

SUPRENUM 25 Jahre

Ulrich Trottenberg & Bernhard Thomas

Informatik-Spektrum

Organ der Gesellschaft für Informatik
e.V. und mit ihr assoziierter
Organisationen

ISSN 0170-6012

Informatik Spektrum
DOI 10.1007/s00287-018-1115-0



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".



SUPRENUM 25 Jahre

Ulrich Trottenberg · Bernhard Thomas

SUPRENUM: Vorgeschichte, Projektkonstruktion und Projektpartner

Die große Zeit der Parallelrechner begann in den frühen 1980er-Jahren. Vektorrechner wie die CRAY-1 (im Jahre 1966) und Mehrprozessor-Vektorrechner wie die CRAY X-MP (zehn Jahre später) hatten den Begriff der „Superrechner“ geprägt. Seit den späten 1970er-Jahren wurden zunehmend Zweifel laut, ob man mit (Mehrprozessor-)Vektorrechnern die Rechenleistungen würde erbringen können, die man für die großen, wichtigen Anwendungen in vielen Feldern der numerischen Simulation in absehbarer Zeit benötigen würde. Beispiele sind Strömungs- und Strukturmechanik, Wetterprognose, Klimamodellierung, Teilchenphysik. Auch Anfang der 1980er-Jahre waren Superrechner aber eindeutig noch von der Vektorverarbeitung geprägt. Hersteller waren die amerikanischen Firmen CRAY und Control Data, im Spiel waren auch die japanischen Firmen NEC, Hitachi und Fujitsu. Die forschungs- und industriepolitische Bedeutung von Superrechnern war unumstritten, Simulation erschien als „dritte Säule“ neben Theorie und Experiment. Natürlich spielten auch die militärischen Einsatzmöglichkeiten im Bewusstsein der Politik und der Öffentlichkeit eine wichtige, im Hinblick auf die Finanzierung oft die entscheidende Rolle. In Europa gab es keine mit den amerikanischen und japanischen Entwicklungen vergleichbaren Industrieaktivitäten.

Seit Ende der 1970er-Jahre wurde daher in Deutschland – zunächst noch unverbindlich – zwischen der Forschungspolitik, der Industrie sowie den rechnernahen Forschungszentren und Universitätsinstituten die Frage diskutiert,

ob und wie man eine deutsche Superrechnerentwicklung auf den Weg bringen könnte. Die Überlegungen wurden zu Beginn der 1980er-Jahre konkreter.

Auf der Rechnerarchitekturseite standen zu dieser Zeit – konzeptionell bereits seit vielen Jahren – Ideen von Parallelrechnerarchitekturen im Vordergrund. Während Vektorrechner nach dem Pipeline-Prinzip arbeiten, laufen die Operationen im Parallelrechner gleichzeitig, eben echt parallel, auf mehreren oder vielen Prozessoren ab. Der Reiz des Parallelrechners ist die dadurch entstehende, „im Prinzip unbegrenzte“ Rechenleistung: Man kann – so die Idee schon damals – prinzipiell beliebig viele Prozessoren in einem Rechner zusammenarbeiten lassen. Die angestrebte, theoretische Höchstleistung ist aber nur erreichbar – auch darüber war man sich in den Fachdiskussionen damals im Klaren –, wenn nicht alle Prozessoren auf den gleichen Speicher zugreifen, weil sonst die Geschwindigkeit des Speicherzugriffs und Reihenfolgekonflikte sehr bald wieder zu limitierenden Faktoren werden würden. Wenn man also einen parallelen Superrechner mit im Prinzip unbegrenzter Leistung bauen wollte, kam dafür nur das *MIMD-Prinzip mit verteiltem Speicher* in Frage: Jeder Prozessor sollte autonom mit einem eigenen lokalen Speicher parallel zu den anderen Prozessoren arbeiten können, selbst aber jeweils über eine Hochleistungsrecheneinheit verfügen.

<https://doi.org/10.1007/s00287-018-1115-0>
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2018

Ulrich Trottenberg · Bernhard Thomas
InterScience GmbH,
Spichernstraße 22, 50672 Köln
E-Mail: ulrich.trottenberg@interscience.de,
bernhard.thomas@interscience.de

Zusammenfassung

Vor rund 25 Jahren endete das SUPRENUM-Projekt. Ziel dieses großen, vom Forschungsministerium geförderten deutschen Projekts war die Entwicklung eines parallelen SUPERREchners, insbesondere für große NUMerische Anwendungen. In einer gemeinsamen Initiative von Forschungszentren, der Industrie und universitären Expertengruppen sollte ein skalierbares Rechnersystem entstehen, das auf der Basis einer MIMD-parallelen Architektur echte Höchstleistung bot. Dazu war neben der Hardwarekonzeption und -realisierung auch eine Vielzahl von Softwareentwicklungen erforderlich. Und tatsächlich wurden auch etwa zwei Drittel der Projektkosten für die Softwareentwicklungen aufgewendet.

Im Jahre 1989 wurde das erste („kleine“) System unter großer öffentlicher Aufmerksamkeit auf der Hannover-Messe Industrie präsentiert und als großer Erfolg gefeiert. Ein System der höchsten Ausbaustufe wurde dann im Dezember 1990 in der GMD in Sankt Augustin installiert und abgenommen. Ab 1991 und 1992 wurden eine Vielzahl von Anwendungen auf diesem voll ausgebauten System implementiert und umfangreiche Leistungsmessungen durchgeführt. Das Ergebnis kurz zusammengefasst: Mit einer Leistungsspitze von gemessenen 3,0 GFLOPS (für eine Matrixmultiplikation) war SUPRENUM damals der schnellste MIMD-Rechner der Welt. Die langfristig bedeutenderen, *nachhaltigen* Durchbrüche gelangen allerdings nicht auf der Hardware-, sondern auf der Softwareseite.

Das Projekt hatte nicht nur ein Forschungs-, sondern auch ein kommerzielles Ziel. Das war eine der Bedingungen, die von den Hauptindustriepartnern von Anfang an formuliert wurden. Die vom Industriepartner Krupp Atlas Elektronik GmbH gefertigten SUPRENUM-Systeme sollten insbesondere von Forschungseinrichtungen als Hochleistungsrechner beschafft und genutzt werden. Es wurden aber außer dem Zielsystem für die GMD nur fünf kleinere Systeme von projektnahen Institutionen beschafft und installiert. Der Hauptgrund für diesen ungenügenden kommerziellen Erfolg lag in der Tatsache, dass Industrie und Forschungspolitik sich über

die Finanzierung der *Weiterentwicklung* des Systems (SUPRENUM 2) nicht einigen konnten. Für ein (Höchstleistungs-)System, dessen Zukunft nicht gewährleistet ist, findet man keinen (echten) Käufer. Die Softwareentwicklungen des Projekts wurden allerdings mit Erfolg von der Pallas GmbH vermarktet und unter anderem im europäischen GENESIS-Projekt und später im EUROPORT-Projekt weitergeführt. Insbesondere die Parallelisierungskonzepte waren richtungsweisend. Sie sind heute noch die Grundlage einer Vielzahl von großen parallelen Anwendungen.

In diesem Artikel werden die damaligen technischen Entwicklungen und die forschungspolitischen Aspekte des Projekts rückblickend betrachtet. Manche der technischen Entwicklungen erscheinen im Rückblick exzeptionell. Einige der *politischen* Entscheidungen in der Startphase des Projekts waren mutig und visionär, die Haltung der Industrie am Ende dagegen eher kurzfristig und wenig zukunftsorientiert.

Um von dieser grundsätzlichen Überlegung zu einem realisierbaren Konzept zu kommen, waren zwei fundamentale Probleme zu lösen:

1. Die interne Kommunikation zwischen den Prozessoren musste durch ein geeignetes, effizientes Verbindungsnetzwerk mit einer flexiblen, die typischen Anwendungen unterstützenden Topologie realisiert werden.
2. Für die typischen Anwendungen des Höchstleistungsrechnens und der numerischen Simulation mussten passende parallele Algorithmen entwickelt und zugehörige Programmiermodelle zur Verfügung gestellt werden.

Diese zunächst noch grundsätzlichen Überlegungen bekamen im Jahre 1983 eine unmittelbare praktische Bedeutung durch eine interne Umfrage innerhalb der AGF (heute HGF – Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren): Die Zentren sollten aus einer Liste von zehn aktuellen Forschungsthemen diejenigen auswählen, die sie für besonders wichtig und für eine zentrenübergreifende Kooperation für geeignet hielten.

Die beiden am häufigsten genannten Themen waren:

- die Entwicklung schneller Algorithmen für die numerische Simulation,
- die nationale Eigenentwicklung einer Superrechner-Architektur.

Beide Themen waren zentrale Forschungsgegenstände der GMD-Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH (heute Teil der Fraunhofer-Gesellschaft), damals geleitet von Norbert Szyperski. Das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT (heute BMBF)) nahm das Ergebnis der Umfrage zum Anlass, die GMD mit einer Studie zu beauftragen, in der für beide Themen detaillierte Konzepte ausgearbeitet werden sollten. Diese Studie wurde noch im Jahr 1983 fertiggestellt, von einer GMD-internen Arbeitsgruppe unter Leitung von Ulrich Trottenberg, damals Leiter des GMD-Instituts für Mathematik. Das zentrale Ergebnis der Studie war ein Vorschlag, die beiden Themen in einem großen nationalen Projekt zusammenzuführen. Dieser Vorschlag wurde über Fritz-Rudolf Güntsch, damals Abteilungsleiter im BMFT und Aufsichtsratsvorsitzender der GMD, dem damaligen Forschungsminister Heinz Riesenhuber vorgelegt.

Diesem Vorschlag entsprechend sollte der Prototyp eines SUPerREchners für NUMerische Anwendungen (SUP-RE-NUM) entwickelt werden. Ferner sollten alle Hardware- und Softwareschichten, die für die effektive Nutzung eines parallelen Superrechners erforderlich sind, in die Entwicklung mit einbezogen werden.

Für die Entwicklungsverantwortung kamen in Deutschland verschiedene Rechnerarchitektur-Forschungsinstitute, die sich langjährig mit parallelen Architekturprojekten befasst hatten, in Frage, insbesondere

- die EGPA und DIRMU-Entwicklungen an der Universität Erlangen-Nürnberg [7, 8, 14, 34] (Wolfgang Händler, Fridolin Hofmann, Hans-Jürgen Schneider, Arndt Bode),
- die „Pipeline Bus“-Entwicklung mit datenbankorientierten parallelen Architekturen [4] (Hans-Otto Leilich, Hans Christoph Zeidler),
- mehrere Projekte an der GMD, nämlich die Starlet und „Upper Bus“-Entwicklung (Wolfgang Giloi), die „Reduktionsmaschine“ (Werner Kluge, Klaus Berkling) und der „Einheitsbausteinrechner“ [24] (EBR-Projekt, Gert Regensburg).

Darüber hinaus hatte Ulrich Trottenberg in der GMD eine Forschungsgruppe mit dem Schwerpunkt „Schnelle Numerik“ aufgebaut, die sich mit erfolgreichen Industriekooperationen (u. a. mit VW und der Mannesmann AG) einen Namen gemacht hatte.

Nach intensiven Diskussionen ließ sich das BMFT von der nationalen Bedeutung des wissenschaftlichen Superrechnens überzeugen und stellte Mittel für ein Vorprojekt (SUPRENUM-Definitionsphase von April 1984 bis Mai 1985) zur Verfügung. In der Definitionsphase wurden das Projektkonsortium gebildet und die im folgenden Abschnitt aufgelisteten Architekturentscheidungen getroffen. Während des Vorprojekts wurden ferner eine Vielzahl von Topologien untersucht und entsprechende Studien durchgeführt [34, 35].

Eine wesentliche, auch politisch diffizile Frage war, welcher der zentrale Industriepartner für die Projektrealisierung sein sollte (und sein könnte). Die Siemens AG, der naheliegende Industriepartner, erklärte sich zwar bereit, das Projekt wissenschaftlich zu „begleiten“, war aber nicht daran interessiert, die Verantwortung für den Bau eines Parallelrechners zu übernehmen. Diese Rolle übernahm schließlich die (von Karl-Friedrich Triebold geleitete) Krupp-Atlas Elektronik GmbH, eine damals besonders erfolgreiche technologieorientierte Tochter des Krupp-Konzerns. Die Krupp-Atlas Elektronik GmbH gab dann auch den Ausschlag bei der Architekturentscheidung zugunsten eines Vorschlages von Wolfgang Giloi (GMD).

Das Hauptprojekt wurde von 1985 bis 1989 vom BMFT gefördert. Projektpartner waren die Forschungs- und Universitätsinstitute GMD-FIRST, GMD-SCAI, KFA-ZAM, DLR, KfK; Universität Erlangen-Nürnberg, TU Braunschweig, TH Darmstadt, Universität Bonn, Universität Düsseldorf, sowie die Industriepartner Krupp-Atlas Elektronik GmbH, Stollmann GmbH, Dornier GmbH und KWU AG.

Für die Koordination des Projekts wurde die SUPRENUM GmbH gegründet, mit den Geschäftsführern Ulrich Trottenberg (zuständig für die wissenschaftliche Projektleitung) und Klaus Peinze (zuständig für die industrielle Realisierung des Projektes). Im BMFT waren Uwe Thomas, damals Unterabteilungsleiter, und Günter Marx, Referatsleiter, für SUPRENUM zuständig. Vorsitzender des begleitenden Beirats war Peter Müller-Stoy (Siemens AG).

Das Projekt wurde mit insgesamt ca. 160 Millionen DM vom BMFT unter Beteiligung des Landes NRW gefördert. Insgesamt waren an der SUPRENUM-Entwicklung mehr als 200 Wissenschaftler hauptamtlich beteiligt.

Zu Beginn des Projekts, im Frühjahr 1985, waren zwar die deutschen Forschungshochburgen im Bereich der Rechnerarchitektur – nicht zuletzt durch ihre eigenen prototypischen Entwicklungen – von der Zukunft des parallelen Rechnens überzeugt, die meisten Betreiber der großen deutschen Rechenzentren glaubten aber nicht an die praktische Nutzbarkeit der Parallelrechner. Sie hielten die parallelen Systeme, die bereits in der Entwicklung oder im Einsatz waren (der iPSC von Intel, die transputerbasierten Systeme von INMOS und die Connection Machine CM1 [13] von Thinking Machines) für experimentelle Spielsysteme, die für realistische Anwendungen nicht geeignet waren. Superrechner – das waren für die meisten Leiter von Rechenzentren Vektorrechner [15], allenfalls Multiprozessor-Vektorrechner mit gemeinsamem Speicher, und einem Parallelitätsgrad von maximal 4. Diese divergierenden Einschätzungen veranlassten Hans-Martin Meuer, Veranstalter der jährlichen Supercomputerkonferenz in Mannheim (Vorläufer der heutigen ISC), als Besonderheit der Konferenz 1987 ein öffentliches Streitgespräch zu organisieren, zwischen Willi Schönauer als Vertreter des traditionellen Vektorrechnerlagers und Ulrich Trottenberg als Vertreter der parallelen Forschungsszene [28]. Als gewiefter Moderator sorgte Hans-Martin Meuer dafür, dass die heftige Kontroverse – nicht nur in der Fachpresse – einiges

öffentliches Aufsehen erregte. Das Streitgespräch endete zwischen den Protagonisten zwar versöhnlich, die unterschiedlichen Sichten der beiden Lager konnten aber vorerst nicht überbrückt werden.

Das SUPRENUM-System in Kürze

Wir beschreiben im Folgenden die Charakteristika der getroffenen Architekturentscheidungen: Hardware, Systemsoftware, Anwendungssoftware. Detaillierte Darstellungen der Hardware- und Softwarekomponenten finden sich zum Beispiel in [31].

Hardware

SUPRENUM-Rechenknoten. Ein SUPRENUM-System im Vollausbau, wie es 1990 erstmals ausgeliefert wurde, umfasst 256 Compute Nodes (Rechenknoten; [6, 16]). Jeder Rechenknoten (Fotos s. Abb. 2) verfügt über einen lokalen RAM-Speicher und eine Gruppe von Prozessoren, jeweils spezialisiert für die drei Hauptaufgaben einer parallelen HPC-Architektur: Instruction- und Scalar-Processing, Pipeline-Processing (Vektoreinheit), und Data Communication (s. Abb. 1). Die numerische Hochleistung eines Rechenknotens wird aus dem Vector-Processing (Weitek Processor Set) nach dem Vorbild damaliger Cray-Maschinen bezogen, der entsprechend schnelle Datenaustausch zwischen den Knoten durch die Communication Unit (SUPRENUM-Entwicklung).

Cluster-Struktur. Maximal 16 Rechenknoten bilden einen Cluster (s. Abb. 3; [6]), gemeinsam mit

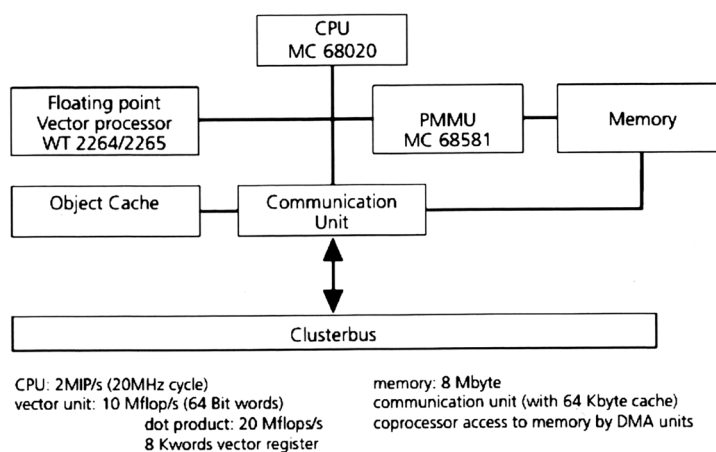


Abb. 1 Schema des SUPRENUM-Rechenknotens. (Aus [32])

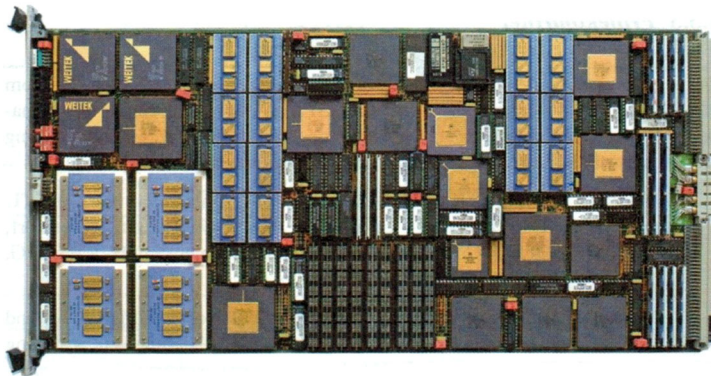
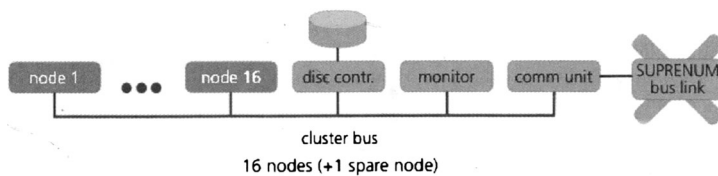


Abb. 2 Foto eines realen SUPRENUM-Rechenknotens. SUPRENUM-Rechenknoten sind als Bestandteile von SUPRENUM-Exponaten im Deutschen Museum Bonn und im Heinz Nixdorf MuseumsForum in Paderborn zu besichtigen. (Aus [32])



additional dedicated cluster elements:

- communication unit: connection to SUPRENUM bus
- disk controller: 500 Mbyte disk (for checkpointing and local files)
- monitor: Test and diagnosis

clusterbus

- 2 x 64 bit parallel
- 256 Mbyte/s
- package oriented

Abb. 3 Schema eines SUPRENUM-Clusters. (Aus [32])

einigen clusterinternen Spezialknoten u. a. für Ausfallsicherheit und Steuerung des Cluster-Filesystems. Insgesamt 16 Cluster bilden die maximale Ausbaustufe. Alle HW-Ausbaustufen von 1 bis 256 Knoten sind nach diesem Architekturprinzip als vollständiges SUPRENUM-System konfigurierbar. Da jeder Knoten, der mit anderen parallel an einem numerischen Problem arbeitet, über seinen eigenen Instruction-Stream und Datenraum bearbeitet, sprechen wir hier von einer MIMD- Architektur (Multiple Instruction, Multiple Data) mit lokalem Speicher.

Hierarchisches Kommunikationssystem. Neben der On-board-Kommunikation, die im Wesentlichen durch die Taktung festgelegt wird, spielt die knotenübergreifende Kommunikation die entscheidende Rolle in einem MIMD-System [6]. Über ihre Kommunikationseinheit sind die Knoten innerhalb eines Clusters an den doppelt ausgelegten, 64 Bit breiten Cluster-Bus angebunden. Die Cluster wiederum sind über ihren speziellen Kommunikationsknoten in den SUPRENUMBUS eingebunden, einen seriellen Bus in Torus-Topologie (s. Abb. 4).

Dieses hierarchisch zweistufige Strukturkonzept war nicht nur durch die damaligen physikalisch-praktischen Gegebenheiten bestimmt, sondern berücksichtigt bereits Besonderheiten der damals wie heute schnellsten Algorithmen für die typischen numerischen Problemstellungen, die durch einen Mix aus „lokalen“ und „globalen“ (weitreichenden) Berechnungen auf dem Datenraum gekennzeichnet sind.

SUPRENUM-Frontend. Als User Interface dient ein spezielles, Unix-basiertes Multi-User-/Multi-Processing-System, bestehend aus bis zu drei Frontend-Rechnern [36]. Diese nehmen die User-Programme und Eingabedaten auf und sorgen für die Zuordnung von Knotenressourcen sowie die Verteilung von Programmcode und Daten. Innerhalb des parallelen SUPRENUM-Systems werden Daten auf Festplattenlaufwerken in den jeweiligen Clustern verwaltet, jeweils gesteuert durch einen spezialisierten Knoten für alle Rechenknoten eines Clusters. Das Frontend-System nimmt die Ergebnisdaten an und stellt sie für weitere, z. B. grafische, Verarbei-

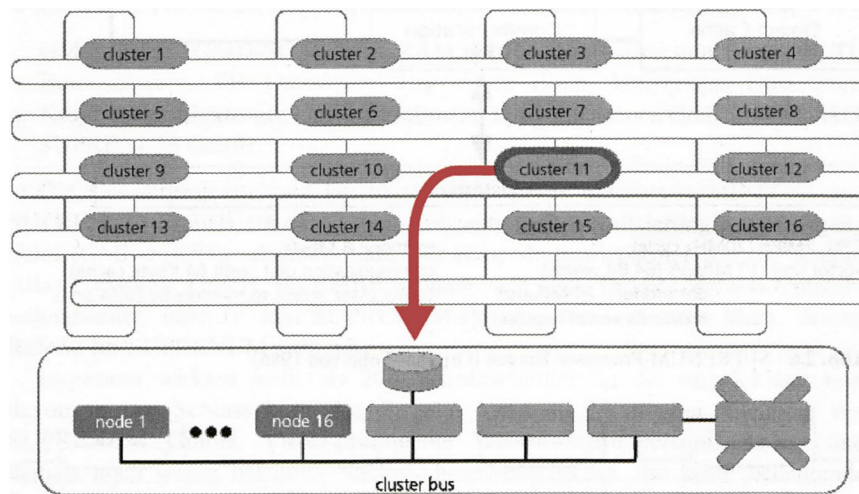


Abb. 4 Schema des SUPRENUM Systems in der vollen Ausbaustufe mit 256 Knoten in 16 Clustern. (Aus [32])

tung zur Verfügung. Nebenbei werden Prozess- und Kommunikationslogs bereitgestellt, die zur Analyse und Optimierung des Lastverhaltens genutzt werden können [22].

HW-SW-Skalierbarkeit. SUPRENUM-Systeme sind konzeptionell in ihrer Hardware skalierbar, d. h. aufgabenbezogen anpassbar – entweder per Ausstattung (Anzahl Knoten, Cluster, Bus-Struktur) oder per Verteilung mehrerer Aufgaben auf eine algorithmusoptimierte Ressourcenzuordnung.

Die typischen „großen“ numerischen Aufgaben und deren (parallelisierte) Algorithmen sind dadurch gekennzeichnet, dass der zugrunde liegende „Datenraum“ aufgeteilt (partitioniert) und verteilt (parallelisiert) bearbeitet wird, dabei aber Abhängigkeiten in der Berechnung zwischen Daten der verteilten Partitionen – und damit über Knotengrenzen hinweg – bestehen (s. Abschn. „Systemsoftware und Programmiermodell für parallele Anwendungen“). Insofern ist die prinzipielle Skalierbarkeit zusammen mit der Abstimmung zwischen Prozessoren, Speicher und topologischer Anordnung im Kommunikationssystem ein wesentliches Charakteristikum für das Hochleistungsrechnen.

Systemsoftware und Programmiermodell für parallele Anwendungen

SW-Schichten. Für ein praxistaugliches Höchstleistungs-MIMD-System mit verteiltem Speicher ist es unverzichtbar, dass numerische Algorithmen und die Problemausmaße nicht auf

eine vorgegebene HW-Struktur hin codiert werden müssen. Das gilt insbesondere in der industriellen Forschung und Entwicklung, also da, wo die Lösung und nicht das Programmieren im Vordergrund steht. In Bezug auf die großen numerischen Aufgaben und die Skalierbarkeit z. B. heißt das, dass eine leistungs-optimale Abbildung eines Problems auf eine gegebene HW – oder einen Teil davon – automatisiert erfolgt. SUPRENUM verfügt deshalb über ein SW-Gesamtkonzept als integralem Teil des Systems, das diese Anpassungsaufgaben für den Nutzer übernimmt.

Abstrakte SUPRENUM-Architektur und Programmiermodell. Grundlage ist das Programmiermodell der „Abstrakten SUPRENUM-Architektur“ (s. Abb. 5), die dem Programmierer einfache Designkonzepte einer verteilten Anwendung – dynamisches Prozesssystem, Datenraumaufteilung und (asynchroner) Interprozessdatenaustausch – an die Hand gibt und die konkrete Implementierung auf den zugeteilten Systemressourcen verbirgt [29].

Parallelisierer. Auf dieser Basis setzt ein automatisches Parallelisierungs- (und Vektorisierungs-) Tool auf, das – zumindest für einfach strukturierte (Gitter- und Matrix-)Probleme – vorhandene Programme automatisch für Vektor- und Parallelverarbeitung nach dem SUPRENUM-Modell anpasst [18].

SUPRENUM Fortran. Zur expliziten Anpassung eines numerischen Algorithmus für ein MIMD-

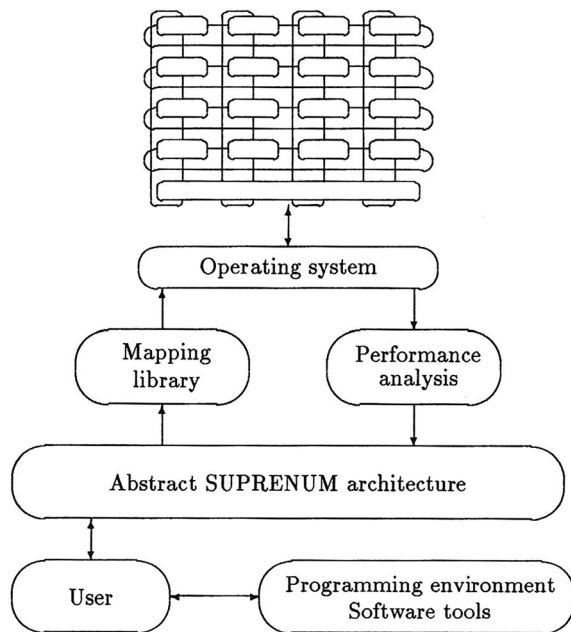


Abb. 5 Schema der SUPRENUM-Software-Architektur. (Aus [29])

System stehen dem Programmierer Fortran-Erweiterungen zur Verfügung, mit denen er – auf dem Level der abstrakten SUPRENUM-Maschine – problemspezifisch Vektorisierungsanweisungen, Prozessgenerierung und -kommunikation ausprägen kann [27].

Mapping Library. Für viele Problemklassen kennt man bereits durch theoretische Vorarbeit optimale „Verteilungen“ für einen MIMD-Algorithmus. Mit der SUPRENUM Mapping Library werden diese Prozessstrukturen und der notwendige Datenaustausch abgerufen und auf den gegebenen Rechenressourcen implementiert. Damit entfällt die Notwendigkeit einer expliziten Parallelisierung im Programm [23].

SUPRENUM Compiler. Der SUPRENUM Compiler (SUPRENUM Fortran) wandelt die Vektorisierungs- und Parallelisierungskonstrukte, die im Programm für die (abstrakte) SUPRENUM-Architektur eingefügt sind, in die Ansprache der Betriebssystem- und Prozessorressourcen um [27]. Der Vektorisierungsteil erzeugt einen optimierten Code für das Pipelining in der Vector Unit (Weitek Set).

Betriebssystem. Das verteilte Betriebssystem PEACE basiert auf leichtgewichtigen Prozessen,

die sich je nach Funktionsbedarf in Teams zusammenfinden, um die anfallenden Steuerungsaufgaben zwischen den Knotenressourcen sowie für die asynchrone Message-Passing-Kommunikation (MP) zwischen den MIMD-Instanzen durchzuführen. Das asynchrone MP stellt sicher, dass ein Rechenprozess, der Daten an einen anderen absendet, weiterarbeiten kann und nicht auf eine Antwort warten muss [26]. Anders als bei anderen Systemen aus dieser Zeit wurde damit die explizite Ansteuerung der Kommunikation oder der Vektorprozessoreinheit im numerischen Programm vermieden. PEACE galt als das schnellste MP-System weltweit. Für den Anwender bleibt PEACE i. a. transparent, d. h. er arbeitet am Frontend in einer Unix-Oberfläche [36] und programmiert auf der Ebene der Abstrakten SUPRENUM-Architektur.

Die Konzeption der abstrakten SUPRENUM-Architektur war insofern innovativ und zukunftsweisend, als dadurch die Möglichkeit geschaffen wurde, Anwendungen auf ein *Prozesssystem* hin zu programmieren, das dann von geeigneten Werkzeugen optimiert auf die Prozessoren des realen SUPRENUM-Systems abgebildet wird. Das heißt insbesondere, dass sich der Anwender und Anwendungsprogrammierer z. B. nicht darum zu kümmern brauchte, ob ihm ein 16-, 32-, 64-, 128- oder 256-Prozessor-System zur Verfügung stand.

Parallele Anwendungssoftware

Bereits in der Definitionsphase des Hauptprojekts lag ein Schwerpunkt der konzeptionellen Arbeit auf der Auswahl einer Vielzahl zentraler Standard- und großer numerischer Spezialanwendungen, die auf dem SUPRENUM-System implementiert werden sollten, mit denen also die Eignung der SUPRENUM-Architektur für das wissenschaftliche Höchstleistungsrechnen und die großen Simulationsaufgaben demonstriert werden sollte.

Standardprogramme der numerischen Simulation waren seit den späten 1970er-Jahren auf Vektorrechnern lauffähig gemacht durch den Einsatz „vektorisierender“ Compiler. In der weiteren Entwicklung in den 1980er-Jahren sorgten spezialisierte Vektorisierer und automatische „Parallelisierer“ (für Multiprozessor-Vektorrechner) für Optimierungen im Laufzeitverhalten. Diese automatische Parallelisierung setzte jedoch einen gemeinsamen Speicher voraus, auf den alle beteiligten Prozessoren zugreifen konnten. Für MIMD-Rechnern *mit verteiltem*

Speicher gab es – und gibt es bis heute – derartige *vollautomatisch* parallelisierende Compiler nicht – also Werkzeuge, mit denen herkömmliche sequentielle Software automatisch für massiv parallele Systeme umgesetzt und effizient ablauffähig gemacht wird. (Dies war einer der sachlichen Gründe für die damalige Ablehnung dieser Rechnerarchitekturen durch die Betreiber von Superrechenzentren.) Der verteilte Speicher erfordert eine konzeptionell andere Parallelisierung, die im Allgemeinen nur durch eine *globale Sicht auf die Anwendung*, ein globales Aufteilungskonzept, zu realisieren ist. Programme, die in diesem Sinne prototypisch für SUPRENUM parallelisiert wurden, umfassten:

- die Lineare-Algebra-Bibliothek LINPACK [25],
- eine Programmsammlung für gewöhnliche Differentialgleichungen,
- das multigridbasierte Softwarepaket LiSS für partielle Differentialgleichungen,
- CFD-Programme (Potentialgleichung, 3D-Euler, 2D- und 3D-Navier-Stokes),
- ein Finite-Elemente-Paket,
- das Wettervorhersage-Programm IFS¹
- ein Darcy-Modell-basiertes Ölreservoir-Simulationsprogramm,
- das Reaktorsicherheits-Simulationsprogramm RELAP5.

Die MIMD-Parallelisierung einer Vielzahl von Anwendungen war ein herausragendes Ergebnis des SUPRENUM-Projekts. Es konnte (theoretisch und praktisch) nachgewiesen werden, dass sich (SUPRENUM-artige) MIMD-Architekturen mit verteiltem Speicher im Prinzip für eine große Klasse numerischer Simulationsverfahren einsetzen lassen, insbesondere für matrix-, gitter- und partikelbasierte Verfahren. So konnten zum Beispiel für passende Matrixstrukturen auf dem großen SUPRENUM-System mit 256 Knoten real bis zu 3,0 GFLOPS gemessen werden (s. Abschn. „Das Projektergebnis: Von der Hannover-Messe 1989 bis zur Installation und Vermessung des großen Systems 1990/92“). Durch geeignete Gebietszerlegungs-, Gitterpartitionierungs- oder Partikelverteilungsmethoden kann man bei den meisten derartigen Anwendungen und passender Granularität jeweils

eine hohe parallele Effizienz erreichen. Und das gilt nicht nur für klassische lokale Verfahren, sondern auch für die besonders schnellen hierarchischen Mehrgitter- und Multi-Level-Verfahren, bei denen der Parallelitätsgrad von Level zu Level wechselt und die Hierarchiestufen in der Regel sequentiell durchlaufen werden. Auch für solche besonders schnellen, nicht ideal parallelen Verfahren konnte unter Verwendung des *Boundary-Volume-Effekts* für die *parallele Effizienz* E die Konvergenzaussage

$$E(P, N) \rightarrow 1 \text{ für } N \rightarrow \infty, P \text{ fest}$$

(N = Problemgröße, z. B. Anzahl der Gitterpunkte; P = Anzahl der Prozessoren) bewiesen werden [32, 33], mit anderen Worten: Hohe parallele Effizienz und besonders hohe sequentielle numerische Effizienz schließen sich durchaus nicht gegenseitig aus. Diese Erkenntnis – die heute Allgemeingut ist – war sozusagen der nachträgliche Nachweis der Eignung paralleler MIMD-Systeme mit verteiltem Speicher für die großen Simulationsanwendungen und für besonders schnelle Algorithmen. Für selbstadaptive Verfahren, bei denen sich z. B. die Gitterstrukturen während des Lösungsprozesses dem Verhalten der Lösung dynamisch anpassen und der einfache Boundary-Volume-Effekt deshalb nicht mehr gilt, kann diese Aussage entsprechend modifiziert werden [33].

Das Projektergebnis: Von der Hannover-Messe 1989 bis zur Installation und Vermessung des großen Systems 1990/92

Bereits im Frühjahr 1989 wurde auf Drängen der Industriepartner der Stand der SUPRENUM-Entwicklung auf der Hannover-Messe Industrie präsentiert: Vorgestellt wurde der Öffentlichkeit tatsächlich ein vollständiges, funktionsfähiges Zwei-Cluster-System (mit 32 Rechenknoten und den zugehörigen Spezialknoten). Von der Presse wurde diese Präsentation als großer Erfolg geradezu euphorisch gefeiert, so als wäre das Ziel des Gesamtprojektes bereits erreicht. Nur ein Zitat aus dem 100-seitigen Pressespiegel der SUPRENUM GmbH zur Hannover-Messe:

Schneller als Japaner und Amerikaner. „Mit Suprenum hat die Bundesrepublik Deutschland die Chance, zeitgleich mit den Japanern und Amerikanern in eine neue Technologie hineinzugehen und

¹ Die vollständige Parallelisierung des IFS wurde 1994 im Rahmen einer Kooperation von SCAI mit dem European Center for Medium-Range Weather Forecast ECMWF abgeschlossen [5].

nicht wie sonst, mit mehrjährigem Abstand hinterherzulaufen“ meinte Wolf-Michael Catenhusen, Vorsitzender des Bundestagsausschusses für Forschung und Technologie, am Rande der Hannovermesse. Der Superrechner Suprenum, der in der vergangenen Woche seine Weltpremiere feierte, wurde in nur vierjähriger Forschungs- und Entwicklungsarbeit von bundesdeutschen Informatikern entwickelt und ist in der Welt ohne Vorbild (VDI-Nachrichten, Hannover, 14.4.1989).

Diese äußerst positive Berichterstattung wurde durch eine Reihe weiterer Pressekonferenzen mit begeisterten Ministern (Heinz Riesenhuber, Anke Brunn und Reimut Jochimsen) unterstützt und noch verstärkt.

Noch 1989 zeigten sich dann jedoch Schwierigkeiten bei der Realisierung des SUPRENUMBUS, der die Cluster in einer torusartigen Topologie miteinander verbindet. (Diese Verbindungstechnologie für die obere Kommunikationsebene hatte für Systeme mit bis zu 4 Clustern noch keine wesentliche Rolle gespielt.) Die sich dadurch ergebenden Verzögerungen wurden nun von der Presse überkritisch aufgegriffen. Die übertriebene öffentliche Begeisterung schlug plötzlich in eine überzogene publizistische Enttäuschung um. Dabei wurde nun das Gesamtprojekt von der Presse massiv in Frage gestellt, Forschungsminister Riesenhuber mit seinen „großen“ Projekten, einschließlich SUPRENUM, als „Pleitenminister“ bezeichnet.

In der Folge nahm die Presse kaum zur Kenntnis, dass sämtliche Probleme noch im Jahre 1990 gelöst wurden, sodass das große, 16 Cluster umfassende System (256 Rechenknoten) fertiggestellt und Ende 1990 in der GMD in Sankt Augustin installiert und abgenommen werden konnte. Zusätzlich zu dem großen SUPRENUM-System in der GMD wurden fünf weitere kleinere Systeme (skalierbare Architektur!) in projektnahen Institutionen installiert (Universität Erlangen-Nürnberg, Forschungszentrum Jülich, Universität Liverpool, Krupp Atlas Elektronik in Bremen, Forschungsinstitut GMD-FIRST in Berlin).

Kurz nach der Installation des großen Systems in der GMD wurde begonnen, die Leistung des Systems systematisch zu messen. Außer grundlegenden Messungen für Basisparameter wie Transferleistung bei synchroner und asynchroner Kommunikation und Floatingpoint-Leistung für normale und ver-

kettete Operationen (Dot-Product und AXPY; [20]) wurden ausgewählte wissenschaftlich-technische Anwendungen und Benchmarks auf dem System implementiert und vermessen. Zur Implementierung der entsprechenden parallelen Algorithmen wurden dabei die speziellen, im Projekt entwickelten Prozeduren PARMACS [9, 10] und COMLIB [9] verwendet.

Die Messungen umfassten u. a. Anwendungen bzw. Benchmarks wie:

- Shallow-Water-Equations-Benchmark
- Monte-Carlo-Simulation des Ising-Modells
- Matrixmultiplikation
- ADI, Linienrelaxation (zyklische Reduktion)
- Jacobi-Relaxation für die 2D-Poisson-Gleichung
- Mehrgitterverfahren für die 2D-Poisson-Gleichung
- Chemie-Transport-Modell CTM

Die Messergebnisse wurden detailliert veröffentlicht als GMD-Arbeitspapiere [20, 21]. Sie enthalten für einige der Anwendungen auch Vergleichsmessungen mit anderen Systemen: mit der CRAY XMP und YMP, dem Intel iPSC/860 sowie der Connection Machine CM 2 (16 k Prozessoren).

Insbesondere die Vergleichsmessungen demonstrierten die Überlegenheit bzw. Wettbewerbsfähigkeit des (skalierbaren) SUPRENUM-Systems im Vergleich zu den damals verfügbaren parallelen Systemen bzw. Mehrprozessor-Vektorrechnern.

HPC-Leistungsbeispiele [20, 21].

Eine typische Benchmark-Anwendung, im Kern vieler numerischer Verfahren, ist die *Multiplikation großer Matrizen*. Hier wurden für ein SUPRENUM-System mit 32 Knoten z. B. 290 MFLOPS gemessen, im Vergleich zu maximal 52 MFLOPS für den entsprechenden Intel iPSC/860.

Beim *Shallow Waters Equations Benchmark* ergaben sich 543 MFLOPS für den 128-Prozessor iPSC/860 [20], 560 MFLOPS für die 4-Prozessor CRAY-XMP [20], und 1280 MFLOPS für das volle 256-Knoten-SUPRENUM-System [21].

Die real maximale Leistung für das 256-Knoten-System wurde für eine Matrixmultiplikation gemessen: 3,0 GFLOPS [21]!

Bedauerlicherweise nahm das SUPRENUM-System an keinem internationalen Leistungswett-

bewerb teil, sodass es in keiner der einschlägigen „Top-Listen“ erscheint. Dass SUPRENUM bis zum Erscheinen der CM5 der schnellste MIMD-Rechner war, ist daher heute nicht mehr belegbar. Gleichwohl war es aber auch damals schon international unumstritten, dass das große SUPRENUM-System zwischen 1990 und 1992 zu den schnellsten damals verfügbaren Rechnern gehörte.

Die deutsche Presse nahm diesen Erfolg des SUPRENUM-Projekts allerdings kaum mehr zur Kenntnis. Sie berichtete dagegen detailliert über Schwierigkeiten und Verzögerungen in der Schlussphase der Entwicklung – und stellte in der Folge die Förderpolitik des BMFT grundsätzlich in Frage. Diese vorherrschende Haltung in der Presse veranlasste Oliver McBryan, einen der weltweit erfahrensten und renommiertesten Experten für Parallel Computing (damals Direktor des „Center for Applied Parallel Processing“ in Boulder), im November 1990 zu einem kritischen Artikel von Konrad Seitz in DIE ZEIT (vom 5.10.1990) in einem Leserbrief wie folgt Stellung zu nehmen:

While in Germany on a recent visit I saw an article in DIE ZEIT by Konrad Seitz, entitled „Der Aufmarsch der kommerziellen Riesen“. I was quite surprised by the very critical remarks in the article concerning the SUPRENUM-1 supercomputer, which was described as a „flop“. At the same time I was in fact using the SUPRENUM-1 for weather modeling calculations, and found the system faster than any parallel system that I know of, other than the much more expensive CRAY-YMP8.

As the director of a parallel computing center here in the USA, I am very familiar with the difficulties of introducing a new advanced computer. When we receive such machines, they invariably have many problems of the type attributed to SUPRENUM – compiler errors, hardware unreliability and so on. Normally it takes about a year for the manufacturers to get these issues under control. The problems I have seen with SUPRENUM are less severe than with the early Connection Machine and Intel parallel computers which we have at our center – and both of these systems are today regarded as highly successful. I should add that in my studies the SUPRENUM has exceeded the computing speed of the latest Intel iPSC860 supercomputer, and is indeed easier to use.

It is too early to determine whether SUPRENUM will be a commercial success – this is a difficult time

for all computer manufacturers, and especially difficult for one introducing a new product. However, I can assure you that the Government's money has been well spent. Germany now has a first class expertise in the rapidly expanding parallel computing research area, which was not true before the SUPRENUM project started. That is exactly the kind of „seed effort“ that government funds are most useful for.

Ähnliche Einschätzungen wurden auch von anderen international ausgewiesenen Experten formuliert, u. a. von Ken Kennedy, Daniel Hillis, Mike Delves und Alan Lichnewski.

Die Folgen und die Rolle der Industrie

Außer den projektnahen Beschaffungen kamen weitere Beschaffungen trotz klar artikulierten Interesses bei potenziellen Kunden im In- und Ausland (Frankreich, Italien, Großbritannien und Israel) nicht zustande. Der Hauptgrund hierfür war die Unsicherheit, ob und wie es mit SUPRENUM weitergehen würde. Obwohl allen Beteiligten klar war, dass aus der Erstentwicklung eines innovativen Systems *allein* keine 2. Generation eines Superrechners finanzierbar wäre, entstand ein auch öffentlich ausgetragener Streit über die Frage, wie die Kosten für eine Anschlussentwicklung zu verteilen seien. Für ein Anschlusssystem (SUPRENUM 2) lagen zwar schon seit 1989 detaillierte Pläne vor und das Forschungsministerium hatte bereits in 1989 seine Bereitschaft zu erkennen gegeben, sich an den Kosten für ein Anschlusssystem substantiell (im Rahmen der Förderrichtlinien: zur Hälfte) zu beteiligen. Dabei ging es – im Vergleich zu den Kosten der SUPRENUM-Erstentwicklung – nicht um das ganz große Geld, die Kosten für die SUPRENUM-Weiterentwicklung wurden auf 30 Mio. DM geschätzt, gegenüber 160 Mio. DM SUPRENUM-Gesamtprojektkosten. Es wurde erwartet, dass sich die Industrieseite mit der anderen Hälfte der entstehenden Kosten beteiligen würde. Zu entsprechenden Verhandlungen kam es jedoch nicht, da sich der zentrale Industriepartner, Krupp Atlas Elektronik, *unabhängig von der Höhe der Kosten* entschied, sich aus der Rechnerentwicklung endgültig zurückziehen. Dabei spielte die politische Großwetterlage eine entscheidende Rolle. Während Krupp Atlas Elektronik zu Beginn des SUPRENUM-Projekts eine Krupp-Tochter mit überwiegend militärischer Orientierung und brillantem

innovativem Image gewesen war und daher der Wunschprojektspartner für das BMFT, hatten sich das Bild und die wirtschaftliche Situation für Krupp Atlas Elektronik insbesondere durch die Rüstungskonversion im Jahre 1990 grundlegend verändert. Für den Krupp-Konzern war Krupp Atlas jetzt eher eine Belastung als ein innovatives Aushängeschild. Der Krupp-Vorstand war jedenfalls nicht mehr bereit, eine für das Selbstverständnis von Krupp letztlich exotische Entwicklung wie SUPRENUM finanziell zu unterstützen.

Nachdem klar war, dass mit Krupp nicht mehr zu rechnen war, bemühten sich die SUPRENUM-Projektleitung und das Forschungsministerium (repräsentiert durch Minister Heinz Riesenhuber, Fritz-Rudolf Güntsch und Uwe Thomas) um SIEMENS als neuen Industriepartner. Siemens war über die SUPRENUM-Entwicklung durch Peter Müller-Stoy, der die Entwicklung im Beirat der SUPRENUM-GmbH im Detail verfolgt und immer sehr konstruktiv unterstützt hatte, gut informiert. Riesenhuber sprach den damaligen Vorstandsvorsitzenden der Siemens AG, Karlheinz Kaske, an. Auch der damalige Vorstandsvorsitzende des Forschungszentrums Jülich, Wolf Häfele, der vom SUPRENUM-Konzept überzeugt war, setzte sich persönlich mit seinem Freund Kaske in Verbindung und machte sich für einen Einstieg von Siemens bei SUPRENUM stark. Kaske delegierte das Thema jedoch an die beiden Siemens-Vorstandskollegen Hans Günther Danielmeyer und Werner Poschenrieder. In einer internen Studie kam Siemens zu der heute unbegreiflichen Einschätzung, dass *es auf absehbare Zeit keinen tragfähigen Markt für massiv parallele Superrechner* geben würde. Im Übrigen wurden die Aufwendungen für eine eigene Superrechnerentwicklung von Siemens mit einem Milliarden-DM-Betrag abgeschätzt. Siemens blieb stattdessen (vorerst) weiterhin beim Vertrieb herkömmlicher Fujitsu-Superrechner. Belastet wurden die Gespräche im Jahr 1990 allerdings auch durch die gleichzeitigen Übernahmeverhandlungen der Siemens AG mit Nixdorf; diese wurden mit der Gründung der Siemens Nixdorf Informationssysteme AG am 1.10.1990 abgeschlossen.

Angesichts dieser Entscheidung und Fehleinschätzung erscheint es heute als ein Kuriosum, dass Ulrich Trottenberg (als Gründer und Geschäftsführer der Pallas GmbH) im Jahr 1992 von Hartwig

Rogge, einem Vorstandsmitglied von Siemens Nixdorf (SNI), mit einer Studie beauftragt wurde, in der die Pallas GmbH eine Empfehlung für eine Verbindung von SNI mit einem Hersteller massiv paralleler Systeme geben sollte: Gerade mal zwei Jahre nach dem Ende von SUPRENUM und dem dezidiert erklärten Desinteresse von Siemens an einem Einstieg in die Welt der Parallelrechner hatte SNI nun die Notwendigkeit erkannt, im Rahmen einer Vertriebspartnerschaft (nach dem Fujitsu-Vorbild für herkömmliche Superrechner) auch massiv parallele Systeme ins Produktspektrum aufzunehmen.

Ein letzter, ebenfalls durch Uwe Thomas vom BMBF unterstützter Versuch, die Zukunft von SUPRENUM zu sichern, zielte auf eine europäische Kooperation mit den Partnern BULL (Frankreich) und INMOS (Träger der Transputer-Entwicklung, UK).

Tatsächlich kam unter der Federführung der SUPRENUM GmbH 1990 mit „GENESIS“ [12, 17, 30] ein breit angelegtes europäisches Superrechnerprojekt zustande. Monatelange Bemühungen der drei Partner SUPRENUM, BULL und INMOS, sich auf ein gemeinsames Architekturkonzept zu einigen, führten aber zu keinem überzeugenden Ergebnis: BULL blieb schließlich auf der Linie der Mehrprozessor-Vektorrechner. Zwischen INMOS und SUPRENUM war die rechner-architektonische Nähe größer. Aber obwohl die Idee bestand, SUPRENUM-Knoten der nächsten Generation zu verwenden, aber das Kommunikationssystem auf Basis des neuesten Transputers schneller (und komplexer) zu gestalten, gingen letztlich die jeweiligen Vorstellungen über die adäquate *Prozessorgranularität* weit auseinander.

Als klar geworden war, dass für Krupp eine Weiterentwicklung von SUPRENUM keinesfalls in Frage kam und auch Siemens kein echtes Interesse gezeigt hatte, wurde die SUPRENUM GmbH zu Beginn des Jahres 1991 geteilt. Der eine Teil übernahm die Versorgung und Wartung der ausgelieferten Systeme; für diesen Teil blieb – unter der Leitung von Karl-Heinz Werner – die volle Gesellschafterverantwortung bei Krupp Atlas Elektronik. Der andere Teil – mit Ulrich Trottenberg als Geschäftsführer, ohne dauerhafte Bindung an die Krupp Atlas Elektronik GmbH – widmete sich der Weiterentwicklung der SUPRENUM-Software und der Parallelisierung einschlägiger Softwarepakete. Statt SUPRENUM-Software GmbH wurde der neutrale Name Pallas

GmbH (Gesellschaft für Parallele Systeme und Anwendungen) gewählt. Die Pallas GmbH übernahm dann auch die zentrale Rolle und die Federführung im europäischen Projekt GENESIS und in der späteren deutschen HPSC-Initiative und der europäischen HPCN-Initiative.

Sämtliche Einzelprojekte der HPSC-Initiative (POPINDA, BEMOLPA, KALCRASH usw.) und die äußerst erfolgreichen Projekte EUROPORT [3], AUTOBENCH und AUTO-OPT, koordiniert von Clemen-August Thole, beruhten in entscheidender Weise auf den Ergebnissen und Erkenntnissen der SUPRENUM-Softwareentwicklungen, sowohl was die Parallelisierung der Anwendungen als auch was die Tools für die parallele Programmierung anging. Das Problem der parallelen Software, das zu Beginn des SUPRENUM-Projekts als das größte Hindernis auf dem Weg in die parallele Rechnerwelt gesehen wurde, erscheint heute, wo alle Höchstleistungsrechner „höchstparallel“ sind (mit Millionen von parallelen Einheiten) nicht mehr als ein fundamentales Problem. Zu diesem anderen Verständnis des Parallelen und zu der auf breiter Basis entstandenen parallelen Kompetenz in Deutschland hat SUPRENUM auf der Softwareseite entscheidend beigetragen.

Manches Know-how ist im Laufe der Jahre aber auch verloren gegangen und muss heute mühsam wieder erarbeitet werden. So ist z. B. „Vektorverarbeitung über Koprozessoren immer noch ein großes Thema. Am Ende sind GPUs oder TPUs (Tensor Processing Units, KI Prozessoren) konzeptionell und vom Programmiermodell nichts anderes als die Weiterentwicklung des Vektor-Koprozessor-Konzepts. Die Schwierigkeiten sind die gleichen geblieben und bis heute oft ungelöst“ [19].

Auf der Hardwareseite war SUPRENUM für viele Jahre nicht nur für Deutschland, sondern für ganz Europa der letzte ernsthafte Versuch einer Höchstleistungsrechnerentwicklung. In der europäischen Höchstleistungsrechnerszene hat allenfalls BULL in den 25 Jahren nach SUPRENUM noch eine Rolle gespielt.

In den frühen 1990er-Jahren engagierte sich die Aachener Firma Parsytec erfolgreich für die Entwicklung und den Vertrieb von transputerbasierten Parallelrechnern, allerdings ohne Höchstleistungsanspruch. Als neuere deutsche Entwicklung sind auch die leistungsstarken, cluster-basierten Architekturen der Chemnitzer Firma Megaware zu

erwähnen, die sich durch ein besonders günstiges Preis/Leistungsverhältnis auszeichnen.

Erst in den letzten Jahren mehrten sich wieder die Stimmen, dass man auch in Europa Systeme der höchsten Leistungsklasse entwickeln müsse. Aber über entsprechende Entwicklungen und aktuelle Pläne der EU zu berichten, dafür gibt es berufenere Experten und Initiatoren.

Abschließend möchten wir diejenigen Damen und Herren, die außer den im Text genannten Projektbeteiligten nach unserer Kenntnis bei der Vorbereitung, im Projekt selbst oder bei der Auswertung des Projekts eine wesentliche Rolle gespielt haben, hier noch einmal namentlich nennen:

D. Abendroth, H.-J. Bast, K. Becker, P. Behr, A. Bode, K. Brand, A. Brandt, U. Brüning, B. Carl, A. Erdinghaus, M. Feilmeier, H. Finneemann, M. Gerndt, G. Goos, R. Hempel, F. Hertweck, F. Hofmann, H.-C. Hoppe, F. Hofffeld, H. Kammer, H. Körner, O. Kolp, O. Krämer-Fuhrmann, O. Krauss, N. Kroll, W. Krotz-Vogel, F. Krückeberg, J. Linden, K.-U. Linster, G. Lonsdale, G. Marx, H. Meyerhoff, H. Mühlenbein, W. Paul, C.A. Petri, B. Reuse, W. Rönsch, W. Schmidt, W. Schröder-Preikschat, A. Schüller, U. Schumann, H. Schwichtenberg, B. Schwister, K. Solchenbach, K. Stüben, C.-A. Thole, H. Trauboth, C. Vogt, W. Wagner, F. Winkelhage, K. Witsch, H.P. Zima, H.C. Zeidler, W. Zucker

Die folgenden Publikationen sind eine Auswahl von Beiträgen, die für diesen Rückblick direkt oder indirekt von Bedeutung sind. Insgesamt sind während der Laufzeit des Projekts und danach über 200 wissenschaftliche Publikationen mit SUPRENUM-Bezug erschienen, mehr als 150 sind schon in der Bibliographie [1] aufgelistet.

Literatur

1. Brand K, Lemke M (1989) SUPRENUM Bibliography Edition 2.1, SUPRENUM Report 9
2. Burde T, Vallbracht G, Waldschütz S (1985) Fördervorhaben SUPRENUM, Untersuchung von Anwendungs-, Bedarfs- und Akzeptanzfragen, B-SZ 1415/01. IABG GmbH
3. Colbrook A, Duff I, Hey T, Stüben K, Thole CA (1997) Special Issue EUROPORT. Int J Supercomput Appl High Perform Comput 11(4):275–358
4. Franke B, Harneit R, Kern A, Zeidler HC (1988) The Pipeline Bus: An interconnection network for multiprocessor systems. In: Trottenberg U (Hrsg) Proceedings of the 2nd International SUPRENUM Colloquium 1987. Parallel Comput 7:403–412
5. Gärtel U, Joppich W, Schüller A, Trottenberg U (1995) Wetter- und Klimavorhersage auf hochgradig parallelen Rechnern. Informatik-Spektrum 18:335–339
6. Giloi WK (1988) SUPRENUM: A Trendsetter in Modern Supercomputer Development. In: Trottenberg U (Hrsg) Proceedings of the 2nd International SUPRENUM Colloquium 1987. Parallel Comput 7:283–296

7. Händler W (1984) Anmerkungen zu Erlanger Multiprozessoren. In: Trottenberg U, Wypior P (Hrsg) Rechnerarchitekturen für die numerische Simulation auf der Basis superschneller Lösungsverfahren I. GMD-Studien 88:77–113
8. Händler W, Herzog U, Hofmann F, Schneider HJ (1984) Multiprozessoren für breite Anwendungsgebiete: Erlangen General Purpose Array, GI/NTG Fachtagung „Architektur und Betrieb von Rechensystemen“. Informatik-Fachberichte 78. Springer, Heidelberg, S 195–208
9. Hempel R (1990) Portabilität numerischer Software für Parallelrechner unterschiedlicher Architektur. In: Reuter A (Hrsg) GI – 20. Jahrestagung I (1990). Springer, Heidelberg
10. Hempel R, Schüller A, Solchenbach K, Trottenberg U (1992) Portable Anwendungssoftware für Parallelrechner, Informationstechnik 34:50–56
11. Herzog U (1988) Performance evaluation principles for vector- and multiprocessor systems. In: Trottenberg U (Hrsg) Proceedings of the 2nd International SUPRENUM Colloquium 1987. Parallel Comput 7:425–438
12. Hey A, McBryan OA (1994) SUPRENUM and GENESIS. Parallel Comput 20(10–11)
13. Hillis WD (1985) The connection machine. MIT-Press, Cambridge
14. Hofmann F, Händler W, Volkert J, Henning G, Fritsch G (1984) Multiprozessor-Architekturkonzept für Mehrgitterverfahren. In: Trottenberg U, Wypior P (Hrsg) Rechnerarchitekturen für die numerische Simulation auf der Basis superschneller Lösungsverfahren I. GMD-Studien 88:65–76
15. Hoßfeld F (1994) Vector-Supercomputers. In: Hey A, McBryan OA (Hrsg) SUPRENUM and GENESIS. Parallel Comput 7(10–11):373–385
16. Kammer H (1988) The SUPRENUM vector floating-point unit. In: Trottenberg U (Hrsg) Proceedings of the 2nd International SUPRENUM Colloquium 1987. Parallel Comput 7:315–324
17. Kauranne T (1994) Summary of GENESIS work at the European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF). In: Hey A, McBryan OA (1994) SUPRENUM and GENESIS. Parallel Comput 20(10–11):1389–1396
18. Kremer U, Bast HJ, Gerndt M, Zima H (1988) Advanced tools and techniques for automatic parallelization. In: Trottenberg U (Hrsg) Proceedings of the 2nd International SUPRENUM Colloquium 1987. Parallel Comput 7:387–393
19. Lemke M (2018) European Commission, Head of Unit Technologies & Systems for Digitising Industry: Persönliche Kommunikation
20. Mierendorff H, Trottenberg U (Hrsg) (1992) Leistungsmessungen für technisch-wissenschaftliche Anwendungen auf dem SUPRENUM-System. Arbeitspapiere der GMD Nr. 624
21. Mierendorff H, Trottenberg U (1992) (Hrsg) Ergänzende Leistungsmessungen für technisch-wissenschaftliche Anwendungen auf dem SUPRENUM-System. Arbeitspapiere der GMD Nr. 669
22. Peinze K (1988) The SUPRENUM preprototype: Status and Experiences. In: Trottenberg U (Hrsg) Proceedings of the 2nd International SUPRENUM Colloquium 1987. Parallel Comput 7:297–313
23. Peinze K, Trottenberg U, Thomas B (1989) Parallelrechner für Superleistung – SUPRENUM. Technische Mitteilungen Krupp 1:15–28
24. Regenspur G (1987) Hochleistungsrechner-Architekturprinzipien. McGraw-Hill, New York
25. Rönsch W, Strauss H (1988) A linear algebra package for a local memory multiprocessor: Problems, proposals and solutions. In: Trottenberg U (Hrsg) Proceedings of the 2nd International SUPRENUM Colloquium 1987. Parallel Comput 7:413–418
26. Schröder W (1988) PEACE: The distributed SUPRENUM operating system. In: Trottenberg U (Hrsg) Proceedings of the 2nd International SUPRENUM Colloquium 1987. Parallel Comput 7:325–333
27. Solchenbach K (1989) Suprenum-Fortran – an MIMD/SIMD language. Supercomputer 30(VI 2):25–30
28. Solchenbach K, Thomas B, Trottenberg U (1989) Dem parallelen Rechnen gehört die Zukunft. In: Meuer HW (Hrsg) Supercomputer '89. Informatik-Fachberichte 211. Springer, Heidelberg, S 110–118
29. Solchenbach K, Trottenberg U (1994) SUPRENUM: System essentials and grid applications. In: Hey A, McBryan OA (Hrsg) SUPRENUM and GENESIS. Parallel Comput 7(10–11):265–282
30. Solchenbach K, Thole CA, Trottenberg U (1994) GENESIS Application Software. In [12], pp 1669–1673
31. Trottenberg U (1988) (Hrsg) Proceedings of the 2nd International SUPRENUM Colloquium 1987. Parallel Computing 7
32. Trottenberg U (2008) Das Superrechnerprojekt SUPRENUM (1984–1989). In: Reuse B, Vollmar R (Hrsg) Informatikforschung in Deutschland. Springer, Heidelberg, S 176–187
33. Trottenberg U, Oosterlee CW, Schüller A (2001) Multigrid. Academic Press
34. Trottenberg U, Wypior P (1984) Rechnerarchitekturen für die numerische Simulation auf der Basis superschneller Lösungsverfahren I. GMD-Studien 88:207–215, 379–382
35. Trottenberg U, Wypior P (1985) Rechnerarchitekturen für die numerische Simulation auf der Basis superschneller Lösungsverfahren II. GMD-Studien 102
36. Werner KH, Brass U, Thomas E (1989) The Suprenum user interface. Supercomputer 30(VI 2):20–24

Weiterführende Literatur

37. Brandt A (1984) Local and Multi-Level Parallel Processing Mill. In: Trottenberg U, Wypior P (Hrsg) Rechnerarchitekturen für die numerische Simulation auf der Basis superschneller Lösungsverfahren I. GMD-Studien 88
38. Feilmeier M, Junker M (1986) Superrechner, das Projekt SUPRENUM und die Konsequenzen dieser Entwicklung, Report. F&J-News, München, S 56–66
39. Fessler G (1985) Überlegungen zu Mehrgitteralgorithmen auf Baumrechnern. In: Trottenberg U, Wypior P (Hrsg) Rechnerarchitekturen für die numerische Simulation auf der Basis superschneller Lösungsverfahren II. GMD-Studien 102:7–14
40. Hoffmann GR, Maretis DK (1990) The dawn of massively parallel processing in meteorology. In: Ghil M, Sadourny R, Sündermann J (Hrsg) Topics in Atmospheric and Oceanic Sciences. Springer, Heidelberg
41. Kehl E, Oertel KD, Solchenbach K, Vogelsang R, McBryan OW (1990) Application benchmarks on SUPRENUM. SUPRENUM Report 21
42. Kolp O, Mierendorff H (1988) Performance estimations for SUPRENUM systems. In: Trottenberg U (Hrsg) Proceedings of the 2nd International SUPRENUM Colloquium 1987. Parallel Comput 7:357–366
43. Kroll N (1985) Anforderungen an Rechnerleistungen aus der Sicht der numerischen Aerodynamik. In: Trottenberg U, Wypior P (1985) Rechnerarchitekturen für die numerische Simulation auf der Basis superschneller Lösungsverfahren II. GMD-Studien 102:241–252
44. Lemke M (1987) Erfahrungen mit Mehrgitterverfahren für Helmholtz-ähnliche Probleme auf Vektorrechnern und Mehrprozessor-Vektorrechnern. Arbeitspapiere der GMD 278
45. McBryan OA, Frederickson PO, Linden J, Schüller A, Solchenbach K, Stüben K, Thole CA, Trottenberg U (1991) Multigrid methods on parallel computers – A survey of recent developments. Impact Comput Sci Eng 3:1–75
46. Mühlenbein H (1984) Modellierung von parallelen Mehrgitteralgorithmen und Rechnerarchitekturen. In: Trottenberg U, Wypior P (Hrsg) Rechnerarchitekturen für die numerische Simulation auf der Basis superschneller Lösungsverfahren I. GMD-Studien 88:55–64
47. Thomas B (1989) Kommunikativer Schnellrechner. Elektron J 6:74–76