

Vortrag am 9. 10. 89Gegenstand

1. Forschungsrichtung "Architekturen für Hochleistungsrechner"
2. Theoretischer und methodischer Ansatz
3. Einblicke in den Arbeitsstand

1. Forschungsrichtung "Architekturen von Hochleistungsrechnern"Folie 1

1. Leistungsoptimierte Strukturen und Architekturprinzipien für Einzelprozessoren. Nach wie vor ist die Vervollkommnung des Einzelprozessors ein wichtiger Forschungsgegenstand, namentlich in Hinblick auf Leistungssteigerung. Man muß vom hochleistungsfähigen Einzelprozessor ausgehen und kann nicht darauf hoffen, durch Zusammenschalten mehrerer leistungsschwacher Prozessoren universelle Hochleistungssysteme bauen zu können. Das wird zwischenzeitlich auch durch experimentelle Erkenntnisse bestätigt (Giloj).

2. Ersatz bzw. Unterstützung von Software durch Hardware (z. B. für objektorientierte Konzepte) und neuartige Elementaroperationen (z. B. hochgenaue Numerik).

Die Vervollkommnung des Einzelprozessors beruhte bisher vorwiegend auf der Nutzung von Meßergebnissen, z. B. zur Häufigkeit von Befehlen und zum innewohnenden Parallelismus in üblichen Anwenderprogrammen. Von solchen Erkenntnissen ausgehend wurden ingenieurmäßig sinnvolle Kombinationen von Schaltungsanordnungen (Caches, Gleitkomma- und Integer-Rechenwerken, Registersätzen usw.) auf einem einzigen Schaltkreis geschaffen (z. B. 80860). Damit dürften - zumindest forschungsseitig - die Leistungsgrenzen dieses Ansatzes erreicht sein (es bleiben nur noch technologische usw. Verfeinerungen).

Für künftige Forschungen ist also zu fragen, auf welchen Gebieten weitere Leistungsreserven erschlossen werden können (weitere Quellen zur Leistungssteigerung). Das ist offenbar nur möglich, indem nicht Befehle im herkömmlichen Sinn, sondern unmittelbare funktionelle Anforderungen der Anwendungen bzw. der Systemorganisation für die Architekturgestaltung mit in Betracht gezogen werden. *(Vermeidung z. B. Wundlung des System-Code)*. Solche Ansätze hat es bereits gegeben. Sie waren nicht besonders erfolgreich (z. B. HLL- Architekturen). Dennoch ist es notwendig, diesen Weg zu verfolgen. Die Ursachen der Mißerfolge sind zu analysieren. Auch haben sich zwischenzeitlich die Möglichkeiten der Schaltungstechnik beträchtlich verbessert, und es sind grundlegende Forschungsergebnisse zu objektorientierten Verarbeitungsmodellen, zu Datenstrukturen und Elementaroperationen erarbeitet worden.

3. Wirkprinzipien und Schaltungslösungen zur Erfüllung von Kompatibilitäts- Anforderungen. Die Nutzbarkeit vorhandener Programme und Datenbestände ist keine unwesentliche Forderung (s. den Wert der bereits vorhandenen Software). Andererseits ist es notwendig, die Möglichkeiten der modernen Technologien und die Erkenntnisse der Grundlagenforschung für künftige bessere Architekturen tatsächlich nutzen zu können.

Für diesen Problemkreis sind forschungsseitige und erfinderische Bemühungen auf allen einschlägigen Gebieten notwendig (Hardware, Compiler, Wandlung von Objektcode, wissensbasierte Systeme zur Umstellung).

4. Architekturdefinitionen und Grundsatzlösungen für Hochleistungsrechner als strukturbestimmende Erzeugnis- und Exportlinie ab Mitte der 90er Jahre.

Das Ziel ist eine einzige Architektur und eine überschaubare Familie von Hardware- Modellen, gegeben durch einen Prozessorkern mit verschiedener Speicher- und Peripherie-

Ausstattung.

Das ist das vordringliche Hauptziel (wird anhand von Folie 2 näher erklärt). Alle anderen Bemühungen sind zunächst diesem Ziel untergeordnet.

5. Beiträge zur Theorie der Rechnerarchitektur. Die Wissenschaft von der Rechnerarchitektur ist vorwiegend eine Erfahrungswissenschaft. Mit eigenen Beiträgen soll der Grad der Exaktheit und Berechenbarkeit erhöht werden. Im Endziel sollte der Universalrechner berechenbar werden wie der Transformator oder der Verbrennungsmotor. Dafür können allerdings keine "Formeln" im üblichen Sinne erwartet werden, da sich Rechner nicht durch differenzierbare Funktionen beschreiben lassen. Weiteres im Punkt 2.

6. Strukturen und Architekturprinzipien im Hinblick auf Implementierungen mit künftigen Technologien (WSI, GaAs, System-Partitionierung auf Einzelschaltkreise mit über 10^6 Transistorfunktionen). Alle neuen Konzepte müssen unter diesen Gesichtspunkten entwickelt werden: sie müssen den technologischen Anforderungen gerecht werden und sie müssen vorteilhaften Gebrauch von den neuen Möglichkeiten machen. Betrifft z. B.: Regularität aller Strukturen, "wavefront"-Steuerung anstelle einer vollsynchrone Arbeitsweise sowie Fehlertoleranz (einerseits unbedingt notwendig, um WSI praktikabel zu machen, andererseits ein wichtiger Gebrauchswert).

7. Prozessorkerne für massive Parallelverarbeitungssysteme. Der Einzelprozessor ist grundsätzlich leistungsbeschränkt. Die absoluten Leistungsgrenzen sind abschätzbar. Damit ist Parallelverarbeitung für höchste Leistungsansprüche unverzichtbar. Die Prozessorkerne solcher Systeme müssen aber für diesen Einsatz optimiert sein (maximale Leistung im Rahmen technischer Beherrschbarkeit; Berücksichtigung der Zusammenschaltung zu Parallelverarbeitungssystemen von Anfang an). Der Transputer ist ein Beispiel.

Für den oberen Leistungsbereich ist sinngemäß Ähnliches zu schaffen (höhere Verarbeitungsleistung, bessere Verbindungsprinzipien, Speicherorganisation usw.).

8. Parallelverarbeitungssysteme als universelle Superrechner. Aufbau aus den Prozessorkernen gemäß Punkt 7. (Diese gehen aus dem Hochleistungsrechner gem. Punkt 6. hervor.)

Die genaue Ausrichtung solcher Arbeiten muß konkreten ökonomischen Betrachtungen zur gegebenen Zeit überlassen bleiben. Ziel ist nach wie vor das verkaufsfähige Produkt. Derzeit wird folgende Vorzugsrichtung gesehen: Verzicht auf Technologien mit exzessivem Aufwand, Orientierung gleichermaßen auf numerische und nichtnumerische Anwendungen, vorzugsweise als große wissensbasierte Systeme, z. B. als Netzwerk- Server in großen CIM- Installationen. Direkte Konkurrenz zu Cray rechnet sich vermutlich schlechter (Verhältnis von F/E- Aufwendungen zu Arbeitsvolumen in der Fertigung; numerische Superrechner erfordern aufwendige Technologien, da Parallelisierbarkeit vieler Algorithmen schlechter als $O(n)$; relationale Operationen in Wissensbasen sind weitgehend parallelisierbar, "memory based reasoning" ist neuere Forschungsrichtung (vgl. Connection Machine), damit bessere Chancen für Gleichziehen im Forschungsstand).

9. Architekturkonzepte und Schaltungslösungen für ASIC-Zellenbibliotheken (Prozessorkerne, Speicheradapter, Steuerschaltungen usw. für "embedded systems"). Das ist eine Art Nebenprodukt, um die Forschungsergebnisse für die maschinenbauende Industrie nutzbar zu machen. Es sind umfangreiche Investitionen für ASIC- Entwicklung und -Fertigung getätigt worden. Sie sind nur dann sinnvoll nutzbar, wenn ein hinreichender Vorrat an hochkomplexen Schaltungsstrukturen ausgearbeitet ist. Für wirtschaftliche Ergebnisse im Maschinenbau sind rechtmängelfreie Lösungen auf höchstem Stand erforderlich.

Folie 2 Hochleistungsrechner als strukturbestimmende Erzeugnislinie

Grundsätzliches: die Forschung muß Voraussetzung für hohe Wertschöpfung in der Produktion schaffen (Bsp. Adam Opel AG - Wertschöpfung je Beschäftigter und Jahr etwa 60 TDM, durchschnittlicher Stundenlohn über 21 DM). Es ist bei einem praxisorientierten Forschungsvorhaben stets zu fragen, welches Arbeitsvolumen damit gestützt wird (Ziel: möglichst viele Beschäftigte müssen eine hohe Wertschöpfung erreichen können).

Von wissenschaftlichem Prestige oder gar nur geistiger Selbstvervollkommnung allein kann man nicht leben. Es stellt sich auch die Frage, wer das künftig finanzieren soll.

Jedes Forschungsziel muß professionell, erfolgsorientiert, ehrgeizig und mit Blick auf den Höchststand angegangen werden. Den absoluten Erfolg mindernde Ziel- Mittel- Kompromisse sind sicherlich nicht zu vermeiden, sie sollten aber nach Maßgabe konkreter Notwendigkeiten eingegangen werden und nicht von Anfang an den Zielen zugrunde liegen. Wenn man nur das zustande bringt, was andere für weniger Geld besser leisten, braucht man sich über gewisse Zustände nicht zu wundern; eine drastische Verringerung der Lebensqualität wird in Zukunft unvermeidlich sein.

Wenn man an Planwirtschaft und großen Wirtschaftseinheiten festhält, sind stabile Erzeugnis- und Exportlinien aufzubauen. Beiläufig bemerkt, sind große Wirtschaftseinheiten unabdingbar notwendige Voraussetzungen für wirkliche politische Stärke.

Auch die pfiffigsten Einzellösungen bringen insgesamt nicht viel, man muß an "Mainstream"- Entwicklungen teilhaben.

Alle Überlegungen dürfen nicht von Vorurteilen, oberflächlichen Gleichnissen und Schlagworten ausgehen; sie sind vielmehr auf Maß und Zahl zu bringen.

Der Industriestruktur der DDR entspricht die Teilnahme an 3 Mainstream-Entwicklungen: Nachrichtentechnik, Rechentechnik, Automatisierungs- und Steuerungstechnik. Schwerpunkt der Forschungsrichtung ist die Rechentechnik; mit gewissen Verkopplungen zu den anderen Gebieten (zunächst aber exakte Methodentrennung).

Für die Rechentechnik selbst geht es um ein Konzept, einen Hochleistungsprozessor, der vielfältige Systemkonfigurationen ermöglicht, und um ein Anwendungssystem. Ein schlüsselfertiges Anwendungssystem ist notwendig, um das Produktionsvolumen zu gewährleisten und um letztlich Systempreise (anstelle von OEM-Preisen) nehmen zu können.

Vorgeschlagen wird ein wissensbasiertes, transaktionsorientiertes Anwendungssystem als Gegenstück zu IBM AS/400, Tandem u. dergl. . Das gewährleistet hohe Stückzahlen (AS/400 Vorserie: 3000 Einheiten; bis 3. Quartal 1989 ausgeliefert: 30 000 Einheiten; im Gegensatz z. B. Fa. Convex als erfolgreichster Minisupercomputerhersteller: bis 1988 insgesamt 400 Einheiten).

Ziel: vorrangig das soz. Wirtschaftsgebiet.

Hintergrund: Fragen des "financial controlling" werden in allen Wirtschaftssystemen zunehmend wichtiger. Große Wirtschaftseinheiten lassen sich nur noch über finanzielle Steuerungsmechanismen beherrschen, nicht mehr durch Dirigismus. Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an die Abrechnungs- und Kontrollprozesse.

Die Software ist nicht trivial, verspricht aber bedeutend höhere Stückzahlen als CAD-Lösungen und ist andererseits nicht exzessiv kompliziert.

Das gesamte Anwendungssystem wird hardware-unabhängig geschrieben (z. B. in Ada). Implementierung auch auf herkömmlichen Rechnern bzw. auf eigenen Multimikroprozessorsystemen (als kostengünstigere Vorstufe zum Hochleistungsrechner). Software und Hardware ist entwicklungsseitig weitgehend parallelisierbar.

Lösungen f. Kompatibilitätsänderungen sind realisierbar.
Gesamtprojekt mit R500 o. ä. 40.

Für die Architektur des Hochleistungsrechners ist davon auszugehen, welche Forschungsziele vom aktuellen Höchststand aus - unabhängig von den Gegebenheiten der DDR - in den nächsten Jahren zu setzen sind (also was man objektiv tun muß, um z. B. ab 1995 mit Rechnern noch Geld zu verdienen).

Auf dieser Grundlage ist ein Entwurf auszuarbeiten. Erst dann ist sachkundig darüber zu befinden, welche wirtschaftlichen Erfolge zu erwarten sind und wie groß die Aufwendungen sind.

Bei Nichtnutzung für die eigene Volkswirtschaft wäre an eine anderweitige Verwertung zu denken.

Leistungserwartung des Einzelprozessors: 20...100 MFLOP.

Die Architektur hängt nicht vom Anwendungssystem ab.

Für CAD- Anwendungen usw. Zusammenarbeit mit externen Partnern.

Anwendungssystem ist ein Marketing- Erfordernis, aber für die Architektur- Forschung von untergeordneter Wichtigkeit ("Prüfstand" für Architekturkonzepte).

Vorzugsorientierung auf Hochgenauigkeits- Numerik, relationale Operationen, Graphik- Operationen, objektorientierte Verarbeitung). Haupt- Sprache: Ada (persönl. Vorurteil).

Die Leistung üblicher 32-bit- Mikrorechner ist um mindestens das 10-fache zu übertreffen; der Einzelprozessor muß deutlich kostengünstiger sein als kleinere Multimikrorechnersysteme. 80860 ist - bezogen auf gleiche Taktfrequenz - um das 4-fache zu übertreffen.

Die neuen Entwicklungen von Intel und Motorola sind für Workstations (CAD und Graphik) optimiert; der eigene Rechner wird darüber hinaus für transaktionsorientierte wissensbasierte Systeme optimiert (bezüglich Variablenbindung zur Laufzeit, relationalen Operationen usw.). Somit ergibt sich eine hinreichende Differenzierung des Forschungsziels.

2. Theoretischer und methodischer Ansatz

Folie 3

Bekannte Forschungsrichtungen betreffen die Optimierung von Maschinenbefehlen und die Nutzung des innewohnenden Parallelismus in Programmen. Stichworte: CISC, RISC, VLIW, Datenflußsteuerung.

Diese Konzepte sind zu studieren und zu bewerten. Sie wurden bereits in kommerziell verfügbare Produkte umgesetzt. Es ist erkennbar, daß Erfolge nie auf Grundlage einer "reinen Lehre" zu erreichen sind, sondern nur durch ingenieurmäßig sinnvolle Kombinationen verschiedener Prinzipien.

Zusätzlich werden Prinzipien in Betracht gezogen, wie sie beim Entwerfen von Sondermaschinen (Datenstrukturmaschinen) gebräuchlich sind. Solche Maschinen sind Universalrechnern und auch Datenflußmaschinen leistungsmäßig weit überlegen, da der innewohnende Parallelismus in den Algorithmen durch zweckgerechte Anordnung von Schaltmitteln viel wirksamer genutzt werden kann.

Solche Maschinen sind aber nicht universell nutzbar. Deshalb sollen die Grundlagen der Informatik sowie wichtige Anwendungsgebiete systematisch abgesucht werden, um jene elementaren Datenstrukturen und Algorithmen aufzufinden, die sich für eine technische Umsetzung (Vergegenständlichung) eignen. Die Abhängigkeit von einem bestimmten Sprachkonzept, einer bestimmten Anwendungsumgebung usw. ist unbedingt zu vermeiden. Aus den konkreten Erscheinungen von Anwendungsalgorithmen, Programmiersprachen usw. ist deshalb das Wesen zu erkennen, d. h. aus den Oberflächenstrukturen sind die Tiefenstrukturen zu bestimmen. Diese stellen faktisch Abstraktionen aus den konkreten Lösungen dar. Deshalb die Bezeichnung "Vergegenständlichte Abstraktionen".

Des weiteren läßt sich jede Rechnerstruktur als Sammlung von Hardware- Ressourcen auffassen: Ressourcen- Paradig-

ma, das wird anhand von Folie 4 erläutert.

Leistungsbestimmend sind zunächst die Ressourcen an sich, d. h. ihre Art, Ausgestaltung und Anzahl. Das bestimmt die absolute Leistungsgrenze (Leistung je Ressource \times Anzahl der Ressourcen).

An 2. Stelle steht die Gestaltung der Verbindungsstrukturen (Erreichbarkeiten, Signalflüsse). Man kann die absolute Leistungsgrenze um so besser erreichen, je besser es die Verbindungsstrukturen gestatten, die Ressourcen ständig mit nützlicher Arbeit zu beschäftigen.

An 3. Stelle steht erst die Gestaltung der Befehlsliste (bzw. die Steuerprinzipien).

Folie 4

Erläuterung des Ressourcen-Paradigma. (Nicht neu, Hinw. auf Flynn, hier mehr in der Tiefe betrachtet)

Es schließt die Extreme ein:
 a) v. Neumann-Maschine: sequentiell adressierter Steuer-
 soeicher, keine Erkennung von Parallelismus zur Lauf-
 zeit

b) ideale Datenflußmaschine mit voll assoziativem Steuer-
 speicher, kann alle Ressourcen beschäftigt halten, läßt
 sich aber nicht bauen.

Erläuterung zum Ressourcenvektor.

Zur Befehlsgestaltung die Organisationsformen an der
 Tafel erläutern.

Es geht grundsätzlich darum, die Ressourcen mit Daten
 und Steuerangaben zu versorgen. Unter diesem Gesichtspunkt
 kann die Befehlsgestaltung systematisch behandelt
 werden, die CISC-RISC-VLIW-Diskussion erledigt sich von
 selbst.

Mathematische Behandlung über Ressourcen-Algebra. *R. alg. als
 Aufgabe in Luis Keller.*
 Künftig auch Optimierungsrechnungen denkbar.

Das Prinzip der Vergegenständlichten Abstraktionen dient
 dazu, die Ressourcen zunächst auszuwählen und dann Richt-
 werte für die Funktions-Struktur-Abbildung zu geben.

3. Einblicke in den Arbeitsstand

Anhand von Zeichnungen, Diagrammen usw. erläutern.

Es geht um 2 Prozessorkerne, PK 1 für den Hochleistungsrechner, PK 2 für "embedded systems". PK 2 ist an sich ein 32-bit- Prozessor mit einigen Innovationen. Nutzbar für mehrere Anwendungs- und Programmierkonzepte (3 Anwendungsparadigmata, 3 Befehlsparadigmata, 4 Selektionsparadigmata). Strukturell bietet der Prozessor (auf der Register-Transfer-Ebene) nichts grundsätzlich Neues. Die Architekturkonzepte sind angearbeitet. PK 2 ist auch als Peripherieprozessor für den Hochleistungsrechner gedacht.

Der Hochleistungsrechner enthält eine Speicherhierarchie, zentrale Steuermittel und 4 Prozessorkerne PK 1. Diese sind nur in 2-facher Weise nutzbar: 1. als (datenflußgesteuerter) Baum, 2. unabhängig parallel.

Derzeitig wird die Struktur des PK 1 strikt nach dem Ressourcen- Paradigma ausgearbeitet: zunächst die Verarbeitungsschaltungen, dann die Datenwege. Daraus ergibt sich der Ressourcenvektor, für den anschließend die Befehlsgestaltung festgelegt wird. Danach folgt die Gestaltung der Selektor/Iterator- Vergegenständlichungen, der Steuermittel und der Speicherorganisation. Die Theorie wird zunächst nur heuristisch genutzt (Implementierung von Bewertungsverfahren usw. erfordert zuviel Aufwand). Formalbeschreibung ist erst nach dem ersten Iterationszyklus vorgesehen (Architektur ausgearbeitet, der Diskussion ausgesetzt und entsprechend geändert).

Die Konzeption des Anwendungssystems ist angearbeitet. Weitere Bearbeitung nur soweit, wie für die Architektur an sich notwendig (Zusammenhang zwischen Wissensrepräsentation, Objektkonzept und Speicherverwaltung).

Unbedingt notwendig ist ein Kontakt mit bestimmten Anwenderkreisen (betr. Numerik, objektorientierte Verarbeitung, Wissensrepräsentation, Graphikfragen), da jetzt bereits konkrete Festlegungen für den PK 1 zu treffen sind (Datenstrukturen, wichtige Operationen, Kardinalitäten).

Zur Methodik

- Das Ziel des Entwurfs einer Einzelprozessorarchitektur besteht darin, eine zugleich leistungsfähige, wirtschaftliche, universell nutzbare, technisch beherrschbare und überschaubare Sammlung von Ressourcen sowie die Verbindungsstrukturen und Steuerprinzipien anzugeben.

Der "echte" Hochleistungsrechner wird strikt gemäß diesem Ressourcen- Paradigma ausgearbeitet, allerdings zunächst auf heuristische Weise, gestützt auf Erfahrungen aus bekannten Architekturen und Programmiersprachen.

Ziel ist die wirkliche Universalmaschine, also ein kostengünstiger Ressourcen- Mix von allgemeiner Brauchbarkeit, der in lohnenden Stückzahlen gefertigt werden kann.

- Feinheiten der Theorie werden zunächst zurückgestellt.

- Das Ausarbeiten der "Papier- Maschine" lohnt sich auf jeden Fall (Erkenntnisgewinn). Es ist nicht besonders aufwendig. Andere Forschungsgruppen arbeiten auch so.

- Anwendungssysteme können hardware- unabhängig ausgearbeitet werden (Beschreibung in einer passend gewählten Sprachebene, wie beim AS/400). Als Sprache wird Ada vorgeschlagen.

- Die volle praktische Wirksamkeit erfordert ein Großprojekt ähnlich R 300 o. R 40. Alle verfügbaren Kräfte sind zeitbegrenzt und projektgebunden straff zusammenzufassen ("task force"- Organisation). Nur so ist der Wert der Arbeitsstunde des Wissenschaftlers bzw. Ingenieurs in eine hinreichende Größenordnung zu bringen (den bereits jetzt bei geringerem Lebensstandard in Entwicklungsländern erbrachten Leistungen überlegen).

Grundlagenforschung

- Erkundung absoluter Leistungsgrenzen von Universalrechnern.
- Prozessorkerne für künftige massive Parallelverarbeitungssysteme.
- Theorie der Rechnerarchitektur (als Technikwissenschaft):
der Rechner soll berechenbar werden wie etwa der Transformator oder der Verbrennungsmotor (Grundlagen: Ressourcen-Algebra, Anwendungs-Algebra, Lineare Optimierung usw.).
- Allgemeine und grundsätzliche Kompatibilitätsfragen:
 - neue Technologien sollen voll nutzbar werden: es muß praktisch durchführbar sein, überlieferte Konzepte "über Bord zu werfen", wenn damit bedeutsame Leistungssteigerungen erzielt werden können
 - gegebene Software- und Datenbestände sollen ihren Wert behalten
 - gegebene Software soll mit den neuen Technologien bzw. Schaltungsstrukturen vorteilhaft nutzbar sein
 - der Umstieg auf neue Konzepte soll möglichst problemlos sein.
- Allgemeiner Erkenntniszuwachs durch Selber-Machen.
"Nicht alles ist dem Hörenden deutlich zu machen, was dem Ausübenden einleuchtet" (Goethe).

Anwendungsorientierte Forschung

Von einer theoretischen Grundlage ausgehend nur 2 Ziele:

1. Der "echte" Hochleistungsrechner.
2. "Embedded Systems" (Mikrocontroller, ASIC- Zellenbibliotheken).

zu 1.

Konzentration auf ein komplettes Anwendungssystem. Moderneres Gegenstück zu IBM AS/400, Tandem u. a.

Eingebaute relationale Wissensbasis.

Vorzugs- Sprache: Ada.

Fehlertoleranz.

Orientiert für kommerzielle Transaktionssysteme.

Vorzugsweise für soz. Wirtschaftsgebiet und Entwicklungsländer (im SW gibt es nichts Vergleichbares).

Jegliche Form des modernen, effektiven Wirtschaftens erfordert zwingend wirksame Verfahren der Rechnungsführung, Bestandsverwaltung, Auftragssteuerung usw. einschließlich der Kontrollfunktionen (Revision, Tiefenprüfungen usw.).

Anwendungssoftware dazu ist notwendig und durchaus noch überschaubar.

IBM hat 1989 bereits 30 000 AS/400- Systeme ausgeliefert.

Für Robotron (einschl. Vertrieb) wird Arbeitsvolumen gebraucht.

Bezüglich anderer Anwendungen der Hochleistungshardware sollten externe Partner gesucht werden. Vertrieb der Hardware als OEM- Produkt.

zu 2.

Ein einheitliches Architektur- und Schaltungskonzept für "embedded systems", um dem Maschinenbau hochleistungsfähige Steuerelektronik zur Verfügung stellen zu können. Ein Konzept vom Leistungsbereich der bisherigen Einchip-Mikrorechner bis zum 32-bit- Mikrocontroller.

Prozessorkerne und andere Schaltungsstrukturen für Zellenbibliotheken.

Anwendungslösungen durch Zusammenfügen von solchen Standardzellen auf ASIC- Schaltkreisen als Alternative zum Entwickeln von Leiterplatten für die üblichen busorientierten Systeme.

Fehlertoleranz.

Der "echte" Hochleistungsrechner als übergeordneter Steuerrechner und als Entwicklungssystem.

Vorzugs- Sprache: Ada.

Steuerungssysteme netzwerkorientiert (verteilt, serielle Verbindungen), nicht mehr busorientiert.

Arbeitsrichtung	↑ Vervollkommnung der Implementierung eingeführter Architekturen (logisch-funktionell; technologisch)
Wissenschaftlicher Wert	Prestige: eher gering Erkenntniszuwachs: nur bezüglich Einzelheiten von Hardwarestrukturen und Technologien
Rang	3
Zeitbedarf	mind. 2...3 Jahre
Rang	1
Forschungs- und Entwicklungsaufwand	mittlere Größenordnung, vergleichbar mit EC 1055 ZE (nur Hardware) für strukturelle Verbesserungen; hohe Aufwendungen für neue Technolog.
Rang	2
Konsequenzen, Erfolgs-Möglichkeiten	Existierende Software ist weiter nutzbar. Der Erfolg ist dann gegeben, wenn die gewählte Zielarchitektur Mitte der 90er Jahre international noch von Bedeutung ist.
Rang	2
Bemerkungen	Strukturelle Maßnahmen als Ersatz für Hochleistungs- Technologien verschlechtern das Preis-Leistungs-Verhältnis. Welche Zielarchitektur? (VAX, /370, 386)

Arbeitsrichtung	2 Übernahme einer modernen Architektur und deren Implementierung mit eigenen Mitteln
Wissenschaftlicher Wert	Prestige: ziemlich gering Erkenntniszuwachs: gering (nur imitatorische Leistungen, evtl. einige logisch- funktionelle Verbesserungen)
Rang	4
Zeitbedarf	mind. 3...4 Jahre
Rang	2
Forschungs- und Entwicklungsaufwand	mittlere Größenordnung (vgl. VAX, 286)
Rang	1
Konsequenzen, Erfolgs- Möglichkeiten	Übernahme von Software ist möglich. Der Rückstand bleibt.
Rang	4
Bemerkungen	1990 dürfte noch nicht entscheidbar sein, welche Architektur sich durchsetzt (80860, TRON, Motorola 88000, SPARC etc.). Kopieren wird schwieriger als bisher (dauert länger als eine Eigenentwicklung).

Arbeitsrichtung	3 Ausarbeiten einer eigenen Architektur gemäß "state of the art" (von den besten bekannten Lösungen ausgehend, eigene Verbesserungen.)
Wissenschaftlicher Wert	Prestige: mittelmäßig (Leistung kommt 5 Jahre zu spät) Erkenntniszuwachs: hoch (echte Eigenleistungen)
Rang	2
Zeitbedarf	mind. 3...5 Jahre
Rang	3
Forschungs- und Entwicklungsaufwand	höher als Arbeitsrichtung 1 bzw. 2; bezüglich Hardware geringer als Arbeitsrichtung 4
Rang	3
Konsequenzen, Erfolgs- Möglichkeiten	Software muß portiert bzw. neu erstellt werden. Leistungszuwachs eher gering. Rückstand bleibt.
Rang	3
Bemerkungen	Bezüglich der Hardware sind die F/E- Aufwendungen eher geringer im Vergleich zu den Arbeitsrichtungen 1 bzw. 2

Arbeitsrichtung	4 Ausarbeiten einer eigenen Hochleistungs-Architektur für die 2. Hälfte der 90er Jahre; konsequent von der Grundlagenforschg.
Wissenschaftlicher Wert	Prestige: hoch Erkenntniszuwachs: hoch
Rang	1
Zeitbedarf	mind. 3...5 Jahre
Rang	4
Forschungs- und Entwicklungsaufwand	hoch; vergleichbar mit R 300 bzw. R 40 (Gesamtvorhaben)
Rang	4
Konsequenzen, Erfolgs-Möglichkeiten	Software muß größtenteils portiert bzw. neu geschaffen werden. Neue Gebrauchswerte möglich. Hoher Leistungszuwachs. Rückstand weitgehend aufgeholt.
Rang	1
Bemerkungen	Durchführbarkeit im Rahmen des existierenden Arbeitsvolumens gewährleistet, aber straffe zentrale Planung notwendig. Eigene Komplettsysteme versprechen günstigste Ertrags-Lage. Risiko: zu geringe Innovationsrate