

2

Schwerpunkte der Informatikforschung in Deutschland in den 80er Jahren

Bernd Reuse

(Bad Honnef)

2.1 Die forschungspolitische Situation im DV/IT-Bereich

Forschungsminister in dem hier genannten Jahrzehnt waren Dr. Volker Hauff, von Februar 1978 bis November 1980, Dr. Andreas von Bülow, vom November 1980 bis Oktober 1982, und Dr. Heinz Riesenhuber, von Oktober 1982 bis Januar 1993.

Die **wichtigsten strukturellen Maßnahmen** resultierten aus der Jobkillerdiskussion in Bezug auf die Mikroprozessoren gegen Ende der 70er Jahre, die u. a. zum Resultat hatte, dass die Förderung der Großindustrie politisch zurückgefahren wurde und dafür eine breite KMU-orientierte Förderung im Aufbau mit DV-Systemen und -Komponenten eingeleitet wurde. Die Aufbauphase für die Informatiklehre und -forschung im Hochschulbereich war inzwischen abgeschlossen, die Studentenzahlen stiegen erheblich über die in den 70er Jahren prognostizierten und von einigen Experten als Überschussangebote befürchteten Zahlen (s. Kap. 1.2.1). An Gründungen neuer Forschungseinrichtungen ist die des „FZI Forschungszentrum Informatik“ in Karlsruhe im Jahr 1985 zu vermelden. In der Begriffsbildung ging man von der Datenverarbeitung zur Informationstechnik über, in der Förderung von den DV-Programmen zu den IT-Programmen. Verbundprojekte zwischen der Industrie und der Forschung in den Hochschulen und Forschungseinrichtungen wurden nach einer Pause von einigen Jahren – sie wurden erstmals im Überregionalen Forschungsprogramm Informatik eingeführt (s. Kap. 1.2.1) – ab den Jahren 1983/84 in aller Breite neu gestartet und bis heute beibehalten.

Es gab in den 80er Jahren drei **IT-Förderprogramme**: das „Programm zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Informationstechnik“, von 1980 bis 1983, die „Konzeption der Bundesregierung zur Förderung der Entwicklung der Mikroelektronik, der Informations- und Kommunikationstechniken“, kurz das Programm „Informationstechnik“, von 1984 bis 1988, und das „Zukunftskonzept Informationstechnik“, welches von 1989 bis 1992 lief. Schwerpunkte der Förderung in den 80er Jahren waren:

- **IT-Technologie, IT-Infrastruktur, Grundlagenforschung**

Aufbau des Deutschen Forschungsnetzes DFN, Unterstützung der optischen Nachrichtentechnik in der Telekommunikation, Verstärkung der breiten Grundlagenforschungsprogramme der Deutschen Forschungsgemeinschaft auf dem Gebiet der Informationstechnik mit Sondermitteln des BMFT

- **Elektronische Bauelemente**

Übergang der Förderung der Herstellung von Mikroelektronik zu deren Anwendung – Sonderprogramm Anwendung der Mikroelektronik, Rechnergestützter Entwurf (CAD) für integrierte Schaltungen, mikroelektronische Schlüsselkomponenten, Submikrontechnologie

- **Elektronische Datenverarbeitung, Informationsverarbeitung**

Rechnergestützter Entwurf für Computer und Software, neue Rechnerstrukturen, Wissensverarbeitung und Mustererkennung, Spracherkennung, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Software

2.2 Schwerpunkte der Informatikforschung

Über die Schwerpunkte der vom Bund geförderten und damit zusammenhängenden Informatikforschung in diesem Jahrzehnt, die sich in den Förderprogrammen bis 1988 noch unter dem Begriff der Elektronischen Datenverarbeitung vereinen und dann zur Informationsverarbeitung übergangen, wird im Folgenden ausführlich berichtet.

2.2.1 *Aufbau der KI-Forschung in Deutschland*

Hier soll zunächst einmal auf die Frage eingegangen werden, warum das Forschungsthema der Künstlichen Intelligenz nicht Bestandteil des Überregionalen Forschungsprogramms Informatik geworden ist. Es gab doch zu der Zeit, als die ÜRF-Themen in Deutschland definiert wurden, also Ende der 60er Jahre, in den USA hinreichend lange laufende und wohl auch von anerkannten Wissenschaftlern wie Minsky (Dartmouth-Konferenz 1956), Weizenbaum (ELIZA 1966), Feigenbaum (Dendral 1967) und anderen getragene Entwicklungen auf dem Gebiet der Artificial Intelligence, über die zuletzt im Beisein von Marvin Minsky auf der internationalen Konferenz „**50 Years of AI**“ im Juni 2006 in Bremen berichtet wurde [1]. Der Eröffnungsvortrag des Autors dieses Artikels auf der gleichen Konferenz in Bremen hingegen hieß nur „**30 Years of Support of AI in Germany**“ [2], und er beschrieb die Anfänge der KI in der Förderung der Mustererkennung und der Sprachverarbeitung ab Mitte der 70er Jahre bis heute, wo die KI in praktisch alle Informatikaktivitäten integriert ist und wo inzwischen auch in Deutschland weltweit beachtete Durchbrüche auf diesem Gebiet erzielt wurden, über die in den Folgekapiteln noch ausführlich berichtet wird.

Die Antwort kann vom Autor dieses Artikels nicht direkt gegeben werden, denn er kam erst nach dem Start des Überregionalen Forschungsprogramms Informatik, Anfang der 70er Jahre, zu seiner Aufgabe im BMBW bzw. BMFT. Eine Befragung aller noch ansprechbaren früheren Kollegen innerhalb und außerhalb des Ministeriums ergab dann aber das folgende relativ einheitliche Bild:

Die Vertreter der Künstlichen Intelligenz hatten in den 50er und 60er Jahren zu früh zu hohe Erwartungen an die Erfolge in der Anwendung der KI geweckt, und in Deutschland gab es Ende der 60er Jahre noch keine international anerkannten Experten auf diesem Gebiet, die die KI in die Diskussionen um das Überregionale Forschungsprogramm Informatik hätten einbringen können. Am ehesten hätte wohl Karl Steinbuch diese Rolle übernehmen können, aber der Kollege Goos geht in seinem Beitrag auf die Gründe ein, warum dies nicht geschah.

Im Überregionalen Forschungsprogramm Informatik haben in den 70er Jahren zuerst Hans-Hellmut Nagel an der Universität Hamburg im Bereich „Verfahren zur digitalen Verarbeitung kontinuierlicher Signale“ und Heinrich Niemann von der Universität Erlangen-Nürnberg an Themen der Mustererkennung und an kognitiven Systemen gearbeitet. Sie wurden in den 70er Jahren aber nicht als KI-Themen bezeichnet.

Den eigentlichen Anstoß für den breiten Start der Förderung der Themen der KI in Deutschland ab Anfang der 80er Jahre gaben dann sicher die ab Ende der 70er Jahre bekannten Vorbereitungen und dann der Start des „5th Generation Program“ in Japan im Jahr 1982. Allerdings wurden die folgenden nennenswerten Forschungsarbeiten in Deutschland in der Sprachverarbeitung, der Bildverarbeitung und später der Wissensverarbeitung/Expertensysteme, auf die in den nächsten Kapiteln eingegangen wird, in den Förderprogrammen des BMFT bis Mitte der 80er Jahre noch nicht als KI-Themen ausgewiesen.

Auch als die Gesellschaft für Informatik 1981/82 die Fachbereichsstruktur einführte, gab es Probleme mit dem Fach der Künstlichen Intelligenz. Es wurde heftig diskutiert, ob die KI, die seit 1975 als Fachgruppe „Methoden der Künstlichen Intelligenz“ aktiv war, weiter in der GI verbleiben sollte und wenn ja, in welchem Fachbereich sie angesiedelt werden sollte. Schließlich machte Wilfried Brauer (GI-Präsidiumsmitglied) den Vorschlag, dass die KI im Range eines Fachausschusses (1.2) mit dem Fachausschuss 1.1 „Grundlagen der Informatik“ gemeinsam den Fachbereich 1 bilden sollte (mit Wilfried Brauer als FB-Sprecher), der dann auch vom GI-Präsidium akzeptiert wurde. Erst im Jahr 1989 gelang es den Vertretern der KI, den Fachbereich 1 mit seinen beiden praktisch unabhängig agierenden Fachausschüssen 1.1 und 1.2 (sowohl was das vertretene Gebiet, als auch was die Mitgliederstruktur betraf) in zwei eigenständige Fachbereiche zu teilen. Die Auseinandersetzungen im GI-Präsidium dauerten dabei ein gutes halbes Jahr, bis die Spaltung des Fachbereichs 1 und die Anhebung des Fachausschusses KI zu einem Fachbereich durch eine Kampf Abstimmung mit knapper Mehrheit vollzogen wurde [3].

Bezeichnend ist ein Artikel von Wilfried Brauer, immerhin aus dem Jahr 1993, mit dem Titel „KI auf dem Weg in die Normalität“, worin er noch darauf hinweist, dass es zu jenem Zeitpunkt in der deutschen KI-Gemeinde (noch) umstritten war,

ob man öffentlich über die Situation der KI diskutieren sollte oder ob das nicht nur den Gegnern und Konkurrenten der KI nütz(t)e [4].

2.2.1.1 Sprachverarbeitung

Bereits Mitte der 60er Jahre wurde in Saarbrücken eine Forschungsgruppe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) um den Linguisten Hans Eggers und den Mathematiker Johannes Dörr eingerichtet, die sich mit der automatischen Textübersetzung Russisch-Deutsch beschäftigte. Aus dieser Kooperation entwickelte sich dann der Sonderforschungsbereich 100 „Elektronische Sprachforschung“ der DFG, der ab 1972 gefördert wurde. Die im SFB 100 unter Günter Hotz entworfene Programmiersprache für die Linguistische Datenverarbeitung, die unter dem Namen COMSKEE von 1973–1985 entwickelt wurde, hatte spezielle dynamische Datentypen für die maschinelle Sprachverarbeitung wie *string*, *set* und *sentence* und war lange Zeit die Grundlage für die Spin-off-Firma DIaLOGIKa (seit 1982 im Markt tätig). Auch das Saarbrücker Textübersetzungssystem SUSY (entwickelt 1972–1986) wurde im Rahmen des SFB 100 für die Übersetzung von Deutsch nach Englisch und Russisch nach Deutsch entwickelt. Der SFB 100 war die Keimzelle für den heutigen Studiengang Computerlinguistik an der Universität des Saarlandes und für das international anerkannte Kompetenzzentrum für Sprachtechnologie am DFKI in Saarbrücken [5].

In den 70er Jahren verstärkten sich die Forschungsarbeiten zur Sprachverarbeitung, auch dank des Überregionalen Forschungsprogramms Informatik, an einigen weiteren Universitäten, wie Hamburg und Erlangen und in der Industrie, namentlich bei Siemens und Philips. Eine erste Übersicht über diese Arbeiten ergibt ein Bericht über einen „Workshop Sprachverarbeitung“ am 08. Dezember 1982 in der GMD [6], welcher im Auftrag des BMFT stattgefunden hat. Dabei fällt auf, dass sich die Industrie schwerpunktmäßig den Themen der Spracherkennung (hier Erkennung aus dem Sprachsignal) widmete – die Wortschatzgrößen lagen bei der sprecherunabhängigen Worterkennung über Telefon bei unter hundert Wörtern –, während im Hochschulbereich – zumindest zu diesem Zeitpunkt – das Verstehen geschriebener Sprache mit linguistischen Methoden am weitesten fortgeschritten war.

Beachtlich war u. a. das Projekt **HAM-ANS** – Hamburger Anwendungsorientiertes Natürlichsprachliches System (1977–1985), dessen Vorläufer „Hamburg Dialogue Partner Model“ (HAM-RPM) bis Mitte 1977 unter der Leitung von Walter von Hahn zunächst als reines Hochschulprojekt an der Universität Hamburg lief. HAM-ANS wurde dann von November 1977 bis Dezember 1980 von der DFG gefördert und von Juli 1981 bis Februar 1985 vom BMFT; eine seltene Karriere eines Forschungsprojekts, über welches auf dem GMD-Workshop ausführlich berichtet wurde.

HAM-ANS war eines der ersten wissensbasierten natürlichsprachlichen Systeme, das dem Benutzer über schriftliche Dialoge in deutscher Alltagssprache

exemplarische Dialoge in drei verschiedenen Anwendungsszenarien ermöglichte, darunter ein Hotelreservierungssystem und ein bildverstehendes System aus dem Verkehrsbereich.

Man konnte (schriftliche) Fragen, Rückfragen, Aufforderungen eingeben, wobei die Systemreaktionen Antworten oder Klärungsrückfragen sein konnten. Am Ende des Projekts hatte HAM-ANS einen Lexikonumfang von 1530 Wörtern, und man konnte in Beispieldialogen ein ausführliches „Gespräch“ mit einem Hotelreservierungssystem führen, das mit der Buchung eines Zimmers und der Bestellung von Getränken endete [7].

Wenn später auf ähnliche Demos in Verbmobil hingewiesen wird, so ist im Vergleich zu HAM-ANS neben dem bei Verbmobil erheblich größeren Vokabular und der Übersetzung vor allen Dingen zu berücksichtigen, dass es sich bei Verbmobil um die Erkennung gesprochener Sprache handelte, wo in den erkannten Sätzen alle möglichen Fehler und Phänomene auftreten können, die eine robuste Weiterverarbeitung, z. B. durch statistische Methoden, erfordern. Bei HAM-ANS wurden hingegen korrekt geschriebene Texteingaben erwartet.

Ein wichtiges Vorhaben, welches die Spracherkennung in den 80er Jahren deutlich vorangebracht hat, war das Verbundvorhaben **SPICOS** – Spracherkennung (1984–1987). Es wurde zunächst von den Partnern Siemens AG (Harald Höge), Philips Communications AG (Herman Ney) und der AEG AG (Helmut Mangold) durchgeführt. Deren Forschungsarbeiten wurden dann (als SPICOS II) in einem größeren Rahmen in das Verbundprojekt „Sprachverstehende Systeme“ eingebracht, an dem noch Alcatel SEL, die DaimlerChrysler AG, die Universitäten Erlangen-Nürnberg, Bochum, Regensburg, Berlin (TU) und München (LMU) beteiligt waren. Das Projekt „Sprachverstehende Systeme“ lief von 1988 bis 1990.

In diesem bedeutenden Projekt entwickelten die beteiligten Laboratorien mit Erfahrung in der automatischen Spracherkennung und der Computerlinguistik gemeinsam erste Verfahren zur Erkennung und zum Verstehen **fließend** gesprochener Sprache und beendeten die bis dahin üblichen kommandohaften, auf akustische Wortgrenzen achtende Spracheingaben. Selbstverständlich bezog sich das noch auf die Erkennung von einfachen Fragesätzen und Befehlen aus einem bestimmten Anwendungsgebiet mit einem begrenzten Wortschatz. Die potenziellen Anwendungsgebiete waren Datenbankzugriffe, Auskunftssysteme, Textverarbeitungssysteme, Prüfungssysteme und Telekommunikationsdienste.

Im Jahr 1989 erreichte das System SPICOS II eine Wortschatzgröße von 1200, es war sprecheradaptiv, die Dialogstruktur ging über einfache Frage-Antwortsysteme hinaus und ließ Klärungsdialoge und Folgefragen zu. Die Systemantwortzeiten auf einem Minicomputer lagen bei 5 bis 20facher Echtzeit [8].

Von den in den 80er Jahren durchgeführten geförderten wichtigen Verbundprojekten zur Sprachverarbeitung in Deutschland soll noch das Projekt **VESPRA** – Erkennung und Verarbeitung von gesprochener Sprache mit einfacher Syntax und Semantik für Informations- und Leitsysteme (1987–1990) – erwähnt werden, welches unter der Leitung von der DaimlerChrysler AG zusammen mit der Siemens

Nixdorf AG und Alcatel SEL lief. In ihm wurden erste Anwendungen im Kraftfahrzeug mit seiner Besonderheit der Störgeräuschunterdrückung vorbereitet.

Nicht gefördert, aber dennoch sehr nachhaltig wirkend war das Projekt **LILOG** – Linguistische und logische Methoden zum maschinellen Verstehen des Deutschen (1986–1991) –, welches in Zusammenarbeit von IBM Deutschland (Otthein Herzog) und den Universitäten Hamburg, Osnabrück, Saarbrücken, Stuttgart, Trier und Bielefeld durchgeführt wurde. Darin ging es nicht nur um Computerlinguistik, sondern auch um KI-Methoden, wie die Wissensakquisition und die Wissensrepräsentation [9]. Die Drittmittelfinanzierung (30 Mio. DM) kam insgesamt von IBM. IBM wurde dann ab 1993 Partner im Leitprojekt Verbomobil-Phase 1 und brachte die Ergebnisse von LILOG dort mit ein (s. Kap. 3.2.5.1).

2.2.1.2 Mustererkennung

Erste Fördermaßnahmen zur Mustererkennung (Erkennung von Grauwertmustern) gab es schon Ende der 60er Jahre im Bundesministerium der Verteidigung (BMVg). Auf die Forschungsarbeiten zur Mustererkennung in den 70er Jahren im Zweiten DV-Programm im Rahmen des Überregionalen Forschungsprogramms Informatik wurde bereits eingegangen. Mit dem Dritten DV-Programm wurden dann breite Fördermaßnahmen zur Mustererkennung angekündigt und ab Anfang der 80er Jahre durchgeführt, vor allem im Bereich Sprachsignalanalysen, Bildanalysen, Lesegeräte für Texte u. a.

Das wichtigste und nachhaltigste Fördervorhaben der 80er Jahre auf dem Gebiet der Mustererkennung war ganz sicher das EUREKA-Forschungsprogramm Prometheus, auf das im Folgenden eingegangen wird.

EUREKA-Forschungsprogramm Prometheus

Prometheus war ein von Deutschland initiiertes und mit der europäischen Automobilindustrie im EUREKA-Rahmen federführend durchgeführtes Forschungsprogramm, in dem Konzepte und Lösungen erarbeitet wurden, die den Straßenverkehr in Europa in allen seinen Leistungsmerkmalen verbessern, d. h. sicherer, wirtschaftlicher, umweltfreundlicher und komfortabler machen sollten. Prometheus stand für „Programm for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety“.

Die Arbeit an Prometheus begann im Oktober 1986 mit der Definitionsphase, der sich eine Startphase anschloss, die bis Dezember 1988 lief. Im Januar 1989 begann die Hauptphase des Forschungsprogramms, die bis Ende 1994 dauerte. Das Konsortium aus konkurrierenden Unternehmen hat so lange reibungslos gehalten, was beachtlich ist.

In Deutschland beteiligten sich an Prometheus alle großen Kraftfahrzeughersteller: BMW, Daimler-Benz, Ford, MAN-Nutzfahrzeuge, Opel, Porsche und Volkswagen, mit jeweils spezifischen Themen. Insgesamt gab es in Deutschland

47 direkt beteiligte Firmen (Automobilhersteller, Elektronik- und Zulieferindustrie) und Forschungsinstitute; etwa die gleiche Zahl war noch im Rahmen von Unteraufträgen beteiligt. In Frankreich waren von den großen Unternehmen insbesondere Matra, Peugeot-Citroen und Renault vertreten. Aus Italien kam noch Fiat dazu, aus Großbritannien Jaguar, aus Schweden Volvo und Saab. In Europa waren über 200 Forschungspartner in das Programm eingebunden.

Bei einer so beeindruckenden Zahl im Markt konkurrierender Unternehmen muss es gute Gründe gegeben haben, sich im vorwettbewerblichen Feld so reibungslos zusammenzuschließen. Die Hersteller hatten aber erkannt, dass die ständig wachsende Verkehrsdichte in der Zukunft und damit Probleme in der Attraktivität ihrer Produkte nur durch kraftfahrzeugseitige Entwicklungen – die sie wohl meistern konnten – und parallele zugehörige Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen zu lösen waren. Dafür waren aber die nationalen Verkehrsbehörden zuständig, und diese sollten und wurden in die Begleitung und Förderung der Forschungsvorhaben einbezogen. Das gleiche galt für die EU, ohne die grenzüberschreitende Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen nicht realisierbar waren. Dabei ging es um intelligente Maßnahmen der Verkehrstelematik und nicht etwa um Bauvorhaben, denn ein Straßenausbau, der dem Wachstum des Verkehrs hätte mithalten können, erschien nicht realisierbar.

Der EU kam hier eine besonders wichtige Rolle zu, die sie etwas zögernd, wenn nicht ungerne, übernommen hatte, weil sie ja eigentlich in den EUREKA-Initiativen eine Konkurrenz sah und noch heute sieht. Es gab viele lange, schwierige Diskussionen zu diesem Thema mit der EU und mit dem Europäischen Parlament, an denen der Autor dieses Artikels zusammen mit einem sehr hilfreichen Kollegen auf Seiten der EU, Herrn Roland Hüber, Direktor des Forschungsförderungsprogramms DRIVE der EU, beteiligt war. Ihm kommt hier ein großes Verdienst zu.

Die von allen Seiten schließlich anerkannten **Gründe zum Start von Prometheus** lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die volkswirtschaftlichen Verluste durch Suchfahrten, nicht optimale Streckenwahlen und Behinderungen wurden für Europa auf ca. 40 Mrd. DM p. a. geschätzt.
- Im Jahr 1989 ereigneten sich in der Bundesrepublik Deutschland 343 500 Unfälle mit Personenschäden, 7991 Personen wurden getötet. Die zugehörigen volkswirtschaftlichen Verluste wurden auf ca. 50 Mrd. DM p. a. geschätzt.
- Der Anteil des Straßenverkehrs an den Schadstoffemissionen in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1986 betrug bei Kohlenmonoxid 71%, bei den Stickoxiden 52% und bei den Kohlenwasserstoffen 49%.

Daraus entwickelten sich die folgenden **Ziele für Prometheus**:

- Verbesserung in der Verkehrssicherheit durch neue Systeme zur Unfallvermeidung, die kritische Situationen bereits im Entstehen erkennen und den Fahrer bei der Bewältigung von Gefahrensituationen unterstützen,
- Verbesserung in der Umweltverträglichkeit des Kraftfahrzeugverkehrs durch Maßnahmen, die den Verkehrsfluss, insbesondere durch Vermeidung von Staus, gleichmäßig gestalten und unnötigen Verkehr reduzieren,

- Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des Verkehrs, durch kooperative fahrzeug- und straßenseitige Systeme zur Verbesserung der Verkehrsorganisation und zur optimalen Nutzung des vorhandenen Verkehrsraums.

Der Grundgedanke für die **technischen Lösungsansätze von Prometheus** war die Zusammenführung bisher getrennter Sicherheitsphilosophien für das Kraftfahrzeug und für die Verkehrsinfrastruktur in einem integralen Verkehrssystemansatz. Im Einzelnen zielten die Entwicklungen auf:

- Warnsysteme, die den Fahrer rechtzeitig auf Gefahren wie Glatteis, Nebel, Unfälle hinweisen, auch wenn sie außerhalb seines Sichtbereichs liegen,
- Assistenzsysteme, die den Fahrer in kritischen Situationen in seiner Reaktionsfähigkeit unterstützen, bzw. ihn in der Gefahr schneller und richtiger reagieren lassen,
- Notfallsysteme, die bei Unfällen automatisch über Funk einen Notruf vom Fahrzeug aus an die nächstgelegene Rettungsleitstelle absetzen und gleichzeitig die nachfolgenden Fahrzeuge auf die vor ihnen liegende Gefahr hinweisen und
- Verkehrsleitsysteme, die bei jeder Verkehrssituation zur optimalen Streckenentscheidung beitragen können, insbesondere satellitengestützte Verkehrsleitsysteme für den Güterverkehr, mit den Komponenten Fahrzeugortung, Fahrtroutenoptimierung und der Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Einsatzleitzentralen.

Das war natürlich mehr als in dem Sechs-Jahres-Projekt geleistet werden konnte, aber der erste Anspruch und die Initiative zu diesen Forschungsarbeiten, die die Dimension einer Grand Challenge hatten, stammt von Prometheus.

Im **Juni 1990** wurden die bis dahin erreichten **Zwischenergebnisse von Prometheus** öffentlich zur Diskussion gestellt und im Anschluss daran wurde eine Reevaluiierung der Forschungsziele vorgenommen. Erste Demonstratoren konnten gezeigt werden für die:

- Sichtverbesserung bei Dunkelheit, Regen, Schnee und Nebel,
- Abstands-Messung und -Warnung,
- Verkehrslenkung und Zielführung,
- Satellitenkommunikation zwecks Optimierung des Nutzfahrzeugverkehrs.

Im **Jahr 1999** hat der damals beim Projektträger des BMFT (TÜV Rheinland) für Prometheus zuständige Mitarbeiter, Peter Rüenauf, folgende **Bilanz der Forschungsergebnisse von Prometheus** gezogen [10]:

„Rund 4 Jahre nach Abschluss des Programms waren einige der in Prometheus untersuchten und entwickelten Telematik-Komponenten und -Systeme bereits eingeführt. Dazu zählten satellitengestützte Flottenmanagementsysteme für Nutzfahrzeuge, die autonome Routenführung mit elektronischem Atlas und Positionsbestimmungen über Satelliten (GPS) sowie Verkehrsinformationsdienste für den Autobahnbereich, mit aktuellen, digitalisierten Meldungen über den Verkehrsfunkkanal TMC des Radio-Datensystems RDS im UKW-Rundfunk oder im Mobilfunknetz GSM (D1/D2). Des Weiteren waren Fahrzeuggeräte zur dynamischen

Routenführung, die die autonome Routenführung an die aktuelle Verkehrssituation mittels RDS/TMC- oder GSM-Verkehrsdaten anpassen, und Systeme zur „Automatischen Abstands- und Geschwindigkeitsregelung (ACC)“ für Autobahnen, gerade in der Einführung im Markt.“

Dass das Prometheus-Programm auch international Maßstäbe gesetzt hatte, zeigte sich an Nachahmungen in den USA und in Japan, aber hier war die europäische Automobil- und Zulieferindustrie schneller und nachhaltiger.

Für das Prometheus-Programm wurden die **europäischen Gesamtkosten** (Eigenmittel und Fördermittel) auf rund 1,5 Mrd. DM geschätzt, davon entfiel der Hauptanteil von etwa 40% auf Deutschland.

Im folgenden Zeitfenster wird das im Informatikbereich des BMFT angesiedelte Teilprojekt von Prometheus zur Künstlichen Intelligenz PRO-ART vorgestellt. Die anderen sechs Teilprojekte waren in der Verkehrsforschung angesiedelt.

Zeitfenster Stand der Autonomie und Mustererkennung am Beispiel des EUREKA-Projekts Prometheus PRO-ART (1986–1994)

Hans-Hellmut Nagel

Durch das „Überregionale Forschungsprogramm Informatik“ (ÜRF) war in den siebziger Jahren in der Bundesrepublik Deutschland eine breit angelegte und wissenschaftlich solide verankerte Informatik-Forschung und -Lehre entstanden. Im Zusammenhang mit dem hier vorgestellten Teilthema EUREKA Prometheus PRO-ART (PROmetheus ARTificial intelligence) seien insbesondere zwei Aspekte hervorgehoben, nämlich einerseits die Verbindung zwischen Informatik und Signalauswertung durch den Schwerpunkt „Digitale Verarbeitung kontinuierlicher Signale“ des ÜRF und andererseits die Verankerung des sich international entwickelnden Teilgebietes „Wissensverarbeitung und Künstliche Intelligenz“ in der Informatik-Forschung und -Lehre.

Beide Entwicklungen trugen dazu bei, dass sich neu entstandene Informatik-Forschungsgruppen Anfang der achtziger Jahre in einem aus Anregungen von Informatikern hervorgegangenen DFG-Schwerpunktprogramm *Modelle und Strukturen bei der Auswertung von Bild- und Sprachsignalen* mit Forschungsgruppen aus anderen, seit langem etablierten Disziplinen – insbesondere der Nachrichtentechnik und der Angewandten Physik – zusammenfanden. Diese Gruppen studierten die Interpretation von Signalen anhand explizierter Repräsentationen von Wissen u. a. für die Verfolgung und Beschreibung bewegter Körper.

Obwohl Mitte der achtziger Jahre bereits weltweit über erste Experimente mit einer sichsystemgestützten Führung mobiler Roboter berichtet worden war, erlaubten die damals verfügbaren Rechner und Verfahren noch keine für einen praktischen Einsatz im Straßenverkehr hinreichend schnell, flexibel und sicher erscheinenden Lösungsansätze.

Innerhalb des Prometheus-Projektes war dem Teilprojekt PRO-ART die Aufgabe übertragen worden, in der Grundlagenforschung untersuchte Verfahrensansätze auf den Gebieten Signalverarbeitung, Meß- und Regelungstechnik, Künstliche Intelligenz sowie der Mensch-Maschine-Kommunikation zu sichten, zu erproben und für einen Einsatz zur Steigerung der Sicherheit und Effizienz des Straßenverkehrs aufzubereiten. Entsprechend der europäischen Ausrichtung von Prometheus arbeiteten in PRO-ART universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen in Deutschland, England, Frankreich, Italien und Schweden zusammen, mit einem nationalen PRO-ART-Koordinator sowie mit Unterstützung der jeweiligen nationalen Automobilhersteller und Zulieferer.

Am deutschen PRO-ART-Teilprojekt wirkten unter der Konsortialführung des Fraunhofer IITB (Hans-Hellmut Nagel) die folgenden Forschungsgruppen mit: Graphikon GmbH Berlin, Universität Münster – Institut für Allgemeine und Angewandte Psychologie, Universität der Bundeswehr München – Institut für Systemdynamik und Flugmechanik – Institut für Messtechnik – Institut für Programmiersprachen und Programmentwicklung, Universität Dortmund – Institut für Roboterforschung, Technische Universität Braunschweig – Institut für Regelungstechnik, Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB) Karlsruhe, Forschungszentrum Informatik (FZI) Karlsruhe und Ruhr-Universität Bochum – Institut für Neuroinformatik.

Bezüglich der umfangreichen und nachhaltigen Ergebnisse des Projekts soll zunächst die Forschungsgruppe der Universität der Bundeswehr um E. D. Dickmanns und V. Graefe erwähnt werden, die erstmalig nachweisen konnte, dass eine durch Spezialprozessoren unterstützte sehr schnelle Kantenelement-Extraktion in hinreichend präzise platzierten Testfenstern um das Abbild von Fahrspurbegrenzungen in Kombination mit einem ausgefeilten regelungstechnischen Ansatz zur Prädiktion und Aktualisierung des Fahrzeugzustands eine sichtsystemgestützte automatische Fahrt *auf Autobahnen* bis zur Höchstgeschwindigkeit (ca. 100 km/h) des ursprünglich verwendeten Testfahrzeugs erlaubte.

Als exemplarische Teilaufgabe für den komplexeren Fall einer Fahrerunterstützung *im Innenstadtbereich* erarbeitete das IITB eine prototypische Lösung zur sichtsystembasierten Erkennung einer ampelfreien innerstädtischen Kreuzung und studierte mit dazu speziell ausgerüsteten, für eine sichtsystembasierte Fahrzeugführung entwickelten Testfahrzeugen einen maschinellen Kopiloten, der bei zu schneller Annäherung an eine Kreuzung auf einer nicht vorfahrtsberechtigten Straße in einer *an den Fahrer adaptierten Weise* warnte.

Diese explizit angeführten Teilergebnisse wurden ergänzt durch eine breite Palette von Ergebnissen zu spezielleren Fragen, beispielsweise zur Hindernisdetektion (u. a. Uni Bochum, W. von Seelen und Mitarbeiter), zu automatisch durchgeführten Ausweichmanövern bei drohenden Kollisionen oder zur Gestaltung komplexerer Bedienoberflächen bei Fahrerunterstützungssystemen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sichtsystembasierte Fahrerunterstützungssysteme im Kraftfahrzeug gegen Ende des Prometheus-Projektes in der Automobilindustrie als zukünftig praktikable Lösungsansätze akzeptiert wurden.

Der rasch sichtbar werdende Erfolg der europaweiten Prometheus-Kooperation stimulierte zahlreiche Folgeprojekte. Prometheus wirkte u. a. auf die Grundlagenforschung zurück mit dem 2006 durch die DFG gestarteten Sonderforschungsbereich „Kognitive Automobile“ (Transregio Karlsruhe-München, Koordination durch Ch. Stiller, Universität Karlsruhe). Mit starker Industriebeteiligung entstanden das BMBF-Projekt „Innovativer Verkehr und Neue Technik“ (INVENT) und die EU-Projekte „Dedicated Road Infrastructure for Vehicle safety and Efficiency“ (DRIVE), „Advanced Transport Telematics“ (ATT) sowie „Preventive and active safety applications“ (PREVENT), wobei hier insbesondere die PREVENT-Teilprojekte RESPONSE I–III erwähnt werden sollen. In diesen RESPONSE-Projekten hat sich die europäische Automobilhersteller- und Zulieferer-Industrie in weltweit führender Weise der bereits in PRO-ART aufgegriffenen Problematik der Fahrer-Fahrzeug-Wechselwirkung einschließlich der damit eng verknüpften Einführung von Fahrerunterstützungssystemen in einen geeignet vorzubereitenden Markt gewidmet (s. a. ausführlichen Bericht im Teil II).

2.2.1.3 Expertensysteme

Expertensysteme waren eines der großen Forschungsthemen der 80er Jahre. Immerhin zeigte sich in deren zweiter Hälfte nach etwa 20-jähriger weltweiter Forschung ein erster Durchbruch in deren kommerziellem Einsatz.

Der BMFT förderte in den 80er Jahren insgesamt neun größere Verbundprojekte auf diesem Gebiet. Die bekanntesten waren die Projekte WEREX, WISBER, WISDOM, LERNER und drei Verbünde TEX-I, TEX-K und TEX-B, über die auf dem „2. Internationalen GI-Kongress über Wissensbasierte Systeme“ im Oktober 1987 in München [12] und in einer BMFT-Broschüre aus dem Jahr 1988 [13] ausführlich berichtet wurde.

- *WEREX – Koordiniertes System von Werkzeugen für die Konstruktion und den Betrieb von Expertensystemen (1985–1989)*

Acht Verbundprojektpartner unter der Koordination der GMD (Thomas Christaller). Forschungspartner weiterhin: Universitäten Erlangen-Nürnberg und München (LMU), ZGDV. Industriepartner: ADV/Orga AG, PCS GmbH, Siemens AG und DANET.

In WEREX ging es darum, für verschiedene UNIX-Rechner (UNCLE) und MS-DOS-Systeme ein offenes Werkzeugsystem zum Aufbau von Expertensystemen zu entwickeln, welches in Verbindung mit dem Babylon System der GMD stand. Babylon war in der genannten Zeit die erste in Deutschland bis zur Produktreife entwickelte offene und portable Entwicklungsumgebung für Expertensysteme (KI-Werkbank) [14].

- *WISBER – Wissensbasierter Beratungsdiallog (1985–1989)*

Fünf Verbundprojektpartner unter der Koordination der Universität Hamburg (Bernd Neumann). Weiterer Forschungspartner: Universität des Saarlandes (Wolfgang Wahlster). Industriepartner: Siemens AG, SNI AG, SCS GmbH.



Abb. 2.1 Entwicklung im Einsatz von Expertensystemen (Quelle [11])

In WISBER ging es um die Entwicklung eines wissensbasierten Beratungssystems mit angemessen breiten und robusten Analyse- und Generierungskomponenten für geschriebene deutsche Sprache, die auf ein Partnermodell zurückgreifen.

- *WISDOM – Wissensbasierte Systeme zur Bürokommunikation-Dokumentenbearbeitung, Organisation, Mensch-Computer-Kommunikation (1984–1989)*
Sechs Verbundprojektspartner unter der Koordination der TA Triumph-Adler AG (Rainer Lutze). Forschungspartner: Universitäten Stuttgart, München (TU), GMD, Fraunhofer IAO. Industriepartner weiterhin: Berner und Mattner GmbH. WISDOM hatte das Ziel, Wissen über die Aufbau- und Ablauforganisation im Büro formal zu repräsentieren. Projektschwerpunkte lagen auf der Erstellung und Bearbeitung zum Teil multimedialer Dokumente. Dazu kamen Techniken der Benutzermodellierung, der aktiven und passiven Hilfesysteme und der objektorientierten Wissensrepräsentation.
- *LERNER – Wissenserwerb und Lernen zum Einsatz von Dienstleistungs-Expertensystemen (1985–1989)*

Drei Verbundprojektspartner unter der Koordination der Nixdorf Computer AG (S. Savory). Forschungspartner: TU Berlin. Industriepartner weiterhin: Stollmann GmbH

In Lerner ging es schwerpunktmäßig um die Lösung des Problems des Wissenserwerbs, denn man hatte erkannt, dass der Erwerb, die Modellierung und die Übertragung des Wissens durch den Menschen, durch sog. „Knowlegde Engineers“, zu schwierig und zu fehleranfällig war, um zu einsatzfähigen Expertensystemen zu kommen. Entwickelt wurden daher „automatisierte Methoden zum Erwerb von regelhaftem Wissen für Expertensysteme“, die man auch als Methoden des „Maschinellen Lernens“ (eine der heute noch wichtigsten Aufgaben der KI) bezeichnen kann. Die neuen Methoden wurden an Hand von Anwendungsbeispielen wie der Expertensystem-Shell TWAICE von Nixdorf erprobt.

Die drei Verbundvorhaben TEX (1985–1990) behandelten je eine in sich geschlossene technische Thematik und berücksichtigten dabei den Umstand, dass Expertensysteme damaliger Ausprägung nur auf eng begrenzten und klar umrissenen Problemfeldern effektiv arbeiten konnten.

Bei TEX-I, Federführer Siemens AG (R. Schulze), ging es um die „Diagnose und Prozessführung von technischen Systemen“, bei TEX-K, Federführer Philips GmbH (Helmut Strecker), um die Planung und Konfiguration von technisch-wissenschaftlichen Anwendungen und bei TEX-B, Federführer Fraunhofer IITB (Hans Werner Früchtenicht), um Schlussfolgerungsverfahren und Wissensrepräsentationen für physikalisch-technische Systeme.

Aus den hier genannten Vorhaben der Expertensysteme, insbesondere aus dem Projekt TEX-K und einigen Folgeprojekten vom Anfang der 90er Jahre, wie BEHAVIOR und PROKON, entwickelten sich später noch heute im Markt tätige Spin-off-Unternehmen und -Produkte. Darüber und über die Evolution der damaligen Entwicklungen von Expertensystemen bis heute wird im folgenden Zeitfenster und im ausführlichen Bericht zu INDIA berichtet.

Zeitfenster Wissensbasierte Systeme

Das Verbundprojekt INDIA (1995–1999)

Peter Struss

Bereits Anfang der 80er Jahre wurden die Grenzen der traditionellen Expertensysteme deutlich. Vor allem in industriellen Anwendungen, z. B. bei der automatischen Diagnose technischer Anlagen und Systeme, sind Regeln als empirische Assoziationen als (alleinige) Wissensgrundlage für die Problemlösung nicht wirksam. Stattdessen gilt es, in der Wissensbasis „1st Principles“, d. h. systematisches naturwissenschaftliches und Ingenieurwissen zu repräsentieren. Konkret bedeutet dies, Verhaltensmodelle von relevanten Systembausteinen in algorithmischen Problemlösern automatisch zu verarbeiten.

Die Notwendigkeit und das Potential solcher modellbasierter Systeme wurden auch in Deutschland erkannt und motivierten, auf Initiative von P. Raulefs von der Universität Kaiserslautern, zum Verbundprojekt TEX-B (1985–1989), in dem an Grundlagen der Modellierung physikalisch-technischer Systeme gearbeitet wurde. Auf den Ergebnissen setzte das Projekt BEHAVIOR (1991–1994) auf. Hier wurden Theorien und Algorithmen für die automatische modellbasierte Diagnose entwickelt und z. B. auf die Fehlerlokalisierung in Ballastwassertanksystemen angewendet.

Während in diesen beiden Projekten erfolgreich die Anfang der 80er Jahre bestehenden Rückstände gegenüber der Forschung in den USA aufgeholt und etliche wichtige Beiträge zur internationalen Forschung geleistet wurden, verschaffte das spätere INDIA-Projekt einen Vorsprung im Hinblick auf die Umsetzung der Forschungsergebnisse. Die Ziele von INDIA waren:

- Transfer der Technologie in reale industrielle Anwendungen,
- Fokussierung der Forschung auf die dabei auftretenden Probleme und
- Entwicklung übertragbarer Verfahren.

Grundlage aller im Projekt untersuchten Lösungsansätze war die modellbasierte Diagnose: Grundlage des Verfahrens sind eine Modellbibliothek und eine Strukturbeschreibung des Systems. Die Modellbibliothek enthält Verhaltensbeschreibungen der Komponenten eines Systems. Aus diesen beiden Elementen wird automatisch ein Struktur- und Verhaltensmodell des konkreten Systems generiert, das dann automatisch analysiert werden kann, um computergestützte Diagnosen zu generieren.

Es wurden in INDIA drei sehr unterschiedliche Anwendungen bearbeitet und deren Anforderungen und Lösungsansätze im projektinternen Austausch abgeglichen. Jede dieser drei Säulen bestand jeweils aus einem Anwender für das konkrete Problem, einer Forschungsinstitution für die theoretischen Grundlagen und prinzipiellen Verfahren und einem Systemhaus für den Brückenschlag zwischen Theorie und Praxis, also für die Umsetzung der Verfahren in industriell einsetzbare Systeme:

- **Flurförderzeuge** (Gabelstapler) mit den Partnern STILL GmbH, Hamburg, ServiceXpert GmbH, Hamburg, und LKI Labor für Künstliche Intelligenz, Universität Hamburg
- **Anlagenbau** (Färbereianlage) mit THEN Maschinen- und Apparatebau, Schwäbisch Hall, R.O.S.E. Informatik GmbH, Heidenheim, und Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB, Karlsruhe
- **Mechatronische Kfz-Systeme** mit der Robert Bosch GmbH, Stuttgart und der TU München, Model-Based Systems & Qualitative Reasoning Group (MQM).

Aus INDIA gingen eine Reihe von Dissertationen und Publikationen hervor, vor allem aber Anstöße zu weiteren industriellen Projekten und zur (Weiter-) Entwicklung von kommerziellen Werkzeugen für die Erstellung modellbasierter Systeme, die bis heute zu den avanciertesten gehören, wie rodon (damals von R.O.S.E Informatik entwickelt und heute von Sörman vermarktet) und RAZ'R (OCC'M Software).

In der Folge von INDIA wurde die Technologie in verschiedenen Projekten, vor allem im Automobilsektor, weiterentwickelt. In VMBD (Vehicle Model-based Diagnosis), wurde von der Robert Bosch GmbH, der MQM-Group der TU München und OCC'M Software GmbH ein modellbasiertes System für die Realzeit-On-Board-Diagnose entwickelt und auf einem Volvo-Versuchsfahrzeug erprobt, das auch auf der IJCAI 1999 in Stockholm demonstriert wurde. IDD (Integrating Diagnosis in the Design of Automotive Systems) produzierte modellbasierte Werkzeuge für den Entwurfs- und Entwicklungsprozess von On-Board-Software. Benchmarks für modellbasierte On-Board-Diagnose wurden von BMW und Volkswagen durchgeführt, in letzterem Fall erstmals auf Prozessoren, wie sie als Steuergeräte auf Serienfahrzeugen eingesetzt werden. Auch bei den Lkw-Herstellern wird derzeit an der Einführung modellbasierter Technologien gearbeitet, etwa bei Scania und Volvo/Renault.

Modellbasierte Systeme teilen mit den Expertensystemen der 1. Generation die Zielsetzung, Expertenwissen in deklarativer Weise zu repräsentieren und generische Inferenzalgorithmen darauf anzuwenden. Systematisch gesehen ist in modellbasierten Systemen das Gebietswissen in allgemeinerer Form dargestellt als in regelbasierten Systemen, insbesondere unabhängig von der jeweiligen Aufgabe. Die spezifischen Aufgaben, wie Entwurf, Failure-modes-and-effects Analysis (FMEA), Diagnose, Testen, prägen dafür speziellere Inferenzmechanismen, wie etwa logisch fundierte Diagnoseverfahren. Deren Basis beinhaltet aber als Kern dieselben Elemente, nämlich Verhaltensvorhersage und Konsistenzprüfung, und können daher auch aus einem Fundus grundlegender Operationen und Funktionen realisiert werden. Sie alle stützen sich letztlich auf dieselbe Modellbibliothek. Damit ist Wiederverwendung des repräsentierten Wissens nicht nur für unterschiedliche Varianten *einer* Aufgabenklasse möglich, sondern auch für verschiedene Aufgaben während des gesamten *Produktlebenszyklus*. Dies liefert einen Beitrag zu einer weiteren Herausforderung industrieller Anwendungen: dem *Wissensmanagement* und der horizontalen *Integration von Arbeitsprozessen*.

Jenseits von terminologischen Diskussionen zeigt sich also, dass Expertensysteme einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung der KI-Forschung geleistet haben und sich wissenschaftliche Anstrengungen und materielle Investitionen heute auszahlen in Fortschritten bei der Lösung anspruchsvoller Aufgaben in industriellen Anwendungen (s. a. ausführlichen Beitrag im Teil II).

2.2.1.4 Sonderprogramme der Deutschen Forschungsgemeinschaft, SFB 314

Im Rahmen des eingangs erwähnten Forschungsprogramms „Informationstechnik“ (1984–1988) beschloss die Bundesregierung, „der Deutschen Forschungsgemeinschaft zweckgebunden auf fünf Jahre insgesamt bis zu 100 Mio. DM zur Verstärkung der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Informationstechnik zur Verfügung zu stellen unter der Voraussetzung, dass auch die DFG ihr Engagement auf diesem Gebiet weiter ausbaut“. In einem so genannten „Werkstattbericht Informationstechnik“ des BMFT aus dem Jahr 1988 wird dies weiter fortgeschrieben und präzisiert [15], indem die Mittel für die Bereiche Elektronik, Fertigungstechnik, Informationsverarbeitung, Technische Kommunikation und Mikroperipherik präzisiert werden. Mittel aus dieser Sondermaßnahme des BMFT und etwa gleich große Mittel der DFG wurden dann etwas zeitverzögert bis Anfang der 90er Jahre bereitgestellt. Die im folgenden Zeitfenster SFB 314 dargestellte Maßnahme im Bereich der Künstlichen Intelligenz gehört zu diesem Rahmen.

Zeitfenster SFB 314 „Künstliche Intelligenz – Wissensbasierte Systeme“ (1985–1995)

Peter Deussen

Anfang bis Mitte der 80er Jahre stellte sich die Frage, wie man dem international immer wichtiger werdenden Gebiet der Künstlichen Intelligenz auch in der Bundesrepublik Deutschland eine gute Basis verschaffen konnte. Es hatten sich hierzulande bereits sehr erfolgreiche Gruppen in Mustererkennung und Bildverstehen (H.H. Nagel) sowie in der Sprachverarbeitung (G. Hotz mit dem SFB 100 „Elektronische Sprachforschung“, O. Herzog mit LILOG, u. a.) etabliert, die man alle der Künstlichen Intelligenz zurechnete.

Da sich an den Universitäten Karlsruhe, Kaiserslautern und Saarbrücken Expertise in der Künstlichen Intelligenz angesammelt hatte und da ferner von Seiten der Forschungsförderung Bereitschaft zur Unterstützung dieses Gebiets signalisiert wurde, lag es nahe, die Kräfte dieser Orte zu bündeln, und es wurde die Idee geboren, einen Sonderforschungsbereich zu beantragen. Nach fast zweijähriger Vorbereitung konnte dann schließlich am 1. Januar 1985 der SFB 314 „Künstliche Intelligenz – Wissensbasierte Systeme“ seine Arbeit aufnehmen. Herr Thomas Leppin von der Geschäftsstelle der DFG muss in diesem Zusammenhang dankend erwähnt werden.

Die satzungsgemäße Aufgabe des SFB 314 war es, das Wissen über den informatikspezifischen Teil der „Künstlichen Intelligenz“ auszubauen und in Pilotprojekten zur Anwendung zu bringen. Mit dieser Aufgabenstellung hat sich der SFB 314 von vornherein für die sogenannte „Schwache KI“, gegen die „Starke KI“ entschieden. An dem SFB 314 beteiligten sich die Universitäten Karlsruhe (Sprecherhochschule), Kaiserslautern und Saarbrücken sowie das Fraunhofer-Institut IITB in Karlsruhe. Das war ein Novum, gab es doch das Konzept der SFB/TR noch nicht. Ein weiteres Novum war, dass sich der SFB über drei verschiedene Bundesländer hinweg erstreckte.

Bis zum Jahr 1995 erhielt der SFB 314 Fördermittel in Höhe von knapp 40 Mio. DM (wovon ein Teil durch den BMFT bereitgestellt wurde), die eine Ausstattung an Rechnern, Robotern, sonstigen Geräten und den zugehörigen Personalmitteln ermöglichten, die unseren Projektgruppen selbst nach Maßstäben amerikanischer Spitzeneinrichtungen hervorragende Arbeitsmöglichkeiten schafften. Auch die drei beteiligten Länder Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und das Saarland unterstützten den SFB 314 mit ergänzenden Personal- und Sachmitteln.

Der SFB 314 zerfiel in sechs Projektbereiche, die unterschiedlich viele Projekte inhaltlich und methodisch zusammenfassten.

Der Projektbereich **Deduktionssysteme** stand am Anfang der Entwicklung. Seine zentralen Projekte befassten sich mit dem automatischen Beweisen und einigen seiner Anwendungen, deren herausragendste die Verifikation von Software war.

Die **Expertensysteme** erschienen eine Zeit lang als die Problemlöser schlechthin, haben sich dann jedoch gewissermaßen gesund geschrumpft, und es scheint, dass ein entscheidender Platz für sie im tutoriellen Bereich lag. Im SFB 314 wurden Expertensysteme sowohl zur Diagnose technischer Systeme wie auch zum Lernen und zur Planung untersucht. Für die Einbettung in bestehende Systeme war die untersuchte Frage wichtig, wie aus technischen Datenbanken Wissen für Expertensysteme extrahiert werden kann. Die Überführung unterschiedlicher Wissensarten, wie Fallsammlungen, kausale und heuristische Regeln ineinander überführt werden können, war und ist für die Wissensakquisition wichtig.

Die **Robotik** stellte eine Querschnittsanwendung dar. Der Karlsruher mobile Roboter KAMRO war das Ergebnis großer Bemühungen und hatte mit seinen Fähigkeiten zur Navigation und zur Koordinierung der Tätigkeit zweier Arme international großen Erfolg.

Die **Software** für die Wissensverarbeitung wurde nach anfänglich breiter angelegten Bemühungen bald auf das Programmieren in Logik eingeschränkt: die Sprache PROLOG wurde in verschiedener Hinsicht erweitert, um aus ihr ein für die Konstruktion großer Programme nützliches Werkzeug zu machen.

Im Bereich **Bildverstehen** ging es darum, durch Abstraktionsschritte systematisch vom elektrischen Bildsignal zu den im Bild oder gar in ganzen Bildfolgen angesprochenen Begriffen zu gelangen. So ergab sich die Möglichkeit, aus bewegten Szenen Teile herauszugreifen und mit sprachlichen Begriffen zu beschreiben.

Damit ergab sich ein enger Kontakt zum Bereich **Natürlichsprachliche Systeme**, in welchem eine Bildbeschreibung in Sätze der deutschen Sprache umgesetzt wurde. Ferner wurde hier die Frage behandelt, wie ein natürlichsprachliches Dialogsystem flexibel in verschiedenen Dialogsituationen agieren kann und wie die Techniken zur Analyse und Synthese natürlicher Sprache dabei eingesetzt werden können.

Viele der Forschungsergebnisse fanden Eingang in die weitere Entwicklung der Informatik, insbesondere in die der automatischen Spracherkennung und Sprachübersetzung an der Universität Karlsruhe und der Universität des Saarlandes. Wesentlicher Nutzer ist ferner die Fortentwicklung der Roboter, speziell der humanoiden Roboter an der Universität Karlsruhe.

Die Initiative des SFB 314, verbunden mit der nunmehr exzellenten Forschung und Lehre auf diesem Gebiet, bildeten schließlich die Voraussetzungen dafür, dass das mittlerweile international geschätzte Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), das vom Bundesminister für Forschung und Technologie an den Standorten Kaiserslautern und Saarbrücken initiiert wurde, 1988 dort seine ungemein erfolgreiche Arbeit aufnehmen konnte.

(Weitere Informationen über die Projekte aus dem SFB 314 in: Informatik – Forschung und Entwicklung, Band 11 (1996) pp. 1–34, 53–68, Springer Verlag)

2.2.2 Software-Produktionsumgebungen

Die Notwendigkeit zur Förderung von Projekten zu Softwareproduktionsumgebungen (SPU) in den IT-Programmen in den 80er Jahren ließ sich mit der ersten allgemein so empfundenen „Software-Krise“ begründen. Dieses Schlagwort für die unzulängliche methodische Unterstützung des Gestaltungsprozesses komplexer Software-Produkte gab es zwar schon länger, und es wurde auch später immer wieder gebraucht, wenn auch in anderem Zusammenhang. Aber Anfang der 80er Jahre wurde besonders deutlich, dass neue, in eine einheitliche Umgebung integrierte Methoden, Verfahren und Werkzeuge erforderlich waren, um die bei Softwareherstellern wie im Forschungsbereich bis dahin entwickelten – zum großen Teil durchaus praxiserproben – Einzelelemente zur Rationalisierung des Software-Gestaltungsprozesses methodisch neu zu ordnen und modular zusammenzuführen.

Angeregt durch eine Japanreise des Vorstandes der Fachgemeinschaft Büro- und Informationstechnik (BIT) im Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA) wurde der Arbeitskreis (AK) „Software Tools“ gegründet. Ziel des AK war es, durch gemeinsame Arbeit

- die bei den einzelnen Mitgliedsfirmen verfügbaren Tools zur Softwareentwicklung in ein Gesamtsystem zu integrieren,
- durch arbeitsteilige Vorgehensweise im Bereich der Entwicklungssysteme eine schnelle und kostengünstige Realisierung zu erzielen und
- durch allmähliche Anpassung der bei den einzelnen Mitgliedsfirmen eingerichteten Entwicklungssysteme an eine einheitliche Basis die Plattform für gemeinsame Neuentwicklungen zu schaffen.

Das war ein durchaus beachtlicher unternehmensübergreifender Ansatz, der ohne gemeinsame Förderung undenkbar gewesen wäre.

Übergreifende Zielsetzungen von SPU-Systemen

Die übergeordnete Aufgabenstellung für die zu fördernden Projekte war es, eine Verbesserung der unbefriedigenden Software-Situation durch anspruchsvolle Software-Produktionsumgebungen zu erreichen. Die entstehenden Produkte sollten dabei weitestgehend offene Systeme sein, das heißt, dass die Schnittstellen zwischen den Komponenten von allen Partnern einheitlich definiert werden sollten, damit die Systeme verschiedener Hersteller jederzeit um weitere Methoden, Verfahren und Werkzeuge ergänzt werden konnten, gleichgültig, ob diese Komponenten von den Softwareherstellern oder von späteren Anwendern stammen.

Es ging also um die

- Integration neuer Werkzeuge für die Phasen der Anforderungsanalyse, des Entwurfs sowie der Implementierung, die die Produktivität und Qualität des Software-Entwicklungsprozesses erhöhten (wie z. B. neue Spezifikationstechniken), der Output eines Werkzeuges sollte ohne Transformationsschritt als Input eines anderen Werkzeuges verwertbar sein,
- verbesserte Beherrschung organisatorischer Aspekte der Software-Gestaltung (Software-Management), von der Angebotserstellung über das Projektmanagement bis zur Konfigurierung,
- Unterstützung der Erstellung und Verwaltung aller für die Software-Entwicklung relevanten Dokumente und der zwischen ihnen bestehenden inhaltlichen Abhängigkeiten,
- für alle integrierten Werkzeuge semantisch einheitliche, menschengerechte, schnelle, interaktive Benutzeroberfläche auf Basis modernster Techniken (Objektidentifikationen, Position Areas, Dragging, usw.),
- Bereitstellung einer Datenbank, die den speziellen Anforderungen der Software-Entwicklung gerecht wird. Es mussten dabei strukturierte Objekte mit ihren Attributen verarbeitet werden können. Und schließlich ging es um die
- Unterstützung der Kommunikation zwischen Entwicklungs- und Zielrechtern, um die Umgebung auf den Zielrechnern zur Validation der auf den Entwicklungsrechnern erstellten Anwendungssoftware zu benutzen.

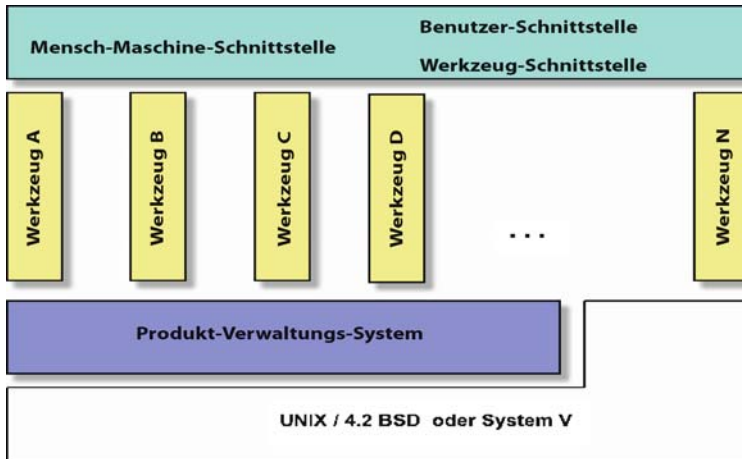


Abb. 2.2 Grobarchitektur eines SPU-Systems am Beispiel POINTE (Quelle G. Merbeth)

Zeitfenster Softwareproduktionsumgebungen (SPU) am Beispiel des Verbundprojekts POINTE (1984–1988)

Günter Merbeth

Die Integration von Werkzeugen ist ein Thema, das Software-Techniker in den letzten Jahrzehnten intensiv beschäftigt hat. Diese lange Zeit lässt darauf schließen, dass es sich dabei um kein einfach zu bewältigendes Vorhaben handelt.

Bereits Mitte der 80er Jahre (Laufzeit von 1984 bis 1988) haben sich in Deutschland mehrere Firmen unter der Schirmherrschaft des VDMA (in Teilen Vorgängerorganisation des heutigen Verbandes BITKOM) zu einem vom BMFT geförderten Projekt Pointe (Portables Integriertes Entwicklungssystem auf der Basis verfügbarer Softwaretools) zusammengeslossen, um ihre individuell entwickelten Werkzeuge und Basistechnologien in einem integrierten Entwicklungssystem verfügbar zu machen. Dabei handelte es sich um die Firmen:

- IBM Deutschland GmbH
- Mannesmann Kienzle GmbH
- Nixdorf AG
- Philips Kommunikations-Industrie AG
- PSI Gesellschaft für Prozesssteuerungs- und Informationssysteme GmbH
- SCS Technische Automation und Systeme GmbH
- Triumph-Adler AG und um die Firma
- **Softlab GmbH,**

bei der ich damals tätig war und von wo aus ich dieses Verbundprojekt koordiniert habe.

Mehrere dieser Firmen existieren heute nicht mehr oder sind nicht mehr mit der Entwicklung von Software-Engineering-Werkzeugen befasst. Es lohnt sich dennoch, einen kurzen Blick auf dieses Projekt zu werfen. Die Zielstellungen waren richtungweisend, wenn auch für die damalige Zeit sehr ambitioniert (s. Abb. 2.2).

Alle drei aus heutiger Sicht relevanten Integrationsaspekte (Datenintegration, Prozessintegration und Benutzerintegration) wurden durch POINTE bereits adressiert, wobei die Prozessintegration durch die Werkzeugschnittstelle nur rudimentär behandelt wurde.

Das Gesamtprojekt gliederte sich in drei Hauptaktivitäten:

- Spezifikation (insbesondere Schnittstellen) und Implementierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS), mit der eigentlichen Benutzer-Schnittstelle und den Schnittstellen zum Werkzeugaufruf und zur Werkzeugkommunikation,
- Spezifikation (insbesondere Schnittstellen) und Implementierung des Produkt-Verwaltungs-Systems (PVS),
- Anpassung von verfügbaren Werkzeugen der Partner an die definierten Schnittstellen von MMS und PVS sowie Integration in das Gesamtsystem.

Technische Basis des gesamten Systems war Unix, zur damaligen Zeit durchaus noch eine mutige Entscheidung. *Werkzeuge* zur Unterstützung von C, PASCAL und COBOL wurden als erste integriert. Der in dem Projekt entwickelte Prototyp der MMS basierte auf dem Editor EMACS, der auf Unix zur Verfügung stand und bereits eine ganze Reihe der geforderten Funktionalitäten mitbrachte. Auf diese Weise war es möglich, schnell zu einem funktionsfähigen Prototypen zu gelangen.

Das PVS basierte im Wesentlichen auf Erfahrungen, die bei Softlab mit dessen am Markt verfügbaren Software-Engineering-Produkten Maestro, CAMIC und PAPICS gesammelt wurden, und auf Komponenten dieser Produkte. Das PVS kann als Etappe auf dem Weg von schlichten Projektbibliotheken hin zu Repositories gesehen werden. Viele der heutigen Funktionalitäten von Repositories wurden im PVS vermutlich erstmals zusammenhängend realisiert. Dazu gehören insbesondere:

- die Behandlung von einfachen und komplexen Objekten, die sich rekursiv aus anderen Objekten bilden lassen,
- das Verwalten von Beziehungen zwischen beliebigen Objekten (einfachen und komplexen),
- das Verwalten von Versionen beliebiger Objekte (einfacher und komplexer) und
- die Behandlung langer (Design-)Transaktionen.

MMS und PVS bildeten den Rahmen für die Integration von Werkzeugen. Die Schnittstellen zu beiden Komponenten wurden in einem Buch veröffentlicht (POINTE – Software-Tools, Forschungsbericht über die Software-Entwicklungsumgebung des VDMA, Maschinenbau-Verlag, Frankfurt a. M., 1986). In diesen Rahmen wurden Werkzeuge der Firmen Softlab, SCS, PSI, Mannesmann-Kienzle und Triumph-Adler integriert. Heute (20 Jahre später) spielen diese Werkzeuge verständlicherweise keine Rolle mehr. Auch die Unix-basierte MMS wurde durch Fenster- und Graphik-basierte Benutzerschnittstellen abgelöst.

Ergebnisse aus POINTE wirken dennoch bis heute nach. Dies gilt insbesondere für das damals bei Softlab entwickelte PVS. Durch Weiterentwicklungen dieses PVS entstand das Repository der SPU Maestro II. Dieses Produkt wurde durch Softlab weltweit erfolgreich vermarktet und ist noch heute bei vielen großen Unternehmen, insbesondere bei Banken und Versicherungen, weltweit im Einsatz. Das Repository von Maestro II wurde in den 90er Jahren von Softlab weiterentwickelt und als separates Produkt „Enabler“ verfügbar gemacht. Im Zuge der Fokussierung auf das Dienstleistungsgeschäft hat Softlab das Produkt Enabler später an den japanischen IT-Konzern Fujitsu verkauft. Enabler ist heute in mehrere Fujitsu-Produkte sowie in Produkte mehrerer Partnerunternehmen integriert. Es wird von einem Fujitsu-Entwicklungszentrum in München weiterentwickelt, welches im Zuge der Akquisition von Enabler durch Fujitsu gegründet wurde.

Die mit POINTE verfolgten Ideen einer SPU sind auch heute noch gültig. Allerdings hat sich die Idee einer totalen Integration aller Werkzeuge auf ein Repository (PVS in POINTE) als nicht realisierbar erwiesen. Heute werden eher föderale Ansätze realisiert, bei denen Werkzeuggruppen mit jeweils eigenen Repositories miteinander kooperieren.

Der übergreifende Ansatz für SPU-Systeme

Die Konzeption und Realisierung derartiger Hilfsmittel wurde in insgesamt vier Verbundprojekten, „PROSYS“, „RASOP“, „UNIBASE“ und „POINTE“, durchgeführt. Die übergreifenden konzeptionellen Ziele in den vier Verbundvorhaben waren weitgehend identisch, Unterschiede bestanden bzgl. der jeweils vorgesehenen Anwendungsgebiete der Systeme [16]:

- Im Projekt „PROSYS“ – Integriertes Entwurfs- und Softwareproduktionssystem für verteilbare Realzeitrechnersysteme in der Technik (1985–1988), unter der Federführung des FhG-Instituts IITB (Hartwig Steusloff), wurde ein System für Hardware und Software von verteilten Realzeitsystemen entwickelt.
- Das Projekt „RASOP“ – Rationelle Softwareproduktion (1984–1989), unter der Federführung des VDI-Technologiezentrums Informationstechnik (Mario Schneider), arbeitete an einer Umgebung für Mikrorechnersoftware.
- Im Projekt „UNIBASE“ – UNIX-basierte Software-Produktionsumgebung (1985–1989), unter der Federführung der GMD (Gerhard Goos), wurde ein System für kommerzielle Anwendungssoftware realisiert.

Insgesamt beteiligten sich im Zeitraum 1984 bis 1989 ca. 30 Hard- und Softwarehersteller sowie 12 Universitäten und Forschungseinrichtungen an den vier Verbundprojekten. Bei RASOP allein waren das 26 Forschungspartner – ein für die Anfänge der Verbundprojektförderung beachtliches und managementmäßig durchaus kritisches Potenzial.

Die vier Verbundprojekte haben die Softwarelandschaft in Deutschland seinerzeit nachhaltig geprägt.

Die genannten deutschen Projekte zu Softwareproduktionsumgebungen haben entscheidend dazu beigetragen, dass das EUREKA-Projekt ESF – Software Factory (1986–1994) als eines der ersten großen europäischen Projekte auf dem Gebiete der Softwareentwicklung, mit allein aus Deutschland 18 Partnern unter der Koordination vom Fraunhofer ISST (Herbert Weber) durchgeführt wurde. Es hatte die Verbesserung der Grundlagen der industriellen Softwareherstellung, insbesondere unter dem Aspekt der räumlich verteilten Entwicklung und der Wiederverwendbarkeit von Software und deren Standardisierung im europäischen Rahmen zum Ziel und war damit eindeutig ein Pilotvorhaben für viele nachfolgende und noch heute hochaktuelle Fragestellungen und Forschungsprojekte in diesem Bereich [15].

2.2.3 *Praktische Informatik, GMD*

Die 80er Jahre waren eine Zeit der Konsolidierung der in den 70er Jahren schnell aufgebauten Informatikforschung und -lehre und zugleich eine Zeit der ersten größeren Forschungsprojekte. Darüber informiert der Beitrag von Gerhard Goos im Zeitfenster „Praktische Informatik, GMD“ auf der folgenden Seite. Selbstverständlich gab es im gleichen Zeitraum auch nachhaltige Forschungsergebnisse auf

dem Gebiet der Theoretischen Informatik, jedoch sind diese schwerer an bekannten Themen oder Ereignissen festzumachen, und es war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, dies alles angemessen zu recherchieren und zu präsentieren; eine noch verbleibende Aufgabe.

Zeitfenster Praktische Informatik und die GMD in den 80er Jahren

Gerhard Goos

Zu Beginn der 80er Jahre war Betriebssystemkonstruktion und Übersetzerbau, namentlich für die BS2000-Systeme von Siemens, noch ein weithin interessantes Thema. Mit dem Aufkommen der PCs, der UNIX-Systeme und der Programmiersprache C verlagerte sich dann das Interesse. Bei IBM Deutschland, PCS und Siemens wurde weiterhin Betriebssystementwicklung betrieben, meist jedoch in Form von Anpassungen von UNIX an Firmengegebenheiten. Die Übersetzer kamen aus den USA.

Im akademischen Umfeld blieben im Betriebssystembereich nur die Entwicklung des EUMEL- und dann des L3-Systems von Jochen Liedtke in der GMD sowie das BirliX-Projekt der GMD. Das EUMEL-System war ursprünglich eine virtuelle Maschine, die als Basis für ein Mehrbenutzersystem auf einem Z80 diente. Es konnte im Einsatz an Schulen bis zu 4 „dumme“ Bildschirmgeräte und die Programmiersprache ELAN unterstützen. Bemerkenswert war nicht nur die Verwendung des doch sehr leistungsschwachen Z80 als *Server*, sondern die Realisierung virtuellen Speichers durch Software. L3 war die Übertragung von EUMEL auf die 80 × 86-Architektur, jetzt unter Verwendung des seit dem 80386 angebotenen hardwareseitigen virtuellen Speichers. BirliX war der Neuentwurf eines Betriebssystems mit UNIX-Schnittstelle, das in seinen Sicherheitsanforderungen und seiner modularen Struktur dem damaligen Stand der Technik durchaus überlegen war. Das EUMEL-System wurde von der GMD in Japan mehr als 2000-mal verkauft, wohingegen der Versuch der Kommerzialisierung in Deutschland scheiterte. Was blieb, waren die Weiterentwicklung von L3 zu dem Mikrokernsystem L4, das sich auf die Prozessorvergabe, die Interprozesskommunikation und die Verwaltung des virtuellen Speichers beschränkte und sich in den 90er Jahren dem an der Carnegie-Mellon University entwickelten MACH-System eindeutig überlegen zeigte. Diese Mikrokernsysteme sind heute die Basis der kommerziellen virtuellen Maschinen und laufen auf allen Prozessorvarianten.

Im Übersetzerbau gab es in den 80er Jahren beachtliche wissenschaftliche Arbeiten aus München, Karlsruhe, Paderborn und Saarbrücken. Praktisch erfolgreich war in jedem Fall das Karlsruher ADA-Projekt, das zuerst an der Universität und dann an der GMD-Forschungsstelle Karlsruhe betrieben und danach von der „System Dr. Winterstein KG“ kommerzialisiert wurde. Durch seine Modularisierung und durch die verhältnismäßig leichte Anpassbarkeit an neue Prozessorenarchitekturen, namentlich im Bereich eingebetteter Systeme, erwarb es sich international bis weit in die 90er Jahre einen sehr guten Ruf.

Im Bereich Informationssysteme gab es in Braunschweig (Datenbankmaschinen, Günther Stiege), GMD Darmstadt (Publikationssysteme, Erich Neuhold), Frankfurt und Hamburg (Joachim W. Schmidt), FU Hagen (Transaktionssysteme, Gunter Schlageter), Wissenschaftliches Zentrum der IBM in Heidelberg (natürlichsprachlicher DB-Zugriff, Albrecht Blaser), Karlsruhe (Datenbankkonstruktion, Peter C. Lockemann) und TU München (Indexierungstechniken, Rudolf Bayer) eine ganze Reihe international sehr renommierter Forschungsarbeiten, wie man auch an zahlreichen internationalen Funktionen und Ehrenämtern der genannten Experten ablesen kann. Allerdings gab es, abgesehen von

ADABAS von der Software AG, keine deutschen Datenbankentwicklungen, die international Bedeutung erlangten.

In der GMD nahm Norbert Szyperski 1981 seine Vorstandstätigkeit auf. Sie führte zu einer nachhaltigen Veränderung und Erweiterung der Perspektiven und Ziele der GMD: Durch gemeinsame Berufung von Institutsleitern mit nahen Hochschulen und ähnliche Maßnahmen wurde die Zusammenarbeit mit Universitäten gestärkt. Wissenschaftliche Profilierung erhielt Vorrang vor Dienstleistungsaufgaben. Durch Angliederung weiterer Institute in Berlin, Darmstadt, Karlsruhe und Köln wurde die Leistungsfähigkeit für größere und heterogenere Aufgaben gestärkt. Unter Mitarbeit seiner Schüler Hartmann Genrich und Kurt Lautenbach sowie später Eike Best, Wolfgang Reisig und vielen anderen, konnte Carl-Adam Petri seinen Netzen in vielen verschiedenen Formen und Anwendungen internationale Aufmerksamkeit sichern. Auch erwies sich, dass Herrn Petris Institut anfangs der 80er Jahre der eigentliche wissenschaftliche Kern der GMD war. Im Jahr 1986 übernahmen Gerhard Seegmüller und Gerhard Goos die Aufgaben von Herrn Szyperski im GMD-Vorstand. Sie waren Mitgründer des Höchstleistungsrechenzentrums (zusammen mit der KFA Jülich) und von ERCIM (European Research Consortium for Informatics and Mathematics, zusammen mit INRIA und dem niederländischen CWI). Die Zusammenarbeit mit Universitäten wurde weiter ausgebaut.

Im Zeitraum 1983–89 wurde mit Unterstützung des BMFT sehr erfolgreich das E.I.S.-Projekt (Entwicklung integrierter Schaltungen) durchgeführt, das Informatik- und Elektrotechnikstudenten an zahlreichen deutschen Universitäten die Möglichkeit gab, eigene VLSI-Entwürfe anzufertigen und produziert zu bekommen. Das Projekt beruhte auf der von Carver und Mead vorgeschlagenen Trennung von VLSI-Entwurf und VLSI-Implementierungstechnologie und wurde initial von den führenden technologieorientierten Lehrstühlen stark angefeindet.

In der Softwaretechnik übernahm die GMD 1984–88 die Leitung des BMFT-Projekts Unibase zur Konstruktion einer Softwareproduktionsumgebung für kommerzielle Anwendungen. Daran beteiligt waren noch weitere drei Forschungseinrichtungen und vier Softwarehäuser. Verglichen mit den heute international reüssierenden Programmierumgebungen wie Eclipse, der von IBM getragenen *open-source*-Umgebung für Java, litten die damaligen Projekte an zu hohen und zu allgemeinen Zielsetzungen. Immerhin gab es neben mehreren firmeninternen wichtigen Werkzeugen mit der Benutzerschnittstelle Theseus von der ZGDV, dem Konfigurationsverwaltungssystem Shape der TU Berlin und dem Datenbanksystem Damokles des FZI Karlsruhe drei größere Produkte, die bis weit in die 90er Jahre benutzt und weiterentwickelt wurden.

FIRST, unter der Leitung von Wolfgang Giloi, war das erste von drei in den 80er Jahren neu gegründeten bzw. neu in die GMD eingegliederten Instituten. Die beiden anderen waren das aus der früheren GID (Gesellschaft für Information und Dokumentation) hervorgegangene IPSI unter Leitung von Erich Neuhold in Darmstadt und das Institut FOCUS (Karl Zander, Radu Popescu-Zeletin), das aus dem Hahn-Meitner-Institut herausgelöst wurde und insbesondere im Rahmen des BERKOM-Projekts wesentliche Arbeit für die Breitbandvernetzung in Deutschland leistete.

2.2.4 Neue Rechnertechnologien, Rechnernetze

2.2.4.1 Suprenum

Die Förderung auf dem Gebiet neuartiger Rechnerstrukturen zu Anfang der 80er Jahre war darauf angelegt, neue, insbesondere parallele (auch massiv-parallele, dem damaligen Stand der Hirnforschung angelehnte) Konzepte, die von der Wissenschaft vorgeschlagen waren, auszuloten und ihre Tragfähigkeit zu demonstrieren. In einer nach wie vor rasch und dynamisch voranschreitenden Technologie wie der Rechnertechnologie kam es insbesondere auch in der hier interessierenden Zeit darauf an, Ideen und Vorstellungen, die abseits der eingefahrenen Entwicklungswege neue Impulse versprachen, so schnell wie möglich reifen zu lassen, damit sie von der Industrie aufgegriffen werden konnten. Dabei war absehbar, dass die bisherige Universalrechnertechnologie, aber auch die Vektorrechnertechnologie, in eine Leistungssättigung oberhalb des GFlops-Bereichs tangierten (s. Abb. 2.3) [17].

In der GMD waren unter der Leitung von Ulrich Trottenberg Anfang der 80er Jahre sehr leistungsfähige Verfahren zur Lösung von partiellen Differentialgleichungen (sog. Mehrgitterverfahren) und entsprechende Softwarekonzepte entwickelt worden. Eine Anwendung war neben vielen anderen die Innenströmung in Kfz-Motoren. Die Forschungsgruppe stieß schon bald an die Grenzen der Leistungsfähigkeit der verfügbaren Computer. Damit erhob sich die Frage, ob es eine neue Rechnerarchitektur geben könnte, die für möglichst viele Aufgaben der numerischen Simulation geeignet wäre und Mehrgitterverfahren besonders gut unterstützen könnte und die darüber hinaus das Potenzial zu sehr viel größeren Leistungen hätte.

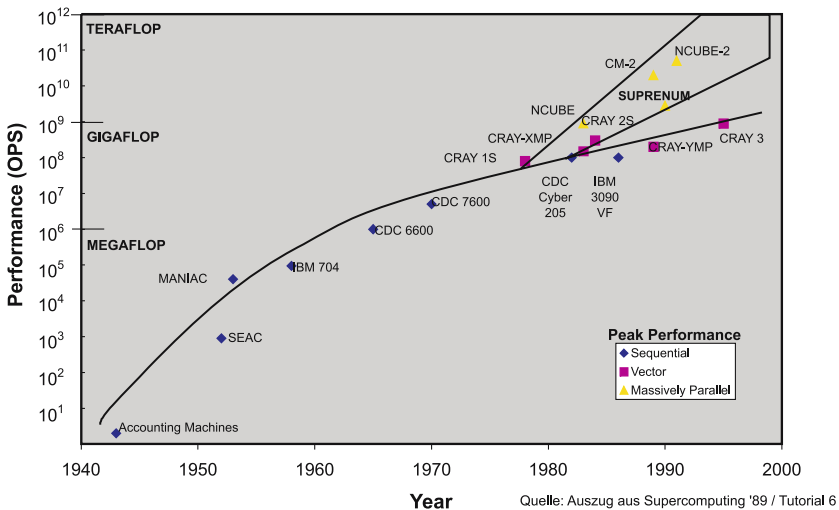


Abb. 2.3 Entwicklung und Prognose zur Leistung der Supercomputer in den 80er Jahren

Anfang 1984 trafen sich dann mehrere Forschungsgruppen aus der deutschen Informatik in der GMD und diskutierten Vorschläge für eine neue Architektur für einen Superrechner für numerische Aufgaben, der für die Lösung gekoppelter partieller Differentialgleichungen besonders gut geeignet sein sollte.

Typischer Vertreter der Supercomputer war seinerzeit die CRAY-1, wie ihre Nachfolger vom Typ der Vektorrechner. Vektorrechner haben bei bestimmten Aufgaben eine wesentlich größere Leistung als Universalrechner, jedoch ist ihr Leistungspotenzial nach oben hin durch die Bauelementetechnologie und die Impulsgeschwindigkeit begrenzt. Grundsätzlich anders würden sich Parallelrechner verhalten. Deren Leistung steigt (bei geeigneten Problemen) mit der Zahl der Prozessoren, und die Zahl der Prozessoren ist nach oben nicht prinzipiell beschränkt.

Gesucht wurde deshalb ein neues Rechnerarchitekturkonzept, welches

- ein möglichst großes Leistungspotenzial haben sollte,
- dessen Forschungsrisiko dennoch überschaubar sein sollte und das
- in wenigen Jahren realisierbar erschien.

Der entscheidende Vorschlag kam dann ebenfalls aus der GMD, und zwar von Wolfgang Giloi (Forschungsstelle FIRST). Hier gab es also den glücklichen Umstand, dass eine weltweit mitführende Softwaregruppe und eine weltweit mitführende Hardwaregruppe in der gleichen deutschen Forschungseinrichtung waren, wenn auch die eine in Birlinghoven und die andere in Berlin.

Das Prinzip der Parallelverarbeitung war damals wohl grundsätzlich bekannt, auch bei den Universalrechnern und in den Vektorrechnern arbeiteten bereits mehrere Prozessoren parallel, wegen des Zugriffs der Prozessoren auf ein und denselben Speicher ergaben sich jedoch Engpassprobleme.

Ein höherer Parallelisierungsgrad erforderte drei grundlegende Änderungen in der Struktur:

- Jeder Prozessor musste einen eigenen Speicher erhalten.
- Die Prozessoren mussten durch ein außerordentlich leistungsfähiges Netzwerk verbunden werden.
- Es musste ein Nachrichtensystem geschaffen werden, über das sich die Prozessoren untereinander verständigen konnten.

Ziel des Forschungsprojekts Suprenum (Superrechner für numerische Anwendungen) war es dann, den Hochleistungsrechenbereich zu erschließen, der bis dahin den Vektorrechnern vorbehalten war, und diesen natürlich zu übertreffen. In Suprenum sollten bis zu 256 Prozessoren parallel arbeiten und dabei eine Leistung erreichen, die etwa zwei bis drei Maschinen vom Typ Cray-2 oder einer Cray-Y-MP entsprach. Insgesamt wurden für Suprenum 5 GFlops Rechenpeakleistung bei 2 GByte Hauptspeicher und 35 GByte Festplattenspeicher im Hochleistungskern angestrebt.

Jeweils 16 Prozessoren sollten als ein sog. Cluster in einem Schrank untergebracht werden, und bis zu 16 solcher Cluster sollten zusammenschaltbar sein. Gleichzeitig sollten in dem Projekt die Grundlagen für die Programmieretechnik

von Hochleistungs-Parallelrechnern geschaffen und Softwarepakete für wissenschaftlich-technische Aufgaben entwickelt werden.

Das Forschungsprojekt Suprenum startete dann mit einer Definitionsphase im Zeitraum 1984/85, an die sich die eigentliche Hauptphase der Forschung anschloss. Sie verlief von Mai 1985 bis Dezember 1989.

An der Hauptphase der Forschungsarbeiten waren insgesamt 14 Partner beteiligt, und zwar:

- vier Großforschungseinrichtungen (GMD, KfA, KfK, DLR),
- fünf Hochschulen (Darmstadt, Bonn, Braunschweig, Düsseldorf, Erlangen-Nürnberg),
- zwei industrielle Anwender (Dornier und Kraftwerk Union),
- zwei kleine und mittlere Unternehmen (Suprenum GmbH und Stollmann GmbH) und die
- Krupp Atlas Elektronik GmbH.

Für das Management des Forschungsprojekts gründeten die Partner eine eigene Firma, die Suprenum GmbH in Bonn. Ihre Haupt-Gesellschafter waren die GMD, die Krupp Atlas Elektronik GmbH und die Stollmann GmbH.

Das Suprenum Hardwarekonzept war ein „Multiple Instruction Multiple Data Stream“ (MIMD)-System, mit lokalen Speichereinheiten und einem zweistufigen Verbindungssystem. Jeder Suprenum-Knotenrechner bestand u. a. aus einem zentralen Prozessor, einer Vektorprozessoreinheit, einem eigenen Kommunikationsprozessor für den Datenaustausch zwischen Knotenrechner und einem 8 MByte großen Speicher. Jeweils 16 dieser Knotenrechner waren über einen doppelt ausgelegten 64-Datenbit-parallelen Hochgeschwindigkeitsbus in einem Cluster verbunden. Zusätzlich gehörten zu jedem Cluster ein Plattenanschlussknoten für ca. 2 GByte Festplattenspeicher, ein Spezialknoten für Monitoring und Diagnose sowie zwei Kommunikationsknoten zur Anbindung an ein Bus-System, das ein „Gitter“ von Clustern toroidförmig in jede Richtung verband. Die Standardkonfiguration umfasste 16 Cluster als 4×4 -Matrix, das entsprach 256 Rechenknoten. Das Cluster-System bildete den sog. Hochleistungskern, der über einen Front-end-Rechner oder ein Front-end-Rechnersystem dem Benutzer zugänglich war.

Das Suprenum-Softwarekonzept war auf die Architektur abgestimmt. Es basierte auf einer abstrakten Sicht der Rechnerarchitektur (Abstrakte Maschine) und sah eine verteilte Anwendung (ein paralleles Programm) als dynamisches System von Prozessen in beliebiger Topologie.

Die Prozesse liefen in der Regel auf verschiedenen Prozessoren simultan ab, hatten Zugriff nur auf einen geschützten, lokalen Datenraum (den lokalen Speicher) und versendeten nach Bedarf Nachrichten, d. h. beliebige Datenobjekte, direkt an andere Prozesse (Message-Passing-Prinzip). Jeder Prozess konnte jederzeit neue Prozesse erzeugen, die dann gewünschte Programmteile abarbeiteten. Ein initialer Prozess auf dem Front-end initiierte die gesamte Anwendung und beendete sie, wenn sie terminiert war.

Zeitfenster Höchstleistungsrechnen am Beispiel des Superrechnerprojekts SUPRENUM (1984–1989)

Ulrich Trottenberg

Anfang der 80er Jahre begannen in Deutschland politische und wissenschaftliche Diskussionen über die Möglichkeit, eine Superrechnerentwicklung zu initiieren. Hintergründe für diese Diskussionen waren (i) die Erkenntnis, dass die numerische Simulation auf Superrechnern zu einem wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Erfolgsfaktor geworden war, (ii) das Bewusstsein für die Gefahr, in eine Abhängigkeit insbesondere von US-amerikanischen und japanischen Herstellern zu geraten und nicht zuletzt (iii) die Tatsache, dass in Deutschland exzellente Hardware- und Software-Experten vorhanden waren, die sich eine solche Entwicklung zutrauen.

Konkret wurde im Jahr 1983 im Rahmen einer Umfrage in der HGF (damals AGF) über die wichtigsten Forschungsthemen festgestellt, dass für nahezu alle Zentren die *Verfügbarkeit und gegebenenfalls Eigenentwicklung von Höchstleistungsrechnern* und die *Entwicklung von besonders schnellen Algorithmen für die numerische Simulation* von größter Bedeutung waren.

Ziel des im Jahr 1984 zunächst mit einer Definitionsphase gestarteten Projekts SUPRENUM war es dann, den *Prototyp eines parallelen Superrechners für numerische Anwendungen* zu entwickeln. Dabei sollten auch alle Software- und Hardwareschichten in die Entwicklung mit einbezogen werden, die für die effektive Nutzung eines parallelen Superrechners benötigt werden

Im Verlauf der Definitionsphase wurde die Entscheidung getroffen, als SUPRENUM-Prototypen ein 256-Processorsystem nach dem MIMD-Prinzip mit verteiltem Speicher und Vektorverarbeitung auf jedem Prozessor (nominal je 20 MFlops) zu bauen. Die zweistufige Architektur sah eine Cluster-Struktur vor (16 Cluster mit je 16 Prozessor-Knoten). Für die Kommunikation wurde softwareseitig ein Konzept kommunizierender Prozesse zugrunde gelegt. Algorithmisch sollten durch die Architektur auch die schnellsten bekannten numerischen Verfahren unterstützt werden. Es sollte exemplarisch eine Vielzahl anspruchsvoller Anwendungen für das System in die Entwicklung mit einbezogen werden. Das Projekt wurde dann von Mai 1985 bis Dezember 1989 vom BMFT in der Hauptphase gefördert.

Im Jahr 1986 wurde die SUPRENUM GmbH für die Koordination und Verwertung der Projektergebnisse gegründet. Unter ihrer Federführung arbeiteten im Projekt die folgenden Institute und Industriefirmen zusammen:

GMD-FIRST, GMD-SCAI, KFA-ZAM, DLR, KfK; Universität Erlangen, TU Braunschweig, TH Darmstadt, Universität Bonn, Universität Düsseldorf; Krupp-Atlas Elektronik GmbH, Stollmann GmbH, Dornier GmbH, KWU AG, SUPRENUM GmbH.

Die Gesamtprojektleitung lag beim Autor dieses Berichts (GMD-SCAI und SUPRENUM GmbH), für die System-Konzeption und -Realisierung war Wolfgang Giloi (GMD-FIRST) verantwortlich. Der Haupt-Industriepartner war die Krupp-Atlas-Elektronik GmbH. Insgesamt wirkten mehr als 200 Wissenschaftler an der Entwicklung mit, davon in der Schlussphase des Projekts rund 40 Mitarbeiter allein in der SUPRENUM GmbH. Viele Wissenschaftlerpersönlichkeiten und damals noch wenig bekannte Nachwuchswissenschaftler, die heute bedeutende Positionen in Wissenschaft oder Wirtschaft einnehmen, waren mit ihrer Kompetenz in das Projekt eingebunden.

Das Projekt verlief wissenschaftlich insgesamt sehr erfolgreich. Bereits auf der Hannover-Messe 1989 wurde ein 2-Cluster-System vorgestellt, mit einer beeindruckenden gemessenen Rechenleistung von rd. 360 MFlops für die Matrixmultiplikation. Der Aufbau des Gesamtsystems verzögerte sich, da die torusartige 4×4 -Verbindung der 16 Cluster durch den im Projekt entwickelten SUPRENUM-Bus sich zunächst als nicht stabil erwies. Das

große System wurde dann im Jahre 1990 erfolgreich abgenommen. Dieses SUPRENUM-System war mit einer gemessenen Leistung von nahezu 2,8 GFlops (Matrixmultiplikation) bis zum Erscheinen der Connection Machine CM5 (der Firma Thinking Machines) im Jahre 1991 der weltweit schnellste MIMD-Parallelrechner.

Herausragend und von nachhaltiger Bedeutung waren die Ergebnisse auf der Softwareseite. Auf der Basis eines abstrakten Prozesskonzepts für die Kommunikation („abstrakte SUPRENUM-Architektur“) entstanden im Projekt Werkzeuge für die portable Programmierung – zum Beispiel die Kommunikationsbibliothek COMLIB, eine Mapping Library zur Abbildung der Prozesse (Software) auf die Prozessoren (Hardware) und schließlich die Realisierung des Message-Passing-Prinzips durch PARMACS, einem Vorläufer von MPI.

Algorithmisch wurde eine Vielzahl von gitter-, partikel- und matrixbasierten numerischen Verfahren nach dem Grid-Partitioning-Prinzip mit hoher Effizienz parallelisiert. Für die besonders schnellen, aber algorithmisch anspruchsvollen (z. B. nicht skalierbaren!) Mehrgitter- und Multiscale-Verfahren ergab sich – theoretisch *und praktisch* – eine optimale parallele Effizienz ($E(P,N) \rightarrow 1$) für hinreichend große Probleme ($N \rightarrow \infty$) bei fester Anzahl P von Prozessoren. Diese Ergebnisse wurden im Projekt für viele realistische Anwendungen (z. B. aus der Strömungs- und Strukturmechanik), aber auch von externen Anwendern außerhalb des Projekts erzielt.

Die im Projekt getroffenen Architekturentscheidungen (MIMD-Rechner mit verteiltem Speicher, Hochleistungsprozessoren mit Vektorverarbeitung, Cluster-Struktur mit zweistufigem bus-basiertem Verbindungssystem) waren zu Beginn des Projektes äußerst umstritten und wurden teilweise heftig bekämpft. Heute, im Nachhinein, erscheinen sie als geradezu Epoche machend. Heutige Superrechner sind durchweg MIMD-Rechner mit verteiltem Speicher, Vektorverarbeitung ist immer eine Option, und hierarchische busbasierte Strukturen haben sich durchaus bewährt.

Das kommerzielle Ziel von SUPRENUM, eine langfristige Superrechnerentwicklung in Deutschland zu etablieren, wurde nicht erreicht. Die Gründe dafür werden in der ausführlichen Fassung dieses Berichts erläutert. Sie lagen im Wesentlichen in der Tatsache, dass ein potenter Industriepartner, der in die Entwicklung eines parallelen Superrechners (z. B. im Sinn einer zweiten SUPRENUM-Generation) eingestiegen wäre, in Deutschland und in Europa nicht gefunden werden konnte. Mit der Gründung der PALLAS GmbH im Jahre 1990/1991 durch den Autor gelang es jedoch, die Softwareentwicklungen von SUPRENUM weiterzuführen (s. ausführlichen Bericht im Teil II).

Der Programmierer dachte also lediglich in kooperierenden Prozessen statt sich um Prozessoren, Verbindungskanäle, Clusterstrukturen und viele andere system-spezifische Details kümmern zu müssen.

Das herausragende wissenschaftlich-technische Ziel von Suprenum, die Realisierung eines massiv parallelen Rechensystems im Gflops-Bereich, mit 16 Clustern und 256 Prozessoren, wurde, wenn auch mit im Endeffekt etwa einjähriger Verzögerung, Ende 1990, also ein Jahr nach Projektende, in der GMD erreicht. Dabei lag die nachgewiesene Anwendungs-Maximalleistung bei 2,8 GFlops für eine Matrixmultiplikation. Der Suprenum-Rechner bot damit eine weltweit mit führende Rechenleistung.

Das F+E-Ziel wurde auch dadurch erreicht, dass der Nachweis der Programmierbarkeit hochparalleler Rechner erbracht wurde, dass voll-parallele Systemsoftware (Betriebssystem Peace) entwickelt und implementiert wurde sowie eine große Zahl von Anwendungslösungen und -Programmen für hochparallele Rechner.

Letztere lagen schwerpunktmäßig auf dem Gebiet der partiellen Differentialgleichungen, insbesondere für die Strömungsmechanik.

Das kommerzielle Ziel von Suprenum, die marktkonforme Weiterentwicklung des Systems durch die beteiligten Unternehmen und dessen Vermarktung wurde leider nicht erreicht. Ausschlaggebend waren im Wesentlichen drei Gründe:

Der erste Grund lag in dem Zeitverzug der Entwicklung um etwa ein Jahr und in der Tatsache, dass genau in dieser Zeit eine Unsicherheit über die langfristige Marktentwicklung im Superrechnerbereich eine große Rolle spielte und erste Konkurrenzsysteme amerikanischer Hersteller angekündigt wurden.

Der zweite Grund lag darin, dass sich eine Preis/Leistungsdominanz der Intelprozessoren gegenüber den im Projekt verwendeten Prozessoren abzeichnete. Ein erwogener Umstieg auf die Inteltechnologie in der zweiten Generation von Suprenum wurde dann aber wegen großer technischer Schwierigkeiten und zu großer finanzieller Aufwendungen nicht mehr realisiert.

Der dritte Grund lag in der fehlenden Vermarktungsperspektive für die ersten Systeme von Suprenum, die nur im öffentlichen Bereich liegen konnte. Die beteiligten Industriepartner verwiesen hier auf die Vorteile in den USA (und Japan), wo die NASA oder andere öffentliche Stellen normalerweise den Ersteintritt neuer Systeme absichern.

Positiv vermerkt werden muss hier aber, dass zur Vermarktung einiger Entwicklungen aus dem Softwarebereich von Suprenum Anfang 1991 von Ulrich Trottenberg in Bonn die Firma Pallas GmbH als Spin-off der Suprenum-Forschungsarbeiten gegründet wurde. Diese Firma hat in den Folgejahren auch international beachtliche Erfolge in der weiteren Erforschung, Entwicklung und Vermarktung von softwareseitigen Supercomputerlösungen erzielt. Ein Teil der Firma wurde im Jahr 2003 erfolgreich von Intel akquiriert.

Weiterhin positiv vermerkt werden muss auch noch, dass die Projektpartner von Suprenum, namentlich die GMD und die Firma Pallas, später die Federführer in einer Reihe von EU-Projekten zur Softwareentwicklung für Superrechner wurden. Das bedeutendste war das „Genesis Projekt“. Im nationalen Rahmen schloss sich ab 1993 ein breites Förderprogramm zur „Anwendung des parallelen Höchstleistungsrechnens“ an, welches von den ehemaligen Suprenum-Projektpartnern stark geprägt wurde, und mit welchem eine noch heute geltende deutsche weltweite Mitführerschaft auf dem Gebiet der Softwareentwicklungen für Superrechner gestartet wurde.

Die für Suprenum bereitgestellten Gesamtkosten, inklusive Eigenmittel der Industrie, lagen bei etwa 200 Mio. DM. Nach Abschluss des Projekts wurden im BMFT (vom Autor dieses Artikels, der aber erst nach dem Ende des Projekts Suprenum in das dafür zuständige Referat kam) ausführliche kritische Analysen durchgeführt, um daraus Lerneffekte für die Zukunft zu erzielen. Das ist sicher gelungen.

2.2.4.2 Deutsches Forschungsnetz DFN

Im Jahr 1984 startete der BMFT ein für Lehre und Forschung in Deutschland bedeutendes Projekt, das „Deutsche Forschungsnetz“ (DFN). Hierbei beschritt er

einen neuen, sehr beachtenswerten Weg der Projektvergabe: Diejenigen, die später einmal die Nutzer des DFN sein würden – nämlich die Hochschulen und Forschungseinrichtungen in Deutschland – beauftragte er mit der Durchführung des Projekts. Hierzu gründeten die künftigen Nutzer einen gemeinnützigen Verein, den „Verein zur Förderung eines Deutschen Forschungsnetzes“, abgekürzt „DFN-Verein“. Eng verbunden mit der Konzipierung des Projektes DFN und mit der Gründung des Vereins sind die Namen Eike Jessen, Norbert Szyperski und Karl Zander. Das Projekt Deutsches Forschungsnetz wurde zu einem Erfolg, nicht zuletzt durch das zielgerichtete und umsichtige Management der beiden Geschäftsführer Klaus Ullmann und Klaus-Eckart Maass. Heute ist das DFN ein fester, nicht mehr wegzudenkender Bestandteil der deutschen Forschungslandschaft mit hervorragender internationaler Reputation. Es finanziert sich – wie 1984 vom BMFT geplant – vollständig aus Entgelten der Nutzergemeinschaft. Den Vorsitz im Vorstand führt derzeit Wilfried Juling.

2.2.4.3 Supercomputerkonferenzen ISC

Ein mutiges Vorgehen in den 80er Jahren, dessen Bedeutung bis heute kontinuierlich zugenommen hat und den Standort Deutschland im Supercomputing unterstreicht, der trotz fehlender eigener Rechnerentwicklung inzwischen einer der weltweit ersten Standorte in der Anwendung des Supercomputing ist, war der Start der Supercomputer-Konferenzen im Juni 1986 als ‚Supercomputer Seminar‘ an der Universität Mannheim unter der Leitung von Hans Meuer, Lutz Richter und Hans-Martin Wacker mit 81 Teilnehmern. Das Mannheimer Supercomputer-Seminar hat sich bald zur ‚International Supercomputing Conference ISC‘ entwickelt, der in Europa größten und bedeutendsten Supercomputing-Veranstaltung und im weltweiten Maßstab, nach den SC Conferences in USA – die aber erst zwei Jahre später im Jahr 1988 starteten –, zweitgrößten Veranstaltung auf dem Gebiet des Supercomputing. Im Juni 2007 fand in Dresden die 22. ISC-Konferenz in Folge statt, mit über 1000 Teilnehmern und über 90 Ausstellern aus der ganzen Welt. Die Konferenz und die in diesem Rahmen mit entwickelte TOP 500-Liste ist inzwischen zum Aushängeschild der deutschen HPC-Community geworden.

2.2.5 *Entwicklung fehlerfreier Software mit formalen Methoden*

Über die Forschung zur Entwicklung fehlerfreier Software mit formalen Methoden wird im Rahmen dieses Fachbands noch mehrfach berichtet. Viele der später zitierten Arbeiten und auch Forscherpersönlichkeiten basieren auf dem **„Karlsruhe Interactive Verifier“ (KIV)**, welcher im folgenden Zeitfenster kurz und im Teil II ausführlich vorgestellt wird.

Zeitfenster KIV – Karlsruhe Interactive Verifier (gefördert von der DFG 1986–1989)

Wolfram Menzel

KIV, der „Karlsruhe Interactive Verifier“, ist ein Rahmensystem – eine „shell“ – zur Verifikation und Entwicklung imperativer Programme, d. h. Programmen wie seinerzeit etwa in PASCAL. In der zweiten Hälfte der achtziger Jahre wurde KIV von der DFG gefördert und gewann dabei seine erste, überzeugende Gestalt.

Ausgangspunkt war eine genauere Analyse der Hoare-Logik (Hoare 1969). Hier werden im Rahmen der Prädikatenlogik erster Ordnung und für die Programme einer einfachen While-Sprache Aussagen partieller Korrektheit betrachtet. Schrittweise werden in ihnen die Programme eliminiert, mit Zuweisungen als den „Atomen“, wobei der Benutzer freilich noch Schleifeninvarianten beizusteuern hat. Die dann verbleibenden Korrektheitsbedingungen, Formeln erster Ordnung, können „im Prinzip“ einem automatischen Beweiser übergeben werden. Jedoch sind solche Beweiser mit der immensen Menge anfallender Korrektheitsbedingungen sehr rasch hoffnungslos überfordert. Zusammen mit einer Reihe weiterer Gründe – Unvollständigkeitsergebnissen in Abhängigkeit vom Datentyp, dem „Verdecken“ beweisstrukturierender Informationen durch ein Kodieren in Arithmetik – führte dies dazu, dass eine *stärkere* und *für den gegebenen Zweck spezifische* Logik verwendet werden sollte und die Beweiskonstruktion *interaktiv* erfolgen sollte.

Beim interaktiven Beweisen ist der Benutzer im Dialog mit dem System gestaltend in die Beweisführung einbezogen. Er kontrolliert die Grobstruktur und er trifft steuernde Entscheidungen in Fällen von Wahlmöglichkeiten, umgekehrt wird er seinerseits vom System geführt. Ferner kann beim Aufbau des Systems fortgesetzt an einer Ausweitung der automatischen Komponente gearbeitet werden.

Als Basislogik wurde die (auf Pratt 1976 zurückgehende) *Dynamische Logik* gewählt. Ihre Formeln sind wie prädikatenlogische erster Ordnung aufgebaut, jedoch lassen sich über einen zusätzlichen Operator Programme der betrachteten Programmiersprache in die Formeln einbringen. Einen vollständigen Kalkül für die allgemeingültigen Formeln kann es hier nicht geben, doch lässt sich über eine infinitäre Regel eine Art „Pseudovollständigkeit“ erzielen. Im Gegensatz zur Hoare-Logik ist die Dynamische Logik imstande, auch totale Korrektheit, insbesondere Terminierung, auszudrücken.

Auf dieser Basis wurde KIV ab Mitte der achtziger Jahre realisiert. Zentrale Leitlinien waren das symbolische Ausführen der Programme sowie, seitens der Logik, ein weitestgehend uninterpretiertes Schließen, das vom Datentyp abstrahiert. Die Programme der betrachteten Sprache waren aus Zuweisungen und Konstanten durch Komposition, Verzweigung, Schleifen, lokale Variable und beliebig wechselseitig rekursive Prozeduren aufgebaut.

Um die Einheitlichkeit des gesamten Vorgehens zu gewährleisten, wurde die *Meta-sprache* PPL (Proof Programming Language) geschaffen. PPL ist eine funktionale Sprache, ihre Programme arbeiten auf *Beweisbäumen* als der zentralen Datenstruktur: lokalen „Unterbeweisen“, die sich schließlich zum Gesamtbeweis zusammenfügen. An der Wurzel steht das (lokale) *Beweisziel*, an den Blättern können entweder *Axiome* oder – später noch zu rechtfertigende – *Prämissen* stehen. Der hierarchischen Strukturierung des Beweisgeschehens dienen *abgeleitete Regeln*, *Taktiken* und *Strategien*.

Ende der achtziger Jahre war KIV in diesem Sinne weitgehend realisiert und hatte sich als leistungsfähig und erfolgreich erwiesen. Ein starker vollautomatischer Kern ermöglichte auch große Beweise. In der Literatur vorhandene Vorgehensweisen waren in KIV implementiert, so der Hoare-Kalkül, ein Vorgehen zum Nachweis von Programminklusionen, die (auf Burstall zurückgehende) Methode der symbolischen Ausführung mit Induktion.

Für die betrachtete Programmiersprache war inzwischen auch die Axiomatisierung eines sehr weit reichenden Prozedurkonzepts – mit Prozedurparametern – gelungen, so dass hierauf Induktionsbeweise fußen konnten.

Um auch große Programme zu verifizieren bzw. in sicherer Weise zu entwickeln, bedarf es der hierarchischen Komposition aus kleineren Einheiten, der Modularisierung. Wesentlich ist, dass beim Zusammensetzen die Korrektheit erhalten bleibt. Es wurde ein Konzept entwickelt und in KIV verwirklicht, das dieses garantierte.

KIV wurde in den späten achtziger und frühen neunziger Jahren an vielen Beispielen unterschiedlicher Größe – bis zu etwa 8000 Zeilen Code – erprobt und seine Leistungsfähigkeit unter Beweis gestellt. Zwischen 5 und 25% der Beweisschritte waren Interaktionen.

Im Jahr 1990, nach Auslaufen der Erstförderung durch die DFG, wurde die Arbeit an KIV in zwei Verbundprojekten fortgesetzt. Im Vorhaben KORSO, gefördert vom BMFT, wurde KIV in den größeren Zusammenhang von Gruppen in Deutschland eingebracht, die an ähnlichen Fragen arbeiteten. In VSE (Verification Support Environment), gefördert vom BSI, wurde gemeinsam mit universitären und industriellen Partnern an Prototypen für große, sichere Programme gearbeitet. KIV wurde von den anfangs beteiligten Karlsruher Kollegen Werner Stephan am DFKI und Wolfgang Reif an der Universität Augsburg weiterentwickelt.

In Karlsruhe wurden im Rahmen des DFG-Schwerpunkts „Deduktion“ wichtige verbliebene Grundlagenfragen aufgearbeitet. Die weitere Entwicklung war durch die Zusammenarbeit mit der Gruppe von Peter H. Schmitt gekennzeichnet, die den Tableaux-Beweiser $\text{}_3\text{TAP}$ erstellt hatte. Auf der Basis des in KIV und $\text{}_3\text{TAP}$ Erreichten entstand das System KeY. Es widmet sich der Verifikation und Synthese von JAVA-Programmen und ist in kommerzielle Softwareentwicklungswerkzeuge eingebunden. KeY wird heute unter Leitung von Peter Schmitt (Karlsruhe), Reiner Hähnle (Göteborg) und Bernhard Beckert (Koblenz) intensiv weiter ausgebaut (s. ausführlichen Bericht im Teil II).

2.2.6 Aufbau der Neuroinformatik

Die massiv-parallele Verarbeitung von Informationen durch Netzwerke künstlicher Neuronen erschließt eine neue Qualität der Informationsverarbeitung, die sich am Bau des menschlichen Gehirns orientiert. Von besonderem Interesse sind die Assoziations- und Lernfähigkeiten derartiger künstlicher neuronaler Systeme.

Die Forschungsgebiete der Neuroinformatik konzentrierten sich anfangs auf die technische Darstellung neuronaler Architekturen, die Flexibilität derartiger Strukturen, ihre Fähigkeit zur Selbstorganisation und die Darstellung des notwendigen Umwelt- und Fachwissens. Diese Grundlagen wurden dann an ersten Anwendungsbeispielen aus den Bereichen Bildverarbeitung, Spracherkennung und Steuerung (Bewegungs-Koordination von Robotern) erfolgreich demonstriert.

Forschungsarbeiten in diesem Bereich haben in Deutschland eine lange Tradition und gehen zurück bis auf Karl Steinbuch aus Karlsruhe. Ein richtiger Durchbruch in eine breite nationale Initiative gelang aber erst in der zweiten Hälfte der 80er Jahre im Zusammenhang mit einem mutigen Schritt der Nordrhein-Westfälischen Landesregierung, die fast gleichzeitig vier Lehrstühle in diesem Gebiet an den Hochschulen Bielefeld (Helge Ritter), Bochum (Werner von Seelen und

Christoph von der Malsburg) und Düsseldorf, später Bonn (Rolf Eckmiller) einrichtete. Auf Bundeseite wurde dann Anfang des Jahres 1988 ein großes grundlagenorientiertes Pilotprojekt zur interdisziplinären Verknüpfung der Forschungskapazitäten im Bereich der Biowissenschaften mit denen der Informatik und der Mathematik und zur Umsetzung biologischer Grundprinzipien in technischen Systemen gestartet, das Verbundprojekt INA – Informationsverarbeitung in neuronaler Architektur, über das im folgenden Zeitfenster kurz und im Teil 2 des Fachbands ausführlich berichtet wird.

Zeitfenster Neuroinformatik am Beispiel des Projekts Informationsverarbeitung in Neuronaler Architektur INA (1988–1990)

Werner von Seelen

Technische Systeme zur Informationsverarbeitung und neuronale Systeme haben überlappende Aufgabenfelder. Darüber hinaus gibt es Aufgaben, bei denen neuronale Systeme begriffs- und strukturbildend sind und ihre Lösungen den Weg weisen für angestrebte technische Systeme mit vergleichbaren Eigenschaften. Selbstorganisation, Lernen und Intelligenz sind derartige Systemfähigkeiten. Hinzu kommt ein prinzipieller Unterschied: während technische Systeme bisher weitgehend in geschlossenen Welten operieren, agieren biologische Systeme vom Grunde ihrer Entstehung her in natürlichen Umwelten, sie sind definitorisch offene Systeme. Überlappung und Komplexität beider Systemarten legen nahe, sie in ihren Eigenschaften einander ergänzen zu lassen, zumal technische Systeme vermehrt die Anwendungsdomänen biologischer Systeme durchdringen.

Angesichts dieser Situation hat der BMFT ab Ende der achtziger Jahre in verschiedenen, aber aufeinander aufbauenden Programmen die Analyse und die Applikation neuronaler Systeme gefördert. Diese Projekte umfassten jeweils mehrere führende Gruppen aus Universitäten, Forschungsinstituten und der Industrie. Das erste große Startprojekt dieser Art war INA – Informationsverarbeitung in Neuronaler Architektur (1988–1990). Es folgten erste autonome Roboter, wie NAMOS (1991–1994) und NEUROS (1995–1999), und später LOKI (2000–2003), MORPHA (1999–2003) sowie das gegenwärtig laufende Service-Roboter-Projekt DESIRE. Am Projekt INA waren unter der Gesamtleitung von Werner von Seelen und Christoph von der Malsburg folgende Partner beteiligt:

Universität Mainz – Fachbereich Zoologie, Technische Hochschule Darmstadt – Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik (2×), Universität Göttingen – Fakultät für Physik, Universität Paderborn – Fakultät für Informatik, Universität Düsseldorf – Institut für Physikalische Biologie und Institut für Hirnforschung, Technische Universität München – Physik-Department, Max-Planck-Gesellschaft – Institut für Hirnforschung, Universität Bochum – Institut für Neuroinformatik (2×), GMD – Institut für Informationstechnische Infrastrukturen und die Fa. Kratzer Automatisierung GmbH.

Das Projekt INA war von der Vorstellung bestimmt, in technisch strukturierten Problemen Elemente aus neuronalen Systemen zu übernehmen. Eine konkrete Zielsetzung bezog sich auf die Untersuchung visueller Informationsverarbeitung in natürlichen Umwelten mittels neuronaler Architekturprinzipien. Als Applikationsbereiche galten 3-D-taugliche Sehsysteme für Roboter und autonom agierende Fahrzeuge sowie verschiedene Automatisierungsprobleme. Diese Systeme sollten aktives Sehen ermöglichen, d. h. den Perzeptionsprozess autonom gestalten und hinreichend schnelle Algorithmen für die Steuerung dieses Prozesses und die folgende Bildverarbeitung zur Verfügung stellen. Die Lernfähigkeit derartiger Systeme war Programm.

Ergebnisse waren u. a.: ein neuronaler Instruktionssatz, bestehend aus Operatoren, die es erlaubten, verschiedene Teilprobleme auf unterschiedliche Weise zu dekomponieren (in einem späteren Projekt wurde daraus der Chip SEE der Firma Siemens, später Infineon). Zu den Operationen zählten die ortsvariante Informationsverarbeitung, die zur Fovealisierung und – mit der später weltweit genutzten inversperspektiven Kartierung – zur Hindernisvermeidung eingesetzt wurden. Diskrete parametrische neuronale Repräsentationen und spärlich kodierende Assoziativspeicher wurden – zu komplexen Bildverarbeitungssystemen kombiniert – für die visuelle Navigation von Robotern und die Gesichtserkennung eingesetzt. Dabei ließ sich das Konzept des „Active VISION“ mit echtzeitfähigem Tracking und disparitätsbasierter Stereobildverarbeitung überzeugend demonstrieren. Wichtige Teile der heute üblichen Verfahren zur Roboternavigation nutzen Ergebnisse des Projektes, das gilt insbesondere für verschiedene Lernverfahren und deren strukturelle Einbettung.

Neben dem Erreichen der konkreten Arbeitsziele erwiesen sich der konzeptuelle und methodische Fortschritt in INA als gleich gewichtig. So wurde die Lerntheorie weiter vorangetrieben, die Probleme der natürlichen Umwelt spezifiziert und es zeigte sich, dass die Flexibilität von Systemen die entscheidende Schlüsseleigenschaft ist, mit der man Robustheit und Komplexität der Systeme potentiell in den Griff bekommen kann. Spätere Projekte haben sich diesen Aufgaben gewidmet. Es zeigten sich im Verlauf von INA aber auch Schwächen des naturgemäß zunächst begrenzten Ansatzes. So wurde deutlich, dass die isolierte Übernahme biologischer Verfahren in technisch konzipierte Systemstrukturen einen Teil der Vorteile verspielte, die mit einer sich über größere Systemteile erstreckenden konsequent neuronalen Architektur erreichbar erschienen. Spätere Projekte haben dem Rechnung getragen.

Versucht man die Konsequenzen von INA auf die Entwicklung späterer Forschungsarbeiten zu überblicken, so sind vor allem zwei Bereiche nachhaltig beeinflusst und geformt worden: die Roboterentwicklung, vor allem in Richtung auf Service-Roboter, und die Flexibilität moderner Steuerungssysteme. Die autonome Navigation von Robotern, deren Nutzerinteraktion und Kontrollprinzipien gelöst wurden, fanden vielfache kommerzielle Anwendung, z. B. in der Reinigung, in Kliniken und im Haushalt. Weniger spektakulär, aber letztlich tiefgreifender erwiesen sich die Arbeiten zur Flexibilität der Systeme durch Selbstorganisation. Sie wirkten bahnbrechend für Systeme in natürlicher Umwelt, für variable Kontrollprobleme und die konstruktive Möglichkeit, Robustheit und Komplexität in einer Balance zu halten. INA hat die Basis zur heutigen deutschen Mitführerschaft auf dem Gebiet der Servicerobotik geschaffen.

Große kommerzielle Dimensionen gab es in den 90er Jahren noch für die Anwendungen von Neuro-Fuzzy-Systemen auf dem Gebiet der Prozesssteuerung von Walzstraßen, von Papierfabriken und industriellen Kläranlagen. Hier war z. B. die Firma Siemens sehr aktiv (s. ausführlichen Bericht im Teil II).

Mit dem Projekt INA, welches Ende des Jahres 1990 erfolgreich abgeschlossen wurde, wurde die breite wissenschaftliche Forschungslandschaft in Deutschland auf dem Gebiet der Neuroinformatik nicht zuletzt durch die Gründung einer Reihe von Lehrstühlen an deutschen Universitäten aufgebaut, und es wurden bei dieser Gelegenheit in den USA arbeitende deutsche Spitzenwissenschaftler auf diesem Gebiet zurückgewonnen.

Erste Anwendungserfolge wurden in der Entwicklung von intelligenten und autonomen Robotersystemen, der neuronalen Gesichtserkennung und der neuronalen Regelung und Steuerung von Großanlagen erzielt, wodurch frühzeitig Ergebnisse aus der Forschung für die langfristige Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen

auf dem Weltmarkt, z. B. in der Verkehrstechnik, der Prozess- und Anlagensteuerung, der Robotik und in den Kommunikationsnetz-Infrastrukturen umgesetzt wurden.

Auf den mit INA erzielten Ergebnissen baute die zweite Phase der Förderung der Neuroinformatik durch den BMFT auf, die im Zeitraum 1991 bis 1995 in elf Verbundprojekten insgesamt 43 Forschungsgruppen, davon sechs aus den Neuen Bundesländern und acht aus der Wirtschaft vereinte. Die Schwerpunkte lagen jetzt mehr in anwendungsorientierten Fragestellungen. Über die gesamten Forschungsarbeiten informiert ein Statusbericht aus dem Jahr 1992 [18].

Literatur und Quellen

- [1] Bibel, W., The Beginnings of AI in Germany, Gesellschaft für Informatik, Künstliche Intelligenz, Heft 4/2006
- [2] Reuse, B., 30 Years of Funding for Research into Artificial Intelligence in Germany, Gesellschaft für Informatik, Künstliche Intelligenz, Heft 1/2007
- [3] Brauer, W., persönliche Information
- [4] Brauer, W., KI auf dem Weg in die Normalität, Gesellschaft für Informatik, Künstliche Intelligenz, Sonderheft 8/1993
- [5] Wahlster, W., persönliche Information
- [6] Workshop Sprachverarbeitung, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH, Bonn, Dezember 1982
- [7] Hahn von, W., Wahlster, W., HAM-ANS, Hamburger anwendungsorientiertes natürlich-sprachliches System, Schlussbericht, Forschungsstelle für Informationswissenschaft und Künstliche Intelligenz der Universität Hamburg 1985
- [8] Höge, H., SPICOS II – Ein sprachverstehendes Dialogsystem, AEÜ Archiv für Elektronik und Übertragungstechnik, Band 43, Heft 5, Oktober 1989
- [9] Herzog, O., Rollinger, C.-R., Text Understanding in LILOG, Integrating Computational Linguistics and Artificial Intelligence, Lecture Notes in Artificial Intelligence 546, Springer-Verlag 1991
- [10] Rüenaufner, P., persönliche Mitteilung
- [11] Mertens, P., Borkowski, V., Geis, W., Betriebliche Expertensystem-Anwendungen, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin 1993
- [12] Brauer, W., Wahlster, W., KI Informatik-Fachberichte 155, Springer-Verlag, Heidelberg, Oktober 1987
- [13] BMFT-Broschüre, Künstliche Intelligenz: Wissensverarbeitung und Mustererkennung, Bonn 1988
- [14] Christaller, Th., Di Primio, F., Voss, A., Die KI-Werkbank Babylon, Addison Wesley, Reihe Künstliche Intelligenz, Sankt Augustin, Februar 1989
- [15] Werkstattbericht Informationstechnik, Bundesminister für Forschung und Technologie, Bonn, 1988
- [16] Abendroth, D., Niederau, G., Steusloff, H., et al, Software Engineering Verbundprojekte, Sonderdruck aus dem Computer Magazin, Oktober 1986
- [17] BMFT-Pressereferat, Informationsservice, Suprenum – Parallelrechner für Supraleistung, Bonn, März 1989
- [18] Bericht zur Statustagung des BMFT „Neuroinformatik“ in Schloss Maurach, Projektträger des BMFT für Informationstechnik (DLR e.V.), Berlin, Oktober 1992