

BMBF-Programm „Produktion 2000“  
**Schlußbericht**  
(wird auf Anfrage Dritten zur Verfügung gestellt)

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) Nobelstr. 12 70569 Stuttgart	Förderkennzeichen:  02PV4901
Titel des Vorhabens:  Digitalisierung, Visualisierung, Virtualisierung – Von der virtuellen Welt in die reale Produktion – Entwicklung eines Arbeitsplatzes der Zukunft	
Projektleiter: Dr.-Ing. Bernhard Klumpp	Tel.: 0711/970-1581
Laufzeit des Vorhabens:  von: 01.03.2000                      bis: 31.10.2000	

Verfassen Sie bitte einen kurzen **Schlußbericht** (max. 4-6 Seiten) zu Ihrem Vorhaben unter Verwendung nachfolgender Gliederung und fügen diesen als **Anlage** bei:

1. Aufgabenstellung
2. Voraussetzung unter der das Vorhaben durchgeführt wurde  
(z.B. Ressourcen, Einbindung in die Unternehmensstrategie, Vorarbeiten und Vorkenntnisse, etc.)
3. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens
4. Planung und Ablauf des Vorhabens  
(z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)
5. Erzieltes Ergebnis (ggf. durch Bilder, Diagramme oder Grafiken ergänzen)
6. Nutzen für das Unternehmen
7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes
8. Darstellung des während des Vorhabens bekanntgewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen
9. Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc.

\_\_\_\_\_  
Ort und Datum

\_\_\_\_\_  
Rechtsverbindliche Unterschrift

\_\_\_\_\_  
Stempel

# Abschlußbericht

## 1. Aufgabenstellung

Innerhalb der an das Leitprojekt „Integrierte Virtuelle Produktentstehung IVIP“ angehängten Aktivität „Digitalisierung, Visualisierung, Virtualisierung“ sollte ein Pilot aufgebaut werden, der die Produktentstehung und –optimierung prozeßseitig mit Ankopplung der realen Maschine ermöglicht. Hintergrund ist die schnelle Übertragung der Modelle im Rechner auf die Maschine und die Datenakquisition aus der realen Steuerung. Ein bidirektionaler, echtzeitfähiger Datenfluß zwischen Maschine und Arbeitsplatz spielte dabei die zentrale Rolle. Zusätzlich waren vor dem Hintergrund der Fernadministration der realen Maschine entsprechende Kommunikationsstrategien zu evaluieren und zu implementieren. Eventuelle kritische Punkte sollten dabei identifiziert und mögliche Lösungswege aufgezeigt werden. Abschließend wurde das Projekt auf dem Global Dialogue während der EXPO 2000 in Hannover vorgestellt.

## 2. Voraussetzung unter der das Vorhaben durchgeführt wurde (z. B. Ressourcen, Einbindung in die Unternehmensstrategie, Vorarbeiten und Vorkenntnisse etc.)

Voraussetzungen für die Abwicklung des Projektes war eine enge Kooperation mit der Fa. Hüller Hille GmbH, die für dieses Projekt ein Bearbeitungszentrum des Typs Specht Z 500 zur Verfügung stellt. Zur effektiven Bearbeitung des Projektes waren Kenntnisse im Bereich der Produktions- und Automatisierungstechnik, Virtual Reality, Mensch-Maschine-Interaktion sowie technische Visualisierung erforderlich. Durch das Fraunhofer IPA wurden die Kapazitäten und das Know-how eingebracht.

## 3. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens

Das Fraunhofer IPA beschäftigt sich schon seit geraumer Zeit mit Virtual Reality Anwendungen zur technischen Visualisierung von einzelnen Geräten bis hin zu kompletten Produktionsanlagen. Ebenfalls werden integrative Arbeiten durchgeführt, die eine Kombination einer reinen Visualisierung mit Simulation von SPS oder Materialfluß beinhalteten. Andererseits existiert im Bereich der Gerätetechnikentwicklung umfassende Kompetenz durch die Quervernetzung von Branchen wie z. B. Medizintechnik, Biopharma oder auch Lebensmittel. Durch das Vorhaben konnten beide Bereiche erstmals zusammengeführt und integriert werden. Dadurch ergaben sich Erkenntnisse, die hauptsächlich die Gestaltung der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, Standardisierungsanforderungen der Steuerungssysteme und die Datenhandhabung betrifft.

## 4. Planung und Ablauf des Vorhabens (z. B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung etc.)

Das Projekt mit acht Monaten Laufzeit wurde am 01. März 2000 gestartet. Die Zielsetzung, eine Werkzeugmaschine via „Long Distance“-Daten-Verbindung anzusteuern, Prozesse zu beeinflussen und zu überwachen, erforderte grundlegende Arbeiten in vier wesentlichen Themenkomplexen:

- Art und Typ der eingesetzten Steuerung und ihre Merkmale des Datentransfers
- Aufbau eines Kommunikationssystems zwischen Steuerung und Visualisierung

- Entwicklung und Implementierung einer Schnittstelle zur Interaktion zwischen Maschine und Bediener
- Visualisierung der Maschine und der entsprechenden Peripherie

Die notwendigen Arbeiten zur Programmierung der Anbindungen der Steuerung und Kommunikation mit der Werkzeugmaschine erfolgten am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA). Desweiteren wurde die Werkzeugmaschine mit all ihren technischen Zusammenhängen als virtuelles Modell visualisiert.

Die vorgesehenen Arbeitspakete im Rahmen des beantragten Vorhabens gliederten sich wie folgt:

#### *Programmierung*

Im Rahmen der Programmierung wurden alle Arbeiten zusammengefaßt, die notwendig waren, um für die steuerungstechnischen Aspekte auf der Maschinenseite sowie die Ein-/Ausgabe an der Mensch-Maschine-Schnittstelle und die Umsetzung für die Visualisierung der einzelnen Vorgänge eine gemeinsame, wenn möglich modulare Plattform zu entwickeln und zu implementieren.

#### *Visualisierung*

Die Benutzereingriffe sollten für den Bediener nachvollziehbar gemacht werden. Hierzu waren die relevanten Teilsysteme der Werkzeugmaschine in ein virtuelles Modell zu übertragen und die technologischen Zusammenhänge zu berücksichtigen. Hinzu kam die Visualisierung von relevanten Maschinendaten (z. B. Schnittgeschwindigkeit, Drehzahl, ...), die es dem Bediener ermöglichten den Zustand der Maschine zu beobachten und ihm eine mögliche Instabilität der Prozesse mitteilen.

#### *Kommunikationssystem, Mensch-Maschine-Schnittstelle*

Die Konfigurierung und der Eingriff in die Prozesse wurde über eine neu zu entwickelnde Mensch-Maschine-Schnittstelle verwirklicht. Dabei wurde eine graphische Benutzerschnittstelle (GUI) entwickelt, in der sowohl das funktionale und das logische Schema der Interaktionsmöglichkeiten als auch die Anbindung an das Hauptprogramm implementiert war.

#### *Aufbau des Piloten und Test*

Der Aufbau des Piloten erfolgte im Vorfeld am Fraunhofer IPA und auch bei der Fa. Hüller Hille GmbH. Hier wurden umfangreiche Testläufe abgewickelt, die unter realen Bedingungen stattfanden, d. h. es wurde zahlreiche Aufträge über den Fernzugriff generiert und auf der Werkzeugmaschine bearbeitet.

#### *Präsentation*

Im Juli wurde das Projekt während dem Global Dialogue (11.07.-13.07.2000) auf der EXPO 2000 in Hannover vorgestellt (s. Bilder nächste Seite). Der Ausstellungsort befand sich im dortigen Convention Center (TCM), wo sich das Fraunhofer IPA zusammen mit dem Fraunhofer IPK präsentierte. Hintergrund war die Darstellung der Aktivität im Gesamtrahmen IViP, welche sehr gut gelungen war. Insgesamt ist ein sehr positives Fazit bzgl. der Präsentation des Projektes zu ziehen.

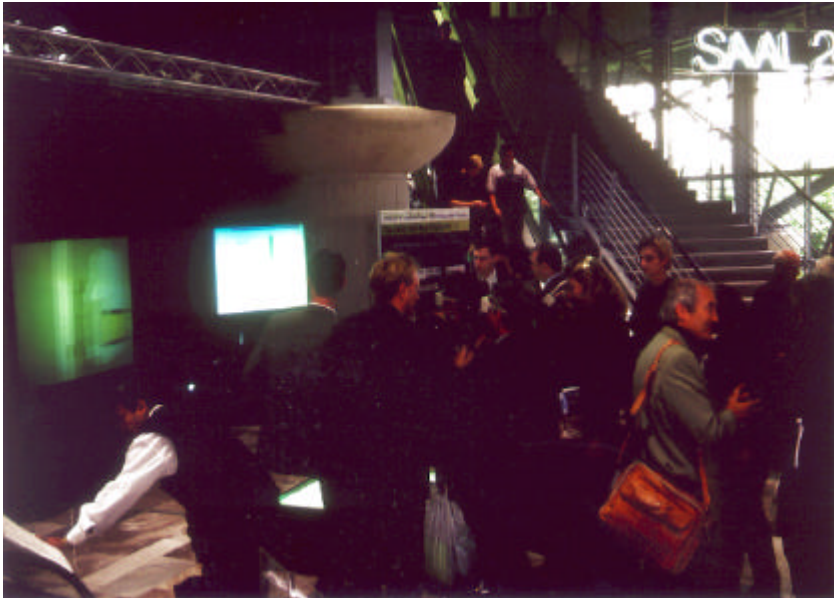


Bild 1: Besucher bei der Präsentation



Bild 2: Besucher bei der Auftragseingabe



Bild 3: Herr Prof. Westkämper beim Besuch in Hannover

## 5. Erzieltes Ergebnis (ggf. durch Bilder, Diagramme oder Grafiken ergänzen)

Das Konzept baut auf einer Integrationsplattform auf, die über eine intuitive Benutzerschnittstelle unter dem Einsatz von Methoden der Virtuellen Realität erstmalig den direkten Durchgriff auf die Maschinensteuerung eines Bearbeitungszentrums der Fa. Hüller Hille GmbH, Ludwigsburg (s. Bild 4/5) in Echtzeit ermöglicht.



Bild 4: BAZ Specht 500 der Hüller Hille GmbH

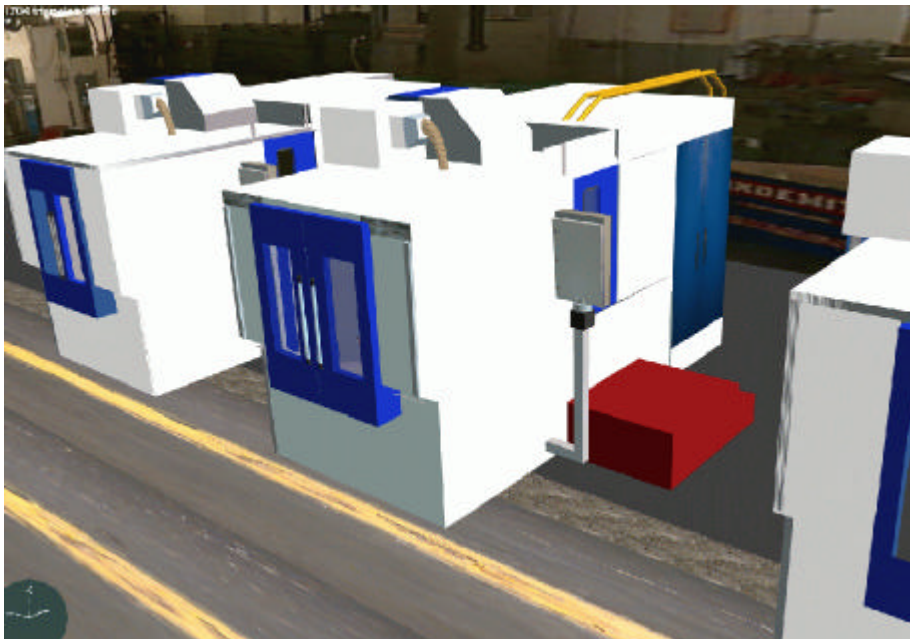


Bild 5: Virtuelles Modell des BAZ

Beim Aufbau dieser Integrationsplattform standen folgende Faktoren im Vordergrund:

- Einfache, intuitiv bedienbare Benutzungsschnittstelle
- Produkt- und/oder Prozesskonfiguration am PC
- Interaktion am virtuellen Modell zur Steuerung und Überwachung
- Durchgriff auf die Steuerungsebene über VR



- Kommunikation via TCP/IP

Diese integrierte Plattform (Abbildung 1) zur Steuerung, Visualisierung und Überwachung ermöglicht Maschinendiagnosen, Programmumstellungen oder Prozessoptimierungen auch in großer räumlicher Entfernung von der realen Anlage ohne Zeitverlust auszuführen.

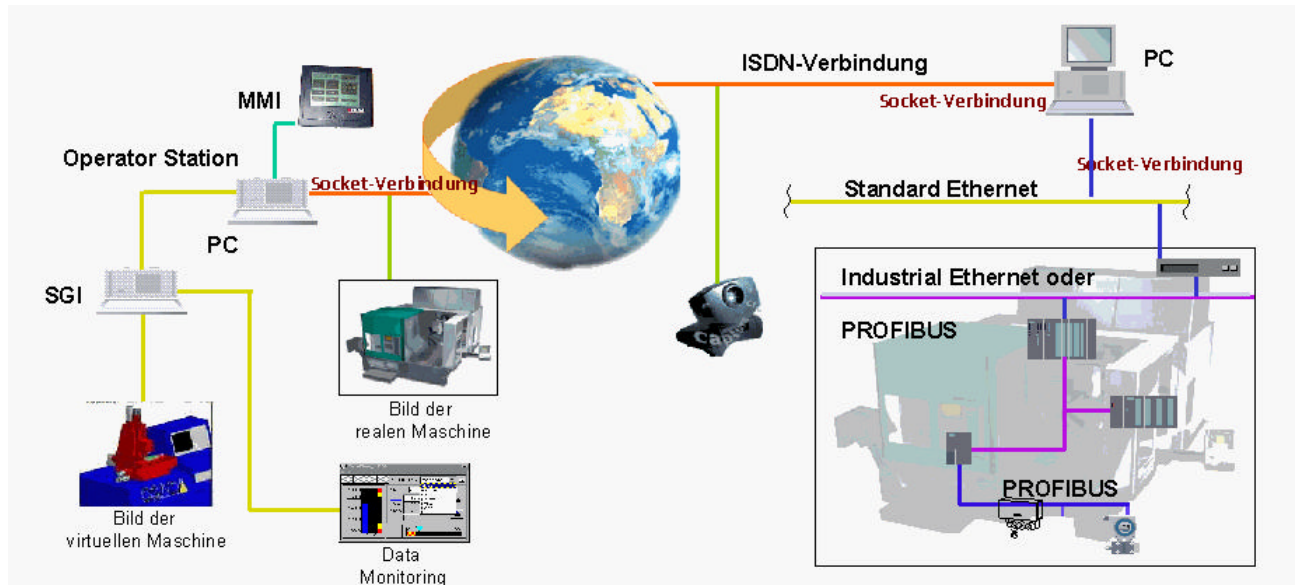


Abbildung 1: Funktionales Modell der Plattform

Am Arbeitsplatz der Zukunft (in Hannover) saß der Bediener in einem „Cockpit“ von dem aus er ein 3D-Modell der Produktionsanlage, ein Live-Bild der realen Anlage (aus Ludwigsburg) und einen Überwachungsbildschirm mit der Darstellung der Prozessparameter vor sich sah. Das „Cockpit“ bestand aus einem Sitzplatz und einer Konsole mit Touchscreen und diente als zentrales Steuerungselement. Hier konnte der Bediener eines von zwei Szenarien auswählen, um einen Auftrag zu konfigurieren. Nach Freigabe des Auftrags durch den Besucher wurden die Daten aus Hannover nach Ludwigsburg/Neckar zur Firma Hüller Hille GmbH transferiert. Dort fertigte ein Bearbeitungszentrum des Typs Specht 500 den in Hannover konfigurierten Auftrag.

Der hier realisierte neue Ansatz besteht darin, das Verhalten des Bearbeitungszentrums nicht nur zu überwachen bzw. zu simulieren, sondern die Steuerung über das virtuelle Abbild des Bearbeitungszentrums stattfinden zu lassen. Der Zugriff auf die Steuerungsebene der Maschine erfolgt über eine Siemens (S7) Steuerung (840 D) direkt auf die PLC (NCK). Die Programmierung der Ansteuerung sowie die 3D-Visualisierung wurden auf der Basis eigener Visualisierungs- und Interaktionssoftware am Fraunhofer IPA realisiert.

Wie schon aufgezeigt wurde, besteht der gesamte Aufbau des Systems aus mehreren Hard- und Softwarekomponenten. Ein wesentlicher Teil stellt dabei das CNC gesteuerte Bearbeitungszentrum (BAZ) dar. Das BAZ besteht im Wesentlichen aus den in Abbildung 2 dargestellten Teilkomponenten, zum einen den rein mechanischen Komponenten wie Antriebsmotoren, Palettenwechsler für die Werkstücke oder der Werkzeugwechsler usw. und zum anderen den Steuereinheiten. Gesteuert werden alle Funktionen der Maschine über eine CNC Steuerung und eine SPS Einheit, in diesem Fall eine SINUMERIK 840 D und eine S7-300 der Firma Siemens. An die Steuerung ist von außen ein Leitstandrechner angeschlossen, der zum einen für den Datenaustausch verantwortlich ist und auf dem zum anderen NC Programme erstellt werden und in die NC Steuerung übertragen werden.

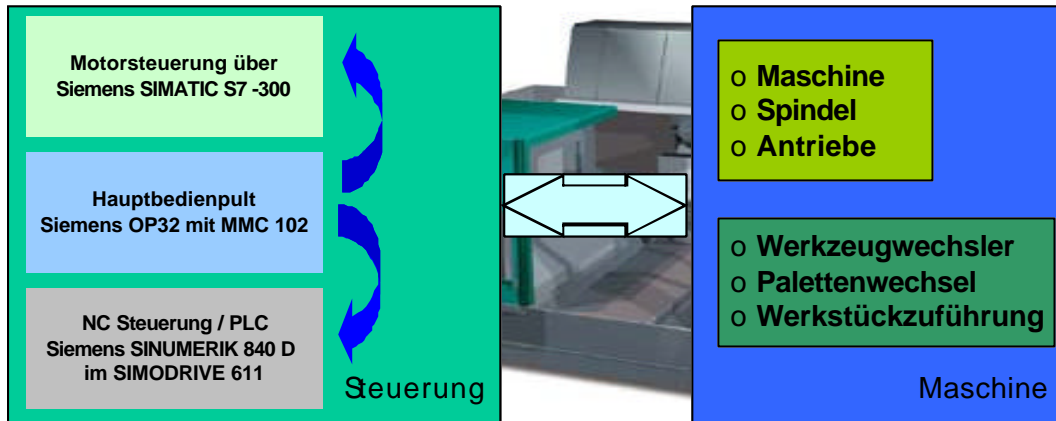


Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau der Werkzeugmaschine

Jede Form eines Werkstücks, wie z.B. die Form eines Gusswerkzeuges, kann man sich als ein aus mehreren Bahnkurven zusammengesetztes Gebilde vorstellen. Jedes Werkstück muß in ganz bestimmten Bahnkurven abgefahren werden, um die gewünschte Kontur oder Form zu erhalten. Die CNC Steuerung (NCU) berechnet dazu die entsprechenden Bahnkurven, vergleicht sie mit der aktuellen Position des Werkzeugs und gibt entsprechende Steuersignale für die Antriebsmotoren aus, um die gewünschte Bahnkurve einhalten zu können. Die für die Berechnungen benötigte Signale bzw. Werte können an der NCU direkt abgegriffen und von dort über die CNC Steuerung weitergeleitet werden. Welche Bahnkurve wann und wie gefahren werden soll, wird in NC Programmen beschrieben, die zuvor speziell über das Bedienpult oder einen Leitstandrechner programmiert werden.

Die im vorliegenden Fall zu fräsenden Konturen der Zeichen und Grafiken, werden alles Unterprogramme im Speicher der NCU abgelegt und können dadurch schnell, einfach und individuell aufgerufen werden. Das Hauptprogramm, welches den Prozeßablauf für die EXPO Präsentation beinhaltet, wurde direkt in das Steuerungsprogramm der Werkzeugmaschine implementiert und ebenfalls im Speicher der NCU abgelegt. Durch die direkte Implementierung des Hauptprogramms in das Steuerprogramm der BAZ können alle Programmteile, welche sich z. B. mit Sicherheitsabfragen oder anderen prozeßrelevanten Abläufe, wie Werkzeugwechsel, Palettenwechsler für das Werkstück oder Kühlmittelprozesse befassen, ohne Änderungen übernommen und eingesetzt werden.

Der weitere Programmablauf läuft wie folgt ab. Vom Hauptprogramm aus wird das erste Unterprogramm aufgerufen, das den Prozeßablauf der individuell gestalteten Metallplatte regelt. Von diesem Unterprogramm aus werden alle weiteren Verfahrdaten für den jeweilig durchzuführenden Prozeß abgefragt und die weiteren Unterprogramme aufgerufen. In diesem ersten Unterprogramm werden auch die definierten Register der NCU auf ihren Inhalt hin abgefragt. Die Daten wie etwa die Positionen der Icons und Buchstaben oder die Reihenfolge der zu fräsenden Buchstaben bzw. Icons, werden nach der Übertragung aus Hannover in vordefinierte Register der NCU abgelegt. Das vom Hauptprogramm aufgerufene Unterprogramm hat dabei die Aufgabe alle Register in einer bestimmten Reihenfolge abzarbeiten und die entsprechenden Unterprogramme der jeweiligen Buchstaben bzw. Icons aufzurufen. Neben den zu fräsenden Zeichen werden auch Daten für den Maschinenprozeß, wie Drehzahl des Fräasers und die Vorschübe der jeweiligen Achsen, in entsprechende Register geschrieben (siehe Abbildung 3).

Das Register 9 hat hierbei eine wesentlich Aufgabe. Das Register R9 wurde für die Prozeßkontrolle während des Betriebs herangezogen. Dieses Register kann permanent von außen (Hannover) abgefragt oder beschrieben werden. Wird z. B. vom NC Programm der Wert „15“ gesetzt, ist die

Maschine bereit und es können Daten übertragen werden. Durch diese Abfrage hat man neben der Visualisierung noch die Möglichkeit einer zusätzlichen Kontrolle über den Zustand der Maschine bzw. des Prozesses.

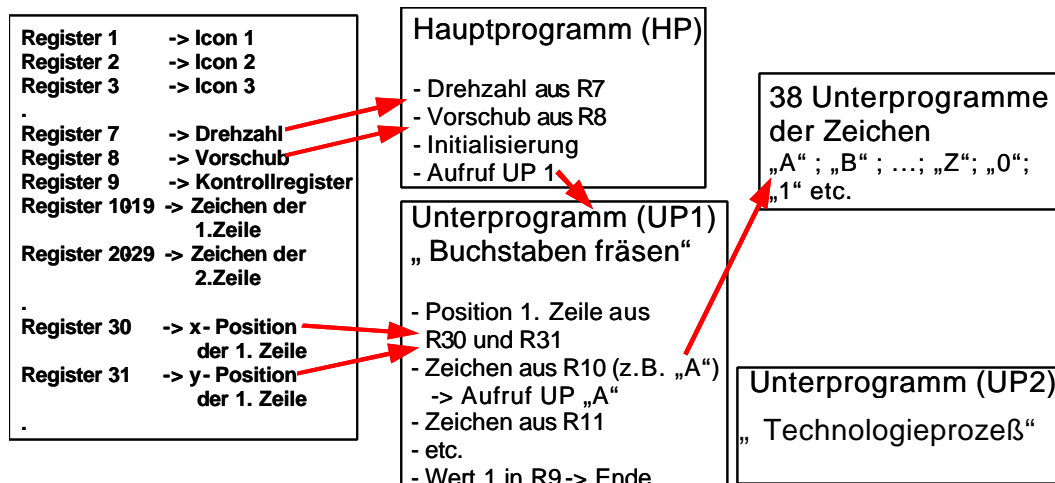


Abbildung 3: Prinzip des Prozess- und Programmablaufs

### Prozeßdatenübertragung

Um die Prozessdaten für die Visualisierung des Modells heranziehen zu können, müssen diese von den Sensoren der Werkzeugmaschine bereitgestellt und von außen abgefragt werden. Dies ist möglich, da alle Prozeß- und Kontrolldaten über die NCU geleitet und abgefragt werden. In der NCU sind dazu fest vordefinierte Variablen vorhanden in die Daten des aktuellen Prozeßstaus geschrieben werden. Die Aktualisierungsrate ist variabel einstellbar. Um die entsprechenden Daten bzw. Variablen weiter nach außen hin sichtbar zu machen und über die sog. Remote Procedure Calls (RPC Aufrufe) abfragen zu können, müssen die entsprechenden Variablen zuvor in einem Initialisierungsfile dem System bekannt gemacht werden. Die folgenden Zeilen zeigen einen Auszug des Initialisierungsfile.

```

;Scvarset.ini für EXPO2000
;
;Mode = 0: No hotlink is created, the variables of the set are read only on
request of ;the host computer (T_VAR_M).
; Mode = 1: A hotlink is created for each variable in the set,
; Mode = 2: Only one hotlink is created for the first variable in the set
; Mode = 3: As for 2 above, only one hotlink is created for the first variable in
the set.
; After a hotlink, the first variable is reset with 0 (handshake) when all variables
have
; been read.
; Variable 1 must not define a field for this, only a single variable.
;
;In the case of a hotlink, all the variables of the corresponding variable set are
read
;and sent to the host computer with R_VAR_H.
;
[Set01]
Mode=1

```



```

Host=pc3141 ; Leitstandrechner
Var01=/Channel/GeometricAxis/actProgPos[u1,2] ; X Achse Pos
Var02=/Channel/GeometricAxis/actProgPos[u1,3] ; y Achse Pos
Var03=/Channel/GeometricAxis/actProgPos[u1,4] ; Z Achse Pos

[Set02]
Mode=1
Host=pc3141
Var01=/Channel/MaschineAxis/actFeedRate[u1,2] ; Vorschub X
Var02=/Channel/MaschineAxis/actFeedRate[u1,3] ; Vorschub y
Var03=/Channel/MaschineAxis/actFeedRate[u1,4] ; Vorschub Z
Var04=/Nck/Spindle/actSpeed ; Spindeldrehzahl

```

Die Variablen bezeichnen ganz spezielle Maschinendaten oder Prozeßdaten. Zum Beispiel ergibt die Definition „/Channel/GeometricAxis/actProgPos[u1,2]“ den Wert der X Position der Werkzeugspitze im Maschinenkoordinatensystem. Die Variablen des entsprechenden Sets können durch die oben schon erwähnten RPC Aufrufe entweder einzeln oder im Paket (Set) über den Leitstandrechner abgefragt werden. Um den Fräsprozeß dem Operator an der Bedienkonsole zu veranschaulichen wurden insgesamt folgende Prozeß variablen abgefragt und auf einem Bildschirm in Diagrammen bzw. mit einem 3D Modell visualisiert.

- Werkzeugposition X, Y, Z
- Drehtischposition
- Vorschub in X, Y, Z Richtung
- Spindeldrehzahl
- Laststrom der Spindel und der Antriebe
- Status der jeweiligen Achsen

Der Zyklus in dem die Variablen abgefragt werden, kann bis auf etwa 200 ms gesetzt werden. Es hat sich gezeigt, daß diese Zeiträte für eine ruckfreie Darstellung des virtuellen Modells ausreichend ist. Aufgrund der Leistungsgrenze des Steuerungsrechners führen kürzere Abtastraten zu Übertragungsfehlern zwischen NCU und Leitstandrechner.

## 6. Nutzen für das Unternehmen

Es wurde ein Basissystem entwickelt, das die grundsätzlichen Spezifika enthält, um auf Maschinen bzw. Anlagen über einen echtzeitfähigen, bidirektionalen Datenfluß online zuzugreifen. Die Integration der technischen Visualisierung und Interaktionsmechanismen ergänzen es um die wichtigen Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine. Durch die Arbeiten innerhalb des Vorhabens, wurde ein intensiver Austausch mit der Industrie angeregt und vertieft. Der Bedarf, der von anderen Stellen gemeldet wurde, ist in dieses Vorhaben eingeflossen und umgesetzt worden. Hiermit fand eine starke Sensibilisierung hinsichtlich Forschungsbedarf und Schwerpunkten statt, die in der Industrie eine starke Nachfrage hervorriefen. Aufgabe muß es sein, ein nachhaltiges Verfolgen dieser Themen anzuregen, da es sich nach wie vor um eine Pilotanwendung handelt, welche entsprechend weiterentwickelt und ergänzt werden muß.

## **7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes**

Die Entwicklung des Piloten wurde zusammen mit der Fa. Hüller-Hille GmbH, Ludwigsburg durchgeführt. Durch die bei der Fa. Hüller-Hille GmbH regelmäßig durchgeführten Thementage konnte ein reger Austausch zwischen Industrie und Forschung stattfinden. Desweiteren wurden die Aktivitäten mit dem Fraunhofer IPK und den Ergebnissen aus IViP abgeglichen, welches sich u. a. in der gemeinschaftlichen Präsentation auf dem Global Dialogue (11.-13- Juli 2000) manifestierte.

## **8. Darstellung des während des Vorhabens bekanntgewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen**

Durch die intensive Zusammenarbeit zwischen der Hüller Hille GmbH und dem Fraunhofer IPA wurden weitreichende Erkenntnisse über Leistungsfähigkeit und Einsatzmöglichkeiten der Fernsteuerung und –administration von Maschinen und Anlagen gewonnen. Die im Bereich Inbetriebnahme, Engineering, Produktentwicklung, Schulung/Training oder Support beim Kunden vorhandenen Potentiale sind durch diesen Pilotaufbau herausgearbeitet worden.

## **9. Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc.**

Die Nachhaltigkeit wurde durch eine Reihe von Vorträgen zu Messen bzw. Symposien als auch Veröffentlichungen verfolgt. Hinzu kommt ein Industrie-Workshop zu der Thematik „Teleoperation“, welcher u. a. den Transfer der gesammelten Erfahrungen bzw. Entwicklungen in die Industrie diskutierte.

Eingeladene Teilnehmer des Workshops waren:

- Herr Mertens, FZK-PFT, Karlsruhe
- Fa. Hüller Hille GmbH, Ludwigsburg
- Fa. Heidelberger Druckmaschinen AG, Heidelberg
- Fa. Sauer-Danfoss GmbH & Co. KG, Neumünster
- Fa. Eisenmann Service-KG, Böblingen
- Fa. Homag Maschinenbau AG, Schopfloch
- Fa. K. Jung GmbH, Göppingen

Aus den Gesprächen ging hervor, daß die teilnehmenden Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau sich in Geschäftsbereichen wie Support, Training/Schulung, Engineering und Betrieb von Anlagen Problemen gegenüber sehen, die gekennzeichnet sind durch komplexe Prozesse, großes Produktspektrum mit starker Varianz, extremen Anforderungen hinsichtlich Qualitätssicherung und heterogener Datenhandhabung. Abgeleitet davon ergeben sich die Handlungsfelder für die Hersteller sowie Betreiber, welche die Bereiche Systemschnittstellen von Maschinen/Anlagen, Datenverfügbarkeit und -verarbeitung, Optimierungsmethoden für die Qualitätssicherung und adaptive Benutzungsschnittstellen für den Bediener beinhalten. Ein besonderer Augenmerk gilt hierbei der Überwachung, Steuerung und (Re-)Konfigurierbarkeit solcher Leistungseinheiten. Dieser Bedarf seitens der Industrie wurde als Veranlassung angesehen, innerhalb dem Themenfeld „Flexible, temporäre Fabrik“ im Rahmenkonzept

„Forschung für die Produktion von morgen“ des BMBF einen Antrag einzureichen, der diesen Themenkomplex behandelt.

### **Veranstaltungen, Vorträge**

Global Dialogue, EXPO 2000, 11.-13- Juli 2000

Pressekonferenz zur Messe AMB 2000, Fraunhofer IPA, 11. September 2000

Fertigungstechnisches Kolloquium FTK 2000, Fraunhofer IPA, 26./27. September 2000

Industrie-Workshop, 07. November 2000

### **Veröffentlichungen (s. Anlage)**

Fraunhofer Magazin 3.2000

VDI nachrichten, S. 19, 15. September 2000, Nr. 37

VDI-Z 11/12-2000, S. 6

Werkstattstechnik wt 91 (2001), H. 2