Entwicklung und der Wartung eines Expertensystems zu automatisieren. In diesem Zusammenhang versteht man unter maschinellem Lernen die Modifizierung der Wissensbasis durch ein Programm /GMA-89/, wie in Bild 2.5-6 dargestellt ist. Im folgenden werden einige Methoden des maschinellen Lernens und Systeme, die diese nutzen, vorgestellt.

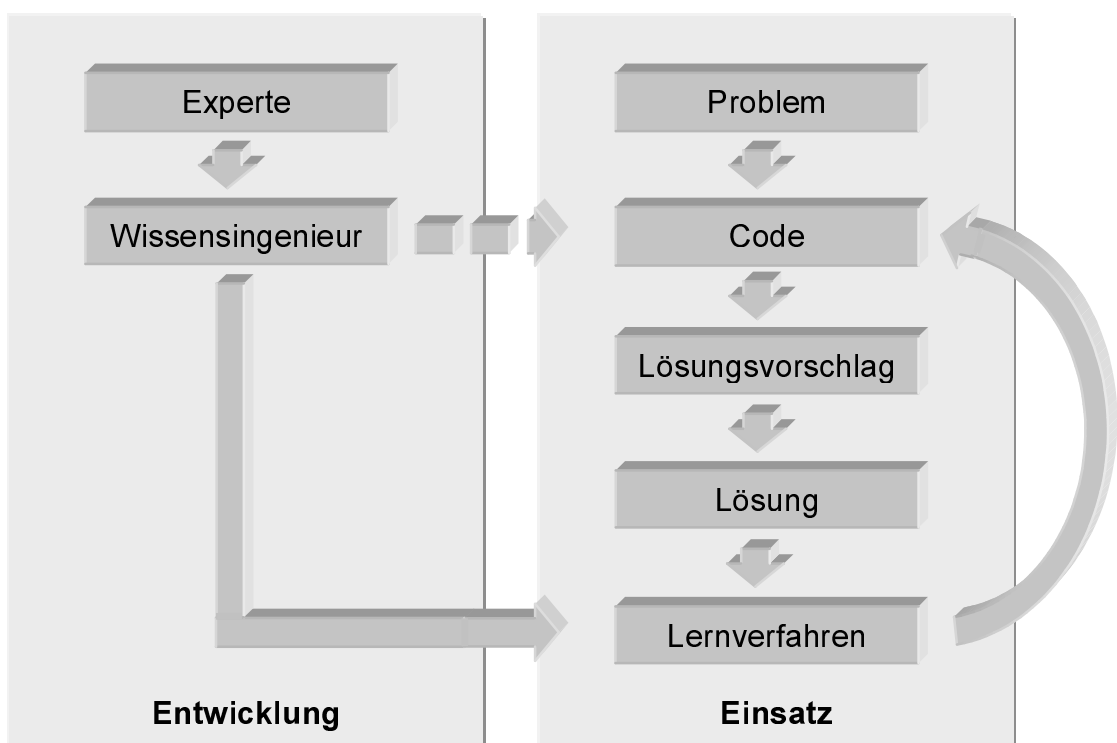


Bild 2.5-6: Modifikation der Wissensbasis durch maschinelles Lernen

2.5.2.1 Neuronale Netze

Neuronale Netze können als technische Umsetzung von Gehirnfunktionen verstanden werden. Diese werden dazu im folgenden abstrakten Modell stark vereinfacht /Hoffmann-93/:

- Die Nervenzellen arbeiten unabhängig voneinander.
- Eine Nervenzelle besitzt viele Eingänge und einen Ausgang, der zu den Eingängen anderer Nervenzellen führt.

- Eine Nervenzelle kann zwei Zustände annehmen, den Ruhezustand und den Erregungszustand.
- Eine Nervenzelle geht in einen erregten Zustand über, wenn genügend viele ihrer Eingänge mit erregten Zellen verbunden sind.

In einem künstlichen neuronalen Netz stehen an der Stelle der Nervenzellen Verarbeitungselemente, die parallel arbeiten (Bild 2.5-7). Beim Training dieses Netzes anhand von Beispieldaten wird versucht, die Verarbeitungselemente möglichst optimal auszurichten. Der Weg, auf dem dieses Netz dann eine Lösung generiert, ist für den Anwender nicht nachvollziehbar. Man spricht daher auch von einem subsymbolischen Verfahren, das sich dem Anwender meist als Black-Box-System präsentiert /König-94/.

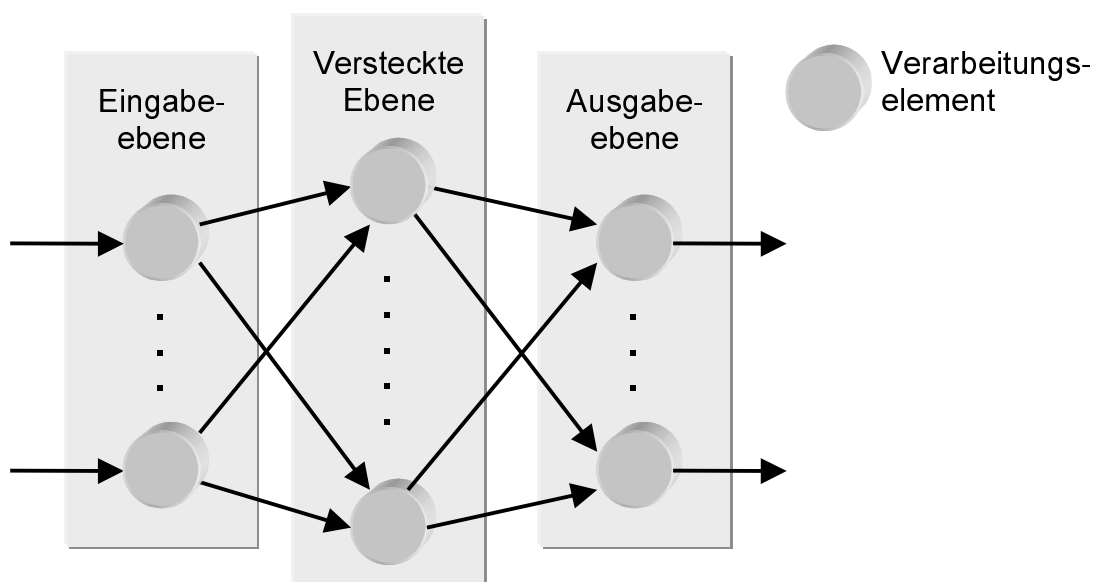


Bild 2.5-7: Aufbau eines künstlichen neuronalen Netzes nach /Pham-94/

Das Erstellen künstlicher neuronaler Netze ist ein verbreitetes Verfahren zum Aufbau selbstlernender Systeme /Pham-94/. Auch für den Bereich der Arbeitsplanung sind bereits mehrere solcher Systeme entwickelt worden. So bestimmt das System OTOPS mit Hilfe eines künstlichen neuronalen Netzes optimale Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe /ParkRho-96/. Weitere Systeme dienen zur Aufspannungsplanung und Bestimmung der Reihenfolge von Operationen /Chen-93/ oder zum Bestimmen von Operationen beim Kaltumformen /OsakadaYang-91/. Bei

Northop wird ein System eingesetzt, das mit Hilfe eines künstlichen neuronalen Netzes Ablaufpläne optimiert /BernsKolb-94/.

2.5.2.2 Bayesian-belief Network

Die in vielen Expertensystemen eingesetzte klassische Logik kennt für Aussagen lediglich die Zustände „wahr“ und „falsch“. Aussagen über Wahrscheinlichkeiten sind nicht vorgesehen. Diese Wahrscheinlichkeiten sind das zentrale Element bei einem „Bayesian-belief Network“.

Das Theorem von Bayes eignet sich dazu, aus den a-priori-Wahrscheinlichkeiten einer Menge von Diagnosen und aus der Häufigkeit des Auftretens eines Symptoms bei Vorhandensein einer Diagnose, die wahrscheinlichste Diagnose zu berechnen /Puppe-91/. Es wird nun ein gerichteter, azyklischer Graph gebildet, bei dem die Knoten die Symptome und die Kanten die Abhängigkeiten zwischen den Symptomen darstellen. Zusammen mit den bedingten Wahrscheinlichkeiten ist damit das „Bayesian-belief Network“ definiert (Bild 2.5-8).

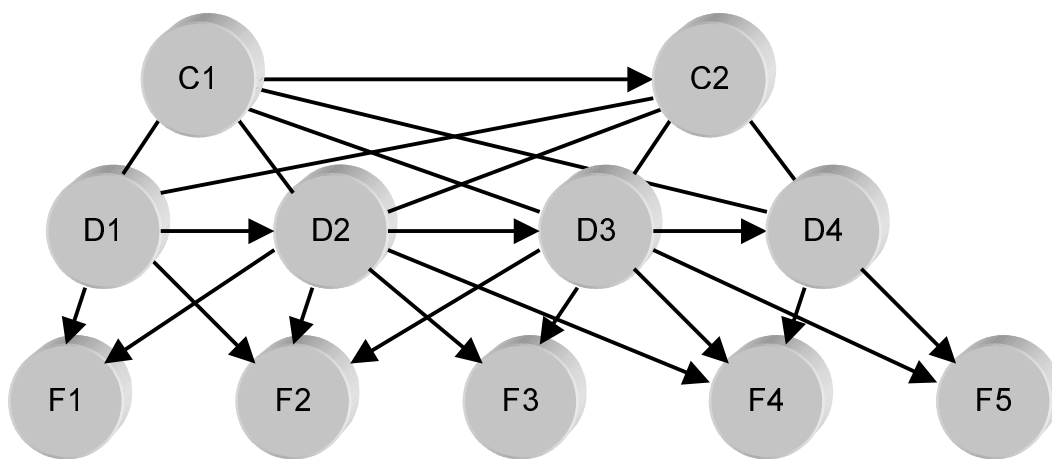


Bild 2.5-8: Beispiel für ein „Bayesian-belief Network“ nach /Burghardt-96/

Voraussetzungen sind die Unabhängigkeit der Symptome voneinander, die Vollständigkeit der Diagnosemenge, eine große Zahl von repräsentativen Fallbeispielen und die zeitliche Konstanz der Wahrscheinlichkeiten.

Im System TECHPERT /Burghardt-96/ wird ein solches Bayesian-belief Network genutzt, um Entscheidungen in der Arbeitsplanung zu unterstützen. Das Lernen aus Fallbeispielen ermöglicht dabei das Rückführen von Erfahrungswissen aus der Fertigung. Ein weiteres Beispiel für den Einsatz dieser Methode ist die Generierung von Bearbeitungsparametern /Sieth-97/.

2.5.2.3 Lernen von Entscheidungsbäumen

Ein Entscheidungsbaum ist ein Baum, der an jedem Knoten eine Ja/Nein-Frage zu einem oder zu mehreren Attributen des Problems enthält (Bild 2.5-9). Beim Lernen von Entscheidungsbäumen werden Beispiele genutzt, um einen solchen Baum zu erzeugen /MonostoriBrusselWestkämper-96/.

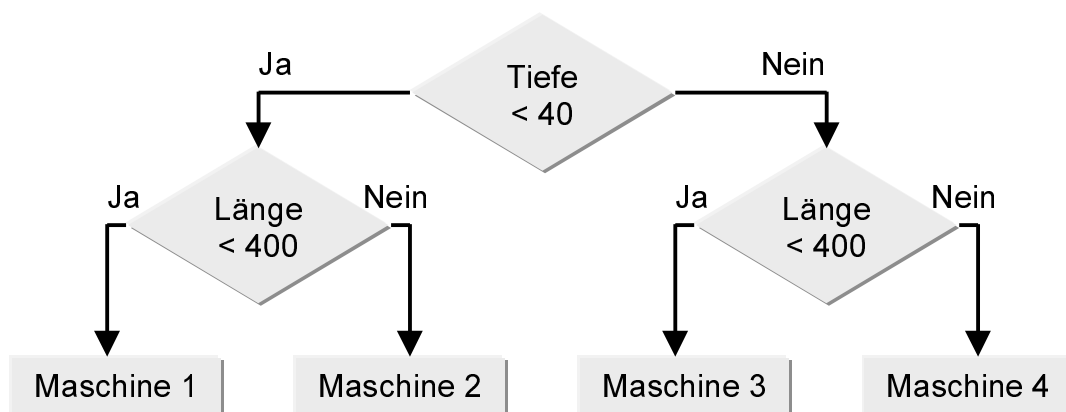


Bild 2.5-9: Ein Beispiel für einen Entscheidungsbaum

Zum Aufbau dieses Entscheidungsbaums wird zuerst das Attribut bestimmt, das den größten Unterschied zwischen den zwei entstehenden Untermengen verursacht. Dieser Unterschied wird meist durch den Informationsgewinn definiert, also die Zunahme der Homogenität in den Untermengen vor und nach der Frage. Dies wird auf den unteren Ebenen wiederholt, bis alle Attribute benutzt wurden oder alle Beispiele homogenen Klassen angehören. Oft ist es nicht möglich, alle Beispiele vollständig in homogene Klassen zu verteilen, da die Möglichkeit eingeschränkt ist, komplexe Kausalzusammenhänge darzustellen /MonostoriBrusselWestkämper-96/.

Gewöhnlich wird der Entscheidungsbaum nur einmal aus den vorhandenen Beispielen erzeugt. Neu hinzukommende Beispiele können jedoch auch genutzt werden, um den Entscheidungsbaum zu aktualisieren. Der bekannteste Algorithmus

zum Lernen von Entscheidungsbäumen ist ID3 /Görz-93/. Er nutzt die Entropie als Maß für den Informationsgewinn und war ursprünglich auf nicht widersprüchliche, bekannte Wertebelegungen mit nicht-numerischen Attributen beschränkt. Eine Übersicht über weitere Verfahren findet sich in /Steuernagel-94/. Vielfach werden auch mehrere Entscheidungsbaumverfahren in einem Softwarepaket zusammengefaßt, das die Entwicklung von Expertensystemen erleichtert. Ein Beispiel für ein solches Produkt ist IND /Buntine-92/.

Ein Beispiel für den Einsatz des Lernens von Entscheidungsbäumen in der Arbeitsplanung ist die Bestimmung von Reihenfolgerelationen bei der Bearbeitung rotationssymmetrischer Werkstücke in /EwertDürr-97/. Um die Zahl der Entscheidungsmöglichkeiten einzugrenzen, werden dabei Suchverfahren und strukturelle Einschränkungen genutzt /EwertLöbigDürr-97/.

2.5.2.4 Lernen von Konzepten

Grundlage dieses Verfahrens ist eine Menge von Beispielen. Es sollen nun Beschreibungen, sogenannte Konzepte, erzeugt werden, die Untermengen dieser Beispielmenge möglichst gut charakterisieren. Zum Bilden dieser Konzepte werden die Attribute der Beispiele benutzt und mittels Generalisierung beziehungsweise Spezialisierung der Konzepte möglichst homogene Untermengen der Beispielmenge gebildet /MonostoriBrusseWestkämper-96/. Auch hier können neu hinzukommende Beispiele im Rahmen einer Aktualisierung mit eingebunden werden /Görz-93/.

Ein Kernproblem des Lernens von Konzepten ist, einen sinnvollen Kompromiß zwischen einer detaillierten Beschreibung der Konzepte und einer hinreichend großen Menge der durch die Konzepte beschriebenen Beispiele zu finden /MonostoriBrusseWestkämper-96/.

Beispiele für den Einsatz des Lernens von Konzepten im Bereich der Arbeitsplanung sind das Bilden von Teilefamilien /Lu-89/ mit Hilfe des Systems CLUSTER/2 /MichalskiStepp-83/ und die Konfiguration flexibler Fertigungsanlagen /Hausknecht-89/.

2.5.2.5 Fallbasiertes Schließen

Viele Systeme, die Fallbeispiele verarbeiten, werden heute als fallbasiert bezeichnet. Diese Beschreibung trifft allerdings auf viele Verfahren zu, wie beispielsweise dem Lernen von Entscheidungsbäumen und dem von Konzepten.

Für das fallbasiertes Schließen⁵ sind die Schritte Retrieve, Reuse, Revise und Retain charakteristisch (Bild 2.5-10).

Retrieve: Wenn ein neuer Fall gelöst werden soll, wird dieser zunächst mit alten Fällen verglichen. Mit Hilfe eines problemspezifischen Ähnlichkeitsmaßes wird der ähnlichste bekannte Fall ermittelt. Dieser Schritt ähnelt dem Lernen von Konzepten.

Reuse: Mit Hilfe von gespeichertem Problemlösungswissen wird aus dem ähnlichsten Fall eine Lösung für das aktuelle Problem konstruiert.

Revise: Die gefundene Lösung wird getestet und gegebenenfalls modifiziert.

Retain: Die Lösung wird als neuer Fall in der Falldatenbank hinterlegt.

Bild 2.5-10: Die grundlegenden Schritte des fallbasierten Schließens
/AamodtPlaza94/

Systeme, bei denen sich diese vier Schritte nicht identifizieren lassen, werden im folgenden nicht als fallbasiert bezeichnet.

Eine Anwendung von fallbasiertem Schließen ist CaPlan, ein System zur Festlegung der Reihenfolge von Fertigungsschritten bei rotationssymmetrischen Drehteilen /PaulokatPraegerWeß-92/. Kern von CaPlan ist ein nichtlinearer Planungsalgorithmus /PaulokatWeß-94/. Ein fallbasiertes System ermöglicht es, Wissen aus bereits erzeugten Lösungen wiederzuverwenden. Der bei diesem

⁵ Case Based Reasoning (CBR)

System oft erhebliche Aufwand beim Anpassen einer alten Lösung an das aktuelle Problem wird jedoch nur unzureichend unterstützt. Insgesamt ist das Ziel der Entwicklung von CaPlan die Grundlagenforschung /Weiß-95/. Weiterentwicklungen von CaPlan umfassen vor allem die Retrieve-Phase /MunozHuellen-95/, /Munoz-98/.

Eine Übersicht über weitere Anwendungen von Lernverfahren bieten beispielsweise /Rzevski-90/, /RzevskiAdeyRussell-94/ und /MonostoriBrusselWestkämper-96/.

2.6 Zusammenfassung und Vergleich

Zur rechnerunterstützten Arbeitsplanung sind zahlreiche Systeme entwickelt worden, die unterschiedliche Tätigkeiten auf verschiedene Weise unterstützen. Allerdings sind nur wenige Systeme bei unterschiedlichen Tätigkeiten einsetzbar und noch weniger fördern einen bereichsübergreifenden Informationsfluß. Die Erfassung und situative Bereitstellung von Erfahrungen und die entsprechende Ergänzung des CAD/CAM-Informationsflusses bietet keines der bisher entwickelten Systeme.

Für die Realisierung eines Assistenzsystems, das diesen Anforderungen genügt, kommen verschiedene der vorgestellten Verfahren in Frage. Expertenwissen wird bei den meisten dieser Verfahren nur einmal beim Aufbau der Wissensbasis akquiriert und archiviert. Wissen entwickelt sich jedoch ständig weiter und sei es nur in Form neuer Werkzeuge, Schneidstoffe und deren Einsatzmöglichkeiten /Kuhn-92/. Die vom System präsentierten Lösungsalternativen sollen auf diesen aktuellen Informationen und Erfahrungen beruhen. Um dies sicherzustellen, ist bei den heute verfügbaren nicht lernfähigen Systemen ein hoher Wartungsaufwand erforderlich. Daher ist für die Lösung der hier untersuchten Aufgabenstellung ein lernfähiges System erforderlich. Mit einem solchen System wird gleichzeitig die Integration von firmenspezifischem Wissen erleichtert.

Als Grundlage für die Entscheidung für ein geeignetes Lernverfahren werden die Folgenden verglichen:

- 1) Neuronale Netze
- 2) Bayesian-belief Network
- 3) Lernen von Entscheidungsbäumen
- 4) Lernen von Konzepten
- 5) Fallbasiertes Schließen

Weitere Lernverfahren unterscheiden sich von diesen bei den für die Aufgabenstellung relevanten Aspekten nur in geringem Maße.

Bei allen fünf Lernverfahren sind Fallbeispiele die Grundlage des Lernvorgangs. Zusätzlich ist es teilweise möglich, Wissen in einer anderen Repräsentationsart in die Lösungsgenerierung zu integrieren. Diese werden aber typischerweise beim automatischen Lernen nicht verändert.

Ein Problem bei der Nutzung einer Menge von Fallbeispielen ist das Reagieren auf eine schnelle Änderung des problemspezifischen Wissens. Eine solche kann beispielsweise auftreten, wenn eine neue Fertigungstechnologie deutliche Kosteneinsparungen ermöglicht. In der Fallbasis stehen dann wenige Fallbeispiele mit der neuen Technologie vielen mit der alten gegenüber. Dies führt dazu, daß die alte Technologie noch lange durch das Expertensystem empfohlen wird.

Um Erfahrungen der Arbeitsplanung zu erfassen, müssen die Fallbeispiele aus den aktuellen Entscheidungen erzeugt werden. Das Zurückgreifen auf Fallbeispiele aus anderen Quellen, beispielsweise aus Veröffentlichungen, hat sich nicht bewährt /Kuhn-92/ und ist in der Regel auch nicht erforderlich, da seltene Spezialfälle nicht sinnvoll durch ein Expertensystem unterstützt werden können. Sinnvoller ist es, bereits Angaben des Herstellers und bei Versuchen gesammelte eigene Erfahrungen als Fallbeispiele zu hinterlegen und gegebenenfalls zu korrigieren. Der Aufwand, den solche Korrekturen verursachen, hängt allerdings vom verwendeten Lernverfahren ab.

Bei den ersten vier vorgestellten Lernverfahren wird das Wissen der Fallbeispiele mittels eines Lernvorgangs in die Wissensbasis übertragen (Bild 2.6-1). Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, daß der Zugriff auf Wissen in der Wissensbasis schnell

erfolgen kann. Problematisch ist allerdings, daß vor allem bei Widersprüchen in den Fallbeispielen in der Lernphase Wissensverluste entstehen können. Darüber hinaus ist die Lernphase vor allem bei zahlreichen Fallbeispielen zeitintensiv. Neue Informationen stehen aber erst nach einer solchen Lernphase zur Verfügung /Weiß-95/. Die Dauer einer Lernphase hängt dabei von der Zahl und Komplexität der verwendeten Fallbeispielen und dem Lernverfahren ab.

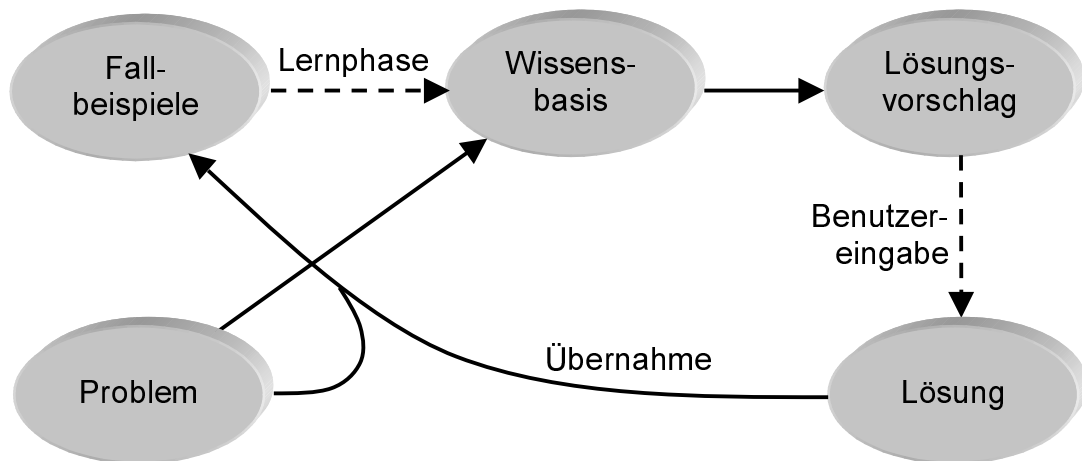


Bild 2.6-1: Ablauf des Lernens bei den Verfahren 1) bis 4)

/Weiß-95/ /MonostoriBrusselWestkämper-96/

Beim fallbasierten Schließen wird direkt auf die Fallbeispiele zugegriffen (Bild 2.6-2). Damit entfällt eine Lernphase und neue Falldaten stehen dem Benutzer unmittelbar und unverfälscht zur Verfügung.

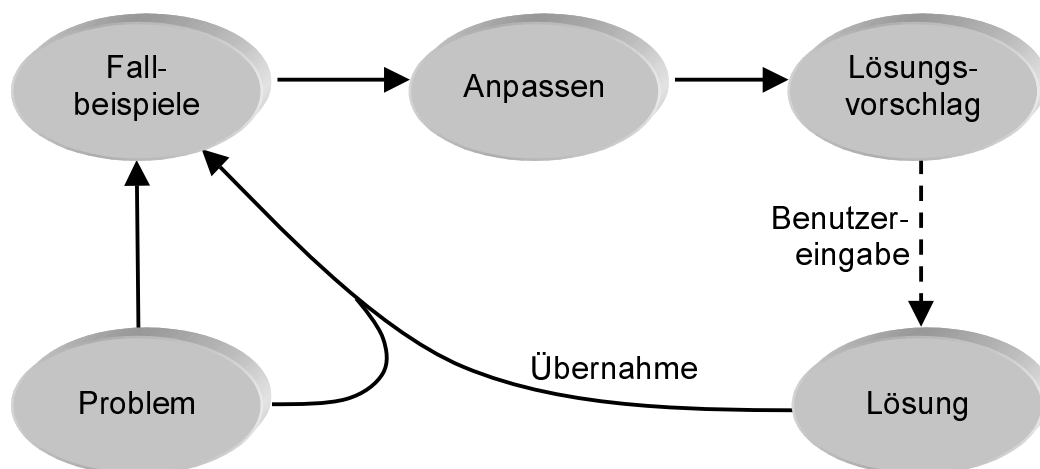


Bild 2.6-2 Ablauf des Lernens beim fallbasierten Schließen /Weiß-95/

Ein wichtiges Kriterium für die Akzeptanz eines Expertensystems in der Arbeitsplanung ist eine nachvollziehbare Lösungsfindung. Diese ist, wie bereits erläutert, bei neuronalen Netzen am schlechtesten. Bei einem Bayesian-belief Network ist es problematisch, daß nur statistische Wahrscheinlichkeitsaussagen gemacht werden können. Deren Entstehung ist für den Benutzer meist nicht transparent. Rückschlüsse auf zugrundeliegende Regeln oder Ausnahmen können nicht gemacht werden. Die anderen Lernverfahren sind für den Benutzer wesentlich verständlicher. Vor allem das fallbasierte Schließen hat durch die direkte Benutzung von Fallbeispielen eine gute Akzeptanz bei den im Rahmen dieser Arbeit befragten Experten. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Arbeitsplaner in hohem Maße von einzelnen Erfahrungen geleitet werden /Bolte-93/ und die Orientierung an Fallbeispielen damit weitgehend der Denkweise der Experten entspricht /BuschHerrmannJustRittenbruch-94/.

Widersprüche in den Fallbeispielen können beim Lernen von Entscheidungsbäumen und von Konzepten nicht in der Wissensbasis dargestellt werden. Damit die Lernphase erfolgreich abgeschlossen werden kann, muß der Benutzer diese Widersprüche manuell auflösen. Korrekturen der gespeicherten Fallbeispielen sind bei jedem System möglich. Allerdings stehen diese nur beim fallbasierten Schließen dem Benutzer direkt zur Verfügung.

Die Darstellung des Kontextes, der zu einer Lösung des Expertensystems führt, ist eine zentrale Eigenschaft im Umgang mit Wissen /Hubig-98/. Sie ist detailliert nur beim fallbasierten Schließen und beim Lernen von Konzepten möglich. Dabei wird entweder auf das ähnlichste oder ein für das Konzept typisches Beispiel zurückgegriffen.

In Bild 2.6-3 werden die unterschiedlichen Stärken der vorgestellten Lernverfahren zusammengefaßt.

	1) Neuro- nale Netze	2) Bayesian- belief Network	3) Lernen von Ent- scheidungs- bäumen	4) Lernen von Konzepten	5) Fall- basiertes Schließen
Überführung der Fallbei- spiele in eine Wissensbasis	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
Aktualität	Nach neuer Lernphase	Nach neuer Lernphase	Nach neuer Lernphase	Nach neuer Lernphase	Jederzeit
Nachvollzieh- bare Lösungs- findung	Nein	Teilweise	Ja	Ja	Ja
Widersprüche zwischen Fallbeispielen	Möglich	Möglich	Sehr pro- blematisch	Proble- matisch	Möglich
Nachträgliches Korrigieren	Erfordert neue Lernphase	Erfordert neue Lernphase	Erfordert neue Lernphase	Erfordert neue Lernphase	Ohne neue Lernphase möglich
Darstellung des Kontextes	Nicht möglich	Nicht möglich	Nicht möglich	Typisches Beispiel	Ähnlichstes Beispiel

Bild 2.6-3: Vergleich der Lernverfahren

3 Anforderungen an ein Assistenzsystem und Lösungsansatz

3.1 Anforderungen

Um Informationen über die Entstehung von Daten und Erfahrungen aktuell und unkompliziert dann bereitzustellen, wenn sie benötigt werden, sind diese in das Informationsmodell zu integrieren und der bisherige digitale Informationsfluß entsprechend zu ergänzen. Darauf aufbauend soll mit einem Assistenzsystem die Erfassung und situative Bereitstellung dieser zusätzlichen Daten unterstützt werden.

Daraus lassen sich folgende Anforderungen an das Assistenzsystem ableiten:

- 1) Die Benutzer sollen bei allen wesentlichen Entscheidungen der Arbeitsplanung, die umfassendes, aktuelles Know-how erfordern, unterstützt werden. Dabei sollen ihnen möglichst viele sinnvolle Lösungsalternativen präsentiert werden.
- 2) Zur Unterstützung des Wissenstransfers sollen relevante Entscheidungen und vorhandene Erfahrungen situativ bereitgestellt werden. Dabei soll auch der jeweilige Kontext abrufbar sein.
- 3) Zusätzlich soll auch die Kommunikation mit Konstruktion und Fertigung verbessert werden.
- 4) Entscheidungen sollen ebenso protokolliert werden, wie Änderungen, Kommentare und Erfahrungen der Benutzer.
- 5) Auf vom Benutzer eingegebene Änderungen soll unmittelbar reagiert werden. Veraltetes Know-how soll als solches erkannt und behandelt werden.
- 6) Es soll dem Bediener möglich sein, Lösungen zu generieren und auf Lösungen aufzubauen, die im Widerspruch zu dem bisher im System abgelegten Wissen stehen.
- 7) Das Verhalten des Assistenzsystems soll für den Bediener stets nachvollziehbar bleiben. Dabei soll es eine unkomplizierte Benutzerschnittstelle bieten.
- 8) Die Wartbarkeit ist gegenüber herkömmlichen regelbasierten Expertensystemen drastisch zu verbessern.

In Bild 3.1-1 ist dargestellt, in welchem Maße einige bereits bestehende Systeme mit lernfähiger Wissensbasis diesen Anforderungen bereits gerecht werden.

	/Glockner-99/	OTOPS /Park-Rho-96/	TECH- PERT /Burghardt-96/	/Ewert-Dürr-97/	/Lu-89/	CaPlan /Paulokat Wess-94/
Wissensbasis	Wenn-Dann-Regeln	Neuronales Netz	Bayesian-belief Network	Entscheidungs-bäume	Konzepte	Fall-basiertes Schließen
1) Verschiedene Entscheidungen unterstützt						
2) Situative Bereitstellung von Erfahrungen mit ihrem Kontext						
3) Kommunikation mit Konstruktion und Fertigung						
4) Umfassendes Protokollieren						
5) Aktualität						
6) Widersprüche in Lösungen möglich						
7) Verhalten ist nachvollziehbar						
8) Leichte Wartbarkeit						

Anforderung erfüllt

Anforderung teilweise erfüllt

Anforderung nicht erfüllt

Bild 3.1-1: Erfüllung der Anforderungen durch ausgewählte bestehende Systeme

3.2 Lösungsansatz

Keines der untersuchten Systeme genügt den notwendigen Anforderungen. Daher soll im folgenden ein neuartiges Assistenzsystem für die Arbeitsplanung entwickelt werden.

Um Erfahrungen aus der Prozeßkette situativ bereitstellen zu können, reicht es nicht aus, den herkömmlichen Informationsaustausch durch Erfahrungsdaten zu erweitern (Bild 3.2-1). Dies liegt einerseits daran, daß eine prozeßkettenorientierte Archivierung der Erfahrungen fehlt und andererseits der Zugriff und die Suche nach relevanten Erfahrungen umständlich ist.

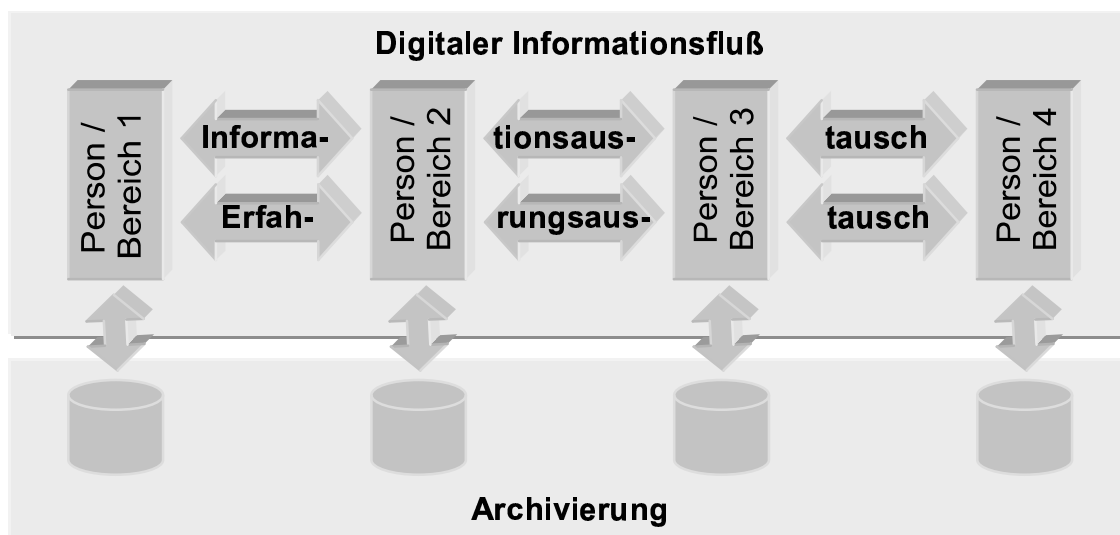


Bild 3.2-1: Erweiterung des herkömmlichen Informationsaustausches

Diese Probleme lassen sich lösen, wenn ein bereichsübergreifendes Assistenzsystem die Erfahrungen archiviert und bereitstellt (Bild 3.2-2). Dadurch wird gewährleistet, daß die Erfahrungen nicht ausschließlich lokal zur Verfügung stehen, sondern in der gesamten Prozeßkette nutzbar sind. Weitere Bereiche können mit dem Zugriff auf das Assistenzsystem die gespeicherten Erfahrungen ebenfalls nutzen. Durch das zusätzliche Speichern des Kontexts der Erfahrungen wird dabei die Verknüpfung zum bereits bestehenden digitalen Informationsfluß sichergestellt.

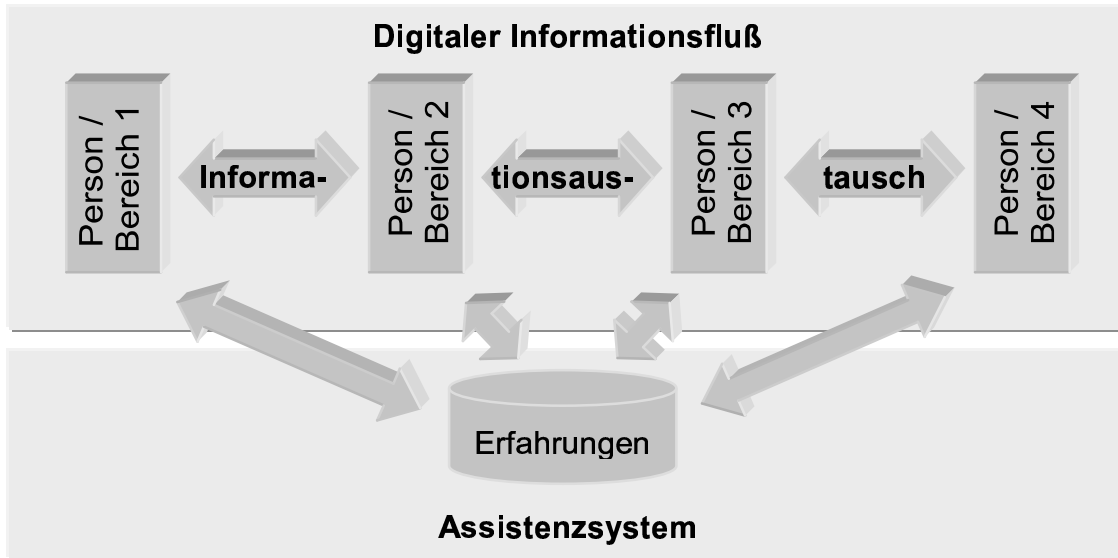




Bild 3.2-2: Ergänzung des Informationsflusses mit Daten aus dem Assistenzsystem

Damit dieses Assistenzsystem den Anforderungen nach Aktualität und gleichzeitig geringem Wartungsaufwand gerecht werden kann, ist nach dem Stand der Technik eine automatische Wissensakquisition notwendig.

Das fallbasierte Schließen ist das einzige Lernverfahren, das sowohl eine Darstellung des Kontexts eines Lösungsvorschlags ermöglicht als auch Widersprüche zwischen Fallbeispielen zuläßt. Zusätzlich bietet das fallbasierte Schließen die beste Aktualität und eine nachvollziehbare Lösungsfindung sowie umfangreiche Korrekturmöglichkeiten. Die Fallbeispiele können außerdem die Grundlage für eine umfassende Dokumentation bilden. Das fallbasierte Schließen soll daher als Lernverfahren für das zu entwickelnde Assistenzsystem dienen.

Damit sind die Voraussetzungen für die Erfüllung der Anforderungen an das Assistenzsystem geschaffen (Bild 3.2-3). Die in Bild 3.2-2 dargestellte bereichsübergreifende Architektur bietet die Voraussetzungen für die Nutzung der im Assistenzsystem verfügbaren Erfahrungen in unterschiedlichen Bereichen und Entscheidungssituationen. Das fallbasierte Schließen bietet die flexible Plattform für aktuelle und nachvollziehbare Lösungsvorschläge. Darauf aufbauend können Erfahrungen umfassend erfaßt und mit ihrem Kontext bereitgestellt werden.

	Bereichsübergreifende Architektur	Fallbasiertes Schließen	Erfahrungsmanagement
1) Unterstützung verschiedener Entscheidungen			
2) Situative Bereitstellung von Erfahrungen mit ihrem Kontext			
3) Kommunikation mit Konstruktion und Fertigung			
4) Umfassendes Protokollieren			
5) Aktualität			
6) Widersprüche in Lösungen möglich			
7) Verhalten ist nachvollziehbar			
8) Leichte Wartbarkeit			

 Schafft Voraussetzung für

Bild 3.2-3: Lösungsansatz für die Anforderungen aus Kapitel 3.1

4 Konzeption eines Assistenzsystems für die Arbeitsplanung

4.1 Die Verarbeitung von Erfahrungen

In Konstruktion und Arbeitsplanung werden Aufgaben gestellt, die sich in unterschiedlichem Maße mit Elementen bestehender Lösungen bewältigen lassen (Bild 4.1-1). Dabei entfällt in der Regel nur ein geringer Teil der Aufgaben auf die Erzeugung neuer Lösungen /Abeln-90/. Doch auch diese können Elemente bereits bestehender Lösungen enthalten, wie zum Beispiel standardisierte Verbindungselemente und dazugehörige Fertigungsschritte.


Konstruktion /Jäger-90/	Arbeitsplanung /SpurKrause-84/	Verwendung alter Lösungselemente
Neukonstruktion	Neuplanung	selten
Anpassungskonstruktion	Anpassungsplanung	
Variantenkonstruktion	Variantenplanung	

Bild 4.1-1 Verwendung bestehender Lösungselemente in Konstruktion und
Arbeitsplanung

Um Erfahrungen in der CAD/CAM-Prozesskette nutzen zu können, muß das zu konzipierende Assistenzsystem diese alten Lösungselemente zur Erzeugung neuer Lösungsvorschläge heranziehen. Ein geeignetes Informationsmodell ermöglicht dabei einerseits die Betrachtung von Elementen mit einer sinnvollen Komplexität und verknüpft andererseits Erfahrungen mit diesen Elementen. Die Elemente müssen dazu einerseits komplex genug sein, damit sich ihnen Erfahrungen in der Prozesskette kausal zuordnen lassen und andererseits das Informationsmodell sinnvoll unterteilen können.

Liegt eine Problemstellung in der Arbeitsplanung vor, die mit solchen Elementen gegliedert ist, muß jedem Element eine Teillösung zugeordnet werden. Dieser

Vorgang soll von dem Assistenzsystem unterstützt werden. Dazu soll das fallbasierte Schließen verwendet werden.

Fallbasiertes Schließen löst Probleme durch die Adaption bekannter, erfolgreicher Lösungen von ähnlichen Problemen /Watson-95/. Dabei können zum Beispiel Abkürzungen genutzt und Schwierigkeiten vorhergesehen werden /Weber-94/. Der Wissenserwerb geschieht durch das Sammeln von Fällen, deren Verwaltung durch Datenbanktechniken erleichtert werden kann /Weiß-95/.

Das fallbasierte Schließen ist ebenso wie die regelbasierten Methoden dem menschlichen Denken nachempfunden /Schank-82/. Aussagen, die eine fallbasierte Vorgehensweise nahelegen sind zum Beispiel:

- Jedesmal, wenn ich in dieser Stadt war, übernachtete ich im Hotel am Bahnhof und war sehr zufrieden. Daher werde ich auch dieses Mal dort ein Zimmer reservieren.
- Als ich gestern diese Drehzahl wählte, brach das Werkzeug. Heute werde ich eine niedrigere Drehzahl nutzen.

Regeln können aus einer Vielzahl von Fällen abstrahiert werden /Weber-94/. Beispiele für die regelbasierte Vorgehensweise sind:

- Der Sicherheitsabstand beträgt stets 20 mm.
- Wir produzieren solche Bohrungen immer auf diese Weise.

Einige Unterschiede zwischen Fällen und Regeln sind in Bild 4.1-2 dargestellt.

	Realitätsbezug	Art des Wissens	Interpretationsmöglichkeiten
Regeln	Abstrakt / generalisiert	Explizit	Einfach
Fälle	Konkret / instanziiert	Implizit	Mehrfach

Bild 4.1-2 Unterschiede zwischen Fällen und Regeln /Weiß-95/

Fallbasierte Systeme werden vor allem in solchen Bereichen erfolgreich eingesetzt, in denen das Modellieren der Domäne mit großem Aufwand verbunden ist, das Wissen Veränderungen unterliegt oder Fälle ein wesentlicher Teil des Denkens der

Benutzer sind. Diese Systeme beraten zum Beispiel Juristen /Weber-Lee-97/, Servicetechniker /Heider-96/, Computer-Betreuer /Pantleon-97/, Architekten /MaherBalachandranZhang-95/, Maschinenbediener /KawamuraSasakiEndou-90/, Ärzte /Ochi-Okorie-97/ und potentielle Restaurantgäste /GökerThompson-00/.

Wie in Kapitel zwei dargestellt, umfaßt die generelle Vorgehensweise des fallbasierten Schließens die Schritte Retrieve, Reuse, Revise und Retain /AamodtPlaza-94/ (Bild 4.1-3). Je nach Anwendung kann dieser Zyklus erweitert werden, zum Beispiel kann zwischen der Bereitstellung und der Auswahl von Fällen im Schritt Retrieve unterschieden werden oder zwischen systeminterner und externer Kritik im Schritt Revise /Weiß-95/.

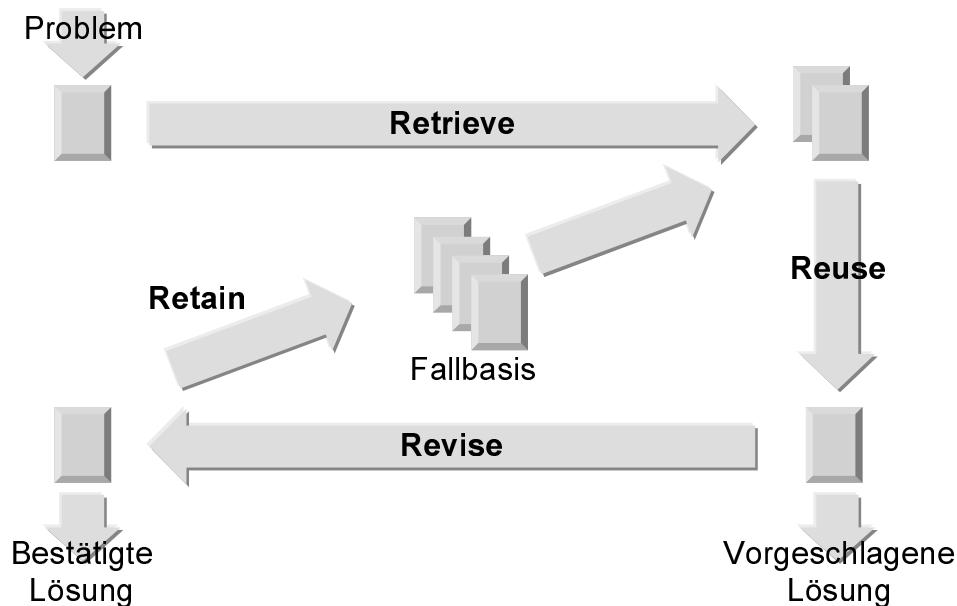


Bild 4.1-3: Der Zyklus des fallbasierten Schließens nach /AamodtPlaza-94/

Ein einfaches Beispiel für die Vorgehensweise des fallbasierten Schließens ist die Berechnung von $13 \cdot 12$, wenn $12 \cdot 12 = 144$ bekannt ist. Zunächst wird festgestellt, daß $13 \cdot 12$ etwa $12 \cdot 12$ entspricht (Retrieve). Nun läßt sich aus der bekannten Lösung 144 die neue konstruieren: $13 \cdot 12 = (12 \cdot 12) + 12 = 156$ (Reuse). Diese kann nun verwendet (Revise) und als neuer Fall im Gedächtnis abgelegt werden (Retain) /Reinartz-00/.

Der dargestellte Zyklus des fallbasierten Schließens wird einigen Anforderungen der hier vorliegenden Aufgabenstellung nicht vollständig gerecht.

Diese können aber durch folgende Modifikationen erfüllt werden:

- Um mehrere Lösungsalternativen generieren zu können, reicht es aus, im Schritt Retrieve mehrere Fälle bereitzustellen, die alle die folgenden Schritte durchlaufen. Die Schritte Revise und Retain werden schließlich nur noch mit der vom Benutzer ausgewählten Lösung durchgeführt /Veloso-93/.
- Damit ausschließlich sinnvolle Lösungen erzeugt werden, wird ein neuer Schritt 'Kontrolle' im Anschluß an den Schritt Reuse eingeführt:
Kontrolle: Mit Hilfe gespeicherten Wissens wird geprüft, ob die Lösung den Anforderungen an sinnvolle Eingaben standhält /PricePegler-95/.
- Um redaktionelle Mehrarbeit des Anwenders zu vermeiden, kann ein weiterer Schritt 'Speichern' im Anschluß an die Auswahl des Benutzers eingeführt werden:
Speichern: Die vom Benutzer ausgewählte Lösung wird direkt in der Falldatenbasis gespeichert und als noch nicht angewendet gekennzeichnet. Dies gewährleistet, daß die Lösung auch ohne weitere Benutzereingaben gespeichert wird, falls keine Modifikationen im Schritt Revise erfolgen.

Damit ergibt sich folgender Zyklus (Bild 4.1-4):

- Schritt 1) Die relevanten Elemente der Problemstellung werden mit Hilfe problemspezifischen Wissens auf der Grundlage des Informationsmodells identifiziert.
- Schritt 2) Diese Elemente werden mit den entsprechenden Elementen früherer Problemstellungen verglichen, die in der Fallbasis gespeichert sind. Die ähnlichsten früheren Problemstellungen und ihre Lösungen werden weiter betrachtet, alle anderen werden verworfen. Dazu ist ein problemspezifisches Ähnlichkeitsmaß erforderlich.
- Schritt 3) Das in einer Wissensmenge gespeicherte problemspezifische Wissen wird nun genutzt, um bei Unterschieden zwischen der aktuellen Problemstellung und den gespeicherten älteren Problemstellungen deren Lösungen anzupassen.
- Schritt 4) Die im vorangegangenen Schritt generierten Lösungsvorschläge werden auf ihre Plausibilität untersucht und eventuell verworfen. Dies geschieht wieder mit Hilfe des problemspezifischen Wissens in der Wissensmenge.
- Schritt 5) Die verbliebenen Lösungsvorschläge werden dem Benutzer präsentiert, der entweder einen davon auswählt oder manuell eine Lösung erzeugt.

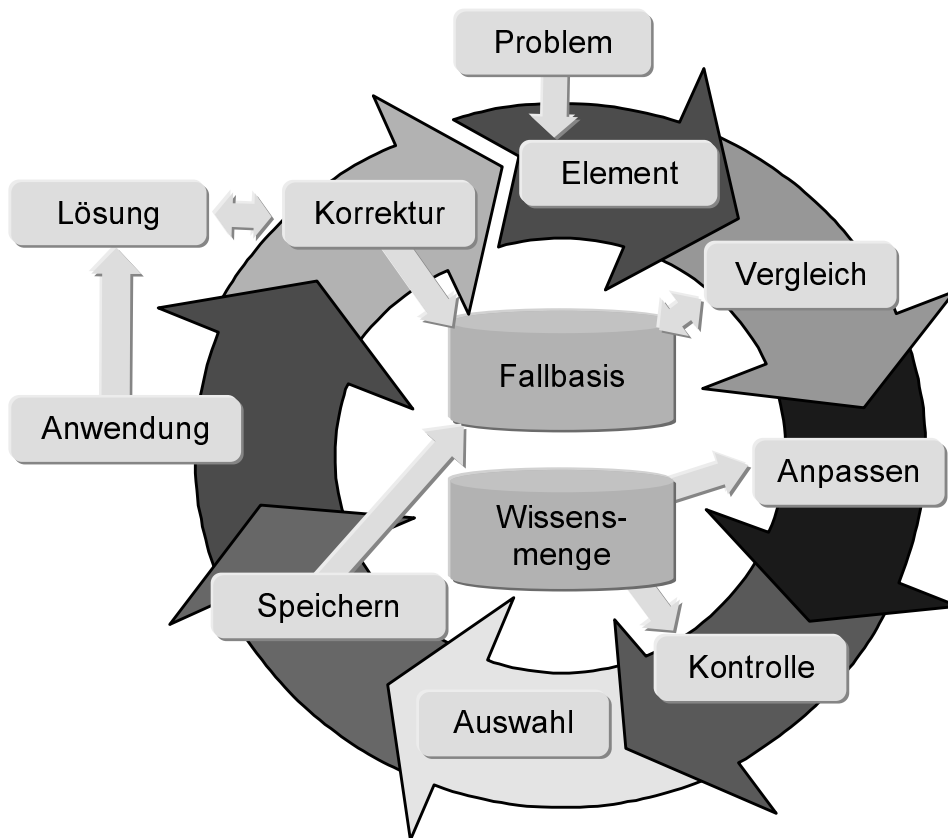


Bild 4.1-4 Angepaßter Zyklus des fallbasierten Schließens

Schritt 6) Die vom Benutzer gewählte Lösung wird zusammen mit der zugrundeliegenden Problemstellung der Fallbasis hinzugefügt.

Schritt 7) Der Benutzer wendet die gewählte Lösung in der Praxis an.

Schritt 8) Die Lösung wird in der Fallbasis als angewendet gekennzeichnet. Falls Korrekturen erforderlich sind, führen diese zunächst zu einer entsprechenden Änderung in der Fallbasis. Eventuell sind auch Korrekturen an der Wissensmenge notwendig, die in den Schritten drei und vier benutzt wurde.

Daher sind folgende Aufgaben zu lösen:

- Die Auswahl und Erweiterung eines Informationsmodells (Kapitel 4.2).
- Die Konzeption einer flexiblen Wissensbasis aus Fallbasis und Wissensmenge (Kapitel 4.3)
- Die Entwicklung eines Konzepts für ein passendes Ähnlichkeitsmaß (Kapitel 4.4)
- Die Konzeption eines Korrekturmechanismus (Kapitel 4.5)

4.2 Informationsmodell

Dem Informationsmodell kommt bei Entscheidungsunterstützungssystemen eine große Bedeutung zu. Es soll alle relevanten Informationen abbilden können und durch geeignete Strukturierung die Basis für das Entscheidungsunterstützungssystem schaffen /Burghardt-96/. Damit das Entscheidungsunterstützungssystem verschiedene Informationen aus dem Produktentstehungsprozeß nutzen kann, ist ein durchgängiges Informationsmodell erforderlich. Dieses ist auch die Basis für ein effektives und effizientes Informationsmanagement im Unternehmen, da sich sonst Informationsverluste nicht vermeiden lassen /AnderlPollyStaub-97/.

Eingangs wurde gefordert, daß das Assistenzsystem den Kontext von Erfahrungen darstellen soll. Dazu ist es notwendig, daß der Inhalt des Informationsmodells so strukturiert ist, daß sich alle für den Kontext einer Entscheidung relevanten Informationen zusammenfassen lassen. Diese Informationen können zum Beispiel bei der Werkzeugauswahl die Geometrie, Toleranzen und Materialien umfassen.

Herkömmliche Strukturen wie Geometrielemente oder Partialmodelle stellen in der Regel zu wenig oder zu viele Informationen bereit. Eine bessere Strukturierung erhält man durch Funktionselemente, die meist den Kontext einer Entscheidung in der Arbeitsplanung sowohl geometrisch als auch technologisch vollständig abbilden. In dieser Arbeit wird der meist synonym gebrauchte Begriff 'Feature' verwendet (Bild 4.2-1).

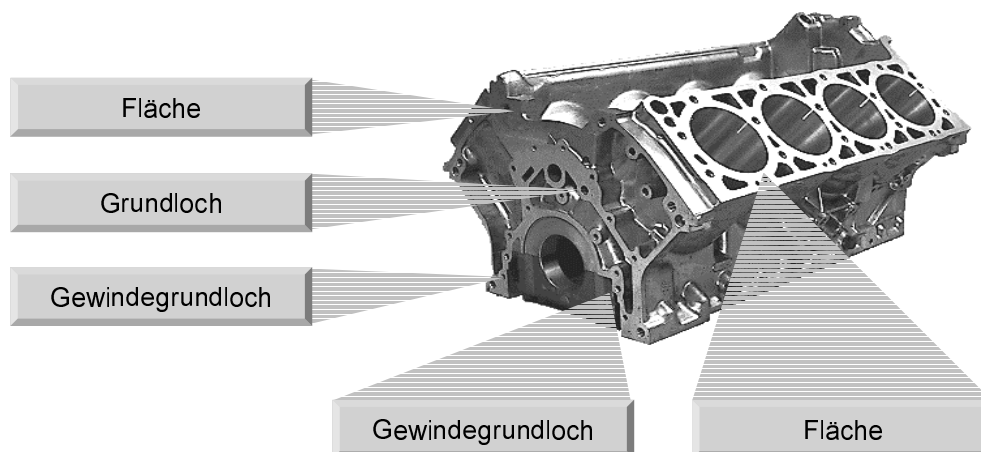


Bild 4.2-1: Features am Beispiel eines Zylinderkopfes nach /HaasisFrankRommelWeyrich-99/

Während unter einem 'Feature' ursprünglich nur ein Geometrieelement verstanden wurde (zum Beispiel in /PrattWilson-85/), haben moderne Definitionen dies um weitere, nichtgeometrische Aspekte ergänzt und die Funktion in den Vordergrund gestellt (Bild 4.2-2). Dazu können Anforderungen, Funktionen, Lösungsprinzipien, Toleranzen und Vorgehensweisen gehören /VajnaWegner-97/. In dieser Arbeit wird der Begriff Feature wie in der /DIN-32869/ benutzt, die Features beziehungsweise Funktionselemente als Konstruktions- oder Bearbeitungsobjekte definiert. Die Beschreibung dieser Funktionselemente wird dabei unabhängig von der systeminternen Darstellung der Daten und der Ableitbarkeit von technischen Zeichnungen behandelt.

Die notwendigen Geometrie- und Toleranzinformationen für die Unterstützung der Werkzeugauswahl mit dem Assistenzsystem sind demnach in einem Feature enthalten. Weitere Informationen, wie zum Beispiel über das Material, sind in herkömmlichen Features nicht abgebildet.

	Beispiele	Beschrieben wird	Form
Geometrie- element	Fläche, Kugel, Zylinder, Linie	Form	Typ aus Standardmenge
Partialmodell	Kühlkreislauf, Bearbeitungsumfang	Einheit	Einmalig
Feature	Fläche, Tasche, Stufenbohrung	Funktionsteil	Typ aus Standardmenge

Bild 4.2-2: Vergleich zwischen Geometrieelement, Partialmodell und Feature

Eine weitere Anforderung an das Informationsmodell ergibt sich aus der Forderung nach einem in vielen Entscheidungssituationen der CAD/CAM-Prozesskette einsetzbaren Assistenzsystem und der Unterstützung des Informationsflusses im Unternehmen. Daher muß auch das Informationsmodell möglichst in der gesamten CAD/CAM-Prozesskette anwendbar sein, damit die Anwendbarkeit des Assistenzsystems nicht eingeschränkt wird.

Rein geometrische Produktbeschreibungen sind während dieses Prozesses oft großen Änderungen unterworfen, die dazu führen können, daß der Kontext ursprünglicher Entscheidungen in späteren Phasen nicht mehr erkannt werden kann.

Features können dagegen sowohl in der Konstruktion und Arbeitsplanung als auch im Qualitätsmanagement und in der Produktion eingesetzt werden. Je nach Anwendungsbereich stehen andere Aspekte im Vordergrund (Bild 4.2-3):

- Bei der Produktgestaltung dienen Features als wiederverwendbare, nicht produktspezifische Elemente zur Lösung einer Konstruktionsaufgabe /AnderlMendgen-97/.
- Im Qualitätsmanagement werden Features durch ein auf die Geometrie bezogenes Qualitätsmerkmal beschrieben /Bös-94/, /BurghardtFleissner-96/.
- Für die Arbeitsplanung werden die Features aus der Konstruktion verfahrensorientiert aufbereitet /Ulbrich-96/.
- In der Fertigung können Features beim Datentransfer zwischen einem CAD/CAM-System und CNC-Maschinen genutzt werden /ISO14649/.

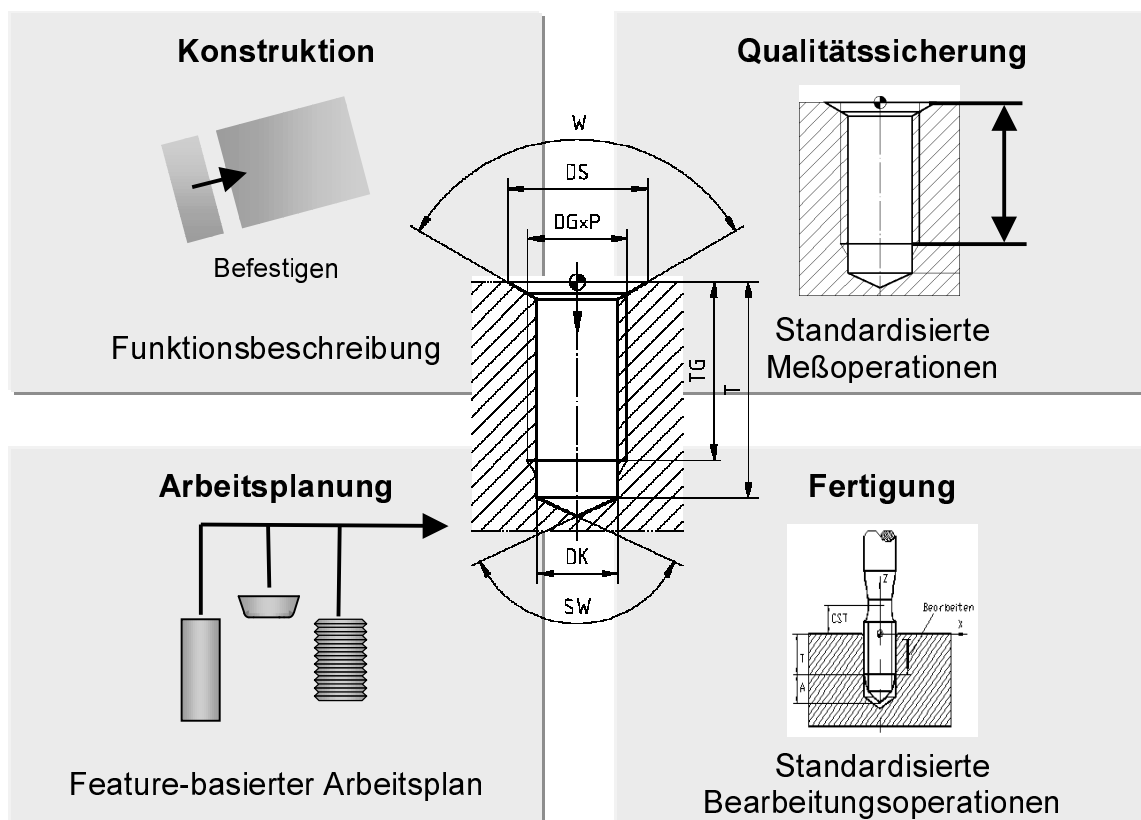


Bild 4.2-3: Unterschiedliche Sichten auf das Feature „Gewindegrundloch“

Es ist möglich, Features nur in einzelnen Bereichen des Produktentstehungsprozesses einzusetzen. Werden in der Konstruktion keine Features eingesetzt, müssen für die Nutzung von Features in anderen Bereichen erst Features in den Daten der Konstruktion identifiziert werden. Dies kann über manuelle Feature-Identifikation oder automatische Feature-Erkennung geschehen. Allerdings kann auch die automatische Feature-Erkennung nachträgliche manuelle Arbeiten erfordern /Bös-94/.

Um allerdings einen optimalen Austausch von digitalen Daten zu ermöglichen, muß in der gesamten Prozeßkette mit einem einheitlichen Informationsmodell gearbeitet werden. Die durchgängige Verwendung von Features – von der Feature-basierten Konstruktion zum Feature-basierten Bearbeitungsprogramm – bietet zahlreiche Vorteile. Dazu zählen eine beschleunigte Produkt- und Fertigungsbeschreibung, effiziente NC-Programm-Erstellung und CAD/CAM-Integration durch eine integrierte Datenverwaltung /HaasisFrankRommelWeyrich-99/. Vorteile können zum Beispiel dadurch erzielt werden, daß dem Konstrukteur solche Features bereitgestellt werden, die sich besonders gut fertigen lassen /RudePratt-91/.

Die Feature-basierte Prozeßkette nach /HaasisFrankRommelWeyrich-99/ beginnt mit der Feature-basierten Produktentwicklung. Dabei werden Konstruktions-Features zunächst zur funktionalen Modellierung erster Gestaltbereiche verwendet und anschließend geometrisch ausgestaltet. Dazu kann die Bauteilbeschreibung in mehrere Partialmodelle aufgelöst werden. Dies ermöglicht das parallele Arbeiten mehrerer Konstrukteure an einem Bauteil, da jeder Konstrukteur lediglich ein Partialmodell ändert. Um ein möglichst unabhängiges Arbeiten der Konstrukteure zu ermöglichen ist der Umfang der Partialmodelle so zu wählen, daß Interaktionen zwischen diesen weitgehend vermieden werden. In der Regel ist es sinnvoll, die Teile, die später spanend gefertigt werden, in einem Partialmodell zusammenzufassen. Die anderen Partialmodelle beschreiben dann in ihrer Gesamtheit die Gestalt des Rohteils /HaasisShinPape-99/. Das Fertigteil kann dann durch boolesche Operationen der Partialmodelle gewonnen werden (Bild 4.2-4).

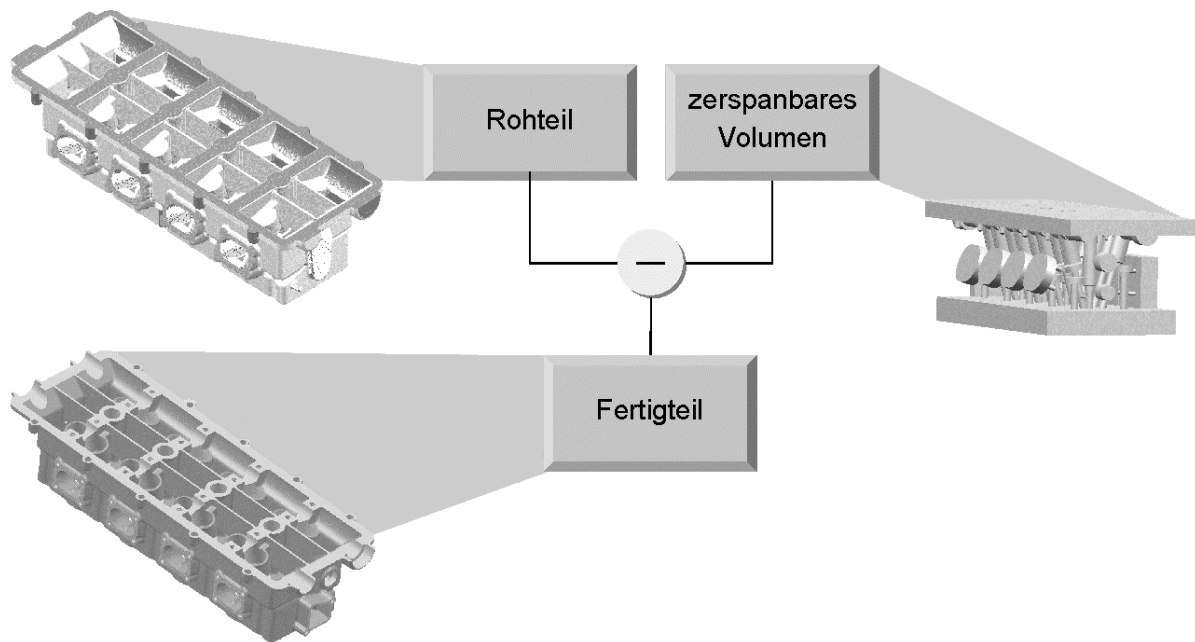


Bild 4.2-4: Vom Rohteil zum Fertigteil /HaasisFrankRommelWeyrich-99/

Damit ergibt sich ein Informationsmodell, das in verschiedene Partialmodelle unterteilt ist, die mit Features und Geometrie aufgebaut sind. Informationen für die Qualitätssicherung werden dabei in einem weiteren Modell abgelegt (Bild 4.2-5). Einzelne Elemente der Partialmodelle können dabei über das Fertigteilmodell miteinander verknüpft sein, wie zum Beispiel der zerspanbare und der in der Gießerei zu fertigende Anteil an einem Konstruktions-Feature und das zugeordnete Meß-Feature.

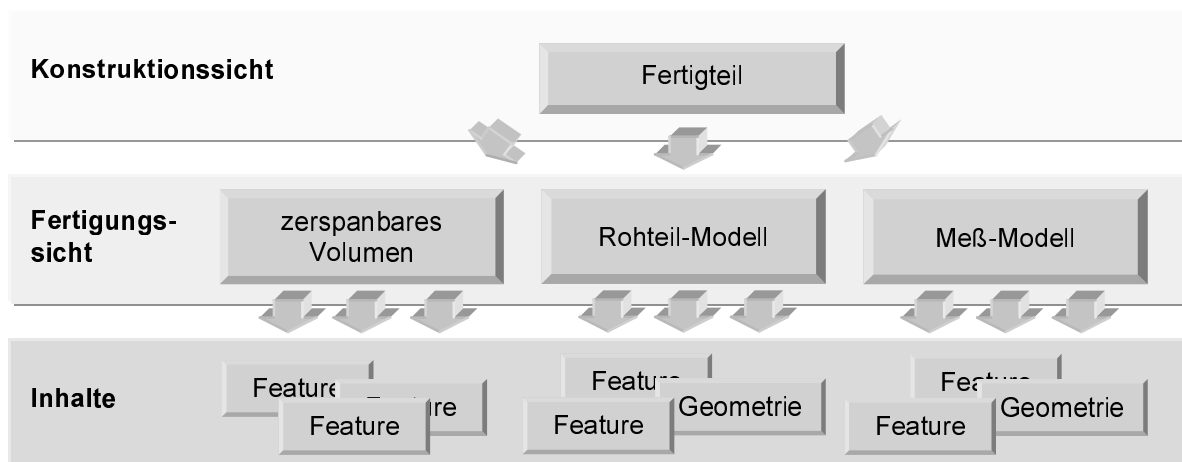


Bild 4.2-5: Struktur des Informationsmodells

In der Feature-basierten Arbeitsplanung werden die Features des Fertigteils von der Konstruktion übernommen und ihnen in einem Mapping-Prozeß Fertigungs-Features zugeordnet. Diese Fertigungs-Features sind die Grundlage für die Festlegung der Bearbeitungen und Fertigungsabläufe. Dabei werden den Fertigungs-Features Operationen, Werkzeuge, Parameter, Maschinen und Aufspannungen zugeordnet. Das Meß-Modell wird auf ähnliche Weise erzeugt, indem durch einen weiteren Mapping-Prozeß zu den Konstruktions-Features passende Meß-Features erzeugt werden, denen dann Meßmethoden und Prüfmittel zuzuordnen sind (Bild 4.2-6).

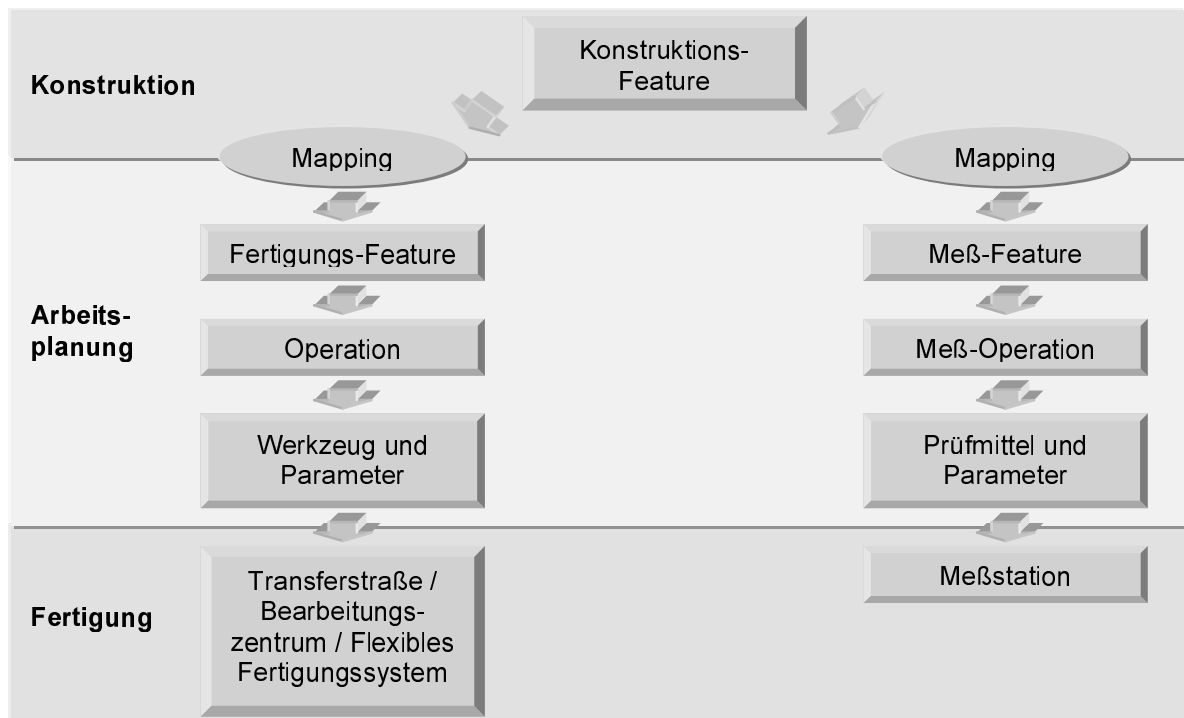


Bild 4.2-6: Vorgehensweise bei der Prozeßplanung

Features können somit im gesamten Produktentstehungsprozeß als Bindeglieder und Verknüpfungspunkte dienen. Darüber hinaus kann durch den Abgleich der Fertigungs- mit den Konstruktions-Features fertigungsgerechtes Konstruieren effektiv unterstützt werden /Schützer-95/.

4.3 Konzeption der Wissensbasis

Beim Fallbasierten Schließen existieren zwei verschiedene Arten von Information abgelegt:

- Einerseits implizites Wissen aus Problemstellungen und dazugehörigen Lösungen. Dieses wird in Fällen in einer Fallbasis gespeichert.
- Andererseits wird explizites problemspezifisches Wissens benötigt, um gespeicherte Lösungen an neue Probleme anzupassen und um die Plausibilität der vom Assistenzsystem generierten Lösungsvorschläge zu prüfen.

4.3.1 Fallbasis

Im ersten Teil der Wissensbasis müssen die Voraussetzungen für die Entscheidungen, die dazugehörigen Entscheidungen selbst und eventuelle Korrekturen repräsentiert werden. Dies geschieht bei fallbasierten Systemen in einer Fallbasis, deren Aufbau problemspezifisch ist und daher an die Anforderungen des Assistenzsystems angepaßt werden muß.

Die in der Fallbasis gespeicherten Daten sind ständigen Änderungen unterworfen, da fast bei jedem Aufruf des Assistenzsystems neue Fälle zu speichern sind oder bestehende Fälle geändert werden. Diese Änderungen müssen einfach und schnell in der Fallbasis durchführbar sein. Um die Fallbasis durchgängig in der CAD/CAM-Prozeßkette einsetzen zu können, muß sie darüber hinaus gewährleisten, daß unterschiedlichste Informationen gespeichert, verwaltet, verknüpft und schnell abgerufen werden können.

In fallbasierten Systemen wird die Fallbasis meist mittels folgender Schritte erstellt /MaherBalachandranZhang-95/ /SandersKettlerHendler-97/ /Weber-94/:

- 1) Alle Attribute eines Falls werden in einem Datensatz zusammengefaßt, der ein Problem und dessen Lösung hinreichend umfassend beschreibt.
- 2) Eine Repräsentation der Inhalte eines Falls in der Fallbasis wird gewählt.

- 3) Es wird eine Fallbasis aus solchen Fällen aufgebaut.
- 4) Zu Beginn sind in der Fallbasis eines fallbasierten Systems maximal einige grundlegende Fälle abgelegt. Ihre Zahl wächst allerdings während des Systemeinsatzes, so daß bei jedem Aufruf auf eine zunehmende Zahl von Fällen zurückgegriffen werden kann. Die Menge der zum ersten sinnvollen Einsatz notwendigen Fälle hängt stark von der jeweiligen Anwendung ab.

Wird für jede durch das Assistenzsystem zu unterstützende Entscheidung ein eigenes fallbasiertes System mit einer eigenen Fallbasis entwickelt, sind Zusammenhänge zwischen einzelnen Entscheidungen nicht erkennbar. Außerdem ist häufig eine Entscheidungen gleichzeitig die Grundlage für weitere Entscheidungen. In getrennten Fallbasen führt dies zu redundanten Informationen, die synchronisiert werden müssen und die Fallbasis unnötig vergrößern.

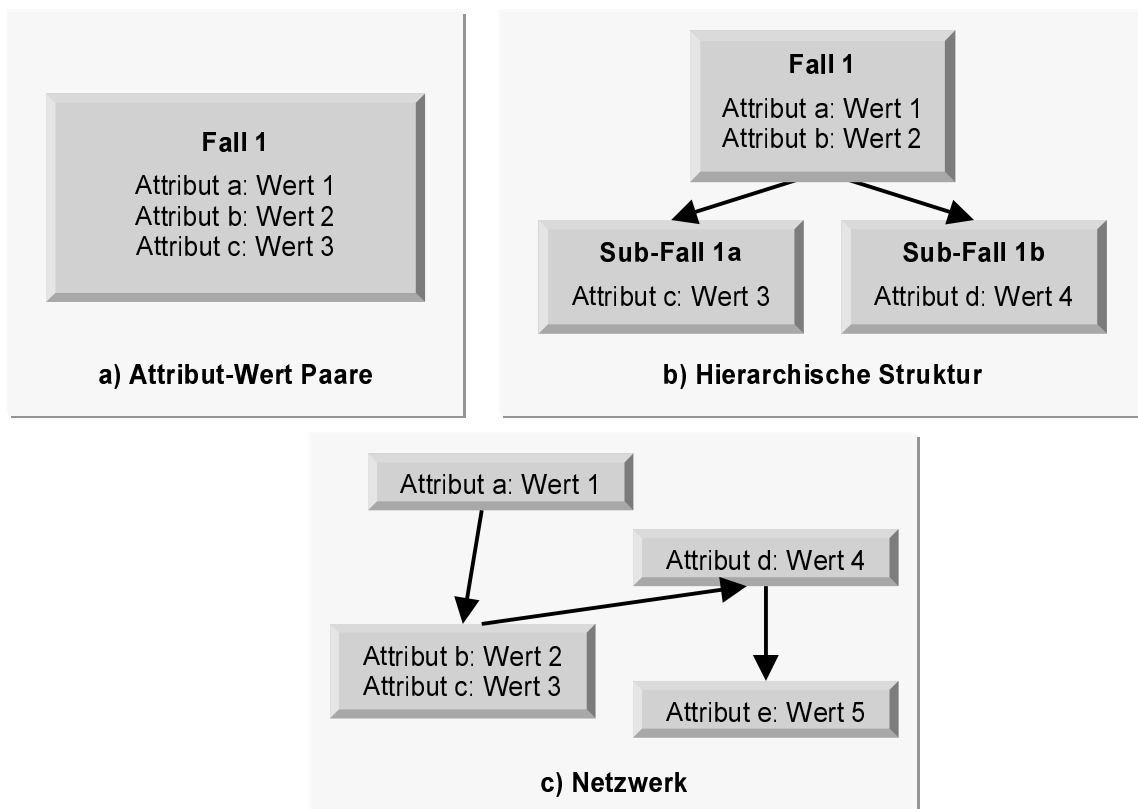


Bild 4.3.1-1: Organisationsformen eines Falles in der Fallbasis nach
/MaherBalachandranZhang-95/

Daher soll nun eine Fallbasis entworfen werden, in der alle Fälle des Assistenzsystems aus unterschiedlichen Entscheidungssituationen gespeichert

erden können. Für die Repräsentation eines Falles in der Fallbasis sind folgende Möglichkeiten bekannt (Bild 4.3.1-1):

- a) Attribut-Wert Paare
- b) Hierarchische Struktur
- c) Netzwerk

Diese Repräsentation wird gewöhnlich einheitlich für alle Fälle der Fallbasis gewählt /MaherBalachandranZhang-95/. Dies ist wegen der besseren Wartbarkeit auch für das Assistenzsystem sinnvoll.

Ein Fall besteht immer aus einem Problem und der zugehörigen Lösung. Deren Attribute werden entweder zusammen (a) oder mit verknüpften Knoten (b und c) in der Fallbasis repräsentiert.

Bei hierarchisch aufeinander aufbauenden Einzelentscheidungen, wie zum Beispiel denen für ein Werkzeug und die zugehörige Schnittgeschwindigkeit, ist das Ergebnis einer Entscheidung und damit die Lösung eines Falles identisch mit einer Voraussetzung für die nächste Entscheidung und damit dem Problem eines weiteren Falles. Werden alle Attribute jedes Falles getrennt in der Fallbasis abgelegt (a), entstehen Redundanzen (Bild 4.3.1-2).

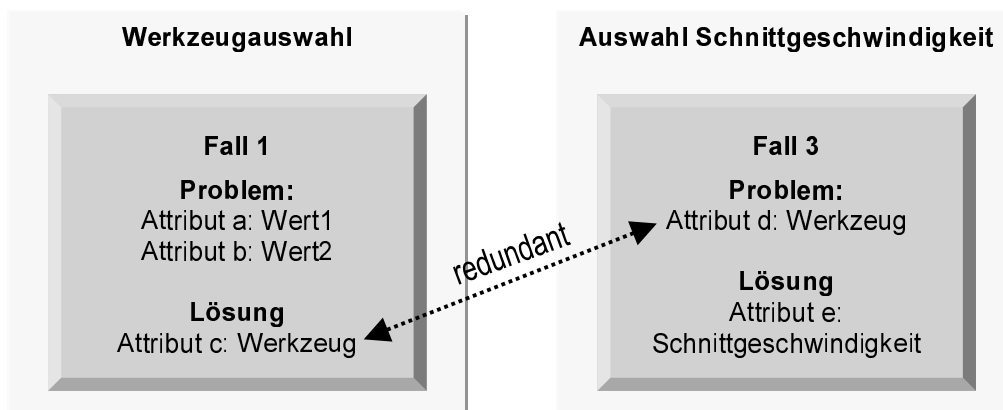


Bild 4.3.1-2: Beispiel für redundante Datenhaltung in getrennten Fällen

Dies lässt sich vermeiden, indem anstelle des identischen Attributes eine Verknüpfung gespeichert wird. Dies lässt sich nur bei einer hierarchischen Struktur oder einem Netzwerk als Organisationsform schon beim Entwurf der Fallbasis

berücksichtigen. Für die Fallbasis des Assistenzsystems kommt ein Netzwerk zum Einsatz, da es gegenüber der hierarchischen Struktur die größere Flexibilität aufweist.

Der Inhalt und die Struktur der dazugehörigen Knoten müssen nun den Anforderungen des Assistenzsystems angepaßt werden. Dazu ist es zunächst erforderlich, Erfahrungen möglichst weitgehend in der Fallbasis abbilden zu können.

Um diese möglichst vollständig abzubilden, sind Informationen notwendig, die in den digitalen Daten bestehender CAD/CAM-Systeme nicht vorhanden sind, wie zum Beispiel wie der Name des Bearbeiters, das Datum, Kommentare und Änderungsangaben. Aufgrund der Kontextabhängigkeit von Wissen sollten diese Informationen in der Fallbasis eindeutig einem speziellen Kontext zugeordnet sein /GerkenWeyrich-00a/.

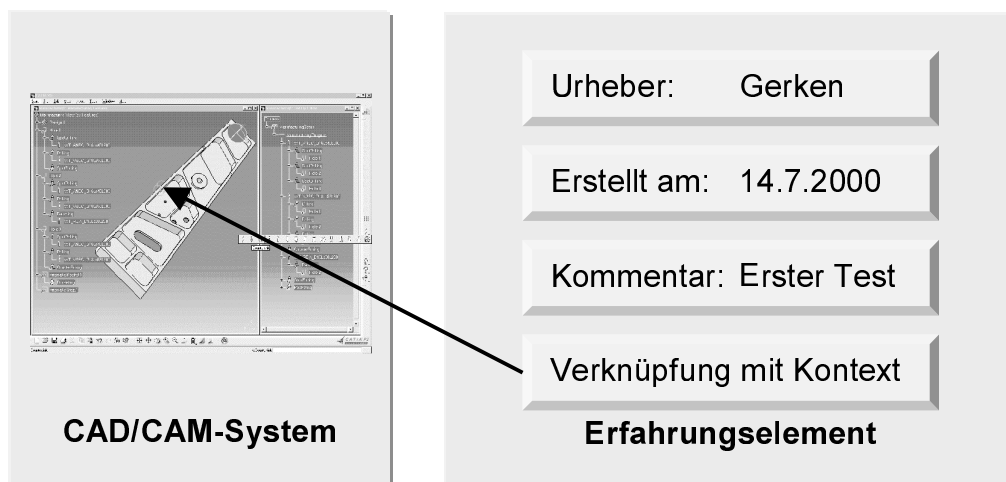


Bild 4.3.1-3: Beispiel für ein Erfahrungselement

Dies läßt sich mit sogenannten Erfahrungselementen erreichen /Gerken-00a/ /Gerken-Weyrich-00b/ (Bild 4.3.1-3). Ein Erfahrungselement

- ist stets eindeutig einem bestimmten Kontext zugeordnet.
- beinhaltet mindestens das Datum seiner Generierung und eine eindeutige Identifikation des Urhebers, wie zum Beispiel einen Verweis auf eine Adreßdatenbank.
- kann darüber hinaus eine beliebige Menge verschiedenartiger Informationen beinhalten, wie beispielsweise Felder zur kontextbezogenen Dokumentation von

Absichten, Gründen und Funktionen, Verweise auf Normen und Vorschriften oder Verknüpfungen mit multimedialen Dokumenten oder weiteren Erfahrungselementen.

- wird gewöhnlich nicht verändert, sondern statt dessen mit einem weiteren Erfahrungselement verknüpft, das so demselben Kontext zugeordnet ist.

Auch ein Fall kann durch eine Kombination aus Konstruktionsdaten und Erfahrungselementen vollständig beschrieben werden, indem das Problem und seine Lösung in miteinander verknüpften Erfahrungselementen gespeichert werden. Da in jedem Erfahrungselement Bearbeiter und Datum automatisch abgelegt werden, sind die ersten Voraussetzungen für eine umfassende Dokumentation bereits erfüllt.

Damit auch die Entstehung einer Lösung dokumentiert ist, werden Änderungen in weiteren Erfahrungselementen gespeichert, die wieder mit ihrem Kontext, also der ursprünglichen Lösung und über diese mit dem Problem verknüpft sind (Bild 4.3.1-4). Durch diese umfassende Dokumentation der Änderungen ist der Entwicklungsprozeß einer Lösung deutlich besser und einfacher nachvollziehbar als in herkömmlichen CAD/CAM-Systemen.

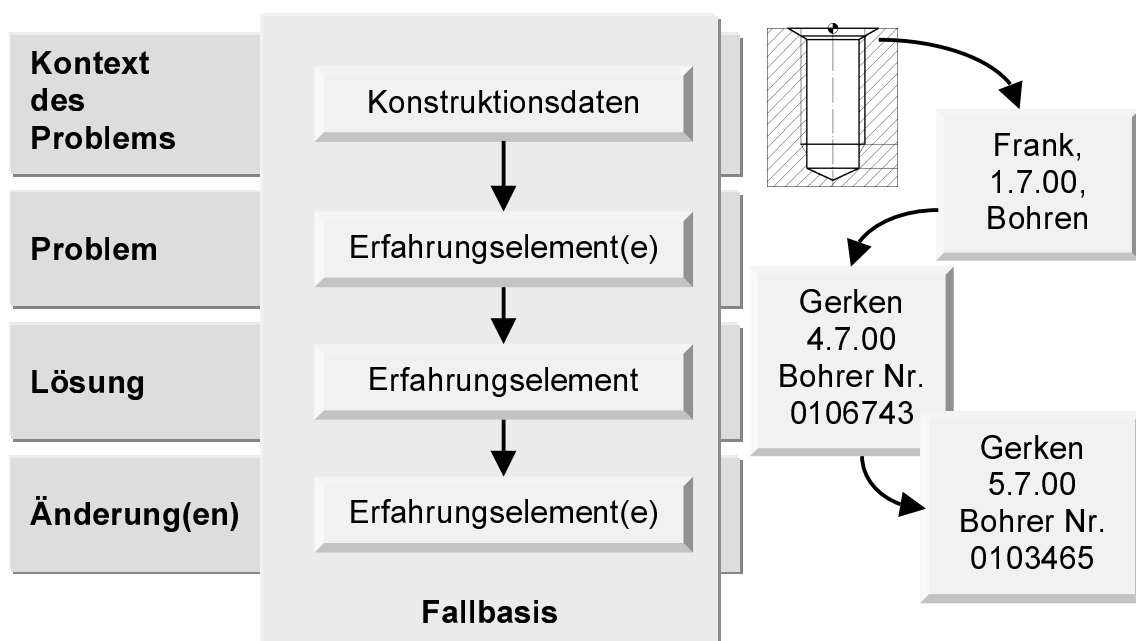


Bild 4.3.1-4: Aufbau der Fallbasis mit Erfahrungselementen und Konstruktionsdaten

Eine solche mit Erfahrungselementen aufgebaute Fallbasis unterteilt die gespeicherten Daten in relativ kleine Einheiten, die sich damit schnell ändern oder ergänzen lassen. Der herkömmliche Datensatz zur Speicherung eines Falls und seiner Lösung wird dabei durch eine Gruppe von miteinander verknüpften Konstruktionsdaten und Erfahrungselementen ersetzt. Da sich in Erfahrungselementen fast beliebige Informationen und weitere Verknüpfungen speichern lassen, ist diese Fallbasis auch sehr flexibel und leicht mit anderen Systemen zu ergänzen.

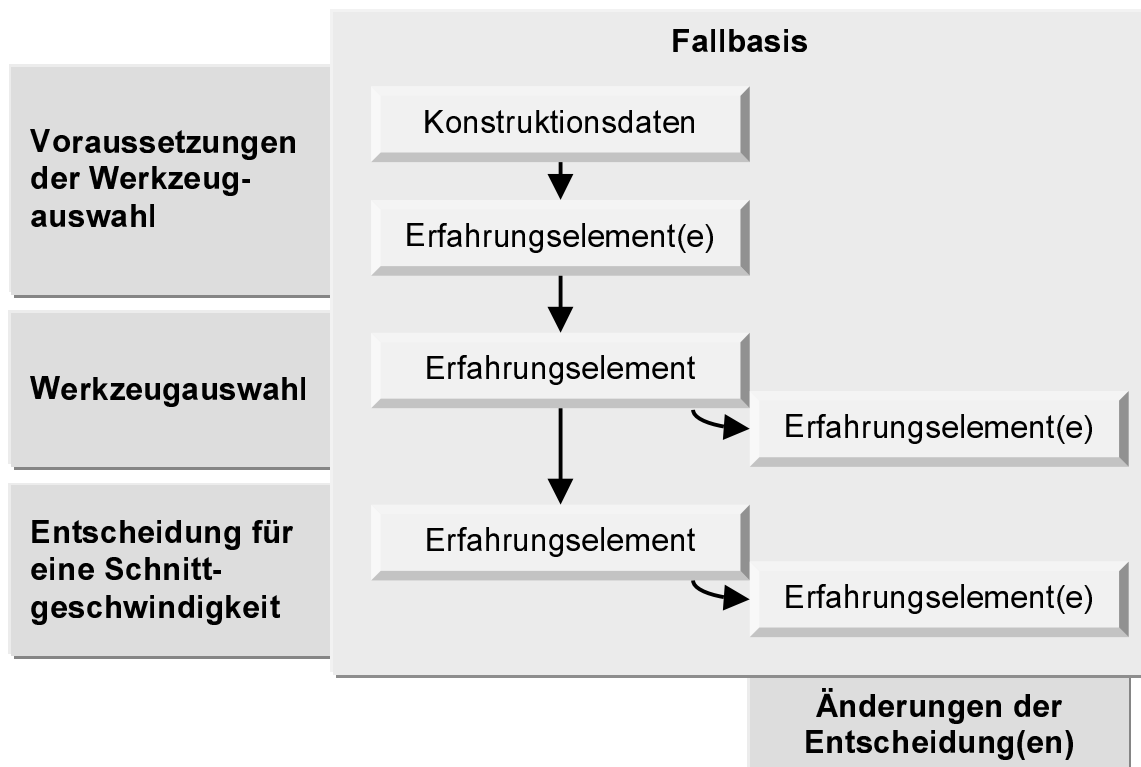


Bild 4.3.1-5: Beispiel für eine gemeinsame Fallbasis für mehrere Entscheidungssituationen

Sollen die Daten aus mehreren Entscheidungen in der Fallbasis gespeichert werden, werden lediglich die neuen Informationen in weiteren Erfahrungselementen und Konstruktionsdaten gespeichert. Da die Entscheidungen in der CAD/CAM-Prozesskette in der Regel aufeinander aufbauen, reicht es meist aus, neue Erfahrungselemente mit den Entscheidungen anzulegen und diese mit den in der Fallbasis bereits vorhandenen Voraussetzungen zu verknüpfen. Dazu müssen die Voraussetzungen und Entscheidungen eines Falles getrennt gespeichert werden, was sich aufgrund des modularen Aufbaus der Fallbasis mit Erfahrungselementen

einfach realisieren läßt. Ist die Voraussetzung einer Entscheidung gleichzeitig das Ergebnis einer anderen, werden diese miteinander verknüpft und der Zugriff erfolgt je nach Entscheidung auf die zugehörigen Voraussetzungs-Entscheidungs-Paare. In Bild 4.3.1-5 ist dies für die Auswahl von Werkzeug und Schnittgeschwindigkeit dargestellt.

Änderungen bei einer Entscheidung werden in weiteren Erfahrungselementen abgelegt, die mit ihrem jeweiligen Kontext verknüpft werden. Falls ein anderes Werkzeug gewählt wird, ist offensichtlich, daß auch eine andere Schnittgeschwindigkeit erforderlich sein kann. Diese wird dann mit dem neuen Werkzeug verknüpft. Um die Entstehungsgeschichte zu speichern, können in den ursprünglichen Erfahrungselementen Verweise auf die neueren ergänzt werden.

Im folgenden wird der Aufbau der Fallbasis weiter detailliert. Dazu wird die Repräsentation von Voraussetzungen und Entscheidungen in der Fallbasis näher betrachtet.

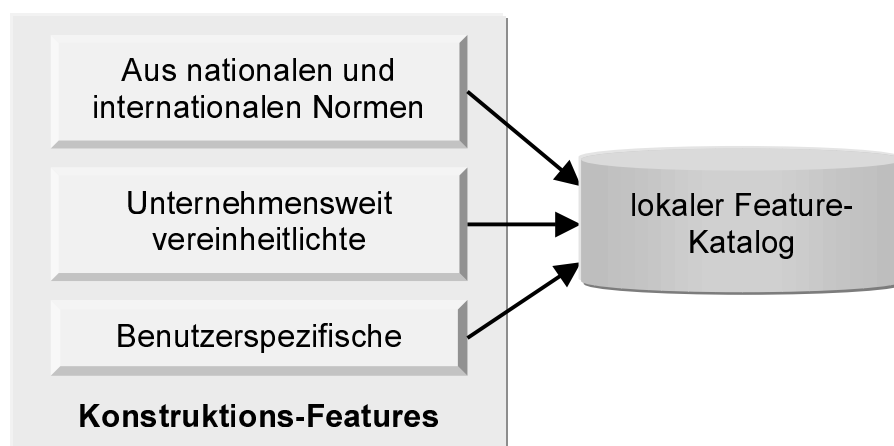


Bild 4.3.1-6: Verschiedene Arten von Konstruktions-Features

Voraussetzung und Kontext für die viele Entscheidungen in der Arbeitsplanung sind die Geometrielemente und Features aus der Konstruktion. Der lokal bei einem Konstrukteur vorhandene Feature-Katalog läßt sich in benutzerspezifische, unternehmensspezifische und normierte Konstruktions-Features unterteilen (Bild 4.3.1-6). Änderungen beschränken sich in der Regel auf den benutzerspezifischen Teil der Konstruktions-Features, der bei einem effektiven Feature-Management nur einen kleinen Teil der gesamten Konstruktions-Features umfaßt. Sollen die mit einem

solchen benutzerspezifischen Feature gewonnenen Erfahrungen unternehmensweit genutzt werden, so kann ein Prozeß gestartet werden, der dieses Feature unternehmensweit bekannt macht. Im Laufe dieses Prozesses können dann auch die in der Fallbasis vorhandenen Erfahrungen mit diesem Feature verbreitet werden. Daher ist eine Strukturierung mit Konstruktions-Features auch dann möglich, wenn nur ein minimaler Administrationsaufwand für die Fallbasis betrieben werden kann.

Eine noch bessere Dokumentation wird erzielt, wenn bereits während der Konstruktion Informationen wie Name und Adresse des Konstrukteurs, Datuminformationen, Absichten, Gründe und Funktionen in Erfahrungselementen gespeichert werden. Diese können mit jeweils einem Feature verknüpft werden, aber auch mit Featuremustern oder –gruppen (Bild 4.3.1-7).

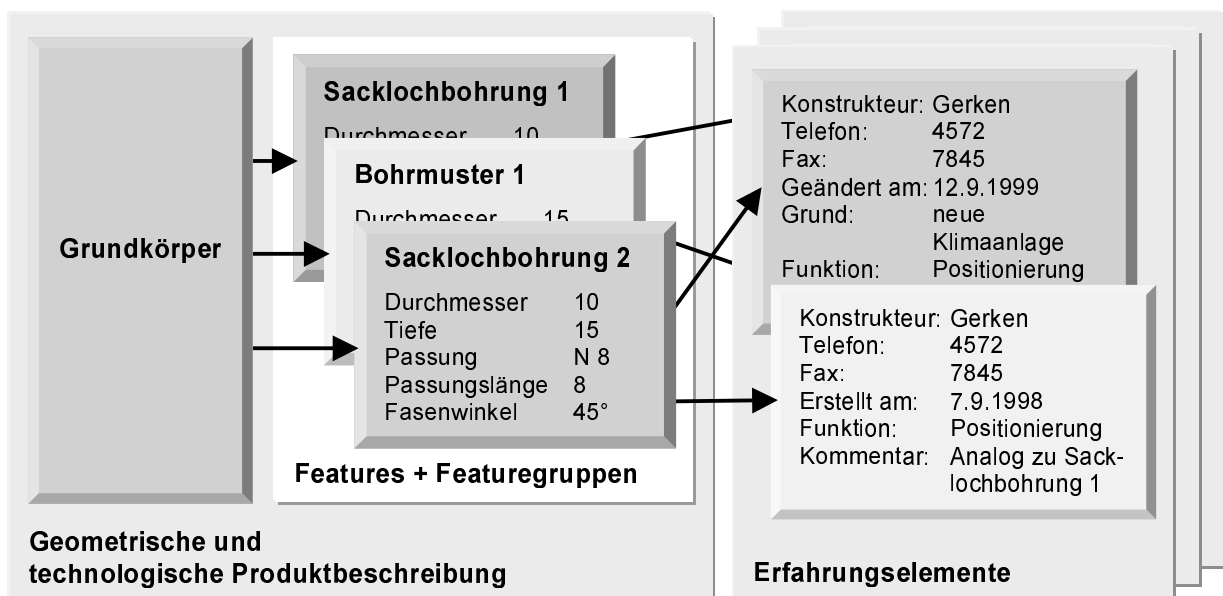


Bild 4.3.1-7: Verknüpfung von Erfahrungselementen mit ihrem Kontext

/GerkenWeyrich-00/

Bei herkömmlichen Geometrieelementen müssen meist mehrere zusammengefaßt werden, um den Kontext hinreichend gut zu repräsentieren. Erfahrungselemente können natürlich auch mit beliebigen Kombinationen aus Features und Geometrieelementen verknüpft werden.

Durch Erfahrungselemente läßt sich die Dokumentation in der Konstruktion deutlich verbessern. Der gezielte Zugriff auf diese Daten in der Arbeitsplanung ermöglicht eine zielgerichtete Absprache mit dem Konstrukteur. Selbst wenn diese nicht möglich ist, wird eine aufwendige Rekonstruktion seines Wissens verhindert.

Hat der Arbeitsplaner des Assistenzsystems eine Entscheidung getroffen, wird diese, wie bereits dargestellt, in einem neuen Erfahrungselement als Lösung des Falles in der Fallbasis abgelegt und mit allen Entscheidungsvoraussetzungen verknüpft. Diese können Features, Geometrieelemente, Gruppen und Muster daraus, sowie Erfahrungselemente umfassen (Bild 4.3.1-8).

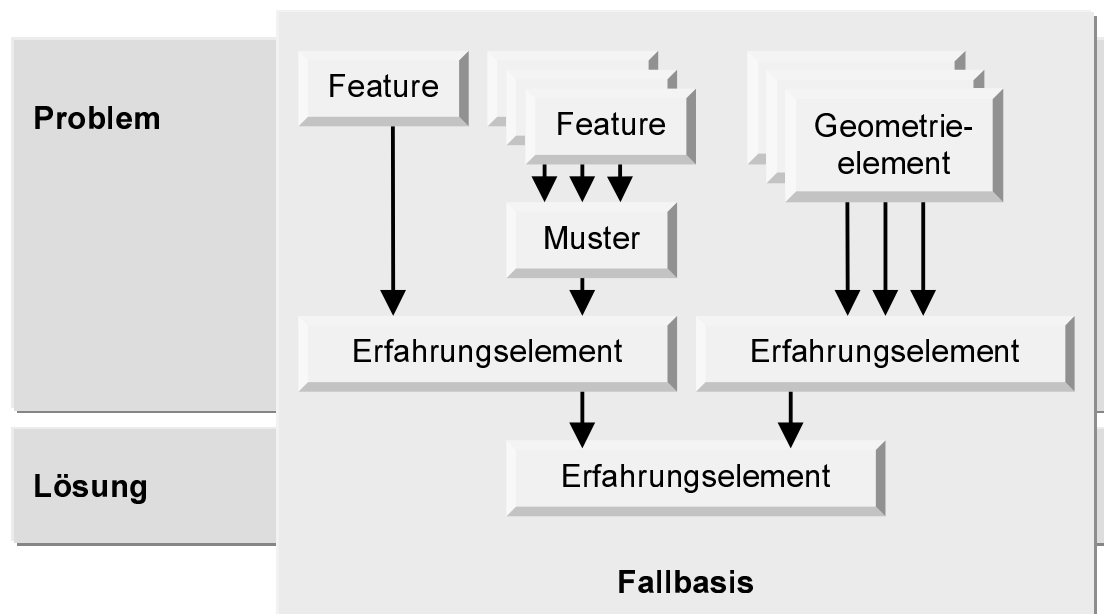


Bild 4.3.1-8: Beispiel für die Repräsentation eines Falles in der Fallbasis

Mit der Entscheidung können im selben Erfahrungselement noch Kommentare hinzugefügt werden. Werden allerdings später Kommentare gemacht, so ist es sinnvoller, diese in weiteren mit der Entscheidung verknüpften Erfahrungselementen zu speichern, die dann mindestens auch den jeweiligen Autor sowie das Datum enthalten.

Im Laufe der Arbeitsplanung können die Erfahrungselemente der Fallbasis mit allen Elementen des zugehörigen Bearbeitungsmodells verknüpft werden. Dazu gehören Fertigungs-Features, Meß-Features, Operationen, Werkzeuge, Reihenfolge-restriktionen und NC-Programme (Bild 4.3.1-9).

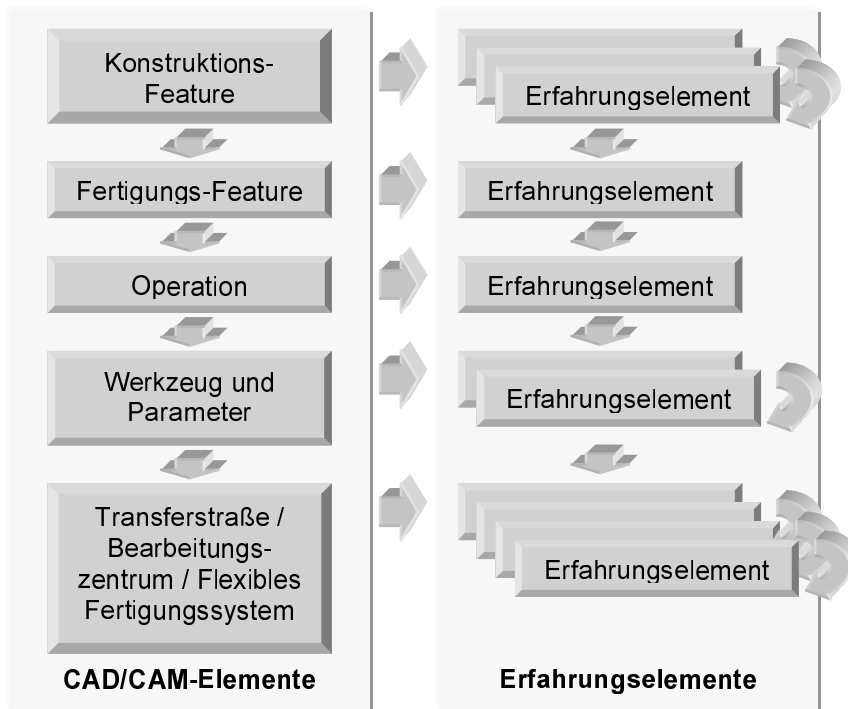


Bild 4.3.1-9: Verknüpfung von Erfahrungselementen in der CAD/CAM-Prozesskette

Der modulare Aufbau der Fallbasis ermöglicht auch Verknüpfungen zu Objekten, die außerhalb des CAD/CAM-Systems liegen, aber in Zusammenhang zu den getroffenen Entscheidungen stehen. Dies können beispielsweise Ressourcenplanungen, Kostenabschätzungen, Bestellungen, Kostenrechnungen, Simulationen und Informationen über die Gratbildung sein.

Da für jede durch das Assistenzsystem unterstützte Entscheidungssituation bekannt ist, welche Informationen Entscheidungsvoraussetzungen und welche Entscheidungsergebnisse sind, muß nur auf den entsprechenden Teil der Fallbasis zurückgegriffen werden. Falls vorher nicht bei einer Entscheidung berücksichtigte CAD/CAM-Elemente beispielsweise durch Technologieänderungen für diese relevant werden, ist es lediglich notwendig, die Menge der Entscheidungsvoraussetzungen zu erweitern. Ergänzungen an alten Fällen sind nicht notwendig.

4.3.2 Explizites problemspezifisches Wissen

Um geeignete Fälle zu bestimmen, diese an die aktuelle Problemstellung anzupassen und die Plausibilität von Lösungsvorschlägen zu prüfen wird problemspezifisches Wissen benötigt (Bild 4.3.2-1). Das Wissen über geeignete Fälle wird in Kapitel 4.4 behandelt.

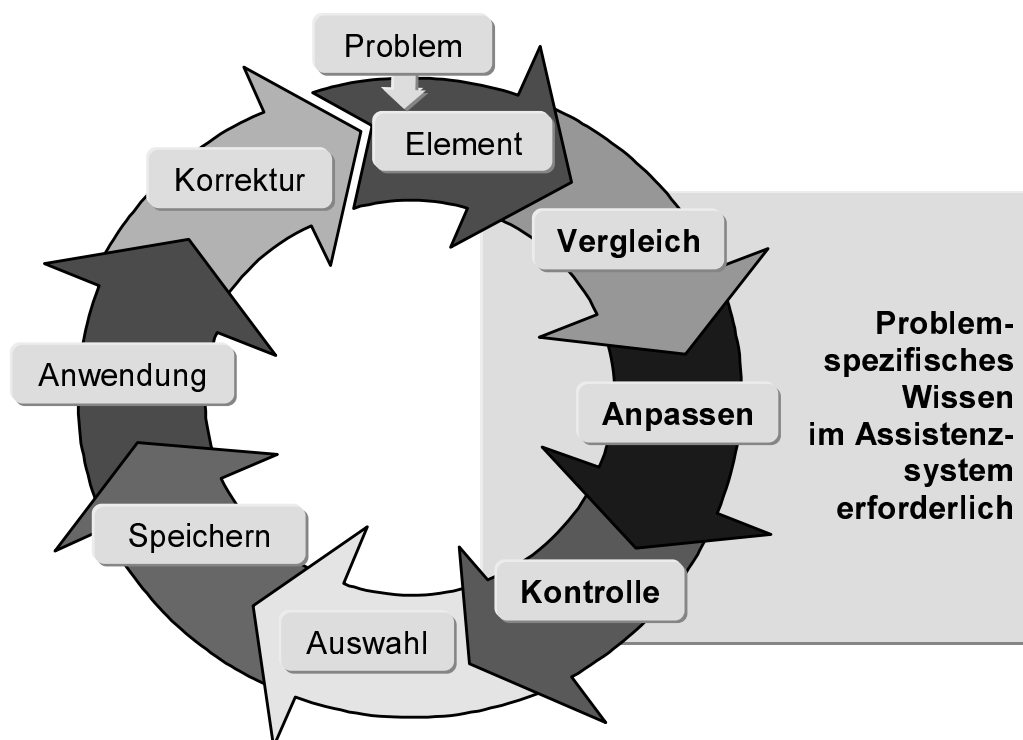


Bild 4.3.2-1: Problemspezifisches Wissen im Assistenzsystem

Die Basis dieses problemspezifischen Wissens sind mechanische, technische und physikalische Regeln, die sich im Laufe der Zeit nur selten ändern. Führt der Einsatz von neuartigen Werkzeugen beispielsweise zu längeren Standzeiten und höheren Schnittgeschwindigkeiten oder neue Maschinen ermöglichen höhere Geschwindigkeiten, so führt dies zwar zu neuen Wissenselementen in der Fallbasis, hat aber keinen Einfluß auf die Art und Weise, wie alte Erfahrungen an neue Problemstellungen angepaßt oder Lösungen auf ihre Plausibilität geprüft werden.

Eine aufwendige Plausibilitätsprüfung ist nicht erforderlich, da der Bediener über die zu verwendende Lösung entscheidet. Damit das Assistenzsystem möglichst wenige

nicht sinnvolle Lösungsvorschläge präsentiert, sollten diese allerdings vorher herausgefiltert werden.

Die Anpassung gespeicherter Erfahrungselemente an aktuelle Problemstellungen ist für das Assistenzsystem von größerer Bedeutung als die Plausibilitätsprüfung. Die bei bestehenden fallbasierten Systemen eingesetzten Strategien lassen sich nach /Weß-95/ in drei Kategorien einteilen, die für unterschiedliche Entscheidungssituation in der CAD/CAM-Prozesskette geeignet sind (Bild 4.3.2-2)

Adaptionsstrategien	Bekannte Systeme	Beispiele in der Arbeitsplanung
<p>Null-Adaption: Die in der Fallbasis gespeicherte Lösung wird komplett oder in Teilen übernommen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Florence /Bradburn-Zeleznikow-93/ • /Leschka-96/ • /AllenPatterson-MulvennaHughes-95/ 	<p>Werkzeug-identifikationsnummer bei der Werkzeugauswahl</p>
<p>Parametrierung: Die Struktur der gespeicherten Lösung wird übernommen, aber einzelne Attribute werden an die aktuelle Problemstellung angepaßt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wayland /PricePegler-95/ • /Göker-98/ 	<p>Anpassen der Bohrtiefe an die Tiefe des aktuellen Konstruktions-Features</p>
<p>Abstraktion und Spezialisierung: Bestimmte Lösungsteile werden durch Alternativen ersetzt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Neurop /MalekRialle-94/ • Paris /BergmannWilke-96/ • /YangFongKim-98/ • CAPlan /Munoz-98/ 	<p>Anpassung von umfangreichen Fertigungsreihenfolgen</p>

Bild 4.3.2-2: Strategien für die Adaption, bekannte Systeme und Beispiele für mögliche Einsatzgebiete im Assistenzsystem

Die hier weiter zu betrachtenden Entscheidungssituationen der CAD/CAM-Prozesskette erfordern entweder die Null-Adaption oder die Parametrierung. Da die

Null-Adaption keine Bearbeitungen der Lösung aus der Fallbasis umfaßt, wird im folgenden nur die Parametrierung detailliert betrachtet.

Die Grundlage der Parametrierung liegt in dem Wissen, welche Attribute eines Falles sich überhaupt verändern lassen /Göker-98/. Der Aufwand für die Parametrierung hängt dann von der Zahl der veränderbaren Attribute der zu generierenden Lösung ab.

Bei der Parametrierung ist es mit vielen der in Kapitel zwei vorgestellten Arten der Wissensrepräsentation möglich, die genannten Anforderungen zu erfüllen. In bestehenden fallbasierten Systemen wurden bereits verschiedenste Wissensrepräsentationen für dieses problemspezifische Wissen genutzt, wie zum Beispiel Regelmengen, Constraints und Logik /MaherBalachandranZhang-95/.

Da sich das für Anpassungen und Plausibilitätskontrolle notwendige Wissen in der Arbeitsplanung leicht mit Regeln darstellen läßt, wird für das Assistenzsystem eine Wissensrepräsentation mit Wenn-Dann-Relationen gewählt. Diese bieten bei der geringen Menge des jeweils abzubildenden problemspezifischen Wissens eine für den Benutzer leicht verständliche Repräsentation des Wissens.

Da die Plausibilität einer Lösung und die Möglichkeiten ihrer Anpassung rein problemspezifisch sind, läßt sich die Menge der notwendigen Wenn-Dann-Relationen in die vom Assistenzsystem unterstützten Entscheidungssituationen unterteilen. In jeder Entscheidungssituation entfallen dann auf jedes Attribut des Lösungsvorschlags Wenn-Dann-Relationen für die Plausibilitätskontrolle und für Anpassungen (Bild 4.3.2-2). Diese Unterteilung der Regelbasis reduziert deren Komplexität deutlich. Damit sinkt auch der Administrations- und Wartungsaufwand.

In vielen Fällen können die Wenn-Dann-Relationen einfach gehalten werden. Beispiele für die Plausibilitätsprüfung sind:

- Wenn Attribut „Durchmesser“ kleiner Null ist, dann liegt ein Fehler vor.
- Wenn Attribut „Bohrtiefe“ größer als „Tiefe des Konstruktions-Features“ ist, dann liegt ein Fehler vor.

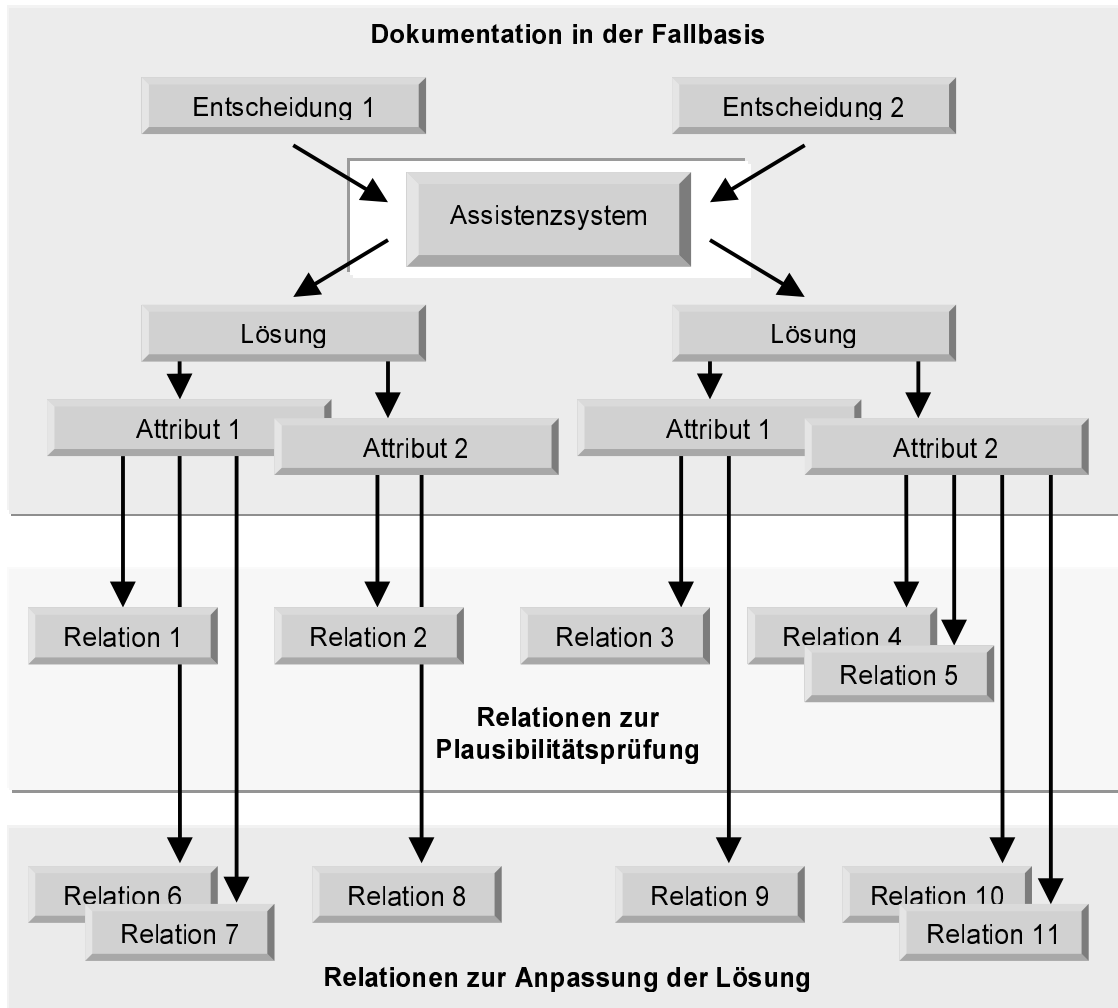


Bild 4.3.2-2: Gliederung der Wenn-Dann-Relationen

Beispiele für Wenn-Dann-Relationen für die Anpassung von Parametern sind:

- Wenn eine Abweichung beim Attribut „Bohrtiefe“ vorliegt, dann übernehme es für den neuen Lösungsvorschlag vom Attribut „Tiefe“ des Konstruktions-Features.
- Wenn eine Abweichung beim Attribut „Bohrtiefe“ vorliegt, dann ergibt es sich aus der Addition von Attribut „Tiefe“ des Konstruktions-Features und der Konstanten k .

4.4 Entwicklung eines Ähnlichkeitsmaßes

4.4.1 Anforderungen an ein Ähnlichkeitsmaß

Das fallbasierte Schließen beruht auf der Möglichkeit, Lösungen alter Probleme für die Lösung eines aktuellen Problems verwenden zu können /Schank-82/. Eine Anwendung setzt daher die Entwicklung von Kriterien voraus, mit deren Hilfe sich alte Lösungen auf ihre Eignung für die Lösung des aktuellen Problems beurteilen lassen. Dazu wird vorausgesetzt, daß sich ähnliche Probleme mit ähnlichen Lösungen bewältigen lassen. Die untersuchten Probleme der Arbeitsplanung müssen dazu dem starken Kausalitätsprinzip genügen, nach dem Wiederholungen zu identischen Resultaten führen und kleine Abweichungen nur geringe Änderungen verursachen /LoistlBetz-93/.

Ein direkter Vergleich des aktuellen mit einem alten Problem muß daher zu einer Aussage über deren Ähnlichkeit führen können. Diese Aussage wird beim fallbasierten Schließen Ähnlichkeitsmaß genannt und als Auswahlkriterium für mögliche Lösungen genutzt. Um die Ähnlichkeit verschiedener alter Probleme mit dem aktuellen einfach vergleichen zu können, wird die Ähnlichkeit in der Regel mit einer reellen Zahl ausgedrückt /Pfitzner-93/.

Da das Ähnlichkeitsmaß auch darüber entscheidet, welche Fälle der Fallbasis mit welchem Aufwand betrachtet werden, hat es bei umfangreichen Fallbasen auch einen erheblichen Einfluß auf die Antwortzeit des Systems.

Das Ähnlichkeitsmaß für das Assistenzsystem muß daher gewährleisten, daß die Fälle in der Fallbasis mit der größten Ähnlichkeit zur aktuellen Problemstellung innerhalb kurzer Zeit identifiziert werden.

4.4.2 Konzeption eines Ähnlichkeitsmaßes für das Assistenzsystem

Ein allgemein akzeptiertes Verfahren zur Ähnlichkeitsbestimmung existiert bis heute nicht /Weß-95/. Die verschiedenen Ansätze für die Definition des Ähnlichkeitsmaßes werden im folgenden in Anlehnung an /Pfitzner-93/ dargestellt.

Abstandsbasierter Ansatz

Jeder Fall wird bei abstandsbasierten Ansätzen als Punkt im n-dimensionalen Raum verstanden. Dieser Raum wird gebildet, indem man jedes Attribut als Dimension betrachtet. Ähnlichkeit wird dann als Abstand im Raum verstanden, wobei sich zwei Fälle ähnlicher sind, wenn ihr Abstand im Raum gering ist, also je weniger Abweichungen bei den Werten ihrer Attribute vorkommen (sogenanntes Nearest neighbor indexing). Will man nicht nur Identität oder Abweichung eines Attributwertes beurteilen, sondern auch den Grad der Abweichung, sind möglicherweise weitere Festlegungen erforderlich. Dies trifft vor allem auf Attribute zu, die nicht auf einer Kardinalskala definiert sind. Außerdem ist es möglich, daß zwei unterschiedliche Werte desselben Attributs im betrachteten Kontext dieselbe Bedeutung haben. Solange solche Zusammenhänge nicht bekannt sind, wird bei abstandsbasierten Ansätzen davon ausgegangen, daß Abweichungen im Wert eines Attributs stets zu einer geringeren Ähnlichkeit führen als identische Werte. Die reine Nutzung des abstandsbasierten Ansatzes ist vor allem in Gebieten verbreitet, in denen physikalische Größen verarbeitet werden /Rudolph-97/ oder direkt aus solchen erzeugte /Schoenenberg-00/.

Erklärungsbasierter Ansatz

Erklärungsbasierte Ansätze nutzen problemspezifisches Wissen um die Relevanz jedes Attributes eines Falles für die Art der Lösung zu prüfen. Für die Problemlösung nicht entscheidende Attribute werden dann nicht weiter betrachtet. Außerdem kann die Äquivalenz verschiedener Attribute oder deren Werte für die Lösung untersucht werden. Mit den dabei erzielten Ergebnissen ist dann eine genaue Aussage über die zur Problemlösung geeigneten Fälle möglich. Die Voraussetzung für erklärungsbasierte Ansätze ist, daß mindestens qualitative Aussagen über die relevanten Zusammenhänge des Problems möglich sind.

Case-memory-Ansatz

Ähnlichkeit wird bei diesem Ansatz als Nähe von Fällen in der Fallbasis definiert. Dies bedingt eine aufwendige Strukturierung der Fallbasis, da Ähnlichkeit explizit in der Fallbasis ablesbar sein muß. Da ein großer Teil des Aufwands für die Ähnlichkeitsbestimmung bereits bei der Abspeicherung eines Falls erledigt wird, muß bei der Suche nach ähnlichen Fällen lediglich auf einen bestimmten Bereich der Fallbasis zugegriffen werden. Dieser Ansatz bedingt eine Definition der Ähnlichkeit für das Ablegen von Fällen in der Fallbasis. Dabei kann grundsätzlich auf beide bereits beschriebenen Ansätze zurückgegriffen werden.

Änderungen am problemspezifischen Wissen führen beim Case-memory-Ansatz zu Änderungen in der Struktur der Fallbasis. Da sich das Ähnlichkeitsmaß wesentlich einfacher ändern läßt, wenn es nicht explizit in der Fallbasis sondern getrennt davon abgelegt ist, soll dieser Ansatz für das Assistenzsystem nicht genutzt werden.

Weil für die Entscheidungen der Arbeitsplanung entweder kein vollständiges Domänenmodell vorhanden oder dieses häufigen Änderungen unterworfen ist, bedeutet ein ausschließlich erklärungsbasierter Ansatz entweder einen hohen Wartungsaufwand oder ist nicht möglich.

Ein rein abstandsbasierter Ansatz würde den bekannten Charakteristiken einiger Parameter nicht Rechnung tragen können, bei denen kleine Änderungen auch nichtlineare Auswirkungen auf die weitere Planung haben können. Dies gilt zum Beispiel für die Höhe der Fase einer Bohrung: Es ergeben sich erhebliche Unterschiede, wenn der Parameter gleich Null oder größer Null ist, sowie abhängig davon, ob es aufgrund des resultierenden Fasendurchmessers möglich ist, die Fase mit einem Kombinationswerkzeug zu bearbeiten, das zusätzlich eine weitere Bearbeitung durchführen kann.

Wie in vielen Anwendungsfällen (zum Beispiel /BergmannBreen-99/, /MaherBalachandranZhang-95/) soll daher auch für das Assistenzsystem nicht ausschließlich ein Ansatz genutzt werden, sondern eine Mischung aus erklärungs- und abstandsbasierendem Ansatz. Letzterer findet dabei in Bereichen Anwendung, in denen eine vollständige Modellierung nicht möglich oder sinnvoll ist.

Da das Ähnlichkeitsmaß in hohem Maße problemspezifisch ist, muß für jede durch das Assistenzsystem unterstützte Entscheidungssituation ein eigenes Ähnlichkeitsmaß bereitgestellt werden. Trotzdem lassen sich gemeinsame Aspekte identifizieren, die im folgenden erörtert werden sollen.

Bei der konkreten Aufgabenstellung kann jeder Fall unterschiedliche Arten von Attributen besitzen, nämlich Zahlen, Zeitangaben und Text. Beispiele dafür sind Abmessungen, die aktuelle Zeit und Kommentare. Da die Textattribute beliebigen Text enthalten können, ist nach dem derzeitigen Stand der Technik eine automatische Auswertung nicht möglich, die Informationen bereitstellen kann, die über die der anderen Attribute hinausgehen. Das Ähnlichkeitsmaß wird dann mit einer Zahl ausgedrückt, die sich aus den Differenzen der übrigen Attribute im aktuellen Problem und jeweils einem Fall der Fallbasis berechnet (Bild 4.4.2-1).

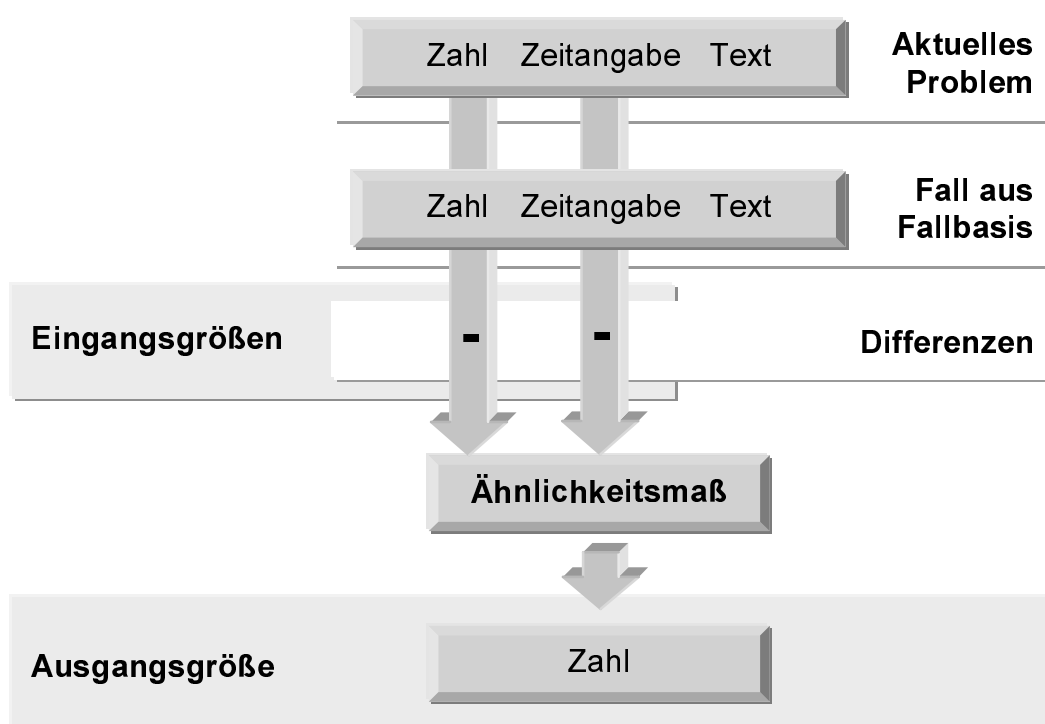


Bild 4.4.2-1: Ein- und Ausgangsgrößen des Ähnlichkeitsmaßes

Die Ausgangsdaten für das Ähnlichkeitsmaß des Assistenzsystems sind:

- Attribute aus dem CAD-Modell, wie zum Beispiel der Feature-Typ, Abmessungen und Toleranzen des Features sowie Eigenschaften von anderen Elementen des CAD-Modells, wie Freiformflächen, Körpern und Verknüpfungen mit anderen

CAD-Modellen, zum Beispiel für den Zusammenbau oder die Produktion und Informationen aus diesen Modellen.

- Informationen über das CAD-Modell, wie zum Beispiel die Produktbezeichnung, das Erstellungsdatum, Informationen über Änderungen, Konstrukteure, Absichten, Gründe und Funktionen. Diese Informationen sind zur Zeit meist nicht digital dokumentiert, können aber in Erfahrungselementen abgelegt werden.
- Elemente aus der Arbeitsplanung für das aktuelle CAD-Modell, wie beispielsweise Operationen, Werkzeuge, Schnittwerte, Aufspannungen oder Maschinen.
- Informationen über dabei getroffene Entscheidungen, die das Assistenzsystem in Erfahrungselementen abgelegt hat, im Besonderen das Datum, das es ermöglicht, lange Zeit nicht mehr verwendete Lösungen zu identifizieren.
- Informationen über das aktuelle Problem, wie zum Beispiel die voraussichtliche Stückzahl. Diese läßt Rückschlüsse auf die Kriterien zu, nach denen der Bearbeiter den Fall optimiert hat oder optimieren will. So ist eine geringe Zahl der Operationen eine Voraussetzung für eine kostengünstige Fertigung bei größeren Stückzahlen, während es bei kleinen Stückzahlen wichtiger ist, möglichst nur vorhandene Werkzeuge zu nutzen.
- Weitere Daten lassen sich durch statistische Auswertungen der Lösungen in der Fallbasis generieren, wie zum Beispiel die Häufigkeit, mit der eine Lösung eingesetzt wurde, wann sie zuletzt verwendet wurde oder welche Kosten entstanden sind. Gibt es zu Fällen der Fallbasis ein Feedback der Fertigung in Form von Noten, lassen sich diese im Gegensatz zu Kommentaren in Textfeldern einfach als Eingangsgrößen des Ähnlichkeitsmaßes nutzen. Situative Datenbankabfragen bieten die Voraussetzung für eine individuelle Unterstützung des Benutzers durch das Assistenzsystem. So kann der Fallbasis entnommen werden, wie häufig der aktuelle Benutzer eine bestimmte Lösung gewählt hat.
- Aus den genannten Größen lassen sich durch Berechnungen auch weitere Daten gewinnen. So läßt sich aus den 3D-Geometriedaten mit Hilfe einer Abstandsberechnung erkennen, ob Überschneidungen zwischen Features vorhanden sind oder Features direkt aneinander grenzen.

Diese große Zahl unterschiedlicher Eingangsdaten führt dazu, daß herkömmliche Ähnlichkeitsmaße unübersichtlich werden und damit aufwendig in Erstellung und

Wartung. Um dies zu vermeiden und die Leistungsfähigkeit des Assistenzsystems zu steigern, sind einerseits die Eingangsdaten sinnvoll aufzubereiten und andererseits die Anforderungen der zu unterstützenden Entscheidungssituation zu strukturieren und in die Generierung des Ähnlichkeitsmaßes einzubeziehen.

Die gewöhnliche Methode, eine einfache Vergleichbarkeit des Einflusses der einzelnen Eingangsgrößen auf das Ergebnis sicherzustellen, ist das Normieren. Eingangsgrößen mit unbegrenztem Wertebereich, wie zum Beispiel Datumsfelder, müssen vor der Normierung noch mit individuellen Funktionen aufbereitet werden, die den ursprünglichen Wertebereich begrenzen, ohne daß relevante Informationen verlorengehen.

Weitere Funktionen können im nächsten Schritt dazu dienen, die individuelle Charakteristik der jeweiligen Eingangsgröße zu berücksichtigen. Beispielsweise haben geringe Abweichungen der Eingangsgröße „Bohrtiefe“ keine Auswirkungen auf die Wahl eines optimalen Werkzeugs. Dies läßt sich mit einer entsprechenden Funktion berücksichtigen.

Schließlich muß noch jede aufbereitete Eingangsgröße individuell gewichtet werden. Sind alle potentiell relevanten Eingangsgrößen identifiziert, so können diese mit einer Voreinstellung versehen und später individuell an einzelne Unternehmensbereiche und spezielle Anforderungen angepaßt werden.

Das Abstimmen der Gewichtungsfaktoren wird dabei durch die Fehlertoleranz des Systems erleichtert. Es ist nämlich nicht immer notwendig, daß das Assistenzsystem die optimale Lösung als besten Lösungsvorschlag anbietet. Der Bediener erkennt in der Regel die optimale Lösung, wenn sie ihm präsentiert wird. Sie muß daher zu den am besten bewerteten Lösungen gehören. Dazu reicht es aus, daß das Assistenzsystem gut konfiguriert ist, eine optimale Konfiguration ist nicht zwingend erforderlich.

Die abschließende Addition aller Bewertungsfaktoren ergibt dann das Ähnlichkeitsmaß. Die notwendigen Schritte sind in Bild 4.4.2-2 zusammengefaßt.

Das problemspezifische Wissen wird bei den benutzerdefinierten Funktionen und der Gewichtung genutzt.

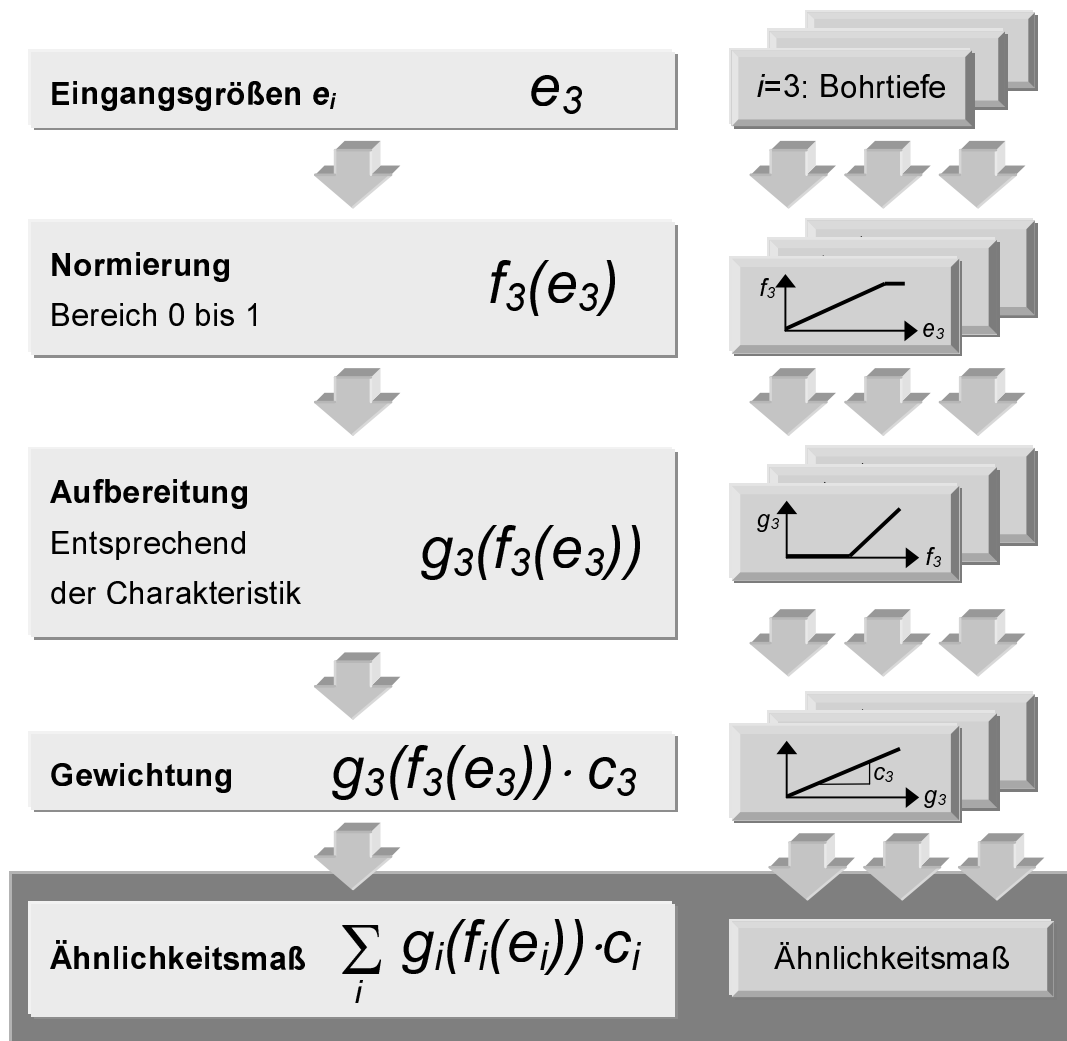


Bild 4.4.2-2: Beispiel für die Generierung des Ähnlichkeitsmaßes

In einigen Entscheidungssituationen ist es möglich, daß mehrere Kriterien eine gute Lösung kennzeichnen, die in Konkurrenz zueinander stehen, wie zum Beispiel die Nutzung vorhandener Standardwerkzeuge und eine kurze Bearbeitungszeit. Wird ein statisches Ähnlichkeitsmaß verwendet, kann es vorkommen, daß die vorgeschlagenen Lösungen lediglich eines dieser Kriterien optimal lösen und dadurch einen hohen Wert des Ähnlichkeitsmaßes erzielt haben. Lösungsalternativen, die konkurrierende Kriterien besser erfüllen, werden dem Bearbeiter dann nicht präsentiert, wodurch die Sicht auf die möglichen Lösungen eingeschränkt wird.

Sollte die Entscheidungssituation solche Probleme aufwerfen, ist es sinnvoll, ein dynamisches Ähnlichkeitsmaß zu verwenden. Dazu wird der beste Fall wie in Bild 4.4.2-2 ermittelt. Bei der Ermittlung des zweitbesten Falls werden dann Fälle besser bewertet, die bestimmte Kriterien besser erfüllen als der beste Fall. Für die Ermittlung weiterer geeigneter Fälle wird dann jeweils der letzte gefundene Fall für den Vergleich genutzt. Bei zwei konkurrierenden Kriterien werden auf diese Weise abwechselnd Fälle vorgeschlagen, die diese jeweils besser erfüllen (Bild 4.4.2-3).

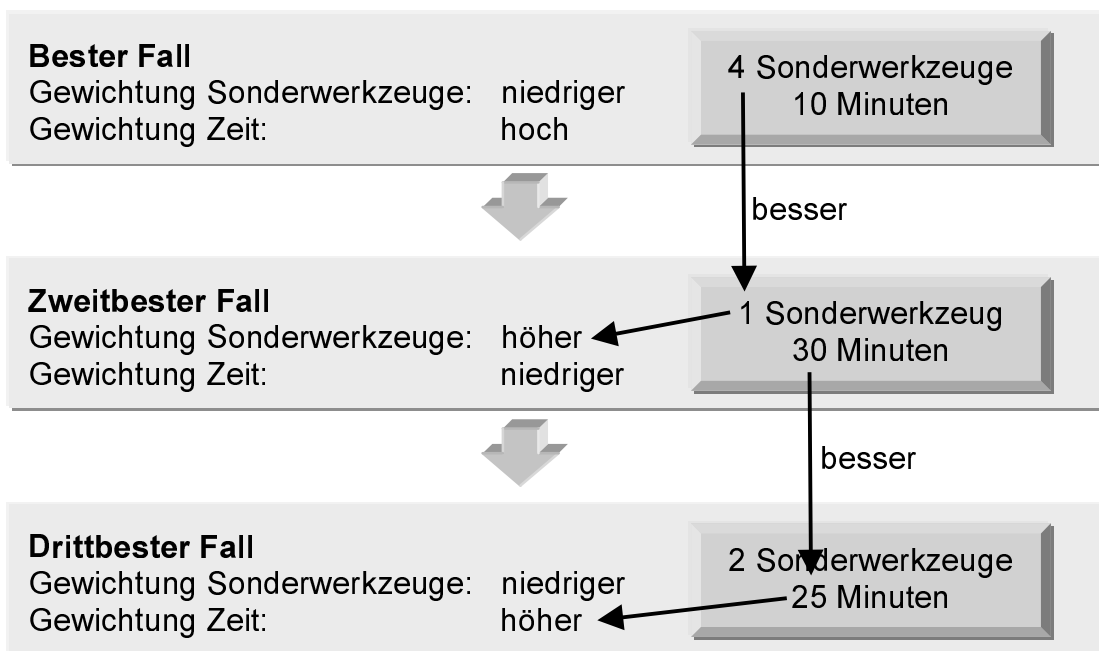


Bild 4.4.2-3: Dynamische Gewichtung im Ähnlichkeitsmaß

4.4.3 Optimierung der Zeit zur Bestimmung des ähnlichsten Falls

Bei allen dargestellten Vorgehensweisen ist es allerdings bei jedem Aufruf des Assistenzsystems notwendig, alle gespeicherten Fälle zu betrachten, die das selbe Problem behandeln. Dies kann bei großen Falldatenbasen zu schlechten Antwortzeiten des Systems führen. Damit diese auch bei größeren Falldatenbasen innerhalb akzeptabler Grenzen bleibt, können nicht alle gespeicherten Fälle betrachtet werden.

Dies ist ohne Auswirkungen auf das Ergebnis möglich, wenn Fälle nicht bewertet werden, die sonst schlechte Werte des Ähnlichkeitsmaßes erhalten oder zu nicht

plausiblen Lösungen geführt hätten. Damit gibt es zwei Möglichkeiten zur Reduzierung des Suchraums:

- Die Nutzung des Wissens der Plausibilitätskontrolle.
- Die Betrachtung stark gewichteter Eingangsgrößen des Ähnlichkeitsmaßes.

Sind langfristig gültige Kriterien identifiziert, können diese beim Datenbankdesign berücksichtigt werden. Damit wird der Suchraum auf potentiell geeignete Fälle beschränkt und die Antwortzeit des Systems verbessert. Dies kann durch eine entsprechende Strukturierung oder Indexierung der Fallbasis erreicht werden, wobei letztere wesentlich einfacher zu ändern ist.

Das wichtigste Kriterium ist die Unterteilung der Fallbasis nach dem zugrundeliegenden Informationsmodell. Im Assistenzsystem wird die beschriebene Strukturierung der Fallbasis genutzt. Dabei können beispielsweise Konstruktions-Features und Operationen zur Gruppierung von Fällen dienen.

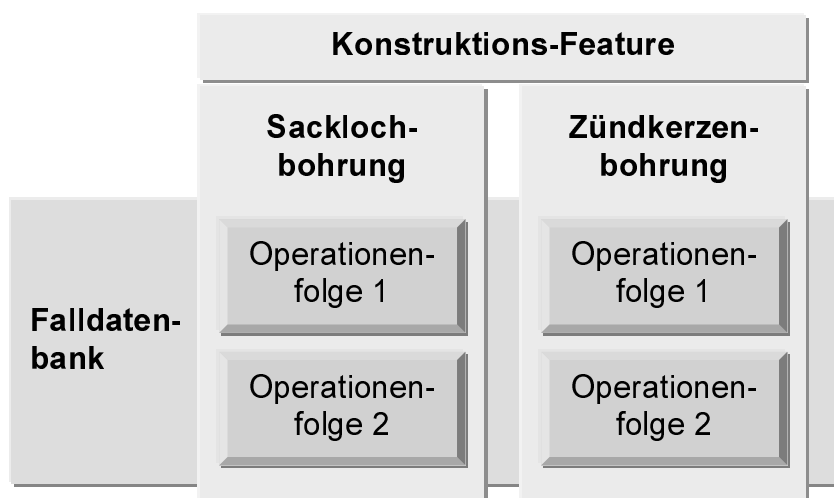


Bild 4.4.3-1: Einteilung von Fällen nach zugeordneten Feature-Typen

Abhängig davon, in welchem Stadium der CAD/CAM-Prozesskette die Entscheidung in der Regel erstmals getroffen wird, kann ein sinnvolles Objekt aus dem Informationsmodell zur Unterteilung der Fälle herangezogen werden. So reicht es zum Beispiel für die Auswahl der Operationen und deren Reihenfolge aus, Fälle zu betrachten, die dem selben Typ eines Konstruktions-Features zugeordnet sind (Bild

4.4.3-1). Bei der Auswahl von Werkzeugen lassen sich analog die zugeordneten Operationen als Unterteilung nutzen.

Die weiteren möglichen Kriterien lassen sich vor allem in zwei Gruppen einteilen:

- 1) Die Regeln der Plausibilitätskontrolle zeigen die Grenzen der Adaptierbarkeit der Lösungen der Fälle auf. Die Attribute, die schlecht oder gar nicht adaptierbar sind, können daher zur Strukturierung der Datenbank verwendet werden. Ein Parameter eines Bohr-Features kann zum Beispiel die Größe der Fase beschreiben. Ist dieser Parameter gleich Null, besitzt das Feature also keine Fase, werden andere Operationen zur Fertigung verwendet, als bei Parameterwerten größer Null. Werden die Fälle mit und ohne Fase getrennt in der Fallbasis abgelegt, muß abhängig vom Parameter "Fase" nur die jeweils passende Hälfte der Fälle durchsucht werden. Diese Vorgehensweise ist auf andere Parameter übertragbar und kann zur Bildung von Teilmengen in der Fallbasis genutzt werden, die nur betrachtet werden, wenn zahlreiche Parameter des aktuellen Problems bestimmte Werte oder Wertebereiche haben (Bild 4.4.3-2).

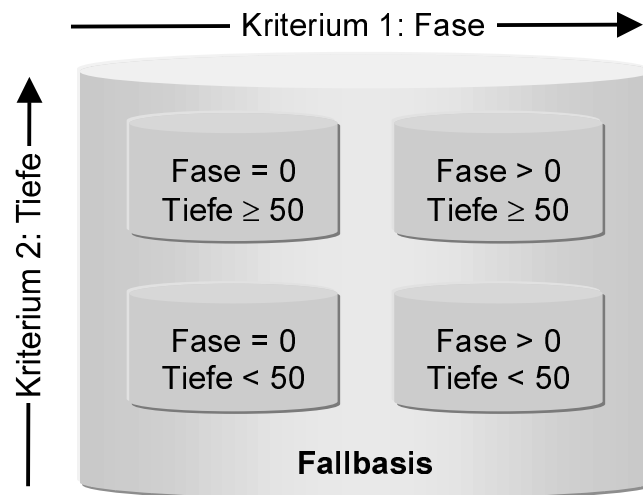


Bild 4.4.3-2: Beispiel für eine Unterteilung der Fallbasis nach zwei Kriterien

- 2) Von den Eingangsgrößen des Ähnlichkeitsmaßes sollten nur solche zur Einschränkung des Suchraums genutzt werden, die sich über einen langen Zeitraum nicht deutlich verändern, da sonst kontinuierliche Anpassungen an der Strukturierung oder Indexierung der Fallbasis notwendig werden. Trotzdem lassen sich meist einige Kriterien identifizieren, die lange gültig sind. Die Fälle der

Fallbasis müssen beispielsweise nicht betrachtet werden, wenn ihre Lösung zuletzt vor langer Zeit verwendet oder bei der Anwendung als sehr schlecht eingestuft wurde. Letzteres setzt voraus, daß ein Feedback erfolgte, wie zum Beispiel mit Noten.

Mit Hilfe dieser Strukturierung oder Indexierung der Fallbasis kann die Menge der zu prüfenden Fälle deutlich reduziert werden. Die Indexierung sollte dabei für Kriterien genutzt werden, die häufigen Änderungen unterworfen sind, da der mit Änderungen verbundene administrative Aufwand geringer ist.

4.5 Behandlung von Korrekturen

Die Qualität der Lösungsvorschläge des Assistenzsystems hängt unmittelbar von derjenigen der Lösungen der einzelnen Fallbeispiele ab. Deshalb ist es wichtig, Korrekturen und Verbesserungen, die der Benutzer vornimmt, auch in den Lösungen der Fallbasis abzubilden.

Korrekturen an einem Arbeitsplan können aus unterschiedlichen Gründen erforderlich sein, zum Beispiel aufgrund von technischen Problemen in der Fertigung, einer Stückzahländerung, der Fertigung in einem anderen Bereich des Unternehmens oder der Nutzung neuer Fertigungstechnologien.

Will der Arbeitsplaner eine Änderung an einem Arbeitsplan vornehmen, würde dies mit der bisher beschriebenen Vorgehensweise im Assistenzsystem zu folgendem Ablauf führen:

- 1) Der Arbeitsplaner startet das CAD/CAM-System und löscht die zu ändernden Elemente.
- 2) Er öffnet den Dialog für eine neue Auswahl der Elemente.
- 3) Das Assistenzsystem präsentiert ihm verschiedene Lösungsvorschläge. Aufgrund der Identität der Probleme wird die zu korrigierende Lösung am besten bewertet.
- 4) Er entscheidet sich für eine alternative Lösungsmöglichkeit.
- 5) Das Assistenzsystem speichert diese Lösung zusammen mit dem Problem als neuen Fall ab.

Soll verhindert werden, daß eine als falsch erkannte Lösung stets wieder vom Assistenzsystem präsentiert wird, so müßte der Benutzer manuell diese Lösung suchen und sie schlecht bewerten, sowie möglichst den Hinweis auf die geänderte Lösung ergänzen /MinorHanft-00/.

Um diese administrativen Tätigkeiten weitgehend zu automatisieren und den Benutzer gezielt nach Gründen für die Änderung zu fragen, ist ein spezieller Algorithmus zur Erkennung von Änderungen zu entwickeln.

Grundsätzlich lassen sich Situationen durch das Assistenzsystem automatisch identifizieren, in denen der Benutzer eine neue Lösung für bereits getroffene Entscheidungen sucht. Indikator für solche Situationen ist die Übereinstimmung zwischen dem aktuellem Problem und einem Fall der Fallbasis in allen Daten aus dem CAD-Modell und der Arbeitsplanung.

Wenn Indikatoren für eine solche Änderung vorliegen, kann der Benutzer aufgefordert werden, seine Motivation dem System mitzuteilen. Ein zusätzlicher Kommentar kann die Situation dann noch weiter präzisieren (Bild 4.5-1).

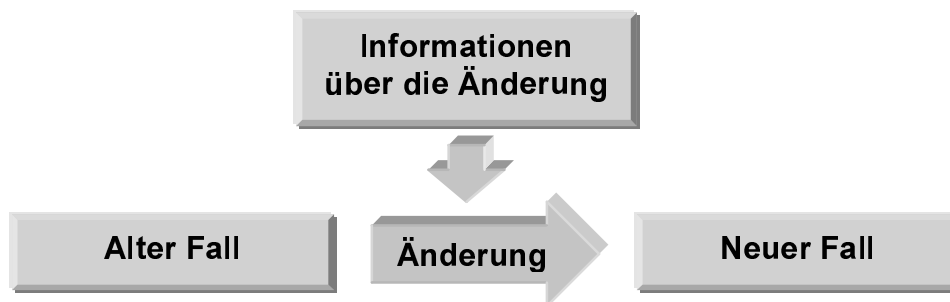


Bild 4.5-1: Änderung eines Falles im Assistenzsystem

Gründe und Kommentare, warum eine Änderung durchgeführt wurde, sind eine wertvolle Information in Verbindung mit dem ursprünglichen Fall. Der Zugriff auf spätere Änderungen der Fälle erlaubt außerdem wichtige Rückschlüsse auf technische Probleme und Erfahrungen, die in der Fertigung gemacht wurden, sowie auf Optimierungen und neue Technologien.

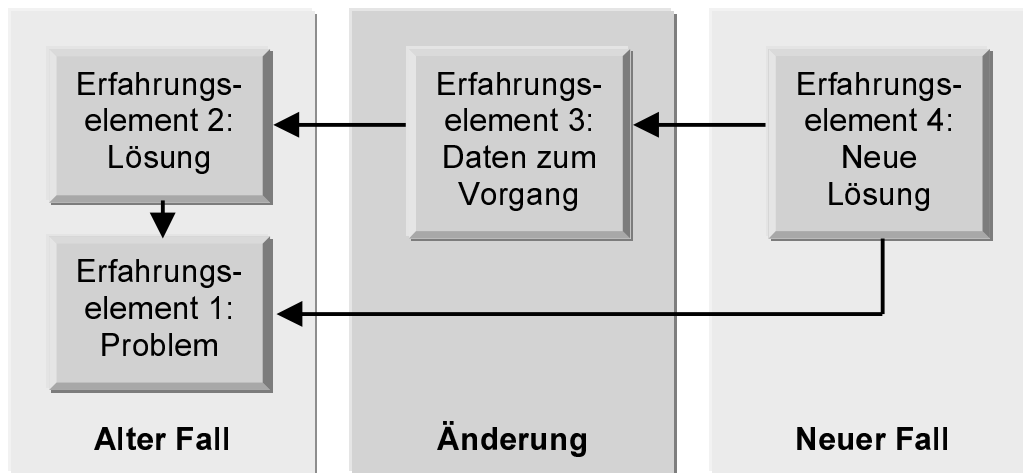


Bild 4.5-2: Speicherung der Informationen über die Änderung im Assistenzsystem

Um Änderungen zu dokumentieren, werden der alte und neue Fall in der Fallbasis miteinander verknüpft. Dies geschieht über ein Erfahrungselement, in dem alle für den Änderungsvorgang relevanten Daten wie Gründe und Kommentare gespeichert werden (Bild 4.5-2). Die dazu erforderlichen Verknüpfungen können vom Assistenzsystem automatisch erzeugt werden. Um die Fallbasis klein zu halten kann darauf verzichtet werden, im Erfahrungselement des neuen Falls mit der alten Lösung identische Elemente zu speichern. Bild 4.5-3 faßt schließlich die wesentlichen Schritte zur Behandlung von Änderungen im Assistenzsystem zusammen.

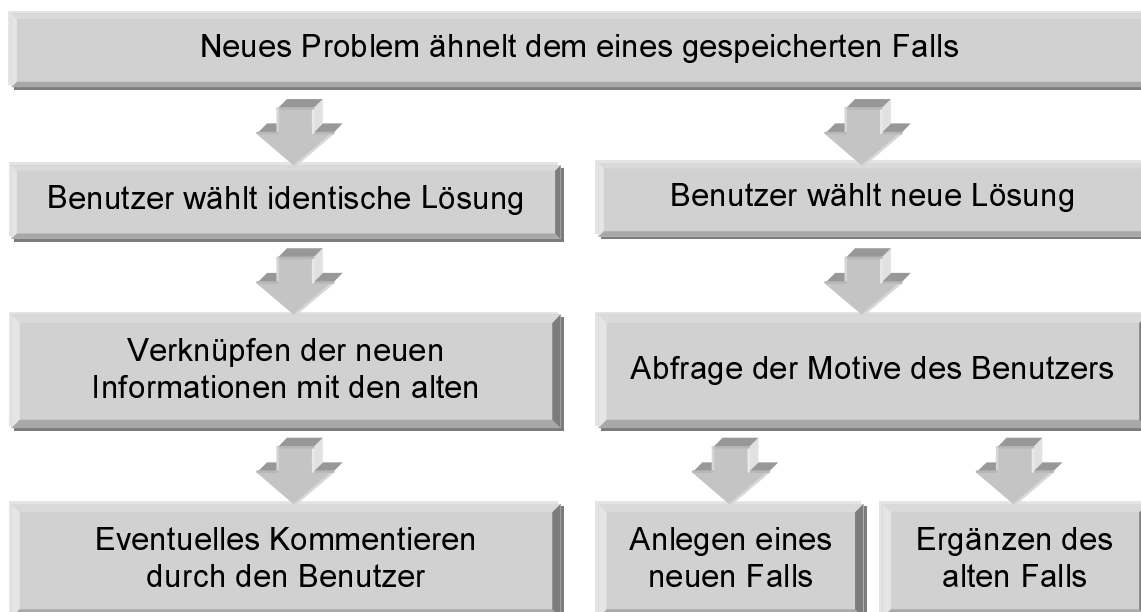


Bild 4.5-3: Behandlung von Änderungen im Assistenzsystem

4.6 Kommunikation mit Konstruktion und Fertigung

Da in Konstruktion und Arbeitsplanung auf ein einheitliches Informationsmodell zurückgegriffen werden kann, sind die Voraussetzungen für einen effizienten Erfahrungsaustausch gegeben. Ergänzend zu den bestehenden Ansätzen, diesen zu realisieren (zum Beispiel /Braun-90/) ist natürlich auch ein direkter Zugriff auf die Fallbasis des Assistenzsystems in der Konstruktion denkbar. Darüber hinaus können Erfahrungselemente bereits in der Konstruktion zur Dokumentation verwendet werden.

Der Datenaustausch zwischen Arbeitsplanung und Fertigung erfolgt in der NC-Verfahrenskette meist mit Programmen nach DIN 66025 /RemboldNnajiStorr-94/. Diese enthalten die geometrischen Angaben des Zerspanvolumens nur noch implizit. Daher können Änderungen an der Geometrie von Roh- oder Fertigteil und der Aufspannsituation nicht mehr an der Steuerung durchgeführt werden, die Eingriffe erfolgen manuell über den Zeileneditor /SchulzGlockner-99/. Optimierungen und Korrekturen, die während des Einfahrens an der Maschine in den generierten NC-Programmen gemacht werden, wirken sich dabei lediglich lokal aus. Die Dokumentation dieser Änderungen wird dabei unzureichend unterstützt und entfällt häufig ganz /RoseSchulzeMoldaschlSelbSiegel-99/. Für eine sinnvolle Auswertung dieser Änderungen sind umfassende Informationen über Hintergründe und Ursachen notwendig /SchmidtWalter-95/, wie sie im Assistenzsystem erfaßt werden können. Erfahrungen, die während des Betriebs gemacht werden, wie zum Beispiel Werkzeugstandzeiten und Taktzeiten, werden gewöhnlich nicht dokumentiert und an andere Bereiche verteilt /BöhleRose-90/. Dabei wären sie zur Reduzierung von Einfahrzeiten und zur Wahl optimaler Schnittwerte bereits in der Arbeitsplanung sinnvoll nutzbar /SchmidtSieth-95/ /FleigSchneider-95/. Insgesamt gleicht der Informationsfluß zwischen Arbeitsplanung und Fertigung damit einer "Einbahnstraße" /SpathBurghardtWalter-95/ (Bild 4.6-1).

Diese Probleme lassen sich durch eine vollständige Integration der Fertigung in einen durchgängigen, digitalen Wissens- und Informationsfluß durch das gesamte

Unternehmen lösen. Die Basis dafür muß allerdings eine Ablösung des NC-Codes nach DIN 66025 sein. Von den Ansätzen, die bisher für einen neuen Standard der NC-Programmierung gemacht wurden, hat sich zur Zeit allerdings noch keiner am Markt durchsetzen können /SchulzGlockner-99/.

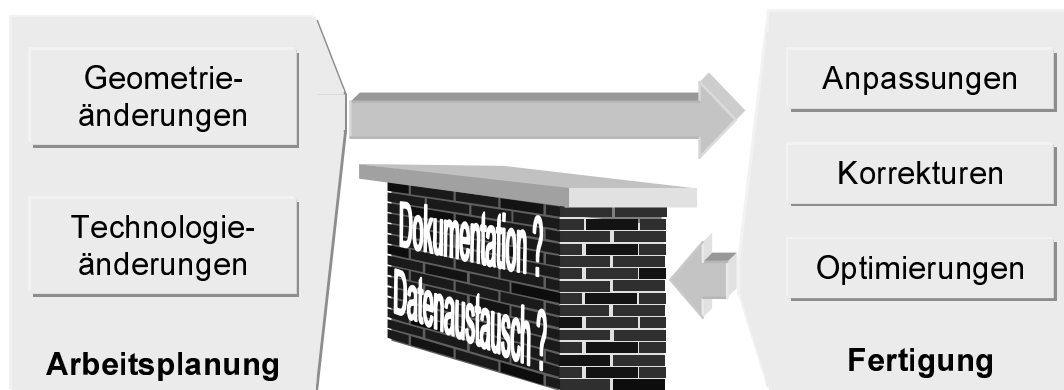


Bild 4.6-1 Probleme an der Schnittstelle zwischen Arbeitsplanung und Fertigung

Um trotzdem Informationen aus der Fertigung im Assistenzsystem nutzen zu können sind folgende Ansätze denkbar:

Manuelle Eingabe von Erfahrungen in der Fertigung

Der manuelle Ansatz ermöglicht zwar einen Rückfluß von Informationen in die Arbeitsplanung, problematisch ist aber, daß ein zusätzlicher Aufwand in der Fertigung entsteht, ohne daß dort ein unmittelbarer Nutzen sichtbar ist.

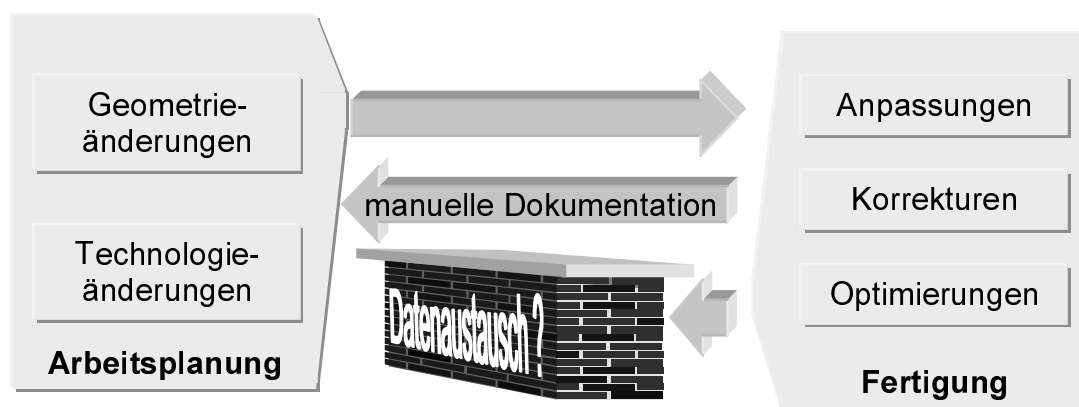


Bild 4.6-2: Manuelle Dokumentation in der Fertigung

Dieser Weg läßt sich im Assistenzsystem einfach realisieren, indem eine direkte Schnittstelle zur Fallbasis geschaffen wird, die das Ändern und Ergänzen von Fällen auch von außerhalb des Assistenzsystems ermöglicht. In der Fertigung können damit nicht nur Änderungen dokumentiert, sondern auch Kommentare und Bewertungen in Erfahrungselementen gespeichert werden. Manuelle Änderungen der Fertigung in NC-Programmen können mit diesem Ansatz allerdings nicht ausgewertet werden (Bild 4.6-2). Dies wird nur bei Verwendung moderner Alternativen zu DIN 66025 möglich.

Automatischer Datenabgleich mit NC-Programmen der Fertigung

Zwar werden über einen Datenabgleich Änderungen zuverlässig erkannt, allerdings ist eine automatische Auswertung dieser Änderungen aufgrund der Beschränkungen von DIN 66025 extrem aufwendig. Dieser Ansatz kann allerdings zur systematischen Dokumentation innerhalb der Fertigung verwendet werden.

Nutzung des Assistenzsystems in der Fertigung

Falls das Arbeitsplanungssystem in der Fertigung genutzt wird, kann zum Erfassen des Fertigungswissens der bereits beschriebenen Algorithmus zum Erfassen von Änderungen verwendet werden. Der Zugriff auf eine zentrale Fallbasis ermöglicht dann einen einfachen Erfahrungsaustausch (Bild 4.6-3).

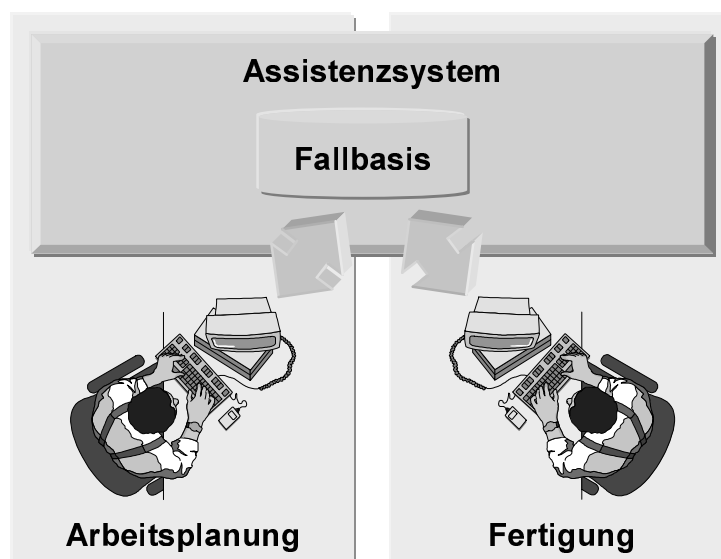


Bild 4.6-3: Nutzung einer zentralen Fallbasis in Arbeitsplanung und Fertigung

4.7 Wartung

Eine manuelle Anpassung des Assistenzsystems an neue Bedingungen entfällt durch die automatische Wissensakquisition des fallbasierten Schließens weitgehend. Manuelle Eingriffe werden lediglich erforderlich, wenn Änderungen am problemspezifischen Wissen erforderlich werden. Dies kann aus folgenden Gründen geschehen:

- Neue Fertigungstechnologien eröffnen Möglichkeiten der Fertigung, die bisher unmöglich oder mit unangemessen hohen Kosten verbunden waren.
- Durch Änderungen der Unternehmensstrategie oder der Benutzergruppe des Assistenzsystems ist es notwendig, die entsprechenden Entscheidungskriterien neu zu gewichten.
- Eine Änderung des Einsatzgebiets des Assistenzsystems erfordert eine Anpassung des problemspezifischen Wissens.

Diese meist auf die Gewichtungsfaktoren des Ähnlichkeitsmaßes beschränkten Eingriffe erfordern einen mit dem Assistenzsystem vertrauten Administrator.

Ein manueller Eingriff in die Fallbasis ist zwar in der Regel nicht notwendig, kann aber aus folgenden Gründen durch den Administrator durchgeführt werden:

- Lange nicht mehr benutzte Lösungen sollen aus Performancegründen oder um Speicherplatz zu sparen aus der Fallbasis entfernt werden.
- Bestimmte Lösungen sind unternehmenspolitisch nicht mehr gewollt, zum Beispiel, um die Vielfalt der benutzten Werkzeuge einzuschränken.

Keine dieser Wartungstätigkeiten erfordert eine Beteiligung der Benutzer.

4.8 Einsatzgebiet des Assistenzsystems

Der Einsatz des Assistenzsystems ist nur dann sinnvoll möglich, wenn Entscheidungen nicht automatisch generiert werden sollen und sich diese nicht aus konstanten und einfachen Zusammenhängen ergeben. Solche Anforderungen lassen sich zum Beispiel durch ein regelbasiertes System besser erfüllen. Beispielsweise

unterliegt die Festlegung eines optimalen Werkzeugwegs und die Optimierung der Fertigungsreihenfolge in der Produktion festen Regeln, die meist automatisch zu einem sinnvollen Ergebnis führen. Der Bearbeiter plant daher meist nicht jede Entscheidung einzeln, sondern überprüft abschließend das Gesamtergebnis der automatisch erzeugten Vorgänge und optimiert dies gegebenenfalls.

Für das Festlegen der Operationen zur Fertigung eines Features können dagegen mehrere sinnvolle Alternativen existieren, die weitreichende Auswirkungen auf Fertigungszeit und -kosten haben. Die optimale Lösung ist dann gegebenenfalls auch für einen Experten nicht einfach zu finden. Neben den Informationen des Features, wie Abmessungen, Material und Toleranzen, sind dabei unter anderem die weiteren Bearbeitungen am Bauteil und die Auswirkungen auf die notwendigen Werkzeuge zu beachten. Dabei sind regelbasierte Systeme klar überfordert, während das Assistenzsystem den Bearbeiter effektiv unterstützen kann.

Mit dem Assistenzsystem ist es auch möglich, den Bediener bei Entscheidungen zu unterstützen, zu denen verschiedene Arten von Lösungen existieren. Dies tritt zum Beispiel auf, wenn zusätzlich zu reellen Zahlen auch ein Verweis auf den Wert eines Attributes das Ergebnis einer Entscheidung sein kann. Beide können zwar zu einem bestimmten Zeitpunkt denselben Wert annehmen, dieser ist bei einem Verweis im Fall von Änderungen jedoch nicht konstant.

Ein Einsatzgebiet solcher Verweise sind Parameter von Operationen, die - wie zum Beispiel die Bohrtiefe - direkt von Parametern des Konstruktions-Features abhängen. Ist der Parameter "Bohrtiefe" mit einem Verweis auf die Tiefe des Konstruktions-Features belegt, werden bei Konstruktionsänderungen die notwendigen Anpassungen automatisch vorgenommen.

In Spezialfällen können solche Verweise auch Formeln beinhalten, die neue Parameter mit einfachen Berechnungen aus anderen Parametern erzeugen. Werden solche Formeln häufiger verwendet, kann auch dafür das Assistenzsystem genutzt werden. Die Lösungsalternativen können dann Werte, Verweise und Formeln umfassen.

Werden keine Verweise verwendet, muß auf Änderungen in der Konstruktion und in der Arbeitsplanung manuell reagiert werden. Auch hierbei ist eine Unterstützung durch das Assistenzsystem denkbar. Durch einen Vergleich der aktuellen Entscheidungsvoraussetzungen mit bekannten Fällen aus der Fallbasis lassen sich Änderungen einfach erkennen. Wird dieser Vorgang automatisiert parallel zur Suche nach optimalen Lösungen durchgeführt, ist es möglich, den Anwender detailliert auf Abweichungen hinzuweisen und mögliche Reaktionen vorzuschlagen.

Weitere mögliche Einsatzfelder des Assistenzsystems umfassen unter anderem die Auswahl von Werkzeugen, Spannmitteln und von Parametern wie Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Drehzahl, Verweilzeit und Drehrichtung (Bild 4.8-1). Welche davon sinnvoll durch das Assistenzsystem unterstützt werden können, hängt maßgeblich von der individuellen Arbeitsumgebung des Bedieners ab.

	Regelbasiertes System	Assistenzsystem
Operationen auswählen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Werkzeug auswählen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Spannmittel auswählen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Parameter festlegen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Maschine auswählen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Werkzeugweg berechnen	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reihenfolge optimieren	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Geeignet
 Ungeeignet

Bild 4.8-1: Beispiele für Einsatzfelder des Assistenzsystems

4.9 Ausblick

4.9.1 Anbindung weiterer Systeme

In den Erfahrungselementen in der Fallbasis können nicht nur Verknüpfungen zu Elementen des CAD/CAM-Systems gespeichert werden, sondern auch solche zu anderen Systemen (Bild 4.7-1).

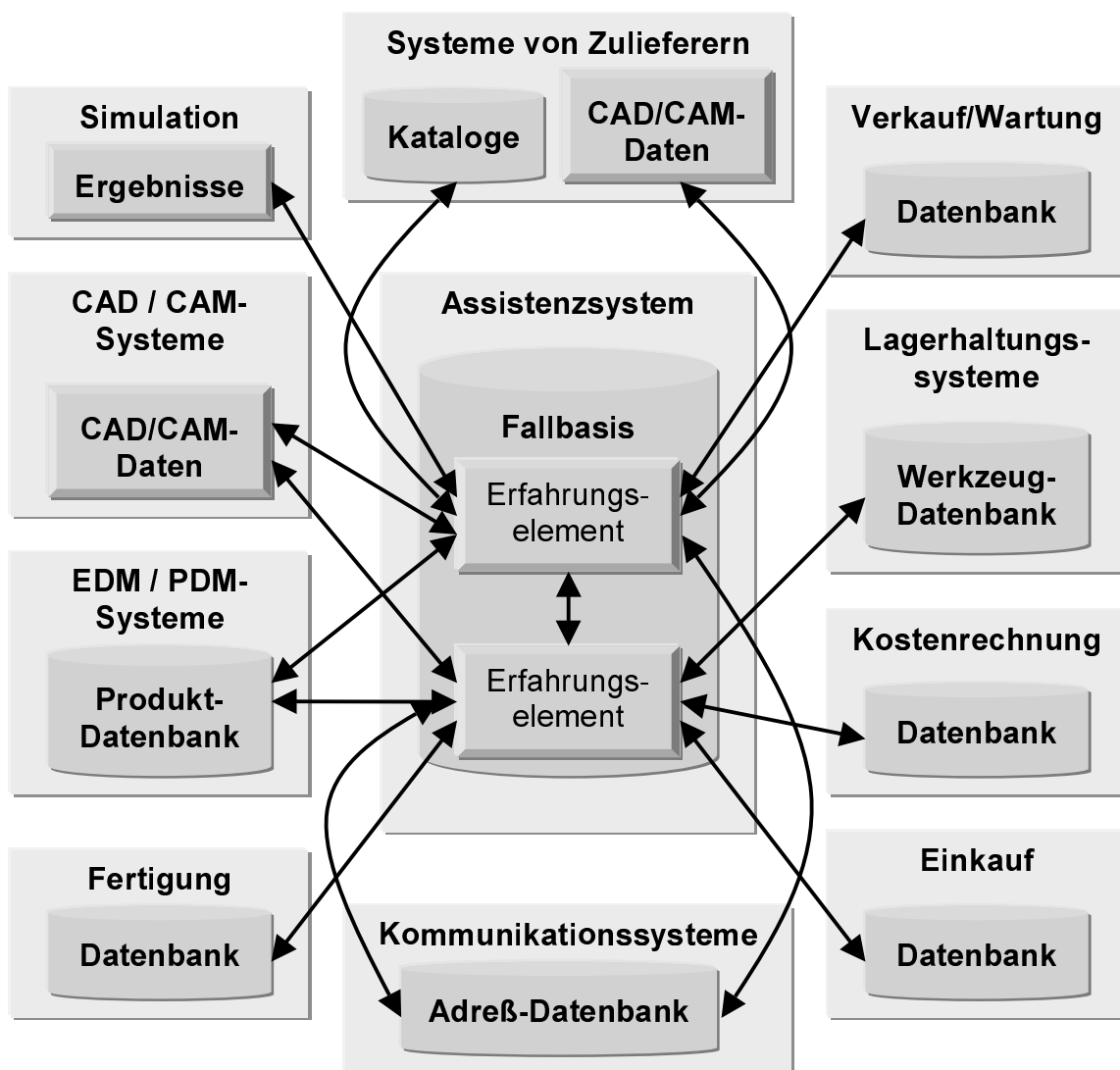


Bild 4.7-1: Beispiele für die Verknüpfung der Fallbasis mit anderen Systemen

So kann zum Beispiel durch Verknüpfungen mit einer unternehmensweiten Adreßdatenbank die jeweils aktuelle Adresse der gespeicherten Personen

automatisch ergänzt werden, eine Verknüpfung zu Werkzeugdatenbanken ermöglicht die Ermittlung der Verfügbarkeit von Werkzeugen oder die Verknüpfung zu aktuellen Preisinformationen bietet die Hilfestellung für eine wirtschaftlich sinnvolle Entscheidung. Diese Informationen können auch in die Bewertung der Lösungsvorschläge einfließen.

4.9.2 Manuelle Recherche in der Fallbasis

Das umfangreiche Wissen in der Fallbasis kann nicht nur vom Assistenzsystem genutzt werden. Eine Recherche in der Fallbasis bietet dem Arbeitsplaner Zugriff auf die Dokumentation der Entscheidungen, die bei der Arbeitsplanung mit dem Assistenzsystem getroffen wurden. Dies kann zum Beispiel genutzt werden, um Fehlentwicklungen zu analysieren oder von positiven Erfahrungen zu lernen.

Individuelle und bereichsspezifische Präferenzen lassen sich ebenfalls durch Recherchen in der Fallbasis analysieren. Diese können zum Beispiel für Benchmarks genutzt werden. Darüber hinaus kann die Fallbasis mit Hilfe der Zeitinformationen auf technische Entwicklungen hin untersucht werden. Mögliche Werkzeuge für solche Auswertungen sind zum Beispiel in /LeakeWilson-99/ beschrieben.

4.9.3 Unterstützung mehrerer Entscheidungen

Das Assistenzsystem kann sowohl für die Unterstützung bei einer Entscheidung als auch bei mehreren genutzt werden. Durch die spezielle Strukturierung der Fallbasis wächst die Zugriffszeit dabei nicht systembedingt an. Die Unterstützung mehrerer Entscheidungssituationen bietet folgende Vorteile:

- Erfahrungen, die in anderen Entscheidungssituationen gemacht wurden, lassen sich bei der Bewertung der Fälle berücksichtigen.
- Der Benutzer des Assistenzsystems kann in der Fallbasis gezielt recherchieren, welche Auswirkungen seine Entscheidungen in der Vergangenheit hatten und welche aus seinen aktuellen Entscheidungen resultieren.

- Ansprechpartner lassen sich auch für andere Entscheidungssituationen leicht ermitteln.
- Gründe für Entscheidungen anderer Nutzer des Assistenzsystems lassen sich einfach ermitteln. Dies spielt eine besondere Rolle für Entscheidungen, welche die Grundlage für aktuelle Probleme bilden.
- Das einheitliche Vorgehen erleichtert sowohl Anwendung als auch Administrierung.
- Den Hardwarekosten für die Fallbasis und der Systemadministrierung steht ein größerer Nutzen gegenüber.

4.9.4 Ergänzung von regelbasierten Expertensystemen

Regelbasierte Expertensysteme für die Arbeitsplanung und das fallbasierte Assistenzsystem schließen sich nicht gegenseitig aus, sondern können sich auch ergänzen. Beispiele für Problemstellungen, bei denen dies sinnvoll sein kann, sind die Vermeidung von Gratbildung und Kosten sowie die Festlegung von Reihenfolgerestriktionen.

Gratbildung

Das Überprüfen von allgemeinen Regeln über die Vermeidung von Gratbildung ist ein Anwendungsgebiet regelbasierter Expertensysteme. Allerdings kann ein solches Expertensystem durch das Assistenzsystem ergänzt werden. Dieses kann jedem Fall zusätzlich Informationen über die entstandene Gratbildung zuordnen. Die dabei verwendeten neuen Attribute können dann sowohl im Assistenzsystem zur Verbesserung der Entscheidungsunterstützung dienen als auch als umfassende Dokumentation der jeweils erzielten Ergebnisse. Die gezielte Auswertung dieser Dokumentation kann dann der Verbesserung des regelbasierten Expertensystems dienen.

Kostenvermeidung

Auch für das Nutzen von allgemeinen Regeln zur Kostenvermeidung bieten sich regelbasierter Expertensysteme an. Aber auch hier können die entstandenen Kosten

den Fällen des Assistenzsystems zugeordnet und zu Verbesserungen in beiden Systemen genutzt werden.

Reihenfolgerestriktionen

Die Restriktionen für mögliche Fertigungsreihenfolgen spielen in der Serienfertigung besonders dann eine Rolle, wenn die Fertigungsreihenfolge nicht durch das Produktionssystem starr vorgegeben ist (zum Beispiel bei /SiegelAndersWinz-98/). Diese müssen den Bearbeitungen zugeordnet werden, bevor die Bearbeitungsreihenfolge - meist automatisch - optimiert wird. Dabei können zum Beispiel die Nebenzeiten durch Minimierung der Werkzeugwechsel und der Bewegungen des Werkstücks verringert werden.

Die Reihenfolgerestriktionen können sich aus verschiedenen Gründen ergeben:

1. Bearbeitungen am selben Feature müssen in der Regel in einer bestimmten Reihenfolge erfolgen, zum Beispiel kann das Reiben einer Bohrung nicht vor dem Bohren erfolgen. Das Festlegen dieser Reihenfolgerestriktionen kann gut durch das Assistenzsystem unterstützt werden, während bei einem regelbasierten System die große Zahl verschiedener Fertigungsarten für ein Feature Probleme verursachen würde.
2. Geringe Toleranzen können dazu führen, daß bestimmte Bearbeitungen in derselben Aufspannung erfolgen müssen. Da dies ab einer durch die Fertigungsgenauigkeit vorgegebenen Grenze stets der Fall ist, lassen sich diese Reihenfolgerestriktionen einfach durch Regeln erzeugen.
3. Bestimmte Bearbeitungen können die Voraussetzung für die Fertigung eines Features sein. Beispiele dafür sind eine spezielle Oberflächenbehandlung oder die Fertigung eines Features, mit dem sich Überschneidungen ergeben. Die Erkennung solcher Situationen erfordert besondere Algorithmen, die sich durch das Assistenzsystem ergänzen lassen.

5 Realisierung des Assistenzsystems

Die Realisierung des Assistenzsystems erfolgte in mehreren Schritten: Nach ersten Akzeptanztests der Benutzerschnittstelle wurde ein Prototyp implementiert, der in Zusammenarbeit mit einer internationalen Anwendergruppe aus unterschiedlichen Bereichen der Arbeitsplanung überprüft und weiter optimiert wurde

Der Prototyp des Assistenzsystems nutzt für die Fallbasis ein Standard-Datenbanksystem, um eine hohe Flexibilität zu erreichen und eine einfache Administration zu ermöglichen. Nicht nur die Fallbasis, sondern auch die Faktoren für die Gewichtung innerhalb des Ähnlichkeitsmaßes sind in einer Datenbank abgelegt. Damit sind einfache Änderungen und individuelle Anpassungen der Gewichtung möglich.

Eingabe der neuen Daten

Feature: Zündkerzenbohrung

Länge L: 100

Durchmesser DB: 25

Durchmesser DR: 20

Tiefe TG: 19

Durchmesser DG: 10

Kerndurchm. DK: 8,376

Steigung P: 1,5

Radius R1: 0,8

Radius R2: 0,4

Winkel W1: 40

Winkel W2: 130

Durchmesser DS2: 15

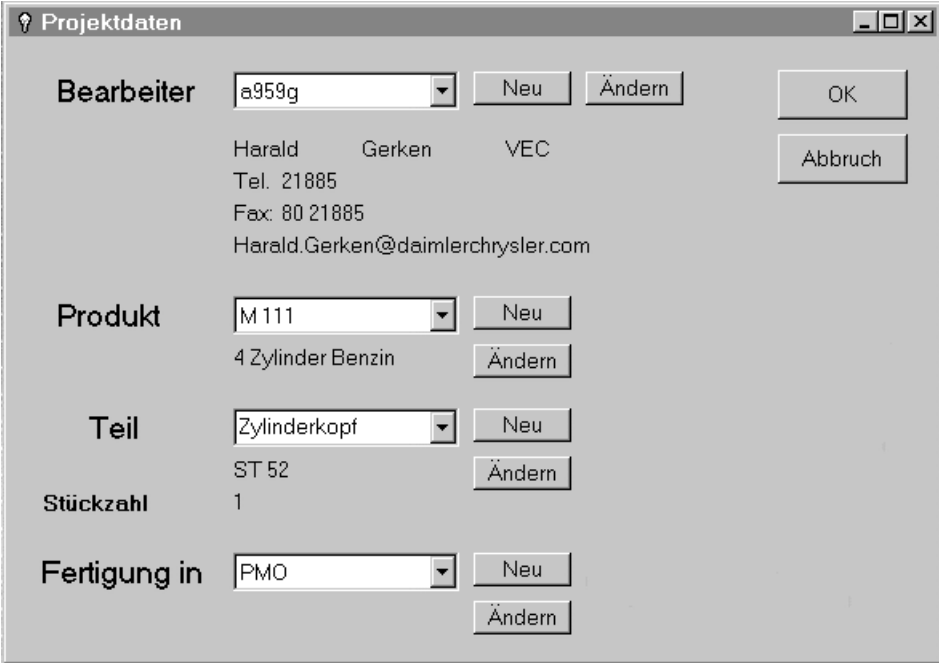
Buttons: OK, OK + Weiter, Abbrechen

Bild 5-1: Manuelle Eingabe der Entscheidungsvoraussetzungen

Der Ablauf der Entscheidungsunterstützung mit Hilfe des Assistenzsystems soll nun beispielhaft an der Entscheidung über Operationen beschrieben werden, die zur Fertigung des Features „Zündkerzenbohrung“ eingesetzt werden.

Da für den Prototypen keine Anbindung des Assistenzsystems an ein CAD/CAM-System zur Verfügung steht, müssen die Entscheidungsvoraussetzungen manuell eingegeben werden (Bild 5-1). Die Übertragung umfangreicher Daten des CAD/CAM-Modells ist daher zeitaufwendig. Die Entscheidung selbst muß schließlich ebenfalls in das CAD/CAM-System übertragen werden. Kritisch ist außerdem die Gewährleistung der Übertragung eventueller Korrekturen an der Entscheidung in das Assistenzsystem. Damit läßt sich der Prototyp nicht sinnvoll einsetzen, die genannten Einschränkungen entfallen aber bei einer Anbindung an ein CAD/CAM-System.

Bevor der Benutzer mit der Arbeitsplanung beginnt, werden seine Daten und die aktuelle Aufgabe vom Assistenzsystem für die automatische Speicherung in neuangelegten Erfahrungselementen erfaßt (Bild 5-2).



The image shows a software dialog box titled "Projektdaten". It contains several input fields and buttons for user and project data. The fields are: "Bearbeiter" (a959g), "Produkt" (M 111), "Teil" (Zylinderkopf), "Stückzahl" (1), and "Fertigung in" (PMO). Each field has "Neu" and "Ändern" buttons. There are also "OK" and "Abbruch" buttons on the right. Contact information for Harald Gerken is displayed below the "Bearbeiter" field.

Bearbeiter	a959g	Neu	Ändern	OK
	Harald Gerken	VEC		Abbruch
	Tel. 21885			
	Fax: 80 21885			
	Harald.Gerken@daimlerchrysler.com			
Produkt	M 111	Neu	Ändern	
	4 Zylinder Benzin			
Teil	Zylinderkopf	Neu	Ändern	
	ST 52			
Stückzahl	1			
Fertigung in	PMO	Neu	Ändern	

Bild 5-2: Eingabe der Benutzerdaten und der aktuellen Aufgabe

Vor dem Öffnen des Dialogs zur Festlegung der Operationen werden vom Assistenzsystem sinnvolle Vorschläge erzeugt. Dazu wird zunächst die Entscheidungssituation analysiert. Dies geschieht, indem in der Fallbasis die Fälle durchsucht werden, die sich ebenfalls auf das Feature „Zündkerzenbohrung“ beziehen. Zur Bewertung dieser Fälle werden einerseits die aktuellen Parameter des Features mit denen des gespeicherten Falles verglichen und andererseits die Menge der verwendeten Operationen, sowie die Häufigkeit, mit der diese bereits gewählt wurden, ausgewertet.

Wegen der großen Unterschiede zwischen den einzelnen Operationsfolgen ist eine Anpassung der Lösungsvorschläge an die aktuelle Problemstellung in der Regel nicht sinnvoll und beim Prototypen nicht realisiert. Eine Plausibilitätsprüfung ist bei dieser Entscheidung ebenfalls nicht notwendig.

Nun erfolgt die Präsentation der Lösungsvorschläge zusammen mit der Möglichkeit der manuellen Eingabe einer Lösung (Bild 5-3). Diese ist erforderlich, da das Assistenzsystem die Entscheidung nicht selbständig trifft und manuelle Korrekturen möglich sein sollen. Um den Eingabeaufwand des Benutzers zu minimieren ist es sinnvoll, den am besten bewerteten Fall als Default-Selektion zu verwenden. Er wird beim Prototypen daher automatisch in das Eingabefeld kopiert.

Wichtige Informationen über die bei den Lösungsvorschlägen verwendeten alten Fälle und die aktuelle Problemstellung können dem Benutzer direkt präsentiert werden, während sich weiterführende Auskünfte über weitere Fenster abrufen lassen. Dabei wird auf die jeweiligen Erfahrungselemente zurückgegriffen.

Der Benutzer hat schon bei der Auswahl der Lösung die Möglichkeit, seine Kommentare und Bewertungen zu den vorgeschlagenen Lösungen direkt einzugeben. Diese werden dann automatisch mit den Informationen aus Bild 5-2 ergänzt und in einem neuen Erfahrungselement abgelegt, das mit dem Fall, auf dem der Lösungsvorschlag basiert, verknüpft ist.

Der Prototyp unterstützt neben der Auswahl der Operationen auch weitere Entscheidungen. Falls diese ähnliche Voraussetzungen haben, bietet sich die

Darstellung in einem gemeinsamen Fenster an (Bild 5-4). Dies verbessert die Übersicht des Benutzers über die verschiedenen Daten und ihre Abhängigkeiten.

Feature
Zündkerzenbohrung

L 100
 DB 25
 DR 20
 TG 19
 DG 10
 DK 8,376
 P 1,5
 R1 0,8
 R2 0,4
 DS2 15
 W1 40
 W2 130

Mehr Info

Operationen zur Fertigung

1. Schritt: Bohren
 2. Schritt: Bohren
 3. Schritt: Gewindefurchen
 4. Schritt: []

Prototyp Kommentar

Assistenzsystem

Op 1	Op 2	Op 3	Op 4	Häufigkeit	Neuester Kommentar	Datum	
Bohren	Bohren	Gewindefur		2	Prototyp 2	12.10.00	?
Bohren	Bohren	Gewindesc		1	Erster Versuch	17.08.99	?
Bohren	Bohren	Bohre	Gewindef	1	Prototyp	12.10.00	?

Vorschlag übernehmen Verwendetes Werkzeug anzeigen Details der Fälle anzeigen

Vorhandene Werkzeuge abrufen

Manuelle Suche in der Fallbasis

Bild 5-3: Auswahl der Operationen mit Hilfe des Assistenzsystem-Prototypen

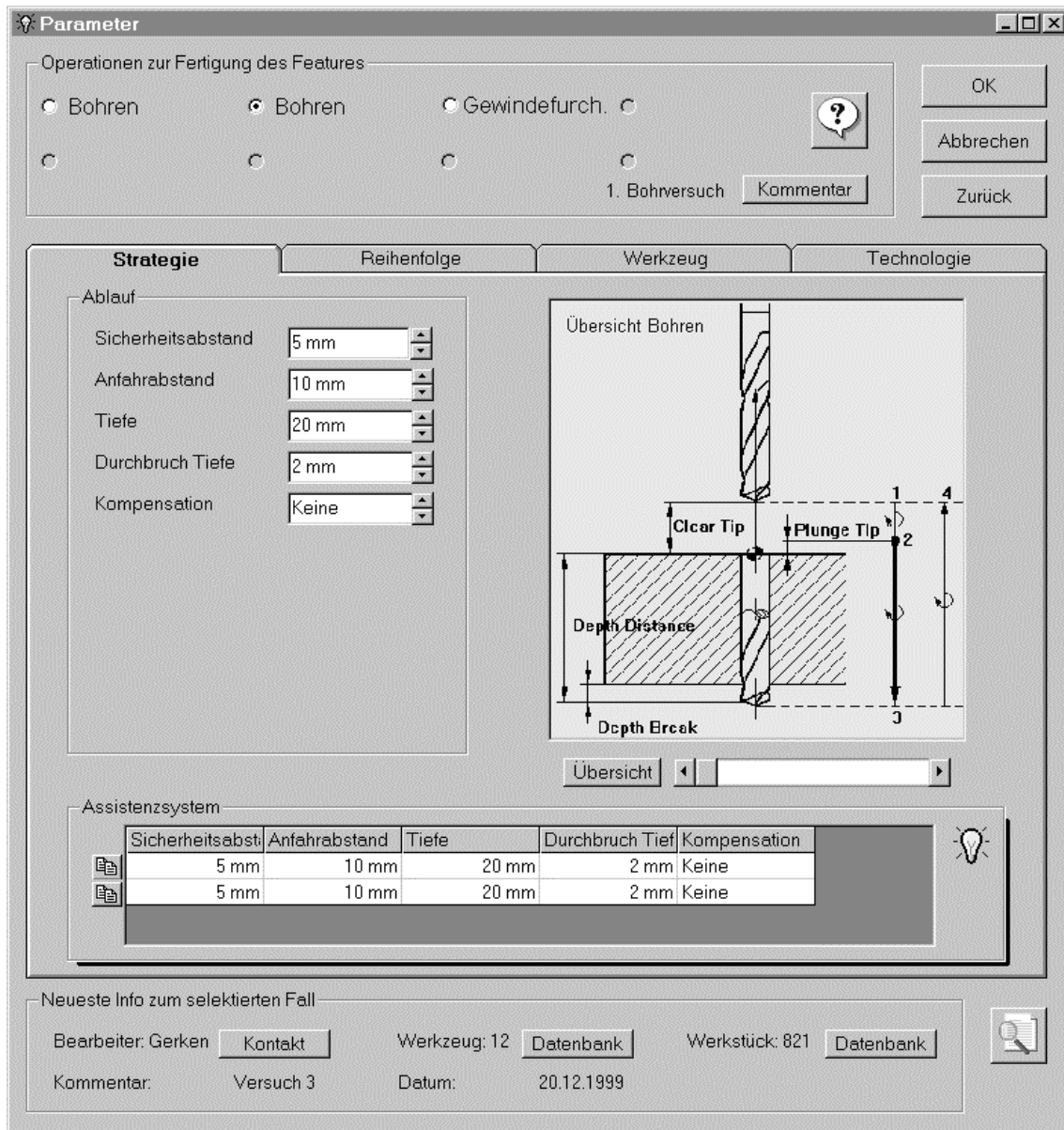


Bild 5-4: Einheitliche Unterstützung der Entscheidungen über Bearbeitungsstrategie, mögliche Bearbeitungsreihenfolgen, eingesetzte Werkzeuge und Technologieparameter

Auf der Grundlage dieses Prototypen ist es vorgesehen, in Zusammenarbeit mit Dassault Systèmes das Assistenzsystem in das CAD/CAM-System CATIA V5 zu integrieren.

Die Anbindung an CATIA V5 ermöglicht nicht nur den direkten und automatischen Zugriff auf die CAD/CAM-Daten, sondern auch an alle daran angeschlossenen Systeme, wie zum Beispiel Werkzeugverwaltung, Datenmanagementsysteme und

unterschiedliche Feature-Kataloge. Diese Informationen können, wie bereits beschrieben wurde, ebenfalls durch das Assistenzsystem genutzt werden.

Die Benutzerschnittstelle des Assistenzsystems ergänzt die Standarddialoge von CATIA V5 (Bild 5-5). Da das Assistenzsystem nicht explizit aufgerufen wird, sondern bei jeder unterstützten Entscheidung aktiv wird, kann jede Eingabe verfolgt und im Assistenzsystem genutzt werden.



Bild 5-5: Vergleich zwischen dem Standarddialog in CATIA V5 und der Unterstützung mit dem Assistenzsystem

6 Validierung des Assistenzsystems

6.1 Test mit realen Daten

Die Eignung des Assistenzsystems für Entscheidungen über komplexe Parameter wird nun anhand von realen Daten aus der Arbeitsplanung überprüft. Die Grundlage dazu bilden die Parameter von 143 Bearbeitungen an Bohrungen eines Zylinderkopfes (Bild 6.1-1) nach /Moulard-98/ und die Ergebnisse von Bohrversuchen.

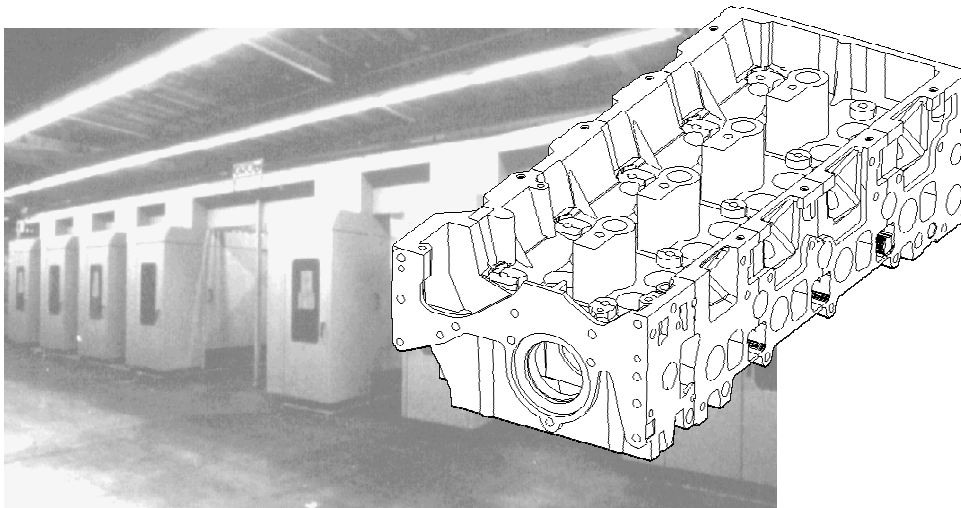


Bild 6.1-1: Fertigung des Zylinderkopfs OM 611

Der Zylinderkopf OM 611 enthält zahlreiche Features, die sich 11 firmenspezifischen Typen zuordnen lassen (Bild 6.1-2). Im folgenden wird das Assistenzsystem auf die Auswahl von Operationen, Werkzeug und Schnittgeschwindigkeit für das Feature "Gewindesackloch mit Schutzsenkung" angewendet. Die Fallbasis wird dazu mit den realen Daten aus der Zylinderkopffertigung gefüllt.

Für die Auswahl von Operationen werden nur solche Fälle herangezogen, die ebenfalls dem Feature "Gewindesackloch mit Schutzsenkung" zugeordnet sind. Das Nutzen von anderen Fällen mittels spezieller Regeln ist zwar denkbar, hier aber aufgrund der hohen Zahl vorhandener Fälle nicht notwendig. In der Fallbasis finden sich fünf Typen von Fällen mit Operationen für das "Gewindesackloch mit Schutzsenkung" (Bild 6-4), die zwar unterschiedlich sind, aber in allen für die

Auswahl von Operationen relevanten Parametern übereinstimmen. Die Zahl solcher Fälle wird als zusätzliche Eingangsgröße des Ähnlichkeitsmaßes verwendet.

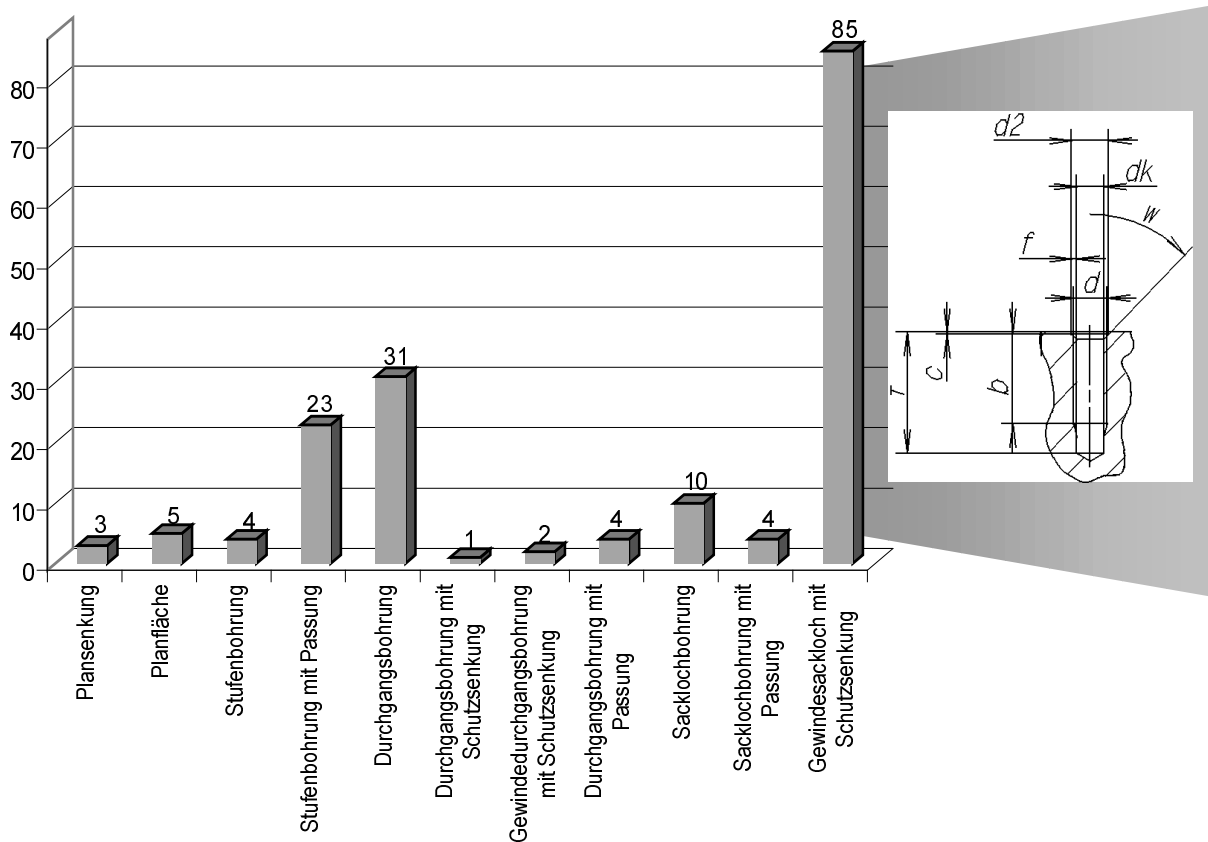


Bild 6.1-2: Features des Zylinderkopfs OM 611

Aus dem Expertenwissen geht hervor, daß neben dem Feature folgende Parameter die Auswahl der Operationen maßgeblich beeinflussen:

1. Der Durchmesser d der Bohrung
2. Wie oft die Lösung eingesetzt wurde
3. Die Fertigungszeit

Die Fertigungszeit wird maßgeblich durch die Zahl der verwendeten Operationen beeinflusst. Daher wird diese Zahl vereinfachend als Eingangsgröße verwendet.

Um aus diesen Eingangsgrößen das Ähnlichkeitsmaß für jeden Falltyp generieren zu können, sind die in Bild 6.1-3 dargestellten Schritte erforderlich. Die dabei verwendeten Funktionen richten sich nach der Charakteristik der jeweiligen Eingangsgröße:

- Der Durchmesser $d > 0$ hat ab einem bestimmten Wert einen großen Einfluß auf die Wahl der Operationen, geringe Abweichungen haben in der Regel keinen Einfluß. Bei der Normierung der Differenz des Durchmessers im Fall d_F und dem des aktuellen Problems d_P muß zwischen großen Abweichungen nicht differenziert werden, da aufgrund der starken Abweichung auf eine andere Folge von Operationen zurückgegriffen werden muß. Eine Funktion zur Aufbereitung dieser Eingangsgröße ist zum Beispiel:

$$f_1 = \begin{cases} 1 - \left(\frac{2 \cdot d_P - 2 \cdot d_F}{d_P + d_F} \right)^2 & \text{für } 1 - \left(\frac{2 \cdot d_P - 2 \cdot d_F}{d_P + d_F} \right)^2 > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

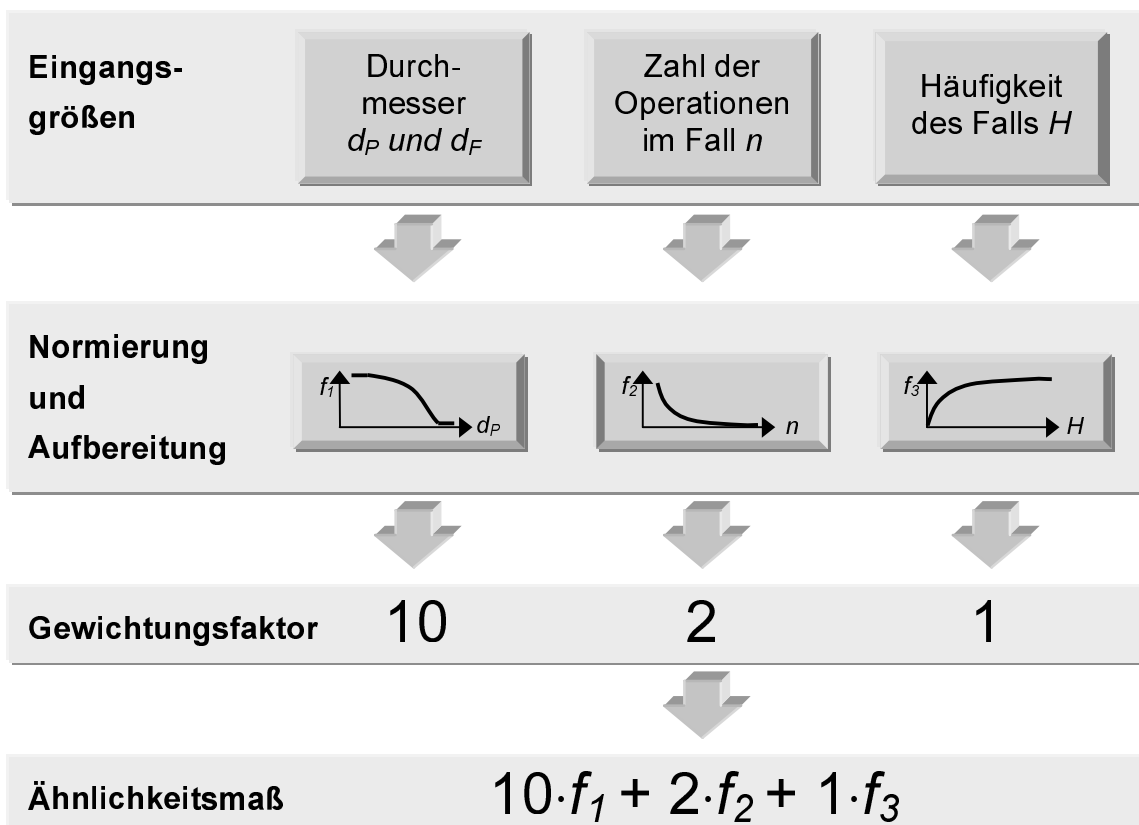


Bild 6.1-3: Die Berechnung des Ähnlichkeitsmaßes für die Auswahl der Operationen

- Auch bei der Zahl der Operationen $n > 0$ und der Häufigkeit $H \geq 0$ eines gleichartigen Falls sind Abweichungen im oberen Wertebereich in der Praxis weniger interessant. Allerdings muß hier zwischen hohen Werten differenziert

werden. Dies läßt sich durch eine entsprechende Funktion erreichen, zum Beispiel

$$f_2 = 1 - \frac{n-1}{n+1} \quad \text{beziehungsweise} \quad f_3 = \frac{H}{H+5} .$$

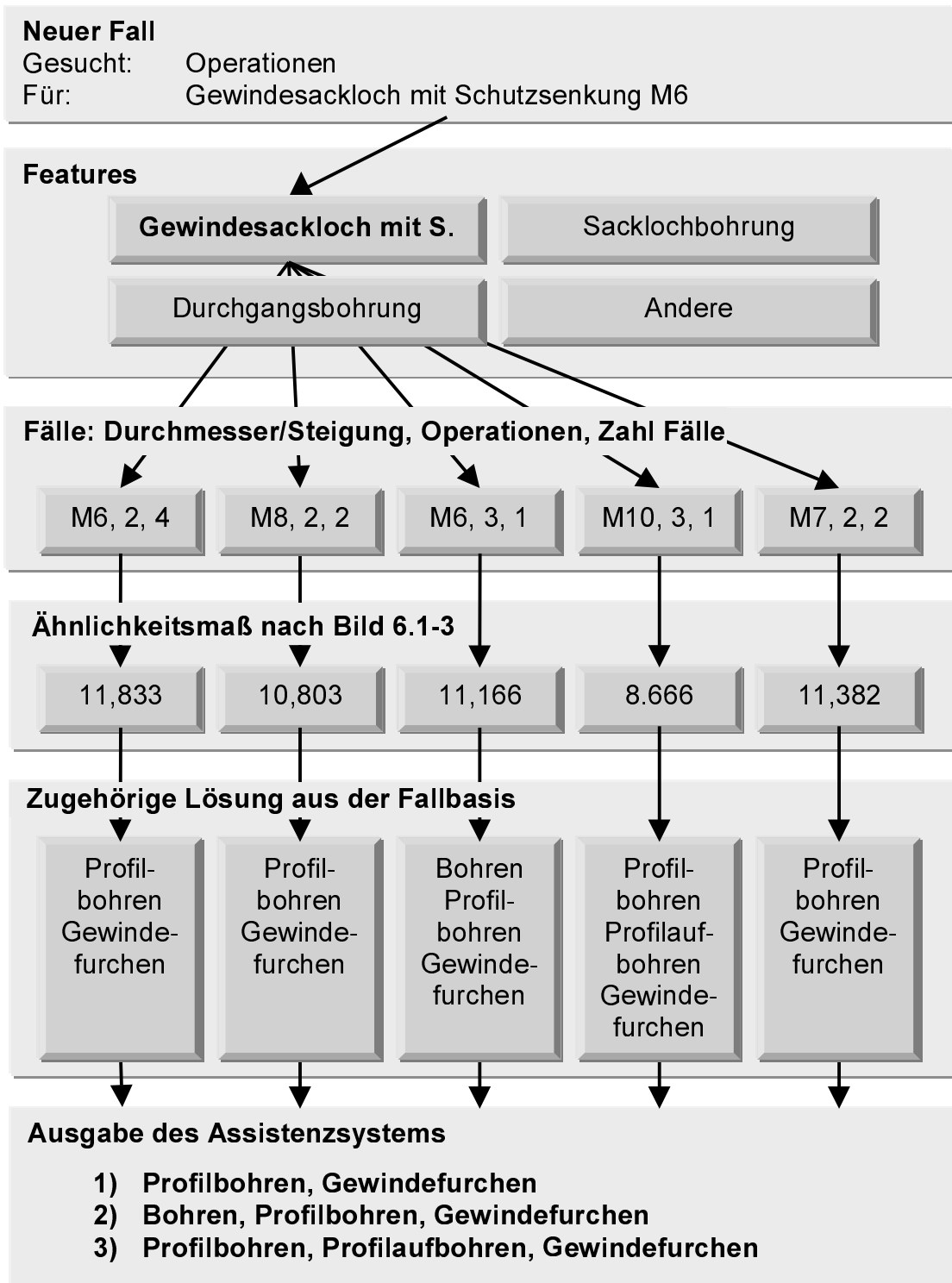


Bild 6.1-4: Beispiel für den Ablauf der Auswahl der Operationen

Aus diesen Formeln ergeben sich mit der Gewichtung aus Bild 6.1-3 die Werte in Bild 6.1-4.

Für die abschließende Präsentation der Ergebnisse in der Dialogmaske des Assistenzsystems können identische Lösungsvorschläge zusammengefaßt werden. Falls der Bediener an detaillierten Informationen zu einem Lösungsvorschlag interessiert ist, muß wieder zwischen den einzelnen Fällen unterschieden werden. Da die hier verwendeten Fälle nicht mit dem Assistenzsystem erzeugt wurden, sind keine umfangreichen Informationen über die Erzeugung der Daten verfügbar.

Nun soll für die Operation "Gewindefurchen" ein passendes Werkzeug gesucht werden. Das vorhandene Expertenwissen sagt aus, daß folgende Parameter für diese Entscheidung besonders relevant sind:

1. Die Operation
2. Das Material des Werkstücks
3. Der Durchmesser und die Steigung des Gewindes
4. Die Tiefe der Bohrung
5. Die resultierende Hauptzeit
6. Das Material des Werkzeugs

Da das Material des Werkstücks bei den vorhandenen Fällen identisch ist, soll es hier nicht weiter betrachtet werden.

Werden die Daten als Fälle im Assistenzsystem genutzt, kann das Kriterium "Operation" zur Unterteilung der Fallbasis dienen, da sich jedes Werkzeug nur zu einer Operation eignet. Ein weiteres Kriterium, daß zur Unterteilung der Fallbasis genutzt werden kann, ist der Bohrungsdurchmesser, da bei Bohrwerkzeugen hier keine Anpassungen möglich sind. Fälle, die in den Kriterien "Operation" und "Bohrungsdurchmesser und Steigung" mit dem aktuellen Problem übereinstimmen, können dann anhand der anderen Kriterien mit dem Ähnlichkeitsmaß bewertet werden.

Das Werkzeugmaterial soll hier nur in seinen Auswirkungen auf die Hauptzeit betrachtet werden, da allen betrachteten Fälle das gleiche Werkstückmaterial zugrunde liegt und die Werkzeuge bereits auf dieses abgestimmt wurden.

In Bild 6.1-5 ist der Ablauf des Assistenzsystems für die Auswahl eines Werkzeugs zum Gewindefurchen eines Gewindes M10 mit 30 mm Tiefe dargestellt. Es werden lediglich Fälle mit passender Operation, Bohrungsdurchmesser und Steigung betrachtet. Das Berücksichtigen von anderen Fällen ist zwar grundsätzlich möglich, würde aber spezielle Regeln zur Anpassung der Fälle voraussetzen, die hier nicht vorhanden sind.

Das Ähnlichkeitsmaß kann die restlichen bekannten Daten der Fallbasis nutzen: Die Bohrtiefe und die Hauptzeit. Für die Normierung und Weiterverarbeitung dieser Eingangsgrößen wird ihre individuelle Charakteristik genutzt:

- Die Bohrtiefe $T > 0$ hat bei großen relativen Abweichungen einen erheblichen Einfluß auf die Werkzeugauswahl, geringe Abweichungen führen aber nur in Ausnahmefällen zur Verwendung eines anderen Werkzeugs. Bei der Normierung der Differenz der Bohrtiefe im Fall T_F und der des aktuellen Problems T_P muß zwischen großen Abweichungen daher nicht differenziert werden, da diese stets zu ungeeigneten Lösungen führen. Bei der Berücksichtigung der individuellen Charakteristik der Eingangsgröße wird eine Funktion verwendet, die dieser Rechnung trägt, also zum Beispiel

$$f_4 = \begin{cases} 1 - \left(\frac{2 \cdot T_P - 2 \cdot T_F}{T_P + T_F} \right)^2 & \text{für } 1 - \left(\frac{2 \cdot T_P - 2 \cdot T_F}{T_P + T_F} \right)^2 > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

- Bei der Hauptzeit $t_H > 0$ muß zwischen hohen Werten differenziert werden. Dies läßt sich durch eine entsprechende Funktion erreichen. Ein Beispiel für eine solche Funktion ist

$$f_5 = 1 - \frac{t_H}{t_H + 10s}$$

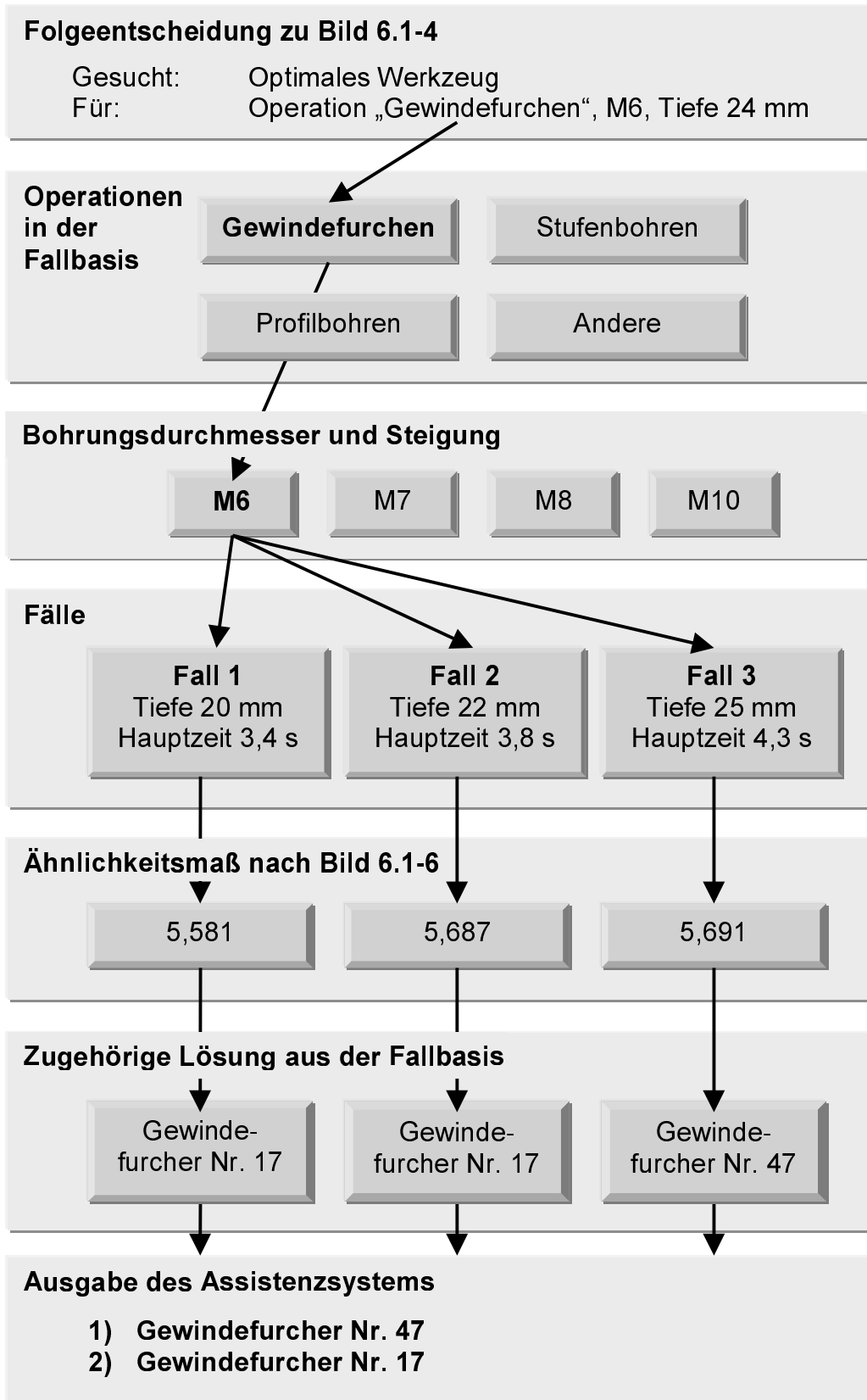


Bild 6.1-5: Beispiel für den Ablauf der Werkzeugauswahl

Damit ergeben sich die Berechnung des Ähnlichkeitsmaßes, wie es in Bild 6.1-6 dargestellt ist und die Werte in Bild 6.1-5.

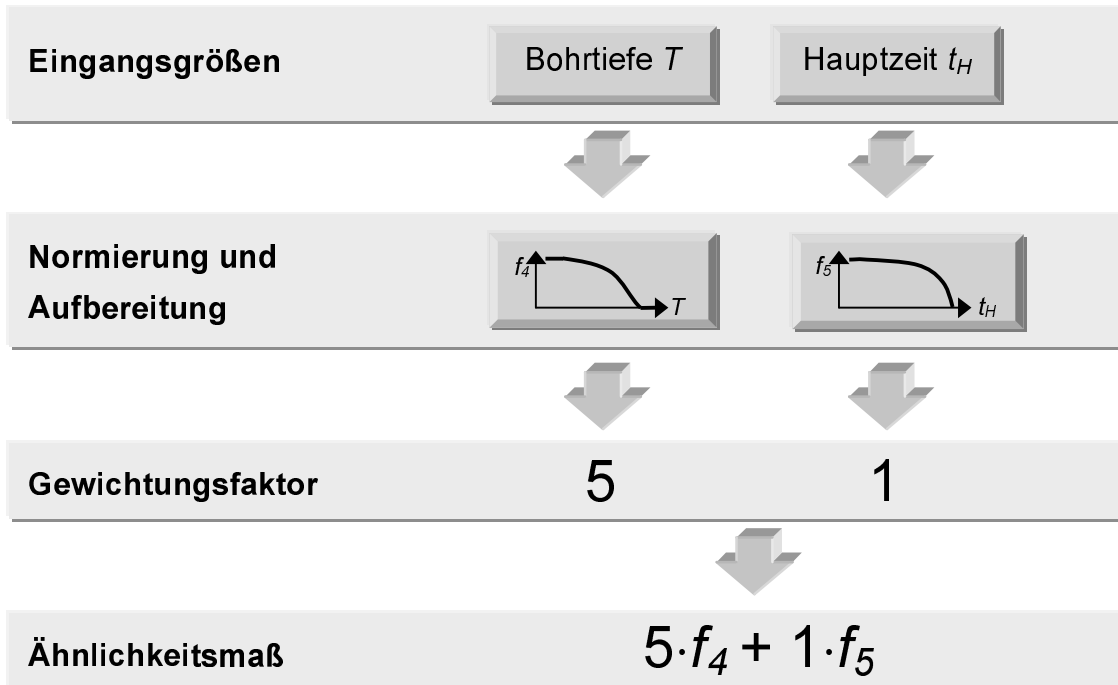


Bild 6.1-6: Die Berechnung des Ähnlichkeitsmaßes für die Werkzeugauswahl in Bild 6.1-5

Soll noch eine passende Drehzahl gefunden werden, steht für Gewindefurcher Nr. 47 nur ein Fall zur Verfügung, der 700 U/min liefert. Fällt die Entscheidung auf Gewindefurcher Nr. 17, stehen zwei Fälle zur Auswahl, die 690 beziehungsweise 700 U/min beinhalten. Würde die Tiefe als Grundlage des Ähnlichkeitsmaßes dienen, lautet die Empfehlung 690 U/min. Aufgrund der geringen Abweichungen der Fälle bei der Tiefe könnte der Bediener aber schließen, daß spezielle Eigenschaften der eingesetzten Maschinen die Abweichungen verursachten und entsprechendes Optimierungspotential ableiten.

Bei den bisher betrachteten Bearbeitungen am Zylinderkopf traten aufgrund der Bedingungen der Großserienfertigung für jedes Werkzeug nur geringe Abweichungen bei den Fertigungsparametern auf. Daher wird ein weiteres Szenario verwendet, um diese genauer zu untersuchen. Dessen Grundlage bilden vorliegende Daten aus Bohrversuchen /Link-92/, in denen die Gratbildung bei unterschiedlichen

Werten von Schnittgeschwindigkeit und Vorschub untersucht wurde. Weitere Parameter, die wie Werkstoff, Werkzeugeigenschaften und Verschleißzustand einen großen Einfluß auf die Gratbildung haben, blieben konstant. Für die Schnittgeschwindigkeiten von 25 bis 50 m/min ergeben sich damit die Fälle in Bild 6.1-7.

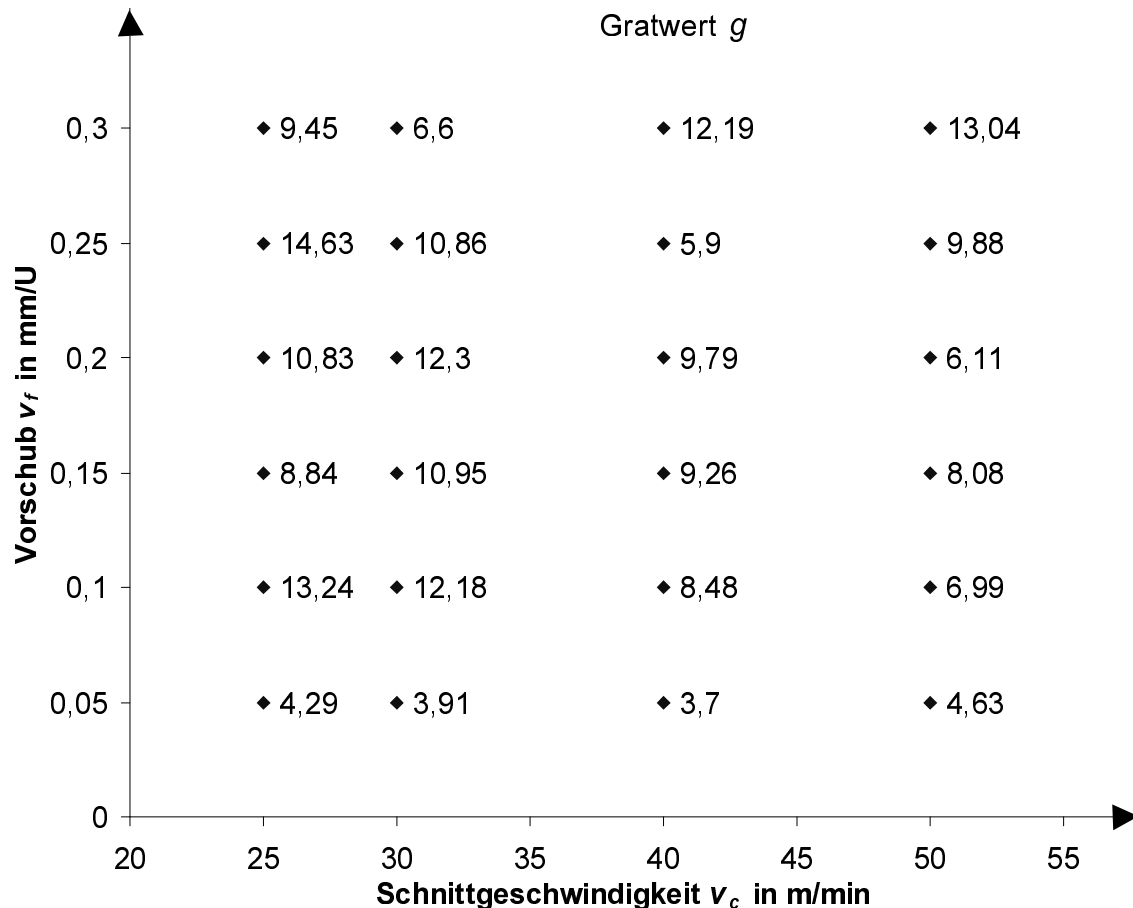


Bild 6.1-7: Gratwert g bei Schnittgeschwindigkeiten von 25 bis 50 m/min⁶

Die Entscheidungen über Schnittgeschwindigkeit und Vorschub werden von zahlreichen Größen beeinflusst, meistens jedoch von Werkstofftyp, Werkzeugeigenschaften, Zeitanforderungen und Gratbildung. Für das folgende Beispiel sollen für die Operation „Bohren ins Volle“ Werkstoff, Werkzeug und Schnittgeschwindigkeit bereits festgelegt sein. Die geforderten Werte entsprechen dabei denen in Bild 6.1-7, die Schnittgeschwindigkeit soll 60 m/min betragen.

⁶ Bohren mit einem Spiralbohrer DIN 340, Typ N, $D = 8$ mm, Schneidstoff S6-5-2 mit Kegelmantel-Anschliff in Werkstoff Ck 45 N.

Die Eingangsgrößen für das Ähnlichkeitsmaß sind die Abweichung der Schnittgeschwindigkeit Δv_c , der in dem Fall erzielte Gratwert g und der Betrag des Vorschubs v_f , der die benötigte Zeit beeinflusst. Mögliche Funktionen zur Aufbereitung sind zum Beispiel:

$$f_6 = 1 - \frac{\Delta v_c}{\Delta v_c + 5 \frac{m}{\min}}$$

$$f_7 = \begin{cases} 1 - \frac{g}{10} & \text{für } g < 10 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$f_8 = \frac{v_f}{v_f + 0,05 \frac{mm}{U}}$$

Je nach dem, welche Gewichtungsfaktoren für diese Größen gewählt werden, stammen die mit dem Ähnlichkeitsmaß ausgewählten Fälle aus anderen Bereichen (Bild 6.1-8).

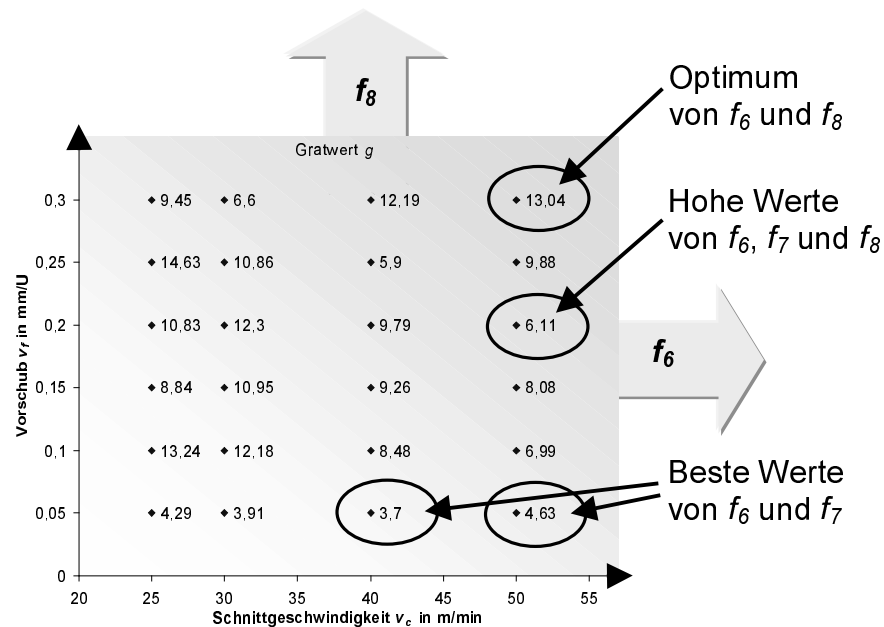


Bild 6.1-8: Gewählte Fälle abhängig von der Gewichtung der Eingangsgrößen des Ähnlichkeitsmaßes

Bei einer ausgewogenen Wahl der Gewichtungsfaktoren ist der Fall mit dem höchsten Wert des Ähnlichkeitsmaßes das mit einem Vorschub von 0,2 mm/U. Falls Regeln für eine Adaption an die höhere Schnittgeschwindigkeit von 60 m/min existieren, können diese nun angewendet werden.

Die Gratbildung hängt von zahlreichen Faktoren ab. Werden lediglich Schnittgeschwindigkeit und Vorschub verändert, ergeben sich stets Bereiche, in

denen ähnliche Gratbildung auftritt /Min-99/. Für die hier betrachtete Kombination aus Werkzeug und Werkstoff soll die Erfahrung genutzt werden, daß bei einem Vorschub von mehr als 0,05 mm/U eine ähnliche Gratbildung erzielt wird, wenn gleichzeitig die Schnittgeschwindigkeit um 10 m/min erhöht und der Vorschub um 0,05 mm/U abgesenkt wird.

Damit läßt sich eine Wenn-Dann-Regel formulieren, die dem Attribut „Schnittgeschwindigkeit“ der Entscheidung „Vorschub“ zugeordnet wird:

Wenn $v_f > 0,05$ mm/U und $\Delta v_c = x$ m/min,
dann senke v_f um $0,005 \cdot x$ mm/U

Mit dieser Regel verändert sich der ursprüngliche Lösungsvorschlag von 0,2 mm/U auf 0,15 mm/U, da $v_f > 0,05$ mm/U und sich mit $\Delta v_c = 10$ m/min eine Absenkung um $0,005 \cdot 10$ mm/U = 0,05 mm/U ergibt.

Der Vergleich mit den entsprechenden Ergebnissen der Bohrversuche bei 60 m/min zeigt eine klare Verringerung der Gratbildung von 9,66 bei 0,2 mm/U auf 5,9 bei 0,15 mm/U. Allerdings waren zum Erzielen dieser Lösung genaue Kenntnisse der Gratbildung in diesem Wertebereich erforderlich.

6.2 Bewertung

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß mit dem Assistenzsystem in so unterschiedlichen Szenarien wie der Arbeitsplanung für die Großserienfertigung eines Zylinderkopfes und der Gratminimierung bei Bohrversuchen sinnvolle Ergebnisse erzielt werden können. Außerdem war dafür jeweils nur eine geringe Datenmenge notwendig. Das Assistenzsystem ist auch offensichtlich in der Lage, mehrere Entscheidungen zu unterstützen und erzielt dabei zusätzliche Vorteile. Der Benutzer des Assistenzsystem erhält Informationen, die aus Erfahrungen erzeugt wurden, die für die aktuelle Entscheidung relevant sind. Details zu den gespeicherten Erfahrungen lassen sich einfach abrufen.

Von potentiellen Anwendern⁷ wurde die Bedienung und das Verhalten des Assistenzsystems durchweg positiv beurteilt. Als besonders vorteilhaft wurde die Möglichkeit eingeschätzt, die Arbeitsweise des Assistenzsystems nachzuvollziehen und die Lösungsvorschläge dadurch einschätzen zu können. Außerdem werden die Informationen über den Urheber der den Lösungsvorschlägen zugrunde liegenden Fälle als sehr wichtig beurteilt.

Die Administrierung des Assistenzsystem ist durch die Nutzung des fallbasierten Schließens und seinen modularen Aufbau relativ einfach. Da die meisten Informationen in einer Datenbank abgelegt sind, können über Abfragen oder Filter beispielsweise veraltete oder nicht mehr genutzte Informationen leicht gefunden werden. Die relativ geringe Bedeutung einzelner Fälle für das Ergebnis des fallbasierten Schließens schafft zudem eine große Toleranz gegenüber Fehleingaben und Administratorfehler.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß es gelungen ist, alle Anforderungen an das Assistenzsystems aus Kapitel 3.1 umzusetzen:

- 1) Verschiedene Entscheidungen werden unterstützt.
- 2) Erfahrungen werden mit ihrem Kontext situativ bereitgestellt.
- 3) Eine Verbesserung der Kommunikation mit Konstruktion und Fertigung wurde erreicht.
- 4) Entscheidungen, Änderungen, Kommentare und Erfahrungen werden umfassend protokolliert.
- 5) Die Lösungsvorschläge des Assistenzsystems basieren stets auf den aktuell vorhandenen Informationen.
- 6) Widersprüche zu anderen Lösungen sind möglich.
- 7) Das Verhalten des Assistenzsystems ist nachvollziehbar.
- 8) Die Wartbarkeit wurde deutlich verbessert.

Die dabei genutzten Erweiterungen gegenüber herkömmlichen fallbasierten Systemen sind in Bild 6.2-1 dargestellt.

⁷ Befragt wurden 10 Arbeitsplaner und NC-Programmierer aus unterschiedlichen Tätigkeitsgebieten.

Vorgehensweise beim fallbasierten Schließen nach dem Stand der Technik	Erweiterungen im Assistenzsystem
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ein Problem ist zu lösen. 2. Das Problem wird mit den Fällen in der Fallbasis verglichen. Mit Hilfe eines problemspezifischen Ähnlichkeitsmaßes werden die Fälle bewertet und der oder die Ähnlichsten ermittelt. 3. Mit Hilfe von gespeichertem Problemlösungswissen werden aus den ähnlichsten Fällen Lösungen für das aktuelle Problem konstruiert. 4. Die Lösungen werden auf ihre Plausibilität geprüft und dem Benutzer präsentiert. 5. Der Benutzer entscheidet sich für eine Lösung. 6. Das Assistenzsystem speichert die Lösung des Benutzers mit dem aktuellen Problem in der Falldatenbank. 7. Der Benutzer testet die gefundene Lösung in der Praxis. 8. Gegebenenfalls sind Modifikationen erforderlich. Diese können zu Änderungen in der Fallbasis führen. 	<p>Auch mehrere Probleme können gelöst werden.</p> <p>Die neuartige, entscheidungsübergreifende Struktur der Fallbasis ermöglicht eine bessere Suche nach ähnlichen Fällen. Die durch das Assistenzsystem erweiterten Informationen über die Fälle können dabei ebenfalls deren Bewertung beeinflussen.</p> <p>Individuell diesem Problem und jeweils einem Attribut der Lösung zugeordnete Regeln dienen zu Anpassung der Lösung.</p> <p>Der Benutzer bekommt zusätzliche Informationen über die Fälle präsentiert und erhält Zugriff auf umfangreichen Recherchefunktionen.</p> <p>Die Entscheidung kann direkt kommentiert werden.</p> <p>Das Assistenzsystem ergänzt beim Abspeichern weiterführende Informationen.</p> <p>Feedback zu der Lösung kann in die Fallbasis eingegeben werden.</p> <p>Änderungen mit Hilfe des Assistenzsystems werden erkannt und führen zu Aktualisierungen.</p>

Bild 6.2-1: Erweiterungen des Assistenzsystems gegenüber dem Stand der Technik

Die Integration des Assistenzsystems in ein CAD/CAM-System und die Einführung in verschiedenen Unternehmensbereichen wird die Untersuchung weiterführender Fragestellungen ermöglichen. Diese umfassen zum Beispiel den Einfluß der Rohteilgeometrie sowie die Auswirkungen von Interaktionen zwischen Features, wie Überschneidungen und Toleranzbedingungen.

7 Ausblick

Das Zusammenwachsen der betrieblichen Informationssysteme schafft ein erhebliches Potential für Systeme, die Informationen aus unterschiedlichen Quellen integrieren, bewerten und gezielt bereitstellen können. Das beschriebene Assistenzsystem kann mit diesen Funktionen die Arbeitsplanung unterstützen. Da es die Daten zentral in einer eigenen Datenbank speichert, ist die Nutzung des Assistenzsystems mit unterschiedlichsten Hard- und Softwareplattformen von mehreren Standorten aus möglich. Damit wird die Nutzung von Daten aus verschiedenen Unternehmensbereichen ermöglicht, selbst wenn diese mit unterschiedlichen Arbeitsplanungssystemen arbeiten. Die aus diesen oder anderen Bereichen gewonnenen Daten können sowohl zur automatischen Bewertung von Entscheidungsalternativen in der Arbeitsplanung als auch zur gezielten manuellen Recherche genutzt werden.

Der unternehmensweite Einsatz des Assistenzsystems erhöht die Transparenz der Entscheidungen und schafft nicht nur eine Übersicht der jeweils verwendeten Fertigungsstrategien, sondern darüber hinaus über die Anbindung weiterer Systeme aus Kostenrechnung und Qualitätssicherung einen direkten Vergleich der erzielten Ergebnisse. Eine daraus resultierende Orientierung an der jeweils besten Lösung schafft die Möglichkeit einer unternehmensweiten Vereinheitlichung der besten Vorgehensweise und der dazugehörigen Werkzeuge und Parameter. Dies ist vor allem bei internationalen Konzernen von großer Bedeutung, da herkömmliche Kommunikationsmittel durch unterschiedliche Kulturen, Sprachen und Zeitzonen behindert werden.

Die Informationen in der Fallbasis des Assistenzsystems lassen sich aber auch von Systemen nutzen, die außerhalb der Arbeitsplanung eingesetzt werden. Die real erzielbaren Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe an den verschiedenen Werkzeugen und Maschinen sind direkt in der Fertigung nutzbar und können auch zusammen mit den Haupt- und Werkzeugstandzeiten beim Einkauf weiterer Maschinen und Werkzeuge verwendet werden. Außerdem kann das Speichern der jeweils entstandenen Fertigungskosten in den Fallbeispielen eine Grundlage für ein

konstruktionsbegleitendes Kosteninformationssystem bilden. Dieses kann für jedes Feature anhand der jeweils am besten bewerteten Entscheidungsalternative die aus den aktuellen Parametern resultierenden Kosten ermitteln und als Grundlage für weitere Berechnungen nutzen.

Durch die leichte Übertragbarkeit des Assistenzsystems auf unterschiedliche Aufgabenstellungen ist auch ein Einsatz in Bereichen außerhalb der Arbeitsplanung denkbar. Hier bieten sich vor allem angrenzende Bereiche wie die Qualitätssicherung an, da dann durch eine direkte Anbindung an die Fallbasis der Arbeitsplanung die bereits dargestellten Vorteile realisiert werden können.

Der Einsatz des Assistenzsystems geht aber auch mit gewissen Risiken einher. Die leichte Verfügbarkeit von Daten erleichtert nicht nur deren Nutzung sondern auch deren Mißbrauch. Daher sollten besondere Vorkehrungen zum Schutz der personenbezogenen Daten und zur Vermeidung eines unbeabsichtigten Know-how-Transfers getroffen werden.

Eine Integration des Assistenzsystems in ein CAD/CAM-System ermöglicht weitere Optimierungen. Diese betreffen besonders Synergien mit vorhandenen Regelwerken. Hierbei läßt sich der modulare Aufbau und die einfache Erweiterbarkeit der zum Patent /Gerken-00b/ angemeldeten Technologie des Assistenzsystems nutzen.

8 Zusammenfassung

Komplexe Entscheidungssituationen in der Arbeitsplanung werden von herkömmlichen Systemen nur unzureichend unterstützt. Dies gilt im besonderen für widersprüchliche Erfahrungen, ungenaues Wissen, Änderungen durch neue Technologien und Verbesserungen vorhandener Lösungen. Die Beseitigung der bestehenden Defizite bei Dokumentation und Kommunikation von Erfahrungen, die in der Arbeitsplanung gemacht wurden, wird durch die bisherigen Systeme ebenfalls nur geringfügig vorangetrieben.

Mit dieser Motivation wurde ein Assistenzsystem zur interaktiven Beratung des Arbeitsplaners entwickelt. Als geeignete Vorgehensweise, um den genannten Anforderungen gerecht zu werden, erwies sich dabei das fallbasierte Schließen. Dieses löst neue Probleme, indem die Lösungen bekannter Fragestellungen auf diese übertragen werden. Dabei ist kein umfassendes explizites Wissen oder eine vollständige Modellierung des Anwendungsgebiets erforderlich. Allerdings wird eine genügende Zahl an vorhandenen Erfahrungen vorausgesetzt, damit sinnvolle Ergebnisse erzielt werden können. Diese Zahl hängt von der Menge verschiedenartiger Probleme im konkreten Anwendungsfall ab. Damit der Benutzer die Vorgehensweise des fallbasierten Schließens akzeptiert, sollte sein Denken in der jeweiligen Entscheidungssituation stärker von Erfahrungen als von Regeln geleitet werden.

Durch das systematische Speichern von Erfahrungen kann das Assistenzsystem dem Bediener auch Lösungen vorschlagen, die diesem entfallen oder unbekannt sind, da sie von einem Kollegen erarbeitet wurden. Existieren noch keine Lösungen für ein gleichartiges Problem, kann das Assistenzsystem ähnliche identifizieren und deren Lösungen auf das aktuelle Problem übertragen. Ausnahmen, Fehler und Widersprüche können dabei ohne Schwierigkeiten behandelt werden und resultieren in verschiedenartigen Lösungsvorschlägen.

Das fallbasierte Schließen wurde bereits in zahlreichen Anwendungsgebieten eingesetzt. Dabei ergaben sich häufig lange Antwortzeiten, die aus einer

umfangreichen Suche in den vorhandenen Erfahrungen resultierten, und Probleme bei der Übertragung von bekannten Lösungen auf die aktuelle Fragestellung. Diese Schwierigkeiten konnten für das hier entwickelte Assistenzsystem gelöst werden, indem aufbauend auf ein Feature-basiertes Informationsmodell die Übertragbarkeit der gespeicherten Lösungen durch die geeignete Definition und Beschreibung der Entscheidungssituationen gesteigert wurde. Außerdem ermöglicht die neuartige Strukturierung der vom Assistenzsystem gespeicherten Erfahrungen praxiserichte Antwortzeiten.

Darüber hinaus ermöglicht das Assistenzsystem die Verknüpfung der gespeicherten Erfahrungen mit verschiedenartigen weiteren Informationen. Dies kann auf unterschiedliche Art genutzt werden. Wird zum Beispiel automatisch das jeweilige Datum von Generierung und Nutzung der Erfahrungen mit diesen verknüpft, lassen sich veraltete Lösungen relativ leicht identifizieren. Das zusätzliche Speichern der Bearbeiter eröffnet die Möglichkeit, Ansprechpartner anzeigen zu können. Verknüpfungen mit Kosteninformationen können das Erkennen wirtschaftlicher Entscheidungen erleichtern.

Das Assistenzsystem dokumentiert die Entscheidungen des Bearbeiters, ergänzt sie automatisch mit im System vorhandenen Informationen und legt sie gegebenenfalls zusammen mit den manuellen Ergänzungen des Bedieners strukturiert in einer Datenbank ab. Änderungen werden vom Assistenzsystem erkannt, um den Anteil fehlerhafter Lösungen in der Datenbank gering zu halten. Eine statistische Auswertung der Datenbank ermöglicht die Identifikation von häufig auftretenden Problemen und der jeweils bestmöglichen Lösungen, die entsprechend gekennzeichnet werden.

Diese Vorgehensweise des Assistenzsystems läßt sich auf viele Entscheidungssituationen nicht nur im Bereich der Arbeitsplanung anwenden. Durch die Vernetzung der jeweiligen Erfahrungen in einer gemeinsamen Datenbank lassen sich zahlreiche Vorteile erzielen, wie zum Beispiel eine höhere Transparenz der Auswirkungen von Entscheidungen und eine durchgängige Unterstützung der Bediener.

Die Datenbank, die sich mit Hilfe der entwickelten Vorgehensweise aufbauen läßt, bietet weitreichende Informationen über Entscheidungen, deren Kontext und Auswirkungen. Diese stehen für das Assistenzsystem oder andere Programme an unterschiedlichsten Standorten zum Abruf bereit. Damit wird nicht nur die vorhandenen Informationen an den verschiedenen Arbeitsplätzen qualitativ und quantitativ verbessert, sondern auch die Kommunikation zwischen den Nutzern des Assistenzsystems aus den unterschiedlichen Unternehmensbereichen optimiert.

Die Validierung des Assistenzsystems zeigt, daß die erwarteten Ergebnisse erzielt werden. Erfahrungen aus der praktischen Erprobung zeigen die hohe Akzeptanz bei den Benutzern. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, daß die Vorgehensweise des Assistenzsystems für sie weitgehend nachvollziehbar ist. Aufbauend auf diesen Ergebnissen ist eine Integration des Assistenzsystems in das CAD/CAM-System CATIA V5 als Grundlage für einen Einsatz in der Großindustrie vorgesehen.

Eine vollständige Integration des Assistenzsystems in alle verwendeten CAD/CAM-Systeme und die Vernetzung mit weiteren IT-Systemen sind die Voraussetzungen für seinen erfolgreichen unternehmensweiten Einsatz. Dieser ermöglicht nicht nur eine neuartige Qualität in der Entscheidungsunterstützung, sondern verbessert zusätzlich den Informationsaustausch. Dabei wird der Schutz der im Assistenzsystem gespeicherten Daten von besonderer Bedeutung sein.

Literatur

- /AamodtPlaza-94/
 Aamodt, A.; Plaza, E.
 Case based reasoning:
 Foundational issues,
 methodological variations and
 system approaches
 AI Communications 7 (1994) 1,
 S. 39-59
- /Abeln-90/
 Abeln, O.
 Die CA..-Techniken in der
 industriellen Praxis
 Hanser, München, Wien, 1990
- /AllenPattersonMulvennaHughes-95/
 Allen, J.; Patterson, D.;
 Mulvenna, M.; Hughes, J.
 Integration of case-based
 retrieval with a relational
 database system in aircraft
 technical support
 In: Veloso, M.; Aamodt, A.
 (Hrsg.): Case-based reasoning
 research and development.
 Proceedings of the first
 international conference on CBR
 Springer, Berlin, Heidelberg, New
 York, 1995, S. 1-10
- /AltenkrügerBüttner-92/
 Altenkrüger, D.; Büttner, W.
 Wissensbasierte Systeme
 Vieweg, Braunschweig,
 Wiesbaden, 1992
- /AnderlMendgen-97/
 Anderl, R.; Mendgen, R.
 Konstruktionselemente in
 parametrischen 3D-CAD-
 Systemen
 In: VDI-Berichte Nr. 1322, 1997,
 S. 293-312
- /AnderlPollyStaub-97/
 Anderl, R.; Polly, A.; Staub, G.
 Produktqualität durch
 Konstruktionsqualität
 Hrsg.: DIN Deutsches Institut für
 Normung e.V.
 Beuth, Berlin, Wien, Zürich, 1997
- /AWF-85/
 AWF - Ausschuß für
 wirtschaftliche Fertigung e.V.
 Integrierter EDV-Einsatz in der
 Produktion - Begriffe,
 Definitionen,
 Funktionszuordnungen
 Eschborn, 1985
- /Bench-90/
 Bench-Capon, T.
 Knowledge Representation
 Academic Press, London, 1990
- /BergmannBreen-99/
 Bergmann, R.; Breen, S.; Göker,
 M.; Manago, M.; Wess, S.
 Developing industrial case based
 reasoning applications
 Springer, Berlin, Heidelberg, New
 York, 1999
- /BergmannWilke-96/
 Bergmann, R.; Wilke, W.
 On the role of abstraction in case-
 based reasoning
 In: Smith, I.; Faltings, B. (Hrsg.):
 Advances in case-based
 reasoning. Proceedings of the
 third european workshop on CBR
 Springer, Berlin, Heidelberg, New
 York, 1996, S. 28-43
- /BernsKolb-94/
 Berns, K.; Kolb, T.
 Neuronale Netze für technische
 Anwendungen
 Springer, Berlin, Heidelberg, New
 York, 1994

- /BöhleRose-90/
Böhle, F.; Rose, H.
Erfahrungsgelenkete Arbeit bei
Werkstattprogrammierung -
Perspektiven für Programmier-
verfahren und Steuerungs-
techniken
In: Rose, H. (Hrsg.):
Programmieren in der Werkstatt
Campus Verlag, Frankfurt, New
York, 1990
- /Bös-94/
Bös, K.
Integration der Qualitäts-
entwicklung in featurbasierte
CAD/CAM Prozeßketten
Dissertation, Universität
Karlsruhe (TH), 1994
- /Bolte-93/
Bolte, A.
Planen durch Erfahrung
Dissertation, Universität Kassel,
1993
- /BradburnZelezchnikow-93/
Bradburn, C.; Zelezchnikow, J.
The application of case-based
reasoning to the tasks of health
care planning
In: Wess, S.; Althoff, K.-D.;
Richter, M. (Hrsg.): Topics in
case-based reasoning
Selected papers of the first
european workshop on CBR
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1993, S. 365-378
- /Braun-90/
Braun, M.
Konzepte der CAD/PPS-
Kopplung
Dissertation, Technische
Hochschule Aachen, 1990
- /BullingerWarschatPrietoWörner-98/
Bullinger, H.-J.; Warschat, J.;
Prieto, J.; Wörner, K.
Wissensmanagement-Anspruch
und Wirklichkeit: Ergebnisse
einer Unternehmensstudie in
Deutschland
In: Information Management 1/98,
S. 7-23
- /BullingerWörnerPrieto-97/
Bullinger, J.; Wörner, K.;
Prieto, J.
Wissensmanagement heute
Fraunhofer-Institut für
Arbeitswirtschaft und
Organisation, Stuttgart, 1997
- /BullingerWörnerPrieto-98/
Bullinger, J.; Wörner, K.;
Prieto, J.
Wissensmanagement - Modelle
und Strategien für die Praxis
In: Bürgel, H. (Hrsg.):
Wissensmanagement. Springer,
Berlin, Heidelberg, New York,
1998, S. 21-40
- /Bundy-86/
Bundy, A. (Hrsg.)
Catalogue of artificial intelligence
techniques. 3. Auflage.
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1986
- /Buntine-92/
Buntine, W.
Tree classification software
Presented at the third national
technology transfer conference
and exposition, Baltimore, 1992
- /Burghardt-96/
Burghardt, J.
Unterstützung der NC-
Verfahrenskette durch ein
bearbeitungselementorientiertes,
lernfähiges Technologieplanungs-
system
Dissertation, Universität
Karlsruhe (TH), 1996

- /BurghardtFleissner-96/
Burghardt, J.; Fleissner, F.;
Spath, D.; Uhlig, A.
Verrichtungsorientierte
Prüfplanung
Qualität und Zuverlässigkeit (QZ)
41 (1996) 1, S. 60-63
- /BuschHerrmannJustRittenbruch-94/
Busch, B.; Herrmann, T.; Just, K.;
Rittenbruch, M.
Systeme für Experten statt
Expertensysteme
Infix, Sankt Augustin, 1994
- /Chen-93/
Chen, P.
Setup generation and feature-
sequencing using an
unsupervised learning algorithm
In: Wang, J.; Takefuji, Y.: Neural
networks in design and
manufacturing.
World Scientific, Singapore, New
Jersey, London, Hong Kong,
1993, S. 135-162
- /Chorafas-90/
Chorafas, D.
Knowledge engineering
Van Nostrand Reinhold,
New York, 1990
- /ClarkFujimoto-92/
Clark, K.; Fujimoto, T.
Automobilentwicklung mit
System: Strategie, Organisation
und Management in Europa,
Japan und USA
Campus Verlag, Frankfurt, New
York, 1992
- /DIN-32869/
Dreidimensionale CAD-Modelle.
Entwurf.
DIN Deutsches Institut für
Normung e.V., Berlin, 2000
- /Domazet-90/
Domazet, D.
The automatic tool selection with
the production rules matrix
method
Annals of the CIRP,
Vol. 39 / 1/ 1990, S. 497-500
- /ErveKals-86/
Erve, A.; Kals, H.
XPLANE, a generative computer
aided process planning system
for part manufacturing
Annals of the CIRP,
Vol. 35 / 1/ 1986, S. 325-329
- /Eversheim-97/
Eversheim, W.
Organisation in der
Produktionstechnik. Band 3:
Arbeitsvorbereitung, 3. Auflage
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1997
- /EversheimDahlSpennath-89/
Eversheim, W.; Dahl, B.;
Spennath, K.
CAD/CAM Einführung
Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1989
- /EversheimDeuse-97/
Eversheim, W.; Deuse, J.
Gestaltung der NC-
Verfahrenskette - Integration
marktgängiger DV-Systeme auf
der Basis eines featurebasierten
Produktdatenmodells
In: VDI-Berichte Nr. 1322, 1997,
S. 195-214
- /EversheimKönigWeckPfeifer-87/
Eversheim, W.; König, W.; Weck,
M.; Pfeifer, T.
Produktionstechnik
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987
- /EversheimMüllerKatzky-94/
Eversheim, W.; Müller, G.;
Katzky, B.R.
NC-Verfahrenskette
Beuth, Berlin, Wien, Zürich, 1994

- /EwertDürr-97/
Ewert, W.; Dürr, H.
Learning rules for sequence generation in production planning
9th European Conference on Machine Learning, Prag, 1997
- /EwertLöbigDürr-97/
Ewert, W.; Löbig, S.; Dürr, H.
Methoden der künstlichen Intelligenz in der featurebasierten Konstruktion und Arbeitsplanung
In: VDI-Berichte Nr. 1332, 1997, S. 83-98
- /FiguraBettendorf-90 /
Figura, W.; Bettendorf, W.
Arbeitspläne mit Expertensystem erstellen. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 85 (1990) 5, S. CA 98-104
- /FleigSchneider-95/
Fleig, J.; Schneider, R.
Erfahrung und Technik in der Produktion
Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1995
- /Fleissner-98/
Fleissner, F.
Prozessorientierte Prüfplanung auf Basis von Bearbeitungsobjekten für die Kleinserienfertigung am Beispiel der Bohr- und Fräsbearbeitung
Dissertation, Universität Karlsruhe (TH) 1998
- /ForsythRada-86/
Forsyth, R.; Rada, R.
Machine learning (applications in expert systems and information retrieval). Ellis Horwood Limited, Chichester, 1986
- /Fuchs-81/
Fuchs, H.
Automatische Arbeitsplanerstellung
Dissertation, Technische Hochschule Aachen, 1981
- /GeißlerWilfert-96/
Geißler, K.; Wilfert, H.
Generative Arbeitsplanung in der Fertigungsindustrie
Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 3/96
- /Gerken-00a/
Gerken, H.
Wissensmanagement mit Object-NC auf Basis von CATIA V5
Kundeninformation der CoC's ITA-PFP und ITA/PFP, Nr. 41, DaimlerChrysler, Stuttgart, 2000
- /Gerken-00b/
Gerken, H.
Verfahren und Assistenzsystem zur Unterstützung der Arbeitsplanung für einen Fertigungsprozeß
Deutscher Patentantrag 10023668.5, Anmeldetag 16.5.00
- /GerkenWeyrich-00a/
Gerken, H.; Weyrich, M.
Automatisierter Erfahrungsaustausch in der CAD/CAM-Prozeßkette
VDI-Z, Special C-Techniken, 2000, S. 27-28
- /GerkenWeyrich-00b/
Gerken, H.; Weyrich, M.
Technologien zum Wissensmanagement in der CAD/CAM-Prozeßkette
Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 11/00, S. 543-546
- /Gissler-99/
Gissler, A.
Wissensmanagement – Steigerung der Entwicklungseffizienz durch eine modellbasierte Vorgehensweise zur Umsetzung von Wissensmanagement in der Produktentwicklung
Dissertation, Universität Kaiserslautern, 1999

- /GiustiSantochiDini-89/
Giusti, F.; Santochi, M.; Dini, G.
KAPLAN: A Knowledge-based approach to process planning of rotational parts
Annals of the CIRP, 38 (1989) 1, S. 481-484
- /Glockner-99/
Glockner, C.
Integration von Facharbeiter-Erfahrungswissen auf Basis von Fertigungsfeatures
Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 1999
- /GMA-89/
VDI/VDE-Gesellschaft Meß- und Automatisierungstechnik (GMA), Ausschuß 4.2.3
Wissensbasierte Systeme
Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1989
- /Göker-98/
Göker, M.
Attribute types and the adaptation of technical objects
Sonderdruck vom German workshop on case-based reasoning, Berlin, 1998
- /GökerThompson-00/
Göker, M.; Thompson, C.
The adaptive place advisor: A conversational recommendation system
In: Göker, M. (Hrsg.):
Proceedings of the 8th german workshop on CBR, S. 187-198
- /Görz-93/
Görz, G. (Hrsg.)
Einführung in die künstliche Intelligenz
Addison-Wesley, Bonn, Paris, Reading, 1993
- /Golm-96/
Golm, F.
Gestaltung von Entscheidungsstrukturen zur Optimierung von Produktentstehungsprozessen
Dissertation, Technische Universität Berlin, 1996
- /GrabowskiRude-99/
Grabowski, H.; Rude, S. (Hrsg.)
Informationslogistik: Rechnerunterstützte unternehmensübergreifende Kooperation
Teubner, Stuttgart, Leipzig, 1999
- /Haasis-95/
Haasis, S.
Wissens- und featurebasierte Unterstützung der Konstruktion von Stirnradgetrieben unter besonderer Berücksichtigung des Gußgehäuses
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1995
- /HaasisFrankRommelWeyrich-99/
Haasis, S.; Frank, D.; Rommel, B.; Weyrich, M.
Feature-basierte Integration von Produktentwicklung, Prozeßgestaltung und Ressourcenplanung.
In: VDI-Berichte Nr. 1497, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999
- /HaasisFrankRommelWeyrich-00/
Haasis, S.; Frank, D.; Rommel, B.; Weyrich, M.
Durchgängige Gestaltung der Cax-Prozeßkette auf Basis der Feature-Technologie. In: CAD-CAM Report Nr.1, 2000, S. 32-41
- /HaasisShinPape-99/
Haasis, S.; Shin, H.; Pape, M.
Feature-based end to end scenario „Spark plug hole“
DaimlerChrysler, Stuttgart, Auburn Hills, 1999

- /HammerChampy-94/
Hammer, M.; Champy, J.
Business Reengineering: Die
Radikalkur für das Unternehmen.
4. Auflage. Campus Verlag,
Frankfurt, New York, 1994
- /Hamelmann-95/
Hamelmann, S.
Systementwicklung zur
Automatisierung der
Arbeitsplanung
Dissertation, Universität
Hannover, 1995
- /Hausknecht-89/
Hausknecht, M.
Expertensystem zur
Konfigurationsplanung flexibler
Fertigungsanlagen
Dissertation, Universität
Hannover, 1989
- /Heider-96/
Heider, R.
Troubleshooting CFM 56-3
engines for the Boeing 737 -
using CBR and Data-Mining
In: Smith, I.; Faltings, B. (Hrsg.):
Advances in case-based
reasoning. Proceedings of the
third european workshop on CBR
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1996, S. 512-518
- /Heilmann-98/
Heilmann, H.
Organisatorische Flexibilität im
Unternehmen - Potentiale von
Workflow-Management
In: Bürgel, H. (Hrsg.):
Wissensmanagement. Springer,
Berlin, Heidelberg, New York,
1998, S. 109-128
- /Herrmann-97/
Herrmann, J.
Maschinelles Lernen und
wissensbasierte Systeme
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1997
- /Hoffmann-93/
Hoffmann, N.
Kleines Handbuch neuronale
Netze
Vieweg, Braunschweig,
Wiesbaden, 1993
- /HuberNakhaeizadeh-93/
Huber, K.-P.; Nahaeizadeh, G.
Maschinelle Lernverfahren beim
Wissenserwerb von Diagnose-
Expertensystemen
In: Puppe, F.; Günter, A. (Hrsg.):
Expertensysteme 93
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1993, S. 167-180
- /Hubig-98/
Hubig, C.
Informationsselektion und
Wissensselektion
In: Bürgel, H. (Hrsg.):
Wissensmanagement. Springer,
Berlin, Heidelberg, New York,
1998, S. 3-20
- /Imai-94/
Imai, M.
Kaizen: Der Schlüssel zum Erfolg
der Japaner im Wettbewerb.
12. Auflage, Ullstein, Berlin,
Frankfurt, 1994
- /Isenberg-90/
Isenberg, R.
Wissensbasierte Integration von
Produktionsplanungen in CIM
Dissertation, Technische
Hochschule Aachen, 1990
- /ISO14649/
ISO/TC184/SC1/WG7
ISO 14649: Data model for
Computerized Numerical
Controllers
Entwurf Stand Januar 2000

/Jäger-90/

Jäger, K.-W. (Hrsg.)
CIM-Bausteine - Grundwissen für
Anwendung und Ausbildung,
Teil 1
Hüthig, Heidelberg, 1990

/JüttnerFeller-89/

Jüttner, G.; Feller, H.
Entscheidungstabellen und
wissensbasierte Systeme.
Anwendungen in der
Arbeitsplanung
Oldenbourg Verlag, München,
Wien, 1989

/KawamuraSasakiEndou-90/

Kawamura, H.; Sasaki, T.;
Endou, T.
Expert system for a machine
tools equipped with a NC-
apparatus
Europäischer Patentantrag
88908356.4, Anmeldetag
22.9.1988, Veröffentlicht
11.4.1990

/Klaiber-92/

Klaiber, M.
Produktivitätssteigerung durch
rechnerunterstütztes Einfahren
von NC-Programmen
Dissertation, Universität
Karlsruhe (TH) 1992

/KöhlEsserKemmnerFörster-89/

Köhl, E.; Esser, U.; Kemmner, A.;
Förster, U.
CIM zwischen Anspruch und
Wirklichkeit. Verlag TÜV
Rheinland, Köln, 1989

/König-94/

König, D.
Wissensbasierte Techniken zur
automatisierten
Arbeitsplanerstellung
Dissertation, Universität
Dortmund, 1994

/KönigHennicke-87/

König, W.; Hennicke, L.
Das Produktionsplanungs-
Expertensystem PROPEX
In: Wildemann, H. (Hrsg.):
Expertensysteme in der
Produktion. GfMT, München,
1987, S. 271-296

/Kuhn-92/

Kuhn, R.
Technologieplanungssystem
Fräsen
Dissertation, Universität
Karlsruhe (TH), 1992

/LeakeWilson-99/

Leake, D.; Wilson, D.
When experience is wrong:
Examining CBR for changing
tasks and environments
In: Althoff, K.-D.; Bergmann, R.;
Branting, L. (Hrsg.): CBR
research and development.
Proceedings of the third
international conference on CBR
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1999, S. 218-232

/Lee-89/

Lee, K.; Lee, J.W.; Lee, J.M.
Pattern recognition and process
planning prismatic workpieces by
knowledge based approach
Annals of the CIRP,
Vol. 38 / 1/ 1989, S. 485-488

/Lehner-94/

Lehner, F.
Stand der Wartung von
wissensbasierten Systemen
In: Lehner, F. (Hrsg.): Die
Wartung von wissensbasierten
Systemen. Hänsel-Hohenhausen,
Egelsbach, Frankfurt,
Washington, 1994, S. 3-29

- /LehnerSchick-94/
Lehner, F.; Schick, M.
Die Wartung wissensbasierter
Systeme in der Praxis -
Ergebnisse einer empirischen
Untersuchung
In: Lehner, F. (Hrsg.): Die
Wartung von wissensbasierten
Systemen. Hänsel-Hohenhausen,
Egelsbach, Frankfurt,
Washington, 1994, S. 321-337
- /Leschka-96/
Leschka, S.
Fallbasiertes Störungs-
management in flexiblen
Fertigungssystemen
Dissertation, Universität-
Gesamthochschule Paderborn,
1996
- /Lindberg-93/
Lindberg, L.
Notes on concurrent engineering
Annals of the CIRP,
Vol. 42 / 1/ 1993, Seite 159-162
- /Link-92/
Link, R.
Gratbildung und Strategien zur
Gratreduzierung
Dissertation, Universität Aachen
(TH), 1992
- /LoistlBetz-93/
Loistl, O.; Betz, I.
Chaostheorie
Oldenbourg Verlag, München,
Wien, 1993
- /Lu-89/
Lu, S.
Machine learning techniques for
group technology applications
Annals of the CIRP,
Vol. 38 / 1/ 1989, S. 455-459
- /MaherBalachandranZhang-95/
Maher, M.; Balachandran, M.;
Zhang, D
Case-based reasoning in design
Lawrence Erlbaum Associates,
Mahwah, New Jersey, 1995
- /MalekRialle-94/
Malek, M.; Rialle, V.
Design of a case-based
reasoning system applied to
neuropathy diagnosis
In: Haton, J.-P.; Keane, M.;
Manago, M. (Hrsg.): Advances in
case-based reasoning. Selected
papers of the second european
workshop on CBR
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1994, S. 255-265
- /MalornyKassebohm-94/
Malorny, C.; Kassebohm, K.
Brennpunkt TQM
Schäffer-Poeschel Verlag,
Stuttgart, 1994
- /Mertens-91/
Mertens, E.
Der Nutzen von STEP für die
CAD/NC-Kopplung
CIM-Management 3/91, S. 37-42
- /MichalskiStepp-83/
Michalski, R.; Stepp, R.
Learning from observation:
Conceptual clustering
In Michalski, R., Carbonell, J.,
Mitchell, T., Machine learning: An
artificial intelligence approach.
San Mateo, CA: Morgan
Kaufmann, 1983
- /Min-99/
Min, S.
Drilling Burr Control Chart of Low
Carbon Steel
University of California, Berkeley,
DaimlerChrysler, Stuttgart, 1999

- /MinorHanft-00/
 Minor, M.; Hanft, A.
 Corporate knowledge editing with a life cycle model
 In: Göker, M. (Hrsg.):
 Proceedings of the 8th german workshop on CBR, S. 123-131
- /MitchellCarbonellMichalski-87/
 Mitchell, T.; Carbonell, J.;
 Michalski, R. (Hrsg.)
 Machine learning. A guide to current research. 2. Auflage
 Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, Lancaster, 1987
- /MonostoriBrusselWestkämper-96/
 Monostori, L.; Van Brussel, H.;
 Westkämper, E.
 Machine learning approaches to manufacturing
 Annals of the CIRP,
 Vol. 45 / 2/ 1996, S. 675-707
- /Morik-89/
 Morik, K. (Hrsg.)
 Knowledge representation and organization in machine learning
 Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1989
- /Moulard-98/
 Moulard, C.
 Feature-basierte Produktbeschreibung und Gestaltung der NC-Planung am Beispiel ausgewählter Aggregateteile in der Serienfertigung
 Diplomarbeit, Fachhochschule Esslingen, 1998
- /Munoz-98/
 Munoz-Avila, H.
 Integrating twofold case retrieval and complete decision replay in CAPlan/CBC
 Dissertation, Universität Kaiserslautern, 1998
- /MunozHuellen-95/
 Munoz-Avila, H.; Huellen, J.
 Retrieving cases in structured domains by using goal dependencies
 In: Veloso, M.; Aamodt, A. (Hrsg.): Case-based reasoning research and development
 Proceedings of the first international conference on CBR
 Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1995, S. 241-252
- /Ochi-Okorie-97/
 Ochi-Okorie, A.
 Combining medical records with case-based reasoning in a mixed paradigm design
 In: Leake, D.; Plaza, E (Hrsg.): Case-based reasoning research and development. Proceedings of the second international conference on CBR
 Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1997, S. 94-103
- /OngNee-94/
 Ong, S.; Nee, A.
 Application of fuzzy set theory to setup planning
 Annals of the CIRP,
 Vol. 43 / 1/ 1994, S. 137-144
- /OsakadaYang-91/
 Osakada, K.; Yang, G.-B.
 Neural networks for process planning of cold forging
 Annals of the CIRP,
 Vol. 40 / 1/ 1991, S. 243-246
- /Pantleon-97/
 Pantleon, T.
 Use of CBR for CAD/CAM-Support at Mercedes-Benz
 CBR and Data Mining: Putting the technology to use, London, 1997

/ParkRho-96/

Park, M.-W.; Rho, H.-M.
Generation of modified cutting
condition using neural network for
an operation planning system
Annals of the CIRP,
Vol. 45 / 1/ 1996, S. 475-478

/PaulokatPraegerWeß-92/

Paulokat, J.; Praeger, R.; Weß, S.
CAbPlan - fallbasierte
Arbeitsplanung
In: Messer, T.; Winkelhofer, A.:
Beiträge zum 6.Workshop Planen
und Konfigurieren FORWISS
1992, S. 166-169

/PaulokatWeß-94/

Paulokat, J.; Weß, S.
Planning for machining
workpieces with a partial-order,
nonlinear planner
In: Proceedings of the AAAI Fall
Symposium "Planning and
Learning: On to real Applications"
AAAI Press, 1994

/Pfitzner-93/

Pfitzner, K.
Fallbasiertes Konfigurieren
technischer Systeme
Dissertation, Universität
Hamburg, 1993

/Pham-94/

Pham, D.
Neural networks in engineering
In: Rzevski, G.; Adey, R.; Russell,
D.: Applications of artificial
intelligence in engineering IX.
Proceedings of the ninth
international conference,
Pennsylvania, USA, 1994, S. 3-36

/PrattWilson-85/

Pratt, M.; Wilson, P.
Requirements for support of form
features in a solid modelling
system
CAM-I Final Report, 1985

/PricePegler-95/

Price, C.; Pegler, I.
Deciding parameter values with
case-based reasoning
In: Watson, I. (Hrsg.): Progress in
case based reasoning:
Proceedings of the first UK
workshop. Springer, Berlin,
Heidelberg, New York, 1995,
S. 121-133

/Puppe-91/

Puppe, F.
Einführung in Expertensysteme,
2.Auflage
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1991

/REFA-68/

Ausschuß für wirtschaftliche
Fertigung (AWF); Verband für
Arbeitsstudien (REFA)
Handbuch der Arbeitsvorberei-
tung. Teil 1: Arbeitsplanung
Beuth, Berlin, Köln, Frankfurt,
1968

/Reinartz-00/

Reinartz, T.
Decreasing the help-desk costs
by 50%
Proceedings of the workshop
„Data mining solutions“,
Lämmerbuckel, 2000

/RemboldBienFehrle-90/

Rembold, U.; Bien, A.; Fehrle, L.;
Fischer, H.; Hörmann, K.; König,
H.; Mally, K.; Rohmer, K.
CAM-Handbuch
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1990

/RemboldNnajiStorr-94/

Rembold, U.; Nnaji, B.; Storr, A.
CIM: Computeranwendung in der
Produktion
Addison-Wesley, Bonn, Paris,
Reading, 1994

- /ReyMaassenGabeibBrücher-98/
 Rey, M.; Maassen, A.; Gadeib, A.; Brücher, H.
 Stufenmodell zur Einführung von Wissensmanagement
 In: Information Management 1/98, S. 30-36
- /Rodriguez-91/
 Rodriguez-Lobera, B.
 ReDS: Betriebsmittelplanung in hochdynamischen Fertigungssystemen
 In: Wissensbasierte Systeme in der Praxis. Winkelmann, K. (Hrsg.), Siemens-AG, Berlin, München, 1991, S. 124-131
- /Rohr-91/
 Rohr, M.
 Automatisierte Technologieplanung am Beispiel der Komplettbearbeitung auf Dreh-/Fräszellen. Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), 1991
- /RoseSchulzeMoldaschlSelbSiegel-99/
 Rose, H.; Schulze, H.; Moldaschl, M.; Selb, K.; Siegel, C.
 Funktionsbedarf nutzergerechter Interaktionssysteme
 In: Rose, H.; Schulze, H. (Hrsg.): Innovation durch Kooperation
 Campus Verlag, Frankfurt, New York, 1999, S. 41-82
- /RudePratt-91/
 Rude, S.; Pratt, M.
 Design by features
 In: Grabowsky, H.; Anderl, R.; Pratt, M.: Advanced modelling for CAD/CAM systems
 Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1991, S. 89-93
- /Rudolph-97/
 Rudolph, S.
 On the foundations and applications of similarity theory to case-based reasoning
 Proceedings of the 12th international conference for applications of artificial Intelligence in engineering, Capri, Italien, 1997
- /Rzevski-90/
 Rzevski, G.
 Applications of artificial intelligence in engineering V
 Proceedings of the fifth international conference, Boston, USA, 1990
- /RzevskiAdeyRussell-94/
 Rzevski, G.; Adey, R.; Russell, D.
 Applications of artificial intelligence in engineering IX
 Proceedings of the ninth international conference, Pennsylvania, USA, 1994
- /SandersKettlerHendler-97/
 Sanders, K.; Kettler, B.; Hendler, J.
 The case for graph-structured representations
 In: Leake, D.; Plaza, E (Hrsg.): Case-based reasoning research and development. Proceedings of the second international conference on CBR
 Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1997, S. 245-254
- /Schank-82/
 Schank, R. C.
 Dynamic memory. A theory of reminding and learning in computers and people
 Cambridge University Press, Cambridge, 1982

- /ScheerBoldHagemeyerKraemer-97/
Scheer, A.-W.; Bold, M.;
Hagemeyer, J.; Kraemer, W.
Organisationsstrukturen und
Informationssysteme im Wandel -
Konsequenzen für die
Informationsmodellierung
In: Scheer, A.-W. (Hrsg.):
Organisationsstrukturen und
Informationssysteme auf dem
Prüfstand. Physica-Verlag,
Heidelberg, 1997, S. 3-32
- /Schmid-99/
Schmid, M.
Wissensmanagement im
Innovationsprozess: Ein
empirisch fundierter Beitrag zur
Gestaltung
und Umsetzung des Wissens-
management-Ansatzes im
produktorientierten Ideen-
management bei DaimlerChrysler
Dissertation, Universität Bielefeld,
1999
- /SchmidtSieth-95/
Schmidt, J.; Sieth, T.
Konzepte zur Verwendung
rückgeführter Daten
In: Grabowski, H; Rude, S.;
Zülch, G.: Innovative Produktent-
wicklung und Produktionssystem-
planung. Proceedings zur
Workshopreihe an der Universität
Karlsruhe (TH), 1995, S. 273-284
- /SchmidtWalter-95/
Schmidt, J.; Walter, W.
Ein Konzept zur Erfahrungsdaten-
rückführung
In: Grabowski, H; Rude, S.;
Zülch, G.: Innovative Produktent-
wicklung und Produktionssystem-
planung. Proceedings zur
Workshopreihe an der Universität
Karlsruhe (TH), 1995, S.255-272
- /Schoenenberg-00/
Schoenenberg, M.
Zuverlässiger Fertigungsprozeß
bei Transferstraßen durch
präventive Maßnahmen
Dissertation, Universität Stuttgart,
2000
- /Schützer-95/
Schützer, K.
Integrierte Konstruktions-
umgebung auf der Basis von
Fertigungsfeatures
Dissertation, Universität
Darmstadt (TH), 1995
- /SchulzGlockner-99/
Schulz, H.; Glockner, C.
Handlungsbaustein Programmie-
ren im Interaktionssystem -
Programmerstellung und -
korrektur mit featurebasierten
Bearbeitungsobjekten
In: Rose, H.; Schulze, H. (Hrsg.):
Innovation durch Kooperation
Campus Verlag, Frankfurt, New
York, 1999, S. 157-170
- /SiegelAndersWinz-98/
Siegel, C.; Anders, C.; Winz, G.
Produktionssystem
Patentantrag 19849374.6,
Anmeldetag 19.10.1998
- /Sieth-97/
Sieth, T.
Rechnergestützte
Modellierungsmethodik
zerspantechnologischer Prozesse
Dissertation, Universität
Karlsruhe (TH), 1997
- /SpathBurghardtWalter-95/
Spath, D.; Burghardt, J.;
Walter, W.
Aus Erfahrung gut. Die Rück-
führung von Erfahrungsdaten
verbessert die NC-Programm-
erstellung
Arbeitsvorbereitung (AV) 32
(1995) 4, S. 267-271

- /SpathScharerBarrho-99/
Spath, D.; Scharer, M.; Barrho, T.
Flexible Methodenunterstützung
der Prozeßkette „Vom Markt zum
Produkt“
Zeitschrift für wirtschaftliche
Fertigung 94 (1999) 9, S. 517-
520
- /SpechtWeiss-92/
Specht, D.; Weiss, S.
Model-based Learning for
Diagnostic Tasks
Annals of the CIRP,
Vol. 41 / 1/ 1992, S. 557-560
- /SpurKrause-84/
Spur, G.; Krause, F.-L.
CAD-Technik
Carl Hanser Verlag, München,
Wien, 1984
- /Stender-89/
Stender, J.
Wissenserhebung und –strukturi-
erung in Expertensystemen
Markt&Technik Verlag AG, Haar,
1989
- /Stuernagel-94/
Stuernagel, R.
Offenes adaptives Engineering-
Werkzeug zur automatischen
Erstellung von
entscheidungsunterstützenden
Informationssystemen
Dissertation, Universität
Karlsruhe (TH), 1994
- /Stuckmann-78/
Stuckmann, G.
Bildschirmunterstützte
Arbeitsplanung für
programmgesteuerte
Drehmaschinen
Dissertation, Berlin, Technische
Universität, 1978
- /TönshoffEhrlich-79/
Tönshoff, H.-K.; Ehrlich, H.;
Meyer, K.-D., Prack, K.-W.
Arbeitsplanung im Dialog mit dem
Rechner für die Anforderungen
mittlerer Unternehmen
Ind. Anz. 101 (1979) 73, S. 40-42
- /Ulbrich-96/
Ulbrich, A.
Featureintegrierte
Fertigungsplanung
Dissertation, Technische
Universität Berlin, 1996
- /VajnaWegner-97/
Vajna, S.; Wegner, B.
Features zur Optimierung des
Produktentstehungsprozesses
und der datenverarbeitungs-
technischen Grundlagen.
In: VDI-Berichte Nr. 1322, 1997,
S. 51-62
- /Velooso-93/
Velooso, M.
Prodigy/Analogy: Analogical
reasoning in general problem
solving
In: Wess, S.; Althoff, K.-D.;
Richter, M. (Hrsg.): Topics in
case-based reasoning
Selected papers of the first
european workshop on CBR
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1993, S. 33-52
- /VDI-90/
VDI-Gemeinschaftsausschuß
CIM (Hrsg.)
Rechnerintegrierte Konstruktion
und Produktion. Band 4: Flexible
Fertigung (FFS)
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990
- /Vogt-90/
Vogt, H.
Expertensystem plant
Arbeitsgangfolgen
Arbeitsvorbereitung (AV) 27/4, S.
134-136, 1990

/Warnecke-92/

Warnecke, H.-J.
Die fraktale Fabrik: Revolution
der Unternehmenskultur, 2.
Auflage
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1992

/Watson-95/

Watson, I.
An introduction to case-based
reasoning.
In: Watson, I. (Hrsg.): Progress in
case based reasoning:
Proceedings of the first UK
workshop. Springer, Berlin,
Heidelberg, New York, 1995,
S. 3-16

/Weber-94/

Weber, Gerhard
Fallbasiertes Lernen und
Analogien:
Unterstützung von Problemlöse-
und Lernprozessen in einem
adaptiven Lernsystem
Beltz, Psychologie-Verlags-
Union, Weinheim, 1994

/Weber-Lee-97/

Weber-Lee, R.; Barcia, R.; da
Costa, M.; Filho, I.; Hoeschl, H.;
Bueno, T.; Martins, A.;
Pacheco, R.
A large case-based reasoner for
legal cases
In: Leake, D.; Plaza, E (Hrsg.):
Case-based reasoning research
and development. Proceedings of
the second international
conference on CBR
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1997, S. 190-199

/Weiß-95/

Weiß, Stefan
Fallbasiertes Problemlösen in
wissensbasierten Systemen zur
Entscheidungsunterstützung und
Diagnostik. Grundlagen, Systeme
und Anwendungen.
Dissertation, Universität
Kaiserslautern, 1995

/Weule-93/

Weule, H.
Expertensysteme im industriellen
Einsatz
In: Puppe, F.; Günter, A. (Hrsg.):
Expertensysteme 93
Springer, Berlin, Heidelberg, New
York, 1993, S. 1-12

/WomackJonesRoos-91/

Womack, J.; Jones, D.; Ross, D.
Die zweite Revolution in der
Automobilindustrie:
Konsequenzen aus der
weltweiten Studie aus dem
Massachusetts Institute of
Technology
Campus Verlag, Frankfurt, New
York, 1991

/YangFongKim-98/

Yang, Q.; Fong, P.; Kim, E.
Design patterns for planning
systems
In: Proceedings of the Workshop
on knowledge engineering and
acquisition for planning: Bridging
theory and practice. Pittsburgh,
1998, S. 104-112

/Zahn-98/

Zahn, E.
Wissen und Strategie
In: Bürgel, H. (Hrsg.):
Wissensmanagement. Springer,
Berlin, Heidelberg, New York,
1998, S. 41-52

/ZhangShen-91/

Zhang, S.; Shen, B.
Arbeitspläne mit Expertensystem
erstellen
Zeitschrift für wirtschaftliche
Fertigung 86 (1991) 6, S. 308-
311

/Zons-83/

Zons, K.-H.
Rechnerunterstützte Ermittlung
von Arbeitsvorgangsfolgen auf
der Basis von
bearbeitungstechnologischen
Grundlagen
Dissertation, Technische
Hochschule Aachen, 1983

/ZüstTaiber-90/

Züst, R.; Taiber, J.
Knowledge-based process
planning system for prismatic
workpieces in a CAD/CAM-
environment
Annals of the CIRP,
Vol. 39 / 1/ 1990, S. 493-496

Lebenslauf

Persönliches

Name: Harald Arne Gerken
Geburtsdatum: 12.7.1971
Geburtsort: Stuttgart
Eltern: Heidi und Dietmar Gerken
Familienstand: Verheiratet mit Martina Gerken

Ausbildung

1978 - 1982 Grundschole, Stuttgart
1982 - 1991 Königin-Charlotte-Gymnasium, Stuttgart
1991 - 1992 Wehrdienst in Donauwörth
1992 - 1998 Studium der Technischen Kybernetik an der Universität Stuttgart

Berufstätigkeit

1992 - 1996 Praktika in verschiedenen Industriebetrieben
1997 - 1998 Studien- und Diplomarbeit im Bereich Verfahrensentwicklung der Daimler-Benz AG, Stuttgart
1998 - 2000 Doktorand im Bereich Information Technology Automotive der DaimlerChrysler AG, Stuttgart
Seit 2001 DV-Organisator im Bereich Fahrzeugentwicklung der DaimlerChrysler AG, Stuttgart