

Editorial

Es war nur eine Frage der Zeit, bis auch im Schwabenlande Gelüste nach einem Editorial nach Art des Quartl-Hauses aufkommen würden. Selbst ein naiver Mensch wie ich gab sich da keinerlei Illusionen hin. Und obwohl die Pläne zur Gründung eines „Viertele“ als Quartl-Pendant noch immer in der Schublade ruhen, war es im Frühjahr 2004 dann doch so weit: Die *infos*-Zeitung, zweimal pro Jahr erscheinende Postille des Informatik-Forums Stuttgart e.V. (*infos*), klopfte an — und durfte als treuer Ferienakademie-Sponsor natürlich nicht abgewiesen werden. Nach einem extrem kurzen Rückzugsgefecht der Seriosität war man auch bei *infos* auf die bewährte Glossen-Linie eingeschwenkt, und somit ist nun fortan Sottisen-Sharing angesagt. Dadurch bleiben Ihnen, liebe Quartl-Leser, diesmal längere Ausführungen zum Hickhack um die Rechtschreibreform erspart. An dieser Stelle nur so viel: Man mag zu Schifffahrt, Fluss und dazu, wie man Rad fährt, stehen, wie man will. Aber dass sich im Sommerloch eine unsägliche Allianz aus profilneurotischen Politikern, aus Chefredakteuren von sprachlichen Aushängeschildern der deutschen Presse-landschaft (BILD dir deine Meinung und so), aus schnarchnasigen Schriftstellern, die tatsächlich 2004 erstmals gemerkt haben, dass sich an unserer Rechtschreibung etwas geändert hatte, und aus (ein)gebildeten Intellellen, die schlicht und ergreifend ihrer Empörung darüber Ausdruck gaben, dass sie plötzlich wie ein ganz gewöhnlicher Pisa-Depp den Duden zur Hand nehmen müssen, weil sie (peinlich war's schon) sich nicht mehr sicher sind — dass diese Koalition der Unwilligen sich im Sommer zu Gralshütern der deutschen Sprache erklärt hat, ist schon überaus grotesk. Ich sah mich angesichts der vereinten Retroruderer im Geiste schon fürderhin Editorials in Sütterlinschrift abfassen, wie weiland im Vaterlande üblich; oder zumindest mit so lustigen Zeichen hantieren, wie man sie auf der Titelseite einer der großen Tageszeitungen aus der Main-Metropole findet. Doch genug davon — was hat sich noch an Kommentierenswertem ereignet? Ach ja, Amerika hat gewählt; und zu allem Ärger auch noch falsch.



Bis zu diesem Punkt bin ich ja noch d'accord mit Volkes Meinung hierzulande. Aber hier endet die Übereinstimmung abrupt. Denn im alten Europa hat man das Unheil schon kommen sehen — was kann man von den Cowboys auch erwarten? Unsere weltoffenen, kompetenten Analysten (allen voran der anerkannte Philosoph und Amerikanist Hardy Krüger, der mich mit seinen Schimpftiraden während der Wahlnacht vor dem Fernseher zumindest wach hielt) sahen den Untergang des Abendlandes gekommen, verstanden die Welt nicht mehr (sofern sie es jemals getan hatten), trösteten sich mit im Minutentakt abgespielten Michael-Moore-Clips, und kamen immer wieder zum selben Schluss: Heerscharen christlicher Mini-Osamas wurden irregeleitet; bössartige Banden von Ölmultis schmierten mit ihrem Öl alles und gönnten den philanthropischen Tomatenmultis nicht das Ketchup auf den Freedom Fries; Horden gemeiner Republikaner-Sympathisanten (schließlich wissen wir ja aus unserem Land, dass diese Partei igittigitt ist) haben eingeschüchtert und betrogen, was das Zeug hält; kurz: Wahlen in der Ex-DDR oder in Costa Banana sind ein Musterbeispiel an gelebter Demokratie gegen das unwürdige Schauspiel von Wahlen in den USA. Diesem Ausmaß an Gemeinheit war die humanistisch-liberal-ökologisch-pazifistische Menschenrechtsbewegung (auch als Demokratische Partei bekannt) nicht gewachsen. Wie vor vier Jahren war das Wahlrecht schuld. Was soll denn überhaupt dieser Wahlmänner-Murks? Dass auch wir den Bundespräsidenten über Wahlmänner wählen — egal; dass es auch in Europa Erscheinungsformen des Mehrheitswahlrechts gibt — egal; dass das amerikanische politische System immerhin als Garant

der Stabilität gelten kann — egal; dass landesweit mehr als drei Millionen Stimmen Unterschied keine Peanuts sind (man erinnere sich, wie viele Stimmen 2002 unserem Bundeskanzler die Wiederwahl sicherten!) — egal; dass das andere Lager vielleicht bei näherer Betrachtung sich als nicht nur rosig erweist, wofür die Ergebnisse der gleichzeitigen Kongresswahlen ein Indiz sind — egal. Was nicht sein darf, das nicht sein kann. Wie gesagt, auch ich war frustriert; aber ich war auch entsetzt über die hanebüchene Berichterstattung der ARD.

Zurück nach Deutschland. Im Allgemeinen zähle ich nicht unbedingt zu den Fans unserer obersten Bundesbildlerin und -forscherin. Manchmal kann sie einem fast Leid tun, manchmal kann man über die sie praktisch chronisch kritisierende Professorenschaft ebenfalls nur verwundert den Kopf schütteln. Da gab es zum Beispiel jüngst ein Treffen der Friedrich-Ebert-Stiftung, auf dem die gute Ministerin den Elite-Kompromiss und ihr Finanzierungskonzept vorstellen wollte. Im festen Glauben, angesichts der „SPD-nahen“ Stiftung und ihres Plans, die Milliarden nicht aus dem BMBF-Etat (wie von vielen Auguren im Vorfeld geunkelt) herauszuschneiden, sondern die zu streichende Eigenheimzulage hierfür zu verwenden, ein Heimspiel zu absolvieren, reiste Frau Bulmahn an. Doch das professorale Auditorium dachte gar nicht daran, über Details der Eliteförderung zu diskutieren; die Veranstaltung wurde immer mehr zu einem Forum der Empörung über die geplante Streichung der Eigenheimzulage. Der biologische Nachwuchs scheint eben doch näher zu sein als die Chancen des wissenschaftlichen Nachwuchses. Schöne Elite!

Apropos Elite — Deutschland bereitet sich vor, Bayern hat bereits mit der Im-

plementierung seines Elitenetzwerks begonnen. Aus Sicht des *Quartts* ist da vor allem die „Bavarian Graduate School of Computational Engineering“ ein Juwel, in der die drei erfolgreichen internationalen Programme „Computational Engineering“ der FAU Erlangen-Nürnberg sowie „Computational Mechanics“ und „Computational Science and Engineering“ der TU München ihre Aktivitäten bündeln und ein gemeinsames Zusatzangebot für die Besten auf die Beine stellen wollen. Im Sommersemester wurde in München der feierliche Startschuss gegeben, dem die Verleihung der Ehren doktorwürde der TU München an den Stuttgarter Baustatiker Ekkehard Ramm zusätzlichen Glanz verlieh.

Zum Abschluss wieder eine der beliebten Geschichten aus Absurdistan, das diesmal am Rhein liegt. Auf Anforderung versandte die Geschäftsstelle der DFG jüngst ein Formblatt „Vertrag zugun-

sten Dritter“ zu (DFG-Vordruck 41.033). Dort findet sich doch tatsächlich der Passus „An diesen Vorhaben können Wissenschaftler aus der DDR teilnehmen“. Wohl gemerkt – nix von wegen „ehemalig“ oder so; nein, die Rede ist vom guten alten Arbeiter- und Bauernstaat. Wer hier ein topaktuelles Relikt aus den Tagen der Kombinate und IMs vermutet, liegt falsch: als Version ist 08/92 vermerkt, und im August 1992 waren wir immerhin schon fast zwei Jahre das oft zitierte einig Vaterland. Na ja, vielleicht werden wir ja auch in Kürze in der Ausschreibung für die Eliteunis darauf hingewiesen, dass Bildungsanstalten außerhalb des Reichsgebiets von der Teilnahme ausgeschlossen sind.

Doch nun viel Spaß bei der Lektüre der neuen Ausgabe des *Quartts* und viel Erfolg im Jahr 2005!

Hans-Joachim Bungartz

Supercomputing 2004 — Auf zu neuen Ufern!?

G. Wellein
RRZ-Erlangen

Schon im Vorfeld der Supercomputing2004 (SC04) Konferenz in Pittsburgh sorgte das Rennen um die Krone der TOP500 für große öffentliche Aufmerksamkeit. Unter Einsatz von mehr als 32 000 Prozessoren in einem BlueGene/L System gelang es IBM, den Earth Simulator (ES) nach mehr als 2 Jahren vom Thron zu stürzen und die Krone des HPC wieder in die USA zu holen.

Im Jahr 2002 blickte die gesamte HPC Community mit Begeisterung und Stauen nach Japan, wo mit der Installation des Earth Simulator nach langer Zeit

erstmal wieder ein „traditionelles“ Vektorrechnersystem die Spitze der TOP500 erklommen hatte. Die klassische Kombination aus hoher Prozessorleistung, starker Speicheranbindung und exzellentem Netzwerk führte nicht nur dazu, dass der ES die amerikanischen Konkurrenten im Linpack deutlich überflügelte. Noch wesentlich größer war der Abstand in der real erzielten Applikationsleistung, wo der ES als bisher einziger Rechner Leistungen von über 10 TFlop/s für eine breite Zahl von Applikationen zeigen konnte. Dieser „Computenik-Schock“ führte in den USA zu hektischen Aktivitäten, wobei auch die Frage nach der Wiederbelebung der Vektorrechnertechnologie intensiv diskutiert wurde. Mit der X1 Linie besann sich CRAY auf seine ureigenen Wurzeln und machte sich daran,

den Rückstand gegenüber den Japanern zu reduzieren. Schaut man einzig auf die TOP500, so ist der Erfolg dieser doch viel versprechenden Architektur bisher relativ bescheiden: Nur sechs CRAY X1 Systeme sind in der aktuellen Liste mit zusammen etwa 1400 Vektor-CPU's gelistet. Mehr als ein Drittel davon stehen allein am Oak Ridge National Laboratory, wo ein leistungsstarkes Vektorsystem derzeit installiert wird, das im Laufe der nächsten Monate 50 TFlop/s erreichen soll. Ein weiteres mit vielen Vorschusslorbeeren bedachtes Produkt der Firma

CRAY, der auf AMD Opteron basierte Red Storm Rechner am Sandia National Laboratory, der an erfolgreiche MPP Zeiten anknüpfen soll, fehlt in der aktuellen Liste noch immer, wird aber für Juni 2005 mit Interesse erwartet. Beide Systeme stellen – ebenso wie der ES – hinsichtlich ihrer Architektur und ihren relativen Kennzahlen (Prozessorleistung vs. Speicherbandbreite vs. Kommunikationsleistung) sehr ausgewogene Spezialsysteme dar, die für viele technisch-wissenschaftliche Anwendungen sehr hohe Leistungszahlen erwarten lassen.

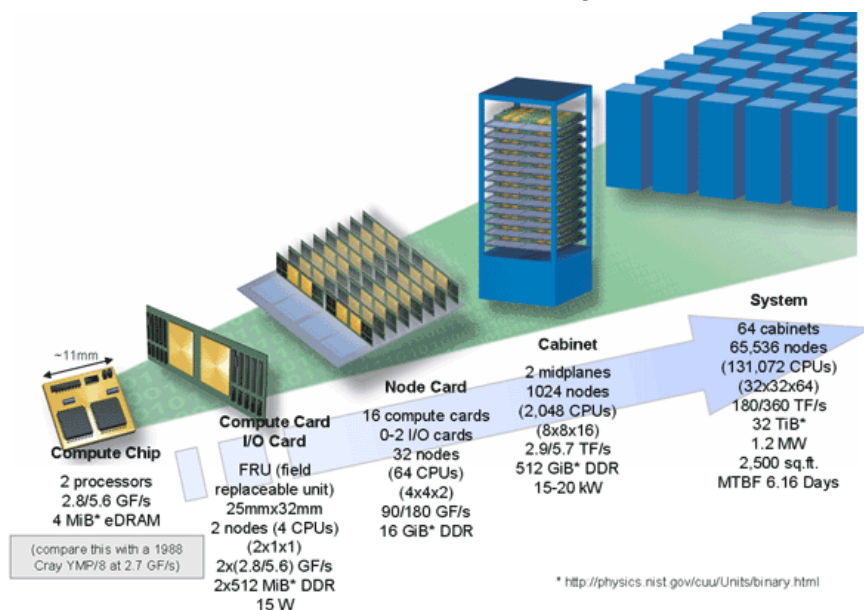


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines BlueGene/L Rechners

Trotzdem standen diese Systeme ebenso wie der ES nicht im Fokus der letztjährigen SC2004 Konferenz. Beherrscht wurde das Treffen von der Bekanntgabe der Linpack-Werte für die neueste IBM Superrechnergeneration, dem BlueGene/L System. Durch den Einsatz niedrig getakteter 32-Bit PowerPC440 Prozessoren (700 MHz), extrem gering

Speicherausbau (256 MByte pro Prozessor) sowie eines auf Kommunikation zwischen nächsten Nachbarn optimierten relativ schwachen Netzwerks (theoretische Bandbreite zwischen nächsten Nachbarn: 150 MByte/s) lassen sich extrem hohe Packungsdichten für das System erreichen. In einem Standard-Rack können 1024 Knoten (2048 Prozessoren) mit ei-

ner theoretischen Spitzenleistung von ca. 5.7 TFlop/s untergebracht werden, was etwa der 10-fachen Leistung eines vergleichbar großen Standard-Linux Clusters mit Intel Xeon Prozessoren entspricht. Noch beeindruckender sind auf den ersten Blick die Zahlen für den Linpack-Benchmark: Mit einem Bruchteil an Stellfläche (1%) und Stromverbrauch (4%) erzielt das BlueGene/L System in Livermore mit derzeit 32768 Prozessoren die doppelte Linpack-Leistung des ES. Im Endausbau soll das System mit mehr als 130 000 Prozessoren bestückt sein und hinsichtlich der Spitzenleistung den ES um fast eine Größenordnung übertreffen.

Erste belastbare Leistungszahlen für reale Applikationen auf BlueGene/L wurden auch in einigen Vorträgen auf der SC2004 vorgestellt. Besonders interessant war der Beitrag [1] der Gruppe um A. Hoisie des Performance and Architecture Laboratory vom Los Alamos National Laboratory (LANL), der einen Leistungsvergleich zwischen BlueGene/L und ASCI-Q (4096 4-fach Knoten basierend auf EV68-1.25 GHz mit Quadrics Netzwerk), dem derzeitigen Produktionsrechner des LANL, beinhaltet. Für zwei Applikationen wurden "weak scaling" Leistungszahlen (Problemgröße wächst mit Anzahl der Prozessoren) auf bis zu 4096 CPUs von BlueGene/L und den 8192 Prozessoren von ASCI-Q gemessen und Performancevorschläge für die 130 000 CPU Endkonfiguration von BlueGene/L abgeleitet. Typischerweise erzielt der mehr als 2 Jahre alte ASCI-Q bei gleicher Prozessorzahl und Problemgröße immerhin einen Performancevorteil von 2-3 gegenüber BlueGene/L. Als Projektion für den Endausbau von BlueGene/L erhalten die Autoren dann einen Leistungsvorteil für das IBM System von etwa 4-5 gegenüber

ASCI-Q bei etwa 16-facher Prozessorzahl. Wahrscheinlich ist dieser Wert jedoch zu optimistisch angesetzt: Der zu Grunde liegende Wert für das gesamte ASCI-Q System nutzt nur 1/8 des verfügbaren Hauptspeichers (2 GByte pro CPU). Bei größeren Problemstellungen sollten sich bei den verwendeten Programmen jedoch das Verhältnis von Rechnung zu Kommunikation und damit auch die Gesamtleistung verbessern.

Ein Vergleich mit dem ES fehlte jedoch bei der Diskussion und soll an dieser Stelle mit der Brücke über den sehr informativen SC2004 Beitrag von L. Oliker et al. [2] zumindest ansatzweise gewagt werden. Natürlich macht es nur Sinn in diesem Zusammenhang speicherintensive, vektorisierbare Applikationen zu betrachten. Oliker *et al.* geben hier eine bis 10-fach höhere Einzelprozessorleistung des ES im Vergleich zu modernen Power4 oder Itanium2 Systemen an. Schätzt man sehr konservativ, dass der EV-68 Prozessor etwa 2/3 der Leistung dieser Cache-basierten Architekturen erzielt, so sind 8-15 ASCI-Q CPUs das Äquivalent für einen ES Prozessor. Zieht man oben angeführte Projektion für den Endausbau von BlueGene/L heran, ergibt sich schließlich ein Äquivalent von etwa 30-60 BlueGene/L Prozessoren pro Vektorprozessor des ES. Auch dieser Wert ist mit Blick auf viele Applikationen zum Beispiel aus dem Bereich der KONWIHR Projekte noch deutlich zu niedrig angesetzt. Entweder die Applikationen sind per se nur bis zu moderaten Prozessorzahlen skalierbar oder sie sterben auf dem Weg zu tausenden von CPUs an Amdahls Law!

Trotz dieser etwas pessimistischen Sichtweise werden sicherlich ausgewählte Applikationen von BlueGene/L profitieren. Auch die technischen Fortschritte, die

hinsichtlich Integrationsdichte und Skalierbarkeit erzielt worden sind, dürfen nicht verschwiegen werden. Mit seinen immensen Prozessorzahlen stößt BlueGene/L in bisher unbekannte Dimensionen vor, die bei Hardwarearchitektur sowie Softwarekomponenten unkonventionelle Lösungsansätze erfordern, aber auch neue Potentiale eröffnen. Daher ist ein effizienter Einsatz dieser Architektur unausweichlich mit intensiven, interdisziplinären Forschungsaktivitäten der jeweiligen Fachwissenschaft, der Informatik, der Mathematik und den Rechenzentren verbunden. Vor diesem Hintergrund ist eine Testinstallation von BlueGene/L in Deutschland bei entsprechender Förderung der damit verbundenen Forschungsaktivitäten wünschenswert.

Fasst man die derzeitigen Entwicklungen im HPC zusammen, so muss mit Blick auf die Anforderungen vieler (wenn nicht sogar der meisten) technisch-wissenschaftlichen Applikationen verhindert werden, dass balancierte, leistungsstarke und daher sehr teure Neuentwicklungen auf dem Linpack-Altar der TOP500 geopfert werden. Ein Panel zur Zukunft des Supercomputing auf der SC04 hat dieses Problem deutlich angesprochen. In einem entsprechenden Bericht an die amerikanische Regierung wird auf die Risiken dieser Entwicklung hingewiesen [3]. In Deutschland hat man

zumindest in den vergangenen Jahren diesen Weg nicht beschritten. Es wurden konsequent Systeme wie etwa die Hitachi am LRZ oder die Vektorrechner am HLRS (deren jüngster Spross ist gerade in Betrieb gegangen) beschafft, die zwar in Linpack-Maßstäben ineffizient sind, aber deren vorrangiges Ziel es war und bleibt, Spitzenforschung für eine breite Schicht von Wissenschaftlern zu ermöglichen. Wie sehr sich Preis-/Performance-Verhältnisse umkehren können, wenn man an Stelle der Spitzen- oder Linpack-Leistung die reale Applikationsleistung heranzieht, haben die Erlanger KONWIHR Projekte FreeWIHR und cxHPC in einem gemeinsamen Beitrag [4] auf der SC2004 demonstriert.

Literatur

- [1] **Davis, K. et al.** (2004) *A Performance and Scalability Analysis of the BlueGene/L Architecture*, In Proc. SC2004, Pittsburg, 6-12 Nov.
- [2] **Oliker, L. et al.** (2004) *Scientific Computations on Modern Parallel Vector Systems*, In Proc. SC2004, Pittsburg, 6-12 Nov.
- [3] **Graham, S.L., Snir, M., Patterson, C.A. (ed.s)** (2004) *Getting Up to Speed: The Future of Supercomputing*, Committee on the Future of Supercomputing, National Research Council
- [4] **Pohl, T. et al.** (2004) *Performance Evaluation of Parallel Large-Scale Lattice Boltzmann Applications on Three Supercomputing Architectures*, In Proc. SC2004, Pittsburg, 6-12 Nov.

Gerhard.Wellein@rrze.uni-erlangen.de

The SX-8: A European Flagship for Supercomputing

M. Resch, M. Müller, P. Lammers
HLRS

H. Berger, J. Stadler
NEC Europe

When in spring 2004 HLRS announced the final decision for its procurement for

a supercomputer [1] the time for installation was still about a year away. The system purchased was projected to be the fastest supercomputer in Europe. At the time of announcement this was true both in terms of peak performance and sustained performance. During the last year since the publication of the article a number of things happened. The Spa-

nish government announced the purchase of a cluster based on standard components. The French government agency CEA made a decision for another cluster with a similar architecture. Both of these systems show a larger peak performance. It remains to be seen what the actual level of performance is that can be achieved for the users of these three systems. In this article we present the installation set up at Stuttgart including the systems that surround the SX-8 in order to create a workbench for supercomputing. First performance figures indicate that the assumptions and promises made during the procurement phase can be fulfilled. The performance is very good in general and for many examples even exceeds our expectations.

Introduction

In this article we want to give a description of the new system and present some of the first results that were achieved. At the time of publication of the most recent issue of *INSIDE* the reader will be able to check at least for further *linpack* results at the top-500 webpage [2]. It may, however, be more interesting to look at Jack Dongarra's new High Performance Computing Challenge Benchmark [3]. The project that Dongarra started aims to complement the traditional *linpack* benchmark. The 23 individual tests in the HPC Challenge benchmark do not measure the theoretical peak performance of a computer. Rather, they provide information on the performance of the computer in real applications. The tests do not measure processor performance but criteria that are decisive for the user such as the rate of transfer of data from the processor to the memory, the speed of communication between two processors in a supercomputer, the

response times and data capacity of a network. Since the tests measure various aspects of a system, the results are not stated in the form of one single figure. In their entirety, the measurements enable an assessment of how effectively the system performs high performance computing applications. When the benchmark was run for the predecessor model of the NEC SX-8 - the SX-6 - it took the lead in 13 out of 23 categories showing the high potential that vector supercomputers still have when real performance is at stake.

Supercomputing workbench

When the Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) started its request for proposals it was clear from the beginning that the system offered would have to be part of a larger concept of supercomputing called the Stuttgart Teraflop Workbench [4]. The basic concept foresees a central file system where all the data reside during the scientific or industrial workflow. A variety of systems of different performance and architecture are directly connected to the file system. Each of them can be used for special purpose activities. We distinguish between systems for pre-processing, simulation and post-processing.

As described in [1] the decision was made to go with NEC as the key partner to build the workbench. The concept is centred around the global file system of NEC. SX-8, Asama (IA64 shared memory system) and a cluster of Intel Nocona processors all have direct access to the same data via fibre channel. In the following we briefly describe these main three systems with a focus on the SX-8.

The SX-8 system The SX-8 series was announced by NEC in autumn 2004 as the next step of the SX series that

had been extremely successful in Japanese and European supercomputing over the last 10 years. The SX-4 had repeatedly replaced Cray vector systems in the mid 90s. The SX-5 was seen to be the leading system in vector supercomputing in the late 90s. The SX-6 was the basis for the Earth Simulator - a system that dominated the top500 list for nearly three years. The SX-8 continues this successful line by improving the concepts and making use of most recent production technology. The key improvements are:

- Advanced LSI, 90nm CU, 8000 pins $\rightarrow$ high density packaging and to lower operational and investment costs for the user. The SX-8 consequently consumes 10 times less power than the SX-5
- Optical Interconnect cabling $\rightarrow$ easy installation and maintenance, reducing the costs for the user and the number of parts by a factor of six compared to the SX-6.
- Low Loss PCB technology, serial signalling to memory $\Rightarrow$ high packing density, easy manufacturing, again reducing the costs for the user reducing the required space by a factor of four compared to the SX-6 model.

CPU The CPU is manufactured in 90nm technology. It uses copper wiring and the vector pipes operate at 2GHz. The CPU LSI is connected via high density I/O pads to the node circuit board. Advanced technology is used for the signal transmission. The vector unit is the most important part of the SX-8 CPU. It consists of a set of vector registers and arithmetic execution pipes for addition, multiplication, division and square root. The hardware square root vector pipe is

the latest addition to the SX-8 CPU architecture and is only available on the SX-8. Each of the arithmetic pipes is four way parallel, i.e can produce four results per cycle. A high speed load/store pipe connects the vector unit to the main memory. The traditional vector performance of a single CPU is 16 GFLOP/s. Together with the new square root vector pipe and the scalar unit the total peak performance adds up to 22 GFLOP/s.

Node and Interconnect Each node of the SX-8 is an 8-way shared memory system. The outstanding feature of the node is the extremely high memory bandwidth of 64 GB/s for each processor or a total of 512 GB/s for the overall node. Given the vector performance of 16 GF/s these results in a peak memory transfer rate of 4 Byte for every flop that the processor performs. With these numbers the SX-8 outperforms all its competitors in the field by a factor of about 3 with only the Cray vector systems being able to compete. The IXS interconnect is a 128x128 crossbar switch. Each individual link has a peak bidirectional bandwidth of 16 GB/s. Again this outperforms competing networks - especially in the cluster field. However, it has to be mentioned that 8 processors share the bandwidth. Still the system has an acceptable communication balance - which is also reflected by first *linpack* results shown below.

Software The SX-8 operating system SSUPER-UX is based on UNIX System V industry standard. The system provides powerful and flexible functions, which allow effective and reliable operation and administration of large scale multi node supercomputer systems. Super UX provides all standard Unix communications protocols and technologies. An SX-8 supercomputer can be seamlessly inte-

grated into an existing network environment. Super UX provides the necessary functionality to manage and schedule the supercomputer resources flexibly and effectively. The SX-8 OS supports high performance I/O, a memory file system, support for archiving systems and the functionality to manage tape libraries. The NQSII batch processing system in conjunction with the enhanced resource scheduler ERSII provide reliable job scheduling functionality in even the most demanding environments. The GFS global file system is the glue that holds the compute centre together, it allows a variety of client systems to share files with a SX-8 multi node system in a transparent way via a storage area network (SAN). Super UX offers full checkpoint and restart functionality for batch jobs for flexible operation and maintenance. The Master-Scope software supports the management of large multi node systems.

Pre- and postprocessing

Two hardware systems complement the SX-8 installation. One is an IA64-based shared memory system that serves for pre-processing and file serving. Code named AsAmA it consists of 2 TX-7 nodes with 32 processors each. One of the nodes is equipped with 512GB of memory in order to allow preparation of large parallel jobs. We found that still most users prepare their mesh on one processor before they decompose it and transfer it to the parallel system. Given that the main memory of the core system is 9TB we decided for one node with large memory to be able to prepare large jobs. A cluster based on Intel EM64T processors and Infiniband technology is added to the workbench. It serves both for post-processing/visualization and as a compute server for multi-disciplinary applications. The later often require different

types of architectures for different types of disciplines. The 200 node cluster is connected by a Voltaire Infiniband switch with a bandwidth of 10 Gb/s.

Installation schedule

The system is set up in a new building at HLRS. Construction of the office part is still under way but the computer room is ready, so the system set up began in December 2004. The first 36 nodes were rolled in at the end of January and set up within three weeks. NEC did intensive testing before handing over the first 36 nodes to the Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) in March. The Intel EM64T cluster was set up within a few days in January together with the first AsAmA front end node. The second 36 nodes were brought in late in March to be set up during April. The final installation of the overall system was scheduled after the deadline of this contribution. Acceptance will take about one month such that the full system could be operational by June/July 2005.

Installation and first results

Linpack

One of the first applications to run on any new system is the *linpack* benchmark that defines the ranking of any system in the top500 list. As soon as the first half of the system was installed *linpack* results were measured for 36 nodes. The theoretical peak performance of the 36 nodes with their 288 processors is 4.6 TFLOP/s. Average microprocessor systems and clusters usually exhibit a level of performance of 50%–70% for the *linpack* benchmark. The Earth Simulator had shown 87.5% of its peak performance in the *linpack* benchmark. Our expectation was hence to achieve about 95% of peak performance in a *linpack* run on

36 nodes. The results were much better. With 36 nodes (288 processors) the SX-8 achieves a sustained *linpack* performance of about 4.4 TF/s which is about 97% of the peak performance. For the full system we expect to see a similar level of sustained performance which would result in about 8.8 TF/s for all 576 processors.

CFD

First benchmarks were done on the system shortly after the 36 nodes were set up. The benchmark run was a Lattice Boltzmann code called BEST and the measurements were done by Peter Lammer from HLRS. The results show not only excellent speedup (owing to the high performance IXS switch) but also demonstrates that up to 256 processors we see an extremely high efficiency for the single processor. We achieve 13 GF/s for one processor and about 11 GF/s per processor for the 256 processor case. The key finding here is that the system already now exceeds our expectations by far. Our hope — and part of the contract — was that for a single application we could achieve about 4 TF/S of sustained performance. The results show that today with 288 processors we already achieve about 2.9 TF/s. The sustained performance for the full 576 processor system is expected to be at about 5 TF/s. Considering that this is not an application kernel but a real CFD simulation case the result confirms our decision for a vector based system.

Who are the users?

As all systems that are run by HLRS the new SX-8 vector system and the attached cluster of Intel Nocona processors is made available to a large group of users both from industry and research. Every scientist in Germany doing public research in an organization that is not directly funded by the federal government can apply

for compute time on the system. A scientific steering committee continuously evaluates proposal and grants access to the system solely based on scientific merit of the proposal and on the proven necessity to use a supercomputer system. Access for European users is possible through special research projects.

The Teraflop-Workbench initiative

In order to further support users and projects and in order to extend the reach of vector systems in terms of application fields HLRS and NEC set up the Teraflop Workbench Initiative [5]. The first goal is to demonstrate the efficiency of NEC SX vector systems and that these systems can deliver Teraflop/s application performance for a broad range of research and ISV codes. Secondly, NEC Linux clusters and SMP systems will form together with the SX vector system an environment that allows to perform the complete pre-processing—simulation—post-processing—visualization workflow in an integrated and efficient way. To show the application performance NEC and HLRS work together in selected projects with scientific and industrial developers and end users. Their codes come from areas like computational fluid dynamics, bio-informatics, structural mechanics, chemistry, physics, combustion, medical applications and nanotechnology. The Teraflop Workbench is open to new participants. An application has to demonstrate scientific merit as well as suitability and demand for Teraflop performance in order to qualify.

Industrial usage

The whole workbench is made available for industrial usage through the public private partnership *hww* (High Performance Computing for Science and Industry) — a company set up together with T-Systems and Porsche in 1995. The

systems are integrated into the security concepts of *hww* and operated jointly by HLRS and T-Systems. Accounting and billing is done on a full cost model which includes investment, maintenance, software, electricity, cooling, operation staff, insurance, and overhead costs for running the public private partnership. Through T-Systems the systems are open to DLR (German Aerospace Research Centre), to DaimlerChrysler and to small and medium size enterprises.

Summary

With the new SX-8 system installed at the Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) German users have access to the best performing system in Europe which can compete with the leading installations in the world. Applications that have been optimized for leading edge processors will greatly benefit from the architecture. This will include codes that are cache optimized as first tests show. New applications will be

brought to supercomputing through the Teraflop Workbench initiative which will guarantee that the full portfolio of scientific fields will turn the new system into a real scientific and industrial teraflop workbench. The integration of various architectures into a single system turns the overall system into an excellent tool to be used in the scientific and industrial work flow and production processes. This increases the chance to open supercomputing for new scientific communities and industrial application fields.

Literature

- [1] **Resch, M.M.** (2004) The next generation supercomputer at HLRS, *INSIDE* 21,
- [2] TOP500, www.top500.org
- [3] HPCC Benchmark, icl.cs.utk.edu/hpcc/index.html
- [4] **Resch, M.M., Küster, U., Müller, M., Lang, U.** (2003) *A workbench for Teraflop supercomputing*, SNA'03, Paris, France, Sept, 22–24, 2003.
- [5] Stuttgart Teraflop Workbench Initiative, www.teraflop-workbench.de

resch@hlrs.de

Das Geschwindigkeitsprofil entwickelter Turbulenz in flachen Kanalströmungen

F. Durst, K.N. Beronov, N. Özyilmaz
LSTM-Erlangen

Die Turbulenzmodellierung in der Nähe von Berandungen, dessen Krümmung oder Rauigkeit nicht entscheidend ist, basiert auf klassischen Vorstellungen und Messergebnissen, die vor über 60 Jahren entstanden sind. Das Profil $\bar{U}(y)$ der gemittelten Geschwindigkeit wird in Schichten unterteilt, dessen Unterschied sich im normierten Abstand y^+ von der Wand aber auch in der Art der y^+ -Abhängigkeit von $\bar{U}$ ausdrückt. Von besonderer Interesse für die rechnerische

Behandlung von wandbehafteten entwickelten turbulenten Strömungen ist die sog. logarithmische Schicht. Diese von Scherungs- und turbulenten Inertionseffekten dominierte Schicht soll sich zwischen den wandnahen Schichten, wo viskose Effekte maßgeblich sind, und der "äußeren" Schicht, die von der gesamten Strömungsgeometrie stark abhängig ist, befinden. Allerdings sind selbst das Anwesen einer solchen Zwischenschicht sowie eine logarithmische y -Abhängigkeit des $\bar{U}$ -Profils in ihr nur bei hohen Reynoldszahlen Re zu erwarten.

Leider herrscht bisher immer noch keine Einigkeit bezüglich der präzisen Lage dieser Schichten und der entsprechenden funktionellen Form $\bar{U}(y)$, sowie der dabei

auftretenden Re -Abhängigkeit. Darüber hinaus wurden die meisten vorgeschlagenen Näherungen nur anhand von Daten über Rohrströmungen und freien Grenzschichten entwickelt. Erst in den letzten Jahren wurden ausreichend hohe Reynoldszahlen bei solchen Strömungen experimentell dokumentiert [1,2]. Andere kanonische Beispiele wandbehafteter turbulenter Strömungen, wie z.B. im flachen Kanal zwischen zwei parallelen unbeweglichen Wänden, wurden bislang nicht bei hohen Re bemessen. Eine experimentelle Arbeit am Lehrstuhl [3] hat erstmals solche Daten bei ausreichend hohen Re ergeben, um die Fragen der logarithmischen Schicht auch bei dieser Strömungsart anzugehen.

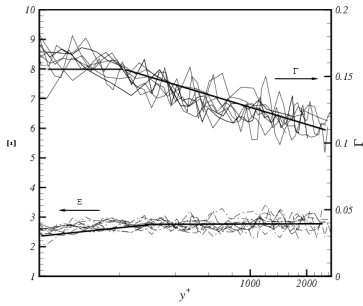


Abbildung 1: Unterteilung in Potenzgesetz-Schicht und logarithmische Schicht bei höheren Reynoldszahlen. Dargestellt sind die diagnostischen Funktionen Γ (konstant bei Potenzgesetz) und Ξ (konstant bei Log-Gesetz) errechnet von den Hitzdrahtanemometriedaten [3] für $\bar{U}(y, Re_\tau)$ bei $1000 < Re_\tau < 5000$. Der Übergang ist bei $200 \leq y^+ \leq 250$.

Diese Daten wurden mit mehreren weiteren Datenquellen über entwickelte Turbulenz in flachen Kanälen zusammengelegt, einschließlich Ergebnisse aus direkten numerischen Simulationen hoher Genauigkeit [4,5], die teilweise [5,6] am Lehrstuhl durchgeführt worden sind. Ziel

war es, die Re -Abhängigkeit und die asymptotische ($Re \rightarrow \infty$) Struktur des $\bar{U}(y^+, Re)$ Profils in dieser Art von turbulenten Kanalströmungen mit maximaler Zuverlässigkeit festzulegen. Anhaltende Diskussionen, ob eine bessere Näherung durch das klassische logarithmische Gesetz

$$\bar{U}(y^+)/u_\tau = \log(y^+)/\kappa + B \quad (1)$$

(hier ist u_τ die Wandschubspannung, $y^+ = yu_\tau/\nu$ und κ die sog. von Kármánsche Konstante) oder durch ein Potenzgesetz der Form

$$\bar{U}(y^+)/u_\tau = A(Re)(y^+)^{\gamma} \quad (2)$$

erreicht wird, bieten die Untersuchung folgender diagnostischer Funktionen an:

$$\begin{aligned} \Xi(y^+, Re) &= \frac{y}{u_\tau} \frac{d\bar{U}}{dy}, \\ \Gamma(y^+, Re) &= \frac{y}{\bar{U}} \frac{d\bar{U}}{dy}. \end{aligned} \quad (3)$$

Das Gesetz (1) entspricht einem konstanten $\Xi = 1/\kappa$, während (2) ein konstantes $\Gamma = \gamma$ vorhersagt. Wie in Abb. 1 dargestellt, sind beide Gesetzarten relevant: (2) näher der Wand (etwa bei $70 \leq y^+ \leq 250$) und (1) weiter entfernt ($200 \leq y^+$) von der Wand, die bei $y^+ = 0$ liegt. Bei niedrigen Reynoldszahlen ist nur die Schicht vorhanden, die (2) entspricht.

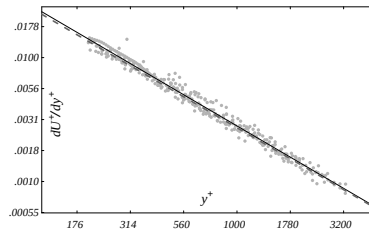


Abbildung 2: Logarithmisches Gesetz $d\bar{U}/dy = \text{konst.}/y$; durchgezogen: beste Näherung $\kappa = 0.362$, gestrichelt: $\kappa = 1/e$

Diese Unterteilung der Zwischenschicht in flachen Kanalströmungen entspricht der Unterteilung [2] bei Rohrströmungen, die bei $50 \leq y^+ \leq 300$ dem Gesetz (2) mit Re -unabhängigen Konstanten und bei $600 \leq y^+$ entsprechend (1) genügen sollen. Allerdings ist der Bereich, über dem (2) verwendbar ist, bei den flachen Kanalströmungen viel breiter als bei den Rohrströmungen: Soll δ die halbe Kanalbreite bzw. den Rohrradius bezeichnen, so dehnt sich die Log-Schicht nur bis etwa $y \leq 0.12 \delta$ im Rohr [2] jedoch bis etwa $y \leq 0.7 \delta$ im flachen Kanal.

Bei allen Kanalströmungsdaten wurde der Bereich, in dem das logarithmische Gesetz als gute Näherung zu betrachten ist, objektiv anhand der errechneten Ξ -Daten und dessen Streuung bestimmt. Datensätze für niedrige Re hatten dadurch keinen Beitrag zur Bestimmung weder von der genannten Obergrenze der Log-Schicht noch von den in (1) auftretenden Konstanten κ und B . Bei der Bestimmung von γ und A in (2) dagegen, durften alle Datensätze beitragen, da sie einen Anteil mit $\Gamma \approx \text{konst.}$ enthielten. Durch Fehlerminimierung konnten

$$\gamma = 0.154, \quad A = 8.04, \quad (4)$$

$$\kappa = 0.362, \quad B = 3.52 \quad (5)$$

ermittelt werden. Der κ -Wert liegt der in [3] vorgeschlagenen Konstante $1/e \approx 0.368$ sehr nah. Ein Eindruck über die Nähe beider Werte kann aus Abb. 2 gewonnen werden, wo alle Daten, die als entsprechend der Log-Schicht ausgewählt wurden, zusammen mit der Approximation $d(\bar{U}/u_\tau)/dy^+ = 1/\kappa$ dargestellt sind. Der ermittelte κ -Wert (5) ist etwas niedriger als den in Grenzschichten gemessenen [1] $\kappa = 0.38$ und deutlich niedriger als den in [2] gemessenen Wert für Rohrströmungen. Allerdings weisen ältere, sehr bewehrte Rohrmessungen ei-

ne hervorragende Übereinstimmung mit $\kappa = 1/e$. Der ermittelte B -Wert (5) ist ebenfalls niedriger als bei anderen wandbehafteten Strömungen.

Die vorgestellte Analyse von $\bar{U}$ -Daten aus mehreren, neuen Quellen über entwickelter Turbulenz im flachen Kanal ergibt, dass es quantitative Unterschiede in der Struktur der gemittelten Geschwindigkeit zwischen den unterschiedlichen Arten wandbehafteter Turbulenz gibt. Gleichzeitig bestätigt sie die allgemeine Feststellung, daß eine logarithmische Schicht mit steigender Reynoldszahl als äußerer Teil der Zwischenschicht entsteht. Bei niedrigeren Re wird die Zwischenschicht nur durch ein Potenzgesetz beschrieben, während bei sehr hohen Re das Gebiet mit logarithmischem Gesetz sich in y^+ ausbreitet, im Gegenteil zum Potenzgesetz und zur von viskosen Effekten dominierten Innenschicht.

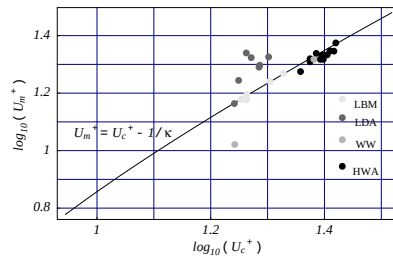


Abbildung 3: Asymptotische Genauigkeit (bei $(U_m/u_\tau) \rightarrow \infty$ oder $Re \rightarrow \infty$) von $U_c/u_\tau \approx U_m/u_\tau + 1/\kappa$.

Bei hohen Re kann deshalb (1) als gute Näherung für praktische Abschätzungen über das Gebiet der wandnahen und der Zwischenschicht herangezogen werden. Die neubeschriebene spezifische Eigenschaft der flachen Kanalströmungen, eine sehr breite Log-Schicht vorzuweisen, führt dazu, daß (1) über ihr ganzes Strömungsgebiet als gute Näherung verwendbar ist. Als Anwendungs-

beispiel kann $(U_c - U_m)/u_\tau$, was bei hohen Re auf eine Konstante zu streben erwartet wird, für flache Kanäle einfach als $(U_c - U_m)/u_\tau = 1/\kappa$ geschätzt werden. Hier ist $U_c = \bar{U}(\delta)$ die maximale und $U_m = \int \bar{U}(y) dy / \delta$ die mittlere Geschwindigkeit. Die entsprechende gute Konvergenz mit zunehmender Re (oder gleichweis U_m/u_τ) aller analysierten Datensätze für flache Kanäle auf das asymptotische Verhältnis $U_c/u_\tau = U_m/u_\tau + 1/\kappa$ ist in Abb. 3 dargestellt. Bei Rohrströmungen dagegen wird ein entsprechendes asymptotisches Verhalten auch bei mehr als eine Größenordnung höheren Re noch nicht erreicht [2].

Literatur

- [1] Österlund, J.M., Johansson, A.V., Nagib, H.M., Hites, M.H. (2000) A note on the overlap region in turbulent boundary layers,

Phys. Fluids **12**, pp.1–4

- [2] McKeon, B.J., Li, J., Jiang, W., Morrison, J.F., Smits, A.J. (2004) Further observations on the mean velocity distribution in fully developed pipe flow, *J. Fluid Mech.* **501**, pp.135–147
- [3] Zanon, E.S., Durst, F., Nagib, H. (2003) Evaluating the law of the wall in two-dimensional fully developed turbulent channel flows, *Phys. Fluids* **15**, pp.3079–3089
- [4] Moser, R., Kim, J., Mansour, N. (1999) Direct numerical simulation of turbulent channel flow up to $Re_\tau = 590$, *Phys. Fluids* **11**(4), pp.943–945
- [5] Lammers, P., Beronov, K.N., Volkert, R., Brenner, G., Durst, F. (2005) Lattice BGK direct numerical simulation of fully developed turbulence in incompressible plane channel flow, *Computers & Fluids*, to appear
- [6] Özyilmaz, N. (2003) *Turbulence statistics in the inner layer of two-dimensional channel flow*, M.Sci. Thesis, LSTM, F.A.U. Erlangen–Nürnberg

kberonov@lstm.uni-erlangen.de

“Golden Spike” Award im Hochleistungsrechnen für Erlanger Arbeiten

Anlässlich des “Results and Review Workshops” am Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) werden alljährlich drei herausragende Arbeiten auf dem Gebiet des Höchstleistungsrechnens mit dem “Golden Spike Award” ausgezeichnet. Nach 2000 ging erneut eine dieser begehrten Anerkennungen nach Erlangen. Für seinen Beitrag “*Combination of detailed CFD simulations using the lattice Boltzmann method and experimental measurements using the NMR/MRI technique*”, erhielt Thomas Zeiser (jetzt RRZE, ehemals LSTM) einen “Golden Spike”. Er berichtete über Arbeiten, die am Regionalen Rechenzentrum Erlangen (RRZE) und dem Lehrstuhl für Strömungsmechanik (LSTM-

Erlangen) der Friedrich–Alexander Universität Erlangen–Nürnberg (FAU) in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Chemische Reaktionstechnik (FAU) und dem Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik der Universität Karlsruhe (TH) im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts durchgeführt wurden.

Neue numerische aber auch experimentelle Verfahren ermöglichen in zunehmendem Maße die detaillierte Untersuchung einer Vielzahl von verfahrenstechnisch relevanten Transportprozessen. Im Rahmen des ausgezeichneten Projekts wird ein stark vereinfachtes, gas-kinetisches Verfahren – die Lattice Boltzmann Methode – zur numerischen Simulation der Strömungsvorgänge auf Porenskala angewendet. Unter Ausnutzung moderner Hochleistungsrechner und Computer-Cluster lassen sich lokale Strömungspro-

zesse und Inhomogenitäten in der Geschwindigkeitsverteilung simulieren. Damit können ablaufende Transportprozesse besser verstanden werden. Experimentell waren derartige Untersuchungen auf der Porenskala bis vor kurzem praktisch unmöglich. Die Weiterentwicklung der aus der Medizin schon seit längerem bekannten Magnetischen Resonanz-Tomografie und ihre verfahrenstechnische Anwendung erlaubt neuerdings komplementäre experimentelle Untersuchungen. Die numerische Simulation stellt jedoch weiterhin eine ideale Ergänzung der relativ kosten- und zeitaufwändigen experimentellen Seite dar.

Die durchgeführten Arbeiten wurden im KONWIHR Quartl 3/2003 (Ausgabe 36) bereits eingehender vorgestellt.

Die durchgeführten Arbeiten wurden im KONWIHR Quartl 3/2003 (Ausgabe 36) bereits eingehender vorgestellt.

thomas.zeiser@rrze.uni-erlangen.de

Quartl / Kurz notiert

Das Quartl gratuliert ...

- Herrn **Peter Lammers** (ehem. KONWIHR-Projekt BESTWIR, jetzt Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart) zum erfolgreichen Abschluss seiner Dissertation *Direkte numerische Simulationen wandgebundener Strömungen bei kleinen Reynoldszahlen mit dem Lattice Boltzmann Verfahren*.
- Herrn **Markus Kowarschik** (Lehrstuhl für Systemsimulation, Prof. Rüdiger, FAU) zum erfolgreichen Abschluss seiner Dissertation *Data locality optimizations for iterative numerical algorithms and cellular automata on hierarchical memory architectures*.

Das Quartl begrüßt ...

- Herrn **Dr. Martin Hohenadler** (TU Graz) als Gast im Rahmen des HPC-Europa Programms im KONWIHR Projekt HQS@HPC
- Herrn **Thomas Hofmann** von der FH-Nürnberg, der sein Praxissemester am RRZE absolviert. Er ergänzt dabei das KONWIHR cxHPC-Team und beschäftigt sich mit dem Aufbau des HPC-Labors an der FH-Nürnberg und der Integration dieser Rechner in ByGRID.

KONWIHR-Quartl / Agenda

- **Virtual Reality: Anwendung in Forschung und Praxis** war das Thema des RRZE-Kolloquiums am 18. Januar. Referent: Dr. A. Wierse (Firma VisEnSo, ehem. VirCinity), Vertreiber des Visualisierungs- und VR-Tools COVISE, beteiligt am Betrieb von VR-Zentren.

- **STAR-CD Campus-Tag:**

Der zweite STAR-CD Campus-Tag an der Uni-Erlangen fand am 19. April 2005 statt.

- **1st Erlangen Internat. High-end-computing Symposium:**

Mit der Beteiligung an FORTWIHR und KONWIHR und an Elitestudiengängen wie die Bavarian Graduate School in Computational Engineering trägt die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg der zentralen Bedeutung des High-end-computing als Schlüsseltechnologie Rechnung. Zur Bestandsaufnahme des Höchstleistungsrechnens aus einer internationalen Perspektive werden

aktuelle und zukünftige Entwicklungen beleuchtet. Das breite Spektrum des High-End-Computing von der Rechnerarchitektur bis hin zu den Anwendungen wird vorgestellt:

Prof. **A. Bode**, Vizepräsident der TU-München, LS Rechner-technik und Rechnerorganisation: *Höchstleistungsrechnen: Stand der Technik und Bedeutung für Wirtschaft und Wissenschaft in Europa*

Dr. **C. Körner**, LS Werkstoffkunde und Technologie der Metalle: *Lattice Boltzmann Methode mit freien Oberflächen für Schaumbildungsprozesse*

Dr. **H. Simon**, NERSC Director, Lawrence Berkeley National Laboratory: *Towards Pentascale Computing for Science*

Veranstalter sind der Lehrstuhl für Systemsimulation, das Regionale Rechenzentrums Erlangen und die Bavarian Graduate School of Computational Engineering.

<http://www10.informatik.uni-erlangen.de/de/Misc/EIHECS/>

• **LRZ Kurs: Programmierung von Hochleistungsrechnern:**

Muenchen, Barer Str. 21, S3532

18. Juli: Itanium Architektur, HPC Systeme am LRZ und in Deutschland, Nutzung der Linux Cluster Systeme am LRZ

19. Juli: Tools, Compilern und Optimierung auf Itanium

20-21. Juli: MPI und OMP

22. Juli: Beispiele zur Optimierung und Parallelisierung, inkl. I/O

<http://www.lrz.de/services/schulung/kursanmeldung/>

KONWIHR–Quartl / Neues aus den Rechenzentren

- **Erweiterung des Xeon Cluster am RRZE:** Noch im Jahre 2004 erweiterte das RRZE in Zusammenarbeit mit dem SFB 473 (*Schaltwege der Transkription*) sein Intel Xeon GBit Cluster von 86 auf 150 Rechenknoten (300 Prozessoren). Das RRZE trägt damit der hohen Auslastung seines bestehenden Clusters sowie dem stark wachsenden Rechenzeitbedarfs des Bereiches Life Sciences an der Friedrich–Alexander–Universität Erlangen–Nürnberg Rechnung.

Impressum

KONWIHR Quartl*

– das offizielle Mitteilungsblatt des Kompetenznetzwerks für technisch-wissenschaftliches Hoch- und Höchstleistungsrechnen (KONWIHR)

Herausgeber:

Prof. Dr. A. Bode, Sprecher des KONWIHR,
Prof. Dr. Dr. h.c. F. Durst, stellv. Sprecher

Redaktion:

K. N. Beronov, Dr. Sci.

Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Cauerstraße 4, D-91058 Erlangen

Tel./Fax: +49 9131 85 29501 / 29503

e-mail: konwihr@lstm.uni-erlangen.de

Tel.: +49 9131 85 28280

kberonov@lstm.uni-erlangen.de

WWW:

<http://www.konwihr.uni-erlangen.de/>

<http://konwihr.in.tum.de/>

Druck: Druckladen Erlangen

* **Quartel:** früheres bayerisches Flüssigkeitsmaß, → das **Quart:** 1/4 Kanne = 0.27 l
(Brockhaus Enzyklopädie 1972)