

Termine

- Am 13. und 20. Januar geben Prof. Resch (HLRS) bzw. Dr. Heller (LRZ) jeweils um 14:00 in Erlangen am RRZE eine Einführung in das *Grid-Computing*.
- "Objekt-orientierte Programmierung in C++" lautet der Titel eines Kurses, der vom 19.–22. Januar am LRZ stattfindet.
- Anfang Februar werden dann am LRZ in drei Kurse *HPC-Grundlagen* sowie Details zu *Totalview* und *VAMPIR* vorgestellt werden.
- Vom 2.–3. März 2004 findet der *Second Joint HLRB and KONWIHR Result and Reviewing Workshop* in München statt.
- Der Kurzlehrgang *Numerische Methoden zur Berechnung von Strömungs- und Wärmeübertragungsproblemen* findet vom 8.–11. März 2004 zum 10. mal am LSTM-Erlangen statt – NUMET'04

Kurzer Rückblick

- Vom 21.9.–3.10.2003 fand im Sarnthal (Südtirol) die Ferienakademie der Uni-Erlangen, TU-München und Uni-Stuttgart statt.
- Am 8.12.2003 hat Prof. Bode in Heidelberg einen Vortrag mit dem Thema "Supercomputer-Architekturen: Trends und Anwendungen" gehalten, bei dem er auch ausführlich über die KONWIHR Projekte berichtet habe. Der Vortrag fand statt im Kolloquium des European Media Lab, das eine Einrichtung der Klaus Tschira Stiftung ist.
- Vom 8.12.–17.12.2003 fand in Guwahati, Indien, die diesjährige Winterakademie unter Leitung von Prof. Durst statt.

Bitte notieren:

Die letzte planmäßige KONWIHR-Antragrunde wurde im September 2003 eingeleitet. Kümmern Sie sich daher ggf. um geeignete Anschlußfinanzierungen außerhalb von KONWIHR!

Für den 14./15. Oktober 2004 ist ein großes KONWIHR Abschluss-Seminar in München/Garching geplant. Details werden rechtzeitig bekannt gegeben.

Einige KONWIHR-Projekte werden bereits beim HLRB/KONWIHR Workshop am 2./3. März 2004 ihren Abschlussvortrag halten.

Impressum

KONWIHR Quartl*
– das offizielle Mitteilungsblatt des Kompetenznetzwerks für technisch-wissenschaftliches Hoch- und Höchstleistungsrechnen (KONWIHR) – erscheint jeweils zum Quartalende.

Herausgeber:

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

Redaktion:

Dipl.-Ing. Th. Zeiser
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Cauerstraße 4, D-91058 Erlangen
Tel./Fax: ++49-9131-85 28280 / 29503
e-mail: konwihr@lstm.uni-erlangen.de
Dipl.-Inf. A. Schmidt
Institut für Informatik, TU München
D-85748 Garching bei München
Tel./Fax: ++49-89-289 17680 / 17662
e-mail: konwihr@in.tum.de

WWW:

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

Redaktionsschluss

für die nächste Ausgabe: **12.03.2004**

Nächste Ausgabe des Quartls:

April 2004

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

Editorial

Als weiterer Beitrag zu unserer in der letzten Ausgabe des **Quartls** aus der Taufe gehobenen Fortsetzungsgeschichte „Abartiges aus dem Schwabenlande“ wollen wir uns diesmal einer vorweihnachtlichen Anekdote zum Thema ministerielle Erlasse widmen. Einer schon vor geraumer Zeit gefällten Entscheidung der Musterobrigkeit unseres Musterlandes gemäß sollen alle neu eingeführten Studiengänge mit einem Eignungsfeststellungsverfahren versehen werden. Mustangültig haben zahlreiche Musterfakultäten entsprechende Satzungen ausgearbeitet und dem Ministerium zur Abssegnung vorgelegt. Bis August 2003 wurden immerhin rund 450 Satzungen solcher Eignungsfeststellungsverfahren bzw. Auswahlverfahren vom Ministerium rechtlich geprüft. Das ernüchternde Ergebnis dieser Prüfung lässt sich am besten mit „*mene mene tekel upharsim*“ beschreiben. Daraufhin wurde vom Ministerium ein zwar freundliches, aber in der Sache hartes und deshalb von der Unverwaltung sofort unterwürfigst als „Erlass“ eingestuftes Schreiben an alle Universitäten des Landes versandt, in dem die schlimmsten Sünden aufgelistet sind und um Nachbesserung bzw. zukünftige Beachtung gebeten wird. Natürlich reagierte auch die Musteruniversität Stuttgart sofort und trommelte Studiendekane, Eignungsfeststellungsbeauftragte und Special Task Force zusammen, um die neuen Richtlinien zu diskutieren.

Das Konklave folgte dem legendären Bonmot von George Bush senior (*read my lips!*), las und wurde prompt fündig. Beispielsweise unter Punkt 6: „*Werden bei Eignungsfeststellungsverfahren schulische Leistungen berücksichtigt, so ist das jeweilige Fach ausdrücklich zu benennen. Nicht ausreichend ist damit die „bestnotenote fortgeführte Fremdsprache“, da sich die Eignung aus einem konkreten, für den Studiengang relevanten Fach ergeben muss.*“ Viele der Anwesenden sahen sich schon in heftige Diskussionen mit den lieben Kollegen verstrickt, ob dem Finnisch oder Serbokroatisch mehr über die Eignung für Literaturwissenschaften oder Informatik aussagen als Kisuheli oder doch eher weniger. Beängstigend daran ist, dass, wie wir aus leidvoller Erfahrung wissen,

jedes professoral bestückte Gremium, dem man ein solches Thema vorsetzt, sich sofort mit Herzblut und geballter wissenschaftlicher Potenz dieses Themas auch tatsächlich annimmt – egal, wie unsinnig die Fragestellung auch sein mag.

Zweites Beispiel: Unter Punkt 5 steht „Die Auswahl hat nach Eignung und Motivation ... zu erfolgen. Eine Auswahl allein „nach Eignung für den gewählten Studiengang“ ... greift damit zu kurz.“ Allerdings weiß Punkt 13, dass „Motivationsschreiben keine Motivationserhebungen darstellen“, was unwillkürlich die Frage nach der Entlockung der Motivation aufwirft. Da das Schreiben noch weitere solcher zu Papier gebrachten Geistesblitze enthielt, kam zwangsläufig die Frage auf, was man denn nun bitte mit einem derart geistreichen und praxisnahen ministeriellen Erlass machen solle.

Die Antwort ist verblüffend simpel: „Also wir haben beschlossen, diesen Erlass ganz einfach zu ignorieren“, meinte der Vertreter der Universitätsverwaltung ebenso trocken wie lapidar. Da aber staunte Herodot – schlicht und ergreifend eine Musterverwaltung, die so denkt und handelt, oder? Doch es ging weiter. Frage: „Weiß denn das Ministerium von Ihrer Absicht?“ – Antwort: „Ja, wir haben dies dem Ministerium mitgeteilt.“

– Frage: „Und wie steht das Ministerium um dazu?“ – Antwort: „Das Ministerium ist mit dieser Vorgehensweise einverstanden.“ Nicht dass einer oder eine der Anwesenden mit dieser Leitlinie unzufrieden gewesen wäre – weit gefehlt! Allerdings stellte sich doch einmal mehr diese ultimative professorale Mischung aus Aufbrausen, prähysterischem Gelächter und heftig-salbungsvollem Kopfschütteln ein, die uns in zahlreichen Gremiensitzungen so vertraut geworden, ja geradezu aus Herz gewachsen ist. Jo is denn heit scho

Weihnacht'n? Herrscht denn in den Ministerien tatsächlich schon solche Endzeitstimmung, dass allen alles egal ist? Werden Erlasse eigentlich nur erlassen, um das Erlassen von Erlassen nicht bleiben lassen zu müssen? Oder stehen am Ende gar in Erlassen Dinge, deren Ausführung mir erlassen wird? Nicht einmal mehr auf Erlasse scheint Verlass zu sein!

Doch zurück zu unserer Frage von oben – wie geht man mit solchen Erlassen um? Die von unseren Verwaltungsheroen praktizierte Variante des Ignorierens ist eine schöne Möglichkeit, die durchaus Charme hat. Eine Alternative wurde jüngst im Fakultätsrat von meinem Kollegen J.L. vorgeschlagen (zwar in anderem Zusammenhang, aber es gibt ja fürwahr mehr Anlässe, als einem lieb ist): „Es gab einmal Zeiten, da haben die Menschen zur Armbrust gegriffen und sich gewehrt, wenn die Erlasse der Obrigkeit zu unerträglich wurden. Ich frage mich manchmal, ob es nicht langsam wieder an der Zeit wäre, diesem Beispiele zu folgen und die Armbrust zu erheben.“ Wenn das kein schönes Schlusswort ist, passend zur friedlichen Adventszeit, mit Äpfeln (!) und Nüssen und so!

In diesem Sinne viel Spaß mit der neuen Ausgabe und ein erfolgreiches Jahr 2004!

Hans-Joachim Bungartz

KONWIHR-Intern: Abschlussberichte

2004 wird das letzte Jahr des bestehenden KONWIHR sein. Auf einem zweitägigen Abschluss-Seminar (im März und Oktober) sollen alle Projekte über ihre Ergebnisse vortragen.

Hierzu ist von jedem Projekt auch eine Darstellung im Sinne eines Abschlussberichtes abzugeben, der dann in einem Springer Tagungsband veröffentlicht wird.

Weitere Ehrungen & Auszeichnungen Ehrendoktor für Professor Roland Bulirsch

Herr Prof Dr. Dr. h.c. mult. Roland Bulirsch wurde erneut mit einer Ehrendoktorwürde ausgezeichnet. Die Universität von Hanoi in Vietnam hat diese Ehrendoktorwürde ausgesprochen und mit einer Einladung zu einer Vortragsreise in Vietnam verbunden. Die Einladung zur Verleihung der Ehrendoktorwürde und für die Vortragsreise wurde vom vietnamesischen Minister für Erziehung, Herrn Professor Nguyen Minh Hien, ausgesprochen.

Ritter von Gerstner Medaille für Professor Roland Bulirsch

Bereits im Juni wurde Prof. Bulirsch durch den Präsidenten des Bayerischen Landtags, Herr Böhm, die *Ritter von Gerstner Medaille* überreicht.

Ehrendoktor für Professor Wolfgang Giloi

Auf Initiative der Fakultät für Informatik wurde Herrn Prof. Dr. Wolfgang Giloi am 3. November 2003 die Ehrendoktorwürde der Technischen Universität

Darmstadt verliehen. Wolfgang Giloi ist einer der großen deutschen Rechnerarchitekten und ist durch zahlreiche Erfindungen bekannt geworden, z.B. den Datentypenrechner. Unter seiner Leitung sind am GMD Institut FIRST in Berlin verschiedene Prototypen für massiv parallele Höchstleistungsrechner entstanden. Am bekanntesten wurde SUPRENUM, der erste deutsche Supercomputer für numerische Anwendungen. SUPRENUM wurde in den 80er Jahren durch ein vom BMBF gefördertes Verbundprojekt unter Leitung von Prof. Trottenberg und Prof. Giloi entwickelt und später von der Fa. Krupp Atlas-Elektronik vermarktet. SUPRENUM war für eine kurze Zeit der leistungsfähigste Supercomputer der Welt. Wenn damals schon die TOP 500 Liste bestanden hätte, wäre also Deutschland auf Platz 1 vertreten gewesen!

Die Ehrenpromotion wurde auch durch ein Fachkolloquium mit dem Thema „Aspekte moderner Rechnerarchitekturen: Past, Present and Future“ umrahmt. KONWIHR wurde durch seinen Sprecher, Prof. Dr. Arndt Bode, mit einem Vortrag über Höchstleistungsrechner in Deutschland: „Architekturen und Anwendungen“, vertreten.

A. Bode



Rückblick:

Lange Nacht der Wissenschaften

Die Lange Nacht der Wissenschaften am 25. Oktober im Großraum Nürnberg-Führt-Erlangen war ein großer Erfolg. Deutlich mehr Leute als ursprünglich erhofft interessierten sich für die Forschungsaktivitäten.

Auf dem Gemeinschaftsstand von KONWIHR und RRZE an der TechFak konnten aktuelle Rechner und Forschungsarbeiten aber auch handfeste Dinge bestaunt werden.

Auch im Computer-Chemie-Centrum und an der FH-Nürnberg konnte man auf KONWIHR-Aktivitäten stoßen.

gion relativ zu einer anderen beschreiben, z.B. "Region 1 liegt innerhalb von Region 2". Das Ergebnis ist in Abbildung 4 dargestellt.

Modul 5: Entscheidungsmodul
Anhand eines Merkmalsvektors werden die Verkehrszeichen bestimmt, deren Eigenschaften in der Menge der selektierten Bildmerkmale auftreten. Hierbei spielen Farbe und Form sowie die relativen Zusammenhänge der Regionen eine Rolle.

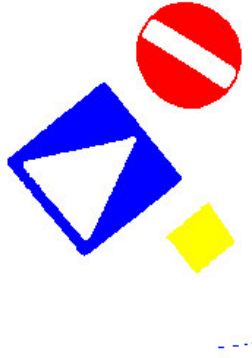


Abbildung 3: morphologische Operatoren

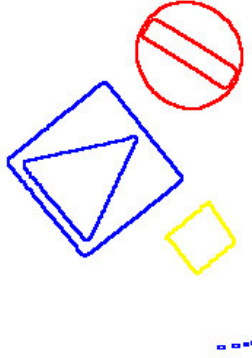


Abbildung 4: Farbsegmentierung

Parallele Bildverarbeitung

Die einzelnen Module müssen zueinander sequentiell abgearbeitet werden, da sie von den Ergebnissen der vorhergehenden Module abhängig sind. In sich kann man die Module aber gut parallelisieren. Die Bildmatrix umspannt ein Gebiet von 324 x 244 Bildpunkten (79056 Pixel). Durch Parallelisierung (s. Abbil-

dung 5) ist es möglich, einen Operator pro Takt auf einen Bildpunkt anzuwenden. Darüber hinaus kann man die schon in sich parallel laufenden Operatoren weiterhin im "SIMD-Stil" parallelisieren. Dies kann dann geschehen, wenn man die Operatoren unabhängig voneinander anwenden kann, wie es bei den Filtermodulen (Module 1-3) der Fall ist. Eine Analyse dieser Module zeigte, dass die Performance leicht an die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Kamerasensors gebracht werden kann. Dieser liefert pro Sekunde 24 Bilder. Bei einer Taktfrequenz von 40 MHz bleiben somit pro Bildzyklus über 1,6 Mio. Takte für die Verarbeitung und damit genügend Zeit, um die Realisierung dieser Module abzuarbeiten.

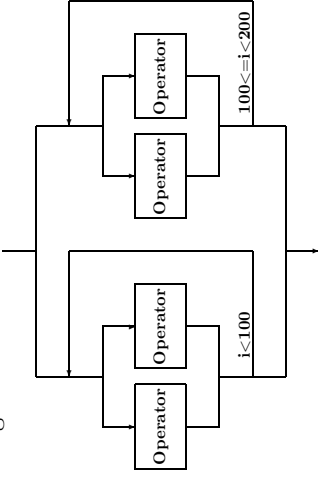


Abbildung 5: Parallelisierung einer Schleife mit in sich parallel laufenden Operatoren

Literatur

- [1] Ritter, Werner: Automatische Verkehrszeichenerkennung, Fölbach, Koblenz, 1997
- [2] Rauber, Thomas; Rünger, Gudula: Parallele und verteilte Programmierung, Springer, Berlin Heidelberg, 2000
- [3] Huber, Walter: Paralleles Rechnen, Oldenburg, München Wien, 1997
- [4] Handel-C Language Reference Manual Version 3.1, Celoxica Limited
- [5] OpenMP C and C++ Application Program Interface Version 2.0, OpenMP Architecture Review Board, 2002

Ankündigung: 2.–3. März 2004

Second Joint HLRB and KONWIHR Result and Reviewing Workshop

Nachdem für die Nutzer des Höchstleistungsrechners in Bayern (HLRB) Hitachi SR8000-F1 am Leibniz-Rechenzentrum München (LRZ) aus den Bereichen Strömungsmechanik und Geophysik im Oktober 2003 bereits ein Statusseminar zusammen mit dem Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart abgehalten wurde, soll das nächste Statusseminar für die Fachgebiete Angewandte Mathematik, Biowissenschaften, Biophysik, Astrophysik, Hochenergiephysik, Festkörperphysik, Chemische Physik, Chemie und Informatik am 2.–3. März 2004 in München durchgeführt werden.

Dieses Statusseminar soll auch dem Erfahrungsaustausch zwischen den Projektleitern sowie zwischen Projektmitarbeitern und den Mitgliedern des HLRB-Lenkungsausschusses und des KONWIHR-Beirats dienen.

Beiträge von HLRB- und von KONWIHR-Projekten können in druckbarer und in zur Veröffentlichung geeigneter Form bis online beim LRZ 12. Januar 2004 eingereicht werden. Die Beiträge werden von Gutachtern, die der Lenkungsausschuss des HLRB auswählt, evaluiert. Sie müssen grundsätzlich als wissenschaftliche Artikel abgefasst sein und sollten neben den fachspezifischen Resultaten vor allem Angaben über Methodik und erzielte Leistung auf der Hitachi SR8000-F1 enthalten, also Hinweise zu den verwendeten Programmierparadigmen, Parallelisierungstechniken, zur Anzahl verwendeter Prozessoren, zum Grad der Vektorisierung und Parallelisierung, zu Joblaufzeiten etc.

Genauere Informationen sowie die Möglichkeit zum Upload von Beiträgen finden Sie über die Webseite des Statusseminars <http://www.lrz.de/services/compute/hlrb/news/workshop2004.html>. Auf dieser Webseite wird nach Abschluss der Begutachtung der auch die Agenda veröffentlicht werden.

Zum Statusseminar sind Vertreter aller HLRB- und KONWIHR-Projekte, unabhängig davon, ob sie vortragen oder nicht, bereits jetzt herzlich eingeladen.

ralf.ebner@lrz-muenchen.de

Rückblick: 6.–7. Oktober 2003

Workshop "Scientific Computing in Science and Engineering" in Stuttgart

Es war ein weiterer Schritt zur engeren Zusammenarbeit der deutschen Höchstleistungsrechenzentren: Das HLRB in Stuttgart hatte das Leibniz-Rechenzentrum eingeladen, an seinem jährlichen Begutachtungsum und Ergebnisminar der Nutzer der Höchstleistungsrechner teilzunehmen. Von Münchner Seite sollten alle Projekte aus den Bereichen Strömungsmechanik und Geophysik, die auf der Hitachi SR8000-F1 (HLRB) rechnen, vertreten sein.

Kurz nachdem die Einladungen versickt waren, stellte sich leider heraus, dass genau an den beiden Seminar-Tagen auch der KONWIHR-Kurzlehrgang *Numerische Methoden zur Lösung von Ingenieursproblemen in der Strömungs- und Strukturmechanik* an der TU München statt finden sollte. Da es jedoch von Stuttgarter Seite kein Zurück mehr gab, mussten die Erlanger und Münchner Strömungsmechaniker notgedrungen auf die Teilnahme verzichten. Deren eingereichte Beiträge können aber beim

nächsten gemeinsamen HLRB- und KONWIHR-Statusseminar im März 2004 präsentiert und in den kommenden Tagungsband aufgenommen werden.

Das Statusseminar fand am Institut für Mikroelektronik Stuttgart (IMS) statt, einer etwas versteckten Einrichtung mit gemütlichem Foyer, das sich vorzüglich für die Diskussionen in den Kaffeepausen und Mittagspausen und für die Poster-Sessions eignete.

Der Montag Vormittag begann mit einer Session zur *Strömungsmechanik*. Von Münchner Seite trug Prof. Rank (TUM) sehr anschaulich über die volle 3-D Kopplung von Fluid und dünnwandigen Strukturen vor. Weitere Vorträge, deren Ergebnisse auf den Stuttgarter Rechnern zustande gekommen waren, drehten sich um Überschallverbrennungen (F. Schneider, DLR) und Rayleigh-Bénard-Konvektion (T. Hartlep, Uni Göttingen). Die folgende Sitzung zur *Festkörperphysik* behandelte Simulationen von Nano-Systemen (B. Huber, Uni Freiburg; M. Dreher, Uni Konstanz) sowie Monte-Carlo-Simulationen im Bereich der Hochtemperatur-Supraleiter (F. Assaad, Uni Stuttgart).

Die Nachmittagsitzung war den *Geowissenschaften* gewidmet. Die Zuhörer konnten den Stand der Forschungen zu hoch auflösenden regionalen Klimamodellen (K. Keuler, BTU Cottbus), zu Transportprozessen in atmosphärischen Grenzschichten (T. Janjic, Uni Bremen), zu sphärischen Schalenmodellen des Erdmantels (R. Hendel, Uni Jena) und zu den auf dem HLRB berechneten Wellenausbreitungen bei Erdbeben (G. Brietzke, Uni München) erfahren.

Ein Highlight war das *Konferenz-Dinner* im Internationalen Begegnungszentrum der Universität Stuttgart. Hier muss den Organisatoren ein großes Lob für

die gelungene Veranstaltung in behaglichen Räumlichkeiten mit ausgezeichnetem Buffet ausgesprochen werden! Nur schade, dass diese Gelegenheit gerade mal die Hälfte der angemeldeten Teilnehmer in Anspruch nehmen wollte.

Die Präsentationen von *Physik-, Chemie- und Bioinformatik-Projekten* füllten den darauf folgenden Vormittag mit so verschiedenen Themen wie schwarzen Löchern (M. Freitag, Astronomisches Recheninstitut Heidelberg), Jet-Strömungen (M. Krause, Landessternwarte Heidelberg), Tröpfchenformierung (P. Virnau, Uni Mainz), Quantenchemie von Metall-Komplexen (M. Lein, Uni Marburg), Methionin-Aminopeptidasen (C. Klein, Uni des Saarlands) und der 3D-Organisation des menschlichen Genoms (T. Knoch, Krebsforschungszentrum Heidelberg).

Am Nachmittag bei den *Informatik- und CFD-Projekten* wurde der Einsatz von Bibliotheken für Teilchen-Simulationen (S. Ganzenmüller, Uni Tübingen) und Benchmarks zum Message Passing (T. Worsch, Uni Karlsruhe) vorgestellt. Marc Lange (Uni Heidelberg) besprach turbulent brennende Flammen, und dann waren schließlich wieder HLRB-Projekte vertreten: Sven Buijssen (Uni Dortmund) stellte einen parallelen Navier-Stokes-Löser in C++ vor. Jan Wissink (Uni Karlsruhe), der sowohl am HLRB als auch auf dem HLRB rechnet, präsentierte Studien zu Strömungen an Grenzschichten in freien Strömungen und an dünnen Turbinenblättern. Schließlich referierte Ulrich Rist (Uni Stuttgart) über Strömungsverteilungen an Übergangsgrenzschichten.

Während der Sitzung des Stuttgarter Lenkungsausschusses bot Rolf Rabenseifner (HLRS) sehr interessante Einblicke in Versuche und Leistungsmessungen zum

Bildverarbeitungsmodule

Die Bildverarbeitung stellt ein ideales Gebiet für Parallelität dar, da zum einen rechenintensive Algorithmen benötigt und zum anderen Operatoren häufig unabhängig voneinander auf die Bildmatrix angewendet werden. So ist es möglich das Bild je nach Parallelisierungsgrad in mehrere Bereiche aufzuteilen, über die dann die selben Operatoren geführt werden. Dies entspricht, wie oben erwähnt, einer SIMD-Architektur. Die konkrete Umsetzung der Referenzanzwendung teilt sich in fünf Module auf.

Modul 1: Kantenerhaltende Filter
Zur Verbesserung der Bildqualität, bzw. zur Unterdrückung des Rauschens wird als Bildvorverarbeitung ein kantenerhaltender Filter über die Bildmatrix geführt.



Abbildung 1: Originalbild

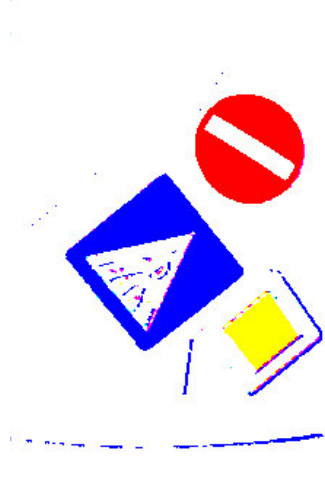


Abbildung 2: Farbklassifizierung

Modul 2: Farbklassifizierung

Das Originalbild, s. Abbildung 1, liegt im RGB-Format mit einer Farbtiefe von 8 bit pro Kanal vor. Es wird nun in ein farbmarkiertes Bild überführt. Für eine Verkehrszeichenklassifizierung spielen nur wenige Farbwerte eine Rolle. Diese beschränken sich auf rot, grün, gelb, blau, schwarz und weiß. Die 24-Bit Farbinformation der RGB-Kanäle wird damit auf 3 bit reduziert. Das Ergebnis dieses Verarbeitungsschrittes ist in Abbildung 2 zu sehen. Nach der Überführung in das farbmarkierte Bild werden Farbfehler bei der Aufnahme des Bildes deutlich, welche aus der geometrischen Anordnung der einzelnen Sensoren resultieren. Diese sind in einer Matrix angeordnet. Jeder einzelne Sensor detektiert nur eine der RGB-Farben. Die tatsächliche Farbe wird durch Farbinterpolation aus den umliegenden Pixeln rekonstruiert. An scharfen Kanten im Bild ergeben sich dadurch die beschriebenen Farbfehler.

Modul 3: Morphologische Filter

Die Bildqualität kann mit morphologischen Operatoren noch erhöht werden. Als Ergebnis sollten nach diesem Verarbeitungsschritt homogene geschlossene Regionen vorhanden sein. Beim hier vorliegenden Anwendungsfall hat das Opening-Verfahren (Kombination aus Erosion und Dilatation) gute Ergebnisse geliefert. Kleine Regionen werden durch diese Operatoren eliminiert (siehe Abbildung 3). Dünne farbmarkierte Regionen, welche aufgrund der Farbfehler entstanden sind, werden nach diesem Verarbeitungsschritt ebenfalls korrigiert.

Modul 4: Regionendetektion

Das vorverarbeitete, farbmarkierte Bild wird nun einer Regionendetektion unterzogen. Hierbei werden auch Informationen extrahiert, welche die Lage einer Re-

KONWIHR-Projekt "FPGA" liefert sichtbare Ergebnisse

Direkte Übertragung von Großrechner-Ergebnissen auf programmierbare Hardware: die "parallele Kamera"

Prof. Urbanek und Stefan May
elsys, Fachbereich efi, FH-Nürnberg

Der folgende Beitrag stellt wesentliche Ergebnisse des KONWIHR-Projekts "FPGA" anhand eines Beispiels dar. Es wird gezeigt, wie sich Simulationsergebnisse vom Großrechner direkt auf programmierbare Hardware (FPGA := Field Programmable Gate Array) übertragen lassen. Als Demonstrator wurde von Prof. Urbanek und Stefan May eine "parallele Kamera" mit einem FPGA als Kernstück entwickelt, auf der sich die theoretischen Ergebnisse praktisch überprüfen lassen.

Bei der Entwicklung elektronischer Systeme wird heutzutage die Implementierungsphase häufig zweifach durchlaufen. Die erste Implementierung umfasst die Simulation der Funktionalität auf einem entsprechend großen Rechner. Dies bietet große Flexibilität und die nötige Rechenleistung, die für den Test von Algorithmen in kurzer Zeit erforderlich ist. Parallele Verarbeitung spielt dabei eine entscheidende Rolle. Zur Optimierung der hohen Performance-Anforderungen des Zielsystems werden Simulationen mit unterschiedlichen Parameterwerten durchgeführt. Dadurch lässt sich die Laufzeit der Algorithmen deutlich verringern. Ist der optimale Algorithmus gefunden, so musste bisher zur Portierung eine Neuentwicklung in einer anderen Programmiersprache (i.A. VHDL) erfolgen.

Motivation

Die zweifache Implementierung stellt eine Vorgehensweise dar, welche zusätzliche Entwicklungszeit benötigt. Ideal wäre es, den implementierten Algorithmus direkt einzusetzen und dabei ebenfalls dessen Parallelität nutzen zu können. Neueste Entwicklungen von Hochsprachen, wie Handel-C, setzen genau hier an. Der Grundwortschatz orientiert sich an der Programmiersprache C. Darüber hinaus bietet sie Konstrukte, welche eine Parallelisierung von Algorithmen erlauben.

Ziel der Untersuchung

Es sollte untersucht werden, wie eine Portierung von parallelen C-Algorithmen unter Verwendung der OpenMP-Bibliothek nach Handel-C möglich ist. Als Referenzanwendung dient hier eine Problemstellung aus der Bildverarbeitung. Dazu wurde eine Kamera entwickelt, welche die gesamte Bildverarbeitung direkt in einem FPGA durchführt, ohne dass ein PC zur Auswertung benötigt wird. Das Bildverarbeitungssystem von der Größe einer Visitenkarte erhielt den Namen "Parallele Kamera", da die Auswertung direkt in ihrer parallelen Form erfolgt und nur noch die Ergebnisse der Bildverarbeitung über einen seriellen Standardbus ausgegeben werden. Die Referenzanwendung sollte eine einfache Verkehrszeichenerkennung durchführen können.

OpenMP und Handel-C

OpenMP erweitert die sequentiellen Sprachen um Konstrukte zu SIMD-Programmierung (single instruction stream - multiple data stream) und zur Aufteilung von Rechenarbeit sowie zur Synchronisation und zur Deklaration der Gültigkeitsräume von Variablen. Es lässt sich zeigen, dass mit einigen Transformationen die Konstrukte leicht nach Handel-C portierbar sind.

hybriden Programmieren mit Shared Memory (OpenMP) und Message Passing (MPI). Beim abschließenden Empfang im Foyer wurde einer der drei begährten **Golden Spike Awards** für Projekte mit hervorragenden Ergebnissen und Methodik der Bauinformatikerin Petra Hardt (TU München) verliehen. Sie hatte am Nachmittag eine äußerst anschauliche Darstellung ihrer Arbeiten zur *Kopplung des HLRB mit der Virtual-Reality-Station am LRZ* im Rahmen des KONWIHR-Projekts VISimLab gegeben. (<http://www.hlrz.de/userprojects/awards.html>)

Die momentane und zukünftig geforderte Leistung der Maschinen war bei allen Diskussionen zu den Vorträgen ein wichtiges Thema, handelt es sich doch bei einem solchen Statusseminar immer auch darum einen Überblick zu bekommen, wie zukünftige Höchstleistungsrechner ausgelegt werden müssen, um den Anforderungen der Spitzenforschung zu genügen. Nach wie vor könnten viele Projekte ein Vielfaches (d.h. z.B. bei der Krebs- und Genomforschung ein Tausendfaches) der momentan vorhandenen Rechenleistung nutzen. Wichtig dabei ist auch ein skalierendes Verbindungsnetzwerk innerhalb der Maschine. Bei vielen Projekten steigt außerdem der Speicherbedarf mit größeren Aufgabenstellungen sehr stark an. Und mit den immer größeren Datenmengen, die die Simulationen produzieren, wachsen die Anforderungen an die Bandbreite des externen Netz-Anschlusses, um die berechneten Ergebnisse überhaupt aus der Maschine heraus ins Institut oder ins Archivsystem zu bekommen. Für Spitzenforschung werden also auf absehbare Zeit auch weiterhin Spitzenrechner zur Verfügung stehen müssen.

ralf.ebner@lrz-muenchen.de

Jubiläumskurs zum Vormerken ...

Kurzlehrgang NUMET 2004

Numerische Methoden zur Berechnung von Strömungs- und Wärmeübertragungsproblemen 8. – 11. März 2004

Aufgrund des großen Interesses am Kurzlehrgang NUMET 2002 wird der Lehrstuhl für Strömungsmechanik der Universität Erlangen-Nürnberg auch im Jahr 2004 den CFD-Kurs in einer aktualisierten Fassung anbieten (10. Jubiläum).

Der Lehrgang gibt in 21 einstündigen Vorlesungen, ergänzt durch Computerdemonstrationen, eine Einführung in moderne Techniken der numerischen Strömungsmechanik. Zu den Vortragenden zählen anerkannte Experten wie z.B.:

- Prof. Dr. Dr. h.c. F. Durst (LSTM Erlangen),
- Dr. Ing. F. Menter (AEA ANSYS CFX, Otterfing),
- Prof. Dr. M. Peric (CD Adapco, Nürnberg),
- Prof. Dr. M. Schäfer (TU Darmstadt),
- Prof. Dr. R. Lerch (Uni Erlangen-Nürnberg),
- Prof. Dr. H.-J. Bungartz (Universität Stuttgart).

Die Vorlesungen werden in deutscher Sprache gehalten. Nähere Informationen einschließlich des gesamten Programms finden Sie auf der NUMET 2004 Homepage unter

www.lstm.uni-erlangen.de/numet2004

Über Ihren Besuch (nicht nur auf) unserer Homepage würden wir uns freuen.

c/o PD Dr.-Ing. M. Breuer
numet2004@lstm.uni-erlangen.de

Der Lehrstuhl für Bauinformatik der TU München entwickelt mit Unterstützung des Leibniz Rechenzentrums München (LRZ) eine interaktiv steuerbare Applikation zur Strömungssimulation. Ziel des Projektes ist, die Strömung in CAD-generierten virtuellen Innenräumen zu simulieren, z.B. als Hilfsmittel bei Planung und Entwurf hinsichtlich der Klimatisierung von Innenräumen. Dabei soll es möglich sein, während der Laufzeit durch die Veränderung von Geometrie und Randbedingungen in die Simulation einzugreifen. Um die Interaktivität der Simulation zu gewährleisten, muss die Berechnung der Strömungssimulation in Echtzeit und daher auf einem Höchstleistungsrechner wie der Hi-Tachi SR8000 am LRZ erfolgen. Zur Visualisierung in einer Virtual Reality (VR) Umgebung wird eine leistungsfähige SGI Grafik-Workstation an einer Zweiflächen-Stereoprojektionsanlage verwendet, die es ermöglicht, die oft komplexen Strömungsverhältnisse einer CFD-Simulation in 3D zu analysieren und damit den Planungsprozess im Bauwesen hinsichtlich fluid-dynamischer Aspekte zu unterstützen.

Man spricht von interaktiver Simulation, wenn es einem Benutzer mittels einer grafischen Schnittstelle ermöglicht wird, während der laufenden Berech-

nungen in die Simulation einzugreifen, d.h. Einstellungen zu verändern und Zwischenergebnisse zu visualisieren. Für die Simulation von Innenraumströmungen bedeutet diese Interaktion, dass Strömungsrandbedingungen und die Geometrie des Strömungsgebiets während der Berechnung verändert werden können und die Reaktion des Strömungsfeldes unmittelbar sichtbar wird. Um die dafür notwendige, reaktionsnelle Interaktion zu gewährleisten, ist es von wesentlicher Bedeutung, die beteiligten Hardwaresysteme (Grafik-Workstation und Hochleistungsrechner) effizient aneinander zu koppeln [MWL99]. Dies bedeutet, dass einerseits Daten (Geometrie- und Steuerparameter) von der Visualisierung an die Simulation und andererseits Ergebnisdaten von dort an die Visualisierung sehr schnell übertragen werden müssen.

Auf der Simulationsseite wurde daher ein Kommunikations- und zugleich Sammelknoten implementiert, der die (für den Hochleistungsrechner) zeitaufwändige Kommunikation zur Visualisierung nach außen übernimmt, so dass die Berechnungsknoten während dessen weiterrechnen können. Der Kommunikationsknoten hat außerdem die Funktion, die vom Benutzer veranlasste Modifikation am Berechnungsgitter durchzuführen und diese Informationen an die betroffenen Simulationsknoten weiterzusenden. So können die Rechenknoten nahezu ununterbrochen Simulationsergebnisse produzieren, die in frei wählbaren Zeitintervallen an den Kommunikationsknoten gesendet werden. Unabhängig von dieser Ergebnisaktualisierung wird in kurzen Abständen geprüft, ob eine Änderung der Steuerparameter vorliegt (Randbedingungs- oder Geometrie-Veränderungen) und gegebenenfalls die

Neben der Unterbindung von turbulenten Strömungen ist die kontrollierte Erzeugung von Turbulenz von großer Bedeutung. Es ist aber bekannt, daß in einem Kanal mit glatten Wänden eine turbulente Strömung bei einer Reynoldszahl unterhalb von 2200 (gebildet mit der ganzen Kanalhöhe und der Geschwindigkeit in der Kanalmitte) nicht dauerhaft existieren kann. Dies ist durch die Theorie sowie experimentelle und numerische Untersuchungen hinlänglich belegt.

Zielsetzung unserer Untersuchungen war deshalb die Aufdeckung von Mechanismen die zur Entstehung und Erhalt von turbulenten Strömungen bei sehr kleinen Reynoldszahlen führen. Dies erfolgte mittels direkter numerischer Simulation unter Verwendung des Lattice-Boltzmann Verfahrens, das im KONWIHR-Projekt BESTWIHR Eingang in den Strömungslöser BEST gefunden hat. Auf den glatten Wänden eines ebenen Kanals wurden zweidimensionale Rauigkeitselemente mit regelmäßigem Abstand senkrecht zur Hauptströmungsrichtung angebracht. Das Rechengitter bestand aus 20 Mio. Punkten und wurde so gewählt, daß alle relevanten Skalen aufgelöst werden. In Hauptströmungs- und Spannweitenrichtung kamen periodische Randbedingungen zum Einsatz.

In dieser Konfiguration wurden mehrere tausend integrale Zeiteinheiten bei einer Reynoldszahl von $Re \simeq 940$ simuliert. Die Ergebnisse bestätigen die Selbsterhaltung einer solchen Strömung. Für die Turbulenzgrade in der Kanalmitte und an der Wand findet man Ergebnisse,

die mit typischen Werten für die vollentwickelte Kanalströmung von glatten Wänden übereinstimmen.

Die Strömung wird im Wesentlichen durch die Verhältnisse an der Wand dominiert. Das legt die Selbstähnlichkeit der Statistiken nahe, wenn man sie mit den inneren Variablen skaliert. Die Bilanz der kinetischen Energie zeigt, daß die Strömung nicht im Gleichgewicht ist. Die Produktion ist größer als die viskosen Dissipation. Das momentane Geschwindigkeitsfeld weist ungeordneten, quasi-periodische Strukturen auf, die sich weiterhin im Wesentlichen in Hauptströmungsrichtung erstrecken (siehe Abb. 1). Ferner zeigen die Daten, daß die Komponente der Geschwindigkeitsfluktuation in Hauptströmungsrichtung durch die Rauigkeitselemente in ihrer Entwicklung behindert wird. Dagegen wird die Komponente in Spannweitenrichtung so verstärkt, daß sie in unmittelbarer Wandnähe ebenso stark ansteigt, wie die Komponente in Hauptströmungsrichtung. Dadurch wird auch die Entstehung hoher Anisotropie in Wandnähe unterbunden, die ein Kennzeichen von wandgebundener Turbulenz entlang glatter Wände bei kleinen Reynoldszahlen ist. Dies legt den Schluß nahe, daß der Hauptmechanismus für die Selbsterhaltung von Turbulenz bei sehr kleinen Reynoldszahlen die Verringerung der Anisotropie in den Geschwindigkeitsfluktuationen nahe an der Wand ist.

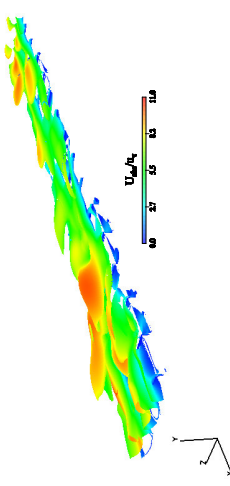


Abbildung 1: Isofläche der Wirbelstärke.

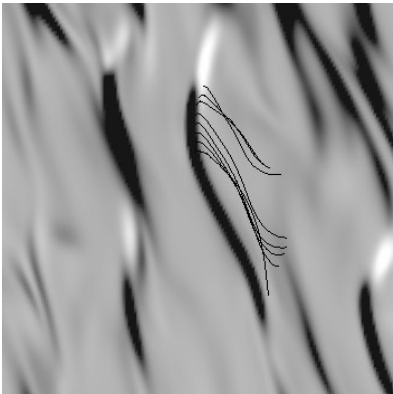


Abbildung 2: Produktion P_e ,
weiß/schwarz: neg./pos. Werte



Abbildung 3: Destruktion Y_e ,
weiß/schwarz: niedrige/hohe Werte

Man kann auch einfacher sagen: Durch Reibung am Rand der Wirbel wird die Wirbelstärke reduziert.

Die besonders kleinskaligen Strukturen von Y_e stellen hohe Ansprüche an die räumliche Auflösung. Die Strukturen sind doppelt so fein wie die Strukturen von $\sqrt{\omega_i \omega_i}$. Wegen der deshalb notwendigen feinen Rechengitter sind Simulationen nur auf Großrechnern möglich. Für die Simulationen homogener Scherturbulenz und ebener Kanalströmung wurden bis zu $45 \cdot 10^6$ Gitterpunkte benötigt. Das ergibt mit dem verwendeten Strömungscode und bei einer Performance von 1,85 GFlops/Knoten auf der

HITACHI SR8000 einen Hauptspeicherbedarf von 43 GB und einen Rechenzeitbedarf von 1250 CPU s/Zeitschritt. Nur durch starke Parallelisierung konnten akzeptable Rechenzeiten erreicht werden.

Mit diesem in Anbetracht der eigentlich einfachen Strömungsfälle großen Aufwand war es möglich, die Terme mit ausreichender Genauigkeit zu ermitteln. Maß für die Genauigkeit ist der Fehler in der ϵ -Transportgleichung. Für die durchgeführten Simulationen homogener Scherturbulenz bei zwei unterschiedlichen Scherraten und ebener Kanalströmung mit $Re_\tau = 180$, war der Fehler, normiert mit Y_e , stets kleiner 3%. Die Simulation ebener Kanalströmung mit $Re_\tau = 550$ läuft noch.

Die gewonnenen Daten bestätigten die Modellannahmen von Jovanović für wandgebundene Strömungen. Bei homogener Scherturbulenz traten in der ϵ -Transportgleichung deutliche Unterschiede zwischen DNS und Modell auf. Mit Hilfe der im Laufe des nächsten Jahres neu erzeugten Daten für die Mischungs-schicht hofft man, diesen Unterschied erklären zu können und das Turbulenzmodell weiter zu verbessern, so dass es am Ende in der Lage ist, verschiedene Klassen von Strömungen zuverlässig vorherzusagen.

- [1] T. Gerz, J. Howell, and L. Mahrt. Vortex structures and microfonts. *Phys. Fluids*, 6(3):1242–1251, March 1994.
- [2] Jovan Jovanović. *The Statistical Dynamics of Turbulence*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 2004.
- [3] N.N. Mansour, J. Kim, and P. Moin. Reynolds-stress and dissipation-rate budgets in a turbulent channel flow. *J. Fluid Mech.*, 194:15–44, 1988.
- [4] Michael M. Rogers and Parviz Moin. The structure of the vorticity field in homogeneous turbulent flows. *J. Fluid Mech.*, 176:33–66, 1987.



Abbildung 1: In dieser Abbildung wird der prinzipielle Datenfluss zwischen Holobench als Visualisierungs-Client und der Hitachi SR8000 auf der Simulationsseite gezeigt: In regelmäßigen Abständen wird die Änderung der Steuerparameter, Randbedingungen und Geometriedaten geprüft und gegebenenfalls vom VR-Interface zum Höchstleistungsrechner übertragen. Die Ergebnisse werden in benutzerdefinierten Zeitabständen an die Visualisierungskomponente gesendet. Dieser Kreislauf des Datenaustausches wird über die gesamte Laufzeit der Simulation fortgesetzt.

entsprechende Information übertragen. Mit diesem “Computational Steering-Konzept” (vgl. Abb. 1) ist es gelungen, die Antwort auf Geometrieänderungen schon bei der nächsten Bildaktualisierung auf der Visualisierungsseite zu erhalten. Der Gleichgewichtszustand der dann aktuell vorliegenden Fluidkonfiguration wird innerhalb weniger Sekunden erreicht [KHKR03].

Wie schon erwähnt, erfolgt die 3D-Darstellung der Simulationsergebnisse auf einem separaten Visualisierungsrechner, der auch das Interface zur Steuerung der Simulation durch den Benutzer zur Verfügung stellt. Die Vorteile der immersiven virtuellen Welt, d.h. intuitive Simulationssteuerung und anschaulichere 3D-Datenvisualisierung, erleichtern das Verstehen der oft komplexen Strömungsstrukturen erheblich ([KHKR03],[Kue03]).

Zur Datenvisualisierung des Fluids werden gängige Standarddarstellungen wie Stromlinien, Schnittebenen und Vektoren unterstützt. Die von der Holobench mittels Stereoprojektion erstellte 3D-Ansicht kann mit einer Shutter-Brille betrachtet werden, wobei die Ansicht entsprechend der momentanen Blickrichtung und Kopfbewegung des “Hauptbetrachters” angepasst wird (Headtracking).

Um mit der dargestellten Szene zu interagieren (Selektion von Objekten, Menübedienung und 3D-Navigation), steht dem Anwender ein 3D-Stift (Polhemus Stylus) zur Verfügung. Der Benutzer kann damit während der laufenden Simulation die Strömungsgeometrie oder die Randbedingungen verändern. Ebenso können Strömungshindernisse entfernt, verschoben oder skaliert werden. Die bislang unterstützten geometrischen Grundkörper wie Kugel, Zylinder

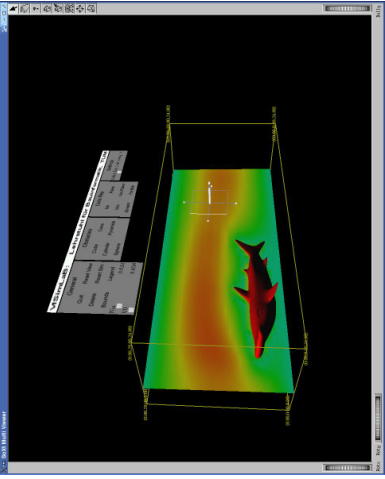


Abbildung 2: Als Beispiel einer komplexen CAD-generierten Geometrie wurde hier ein Hammerhai in das Fluidgebiet eingebracht.

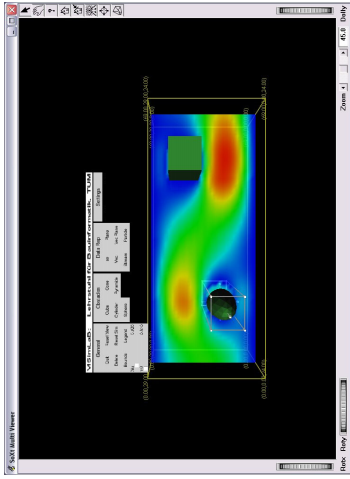


Abbildung 3: Desktop-Version der interaktiven Applikation: Da nicht überall eine Virtual Reality Umgebung zur Verfügung steht, wurde zusätzlich eine Desktop-Variante entwickelt. Abgesehen von der unterschiedlichen 3D-Navigation verfügen beide Versionen über dieselbe Funktionalität. Außerdem ermöglicht dieses "Frontend" ein schnelles Testen der Applikation am gewohnten Arbeitsplatz während der Entwicklungsphase. In der Abbildung ist ein Strömungskanal zu sehen, in den während der Laufzeit zwei einfache Objekte eingebracht wurden. Die Schnittebene durch das Strömungsgebiet zeigt die Geschwindigkeitskomponente in x-Richtung.

*<http://www.hlr.de/organization/pds/projects/pacx-mpi/>

linder und Quader wurden kürzlich um beliebige CAD-generierte Objekte erweitert (Abb. 2). Veränderungen am geometrischen Modell oder an den Strömungsparametern werden via Pacx-MPI* zum Höchstleistungsrechner übertragen. Zusätzlich zur VR-Variante wurde eine Desktop-Version (lauffähig unter Windows und Linux) implementiert (siehe auch Abb. 3), um die CFD-Simulation auch vom gewohnten Arbeitsplatz aus steuern zu können.

Die auf dem Supercomputer laufende Simulation wird mittels der Lattice-Boltzmann-Methode berechnet [Kra01]. Dieses Verfahren ist ein moderner Ansatz zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens von Fluiden, das sich insbesondere sehr effizient parallelisieren lässt. Auf der Hitachi SR8000 lassen sich dabei drei Ebenen der Parallelisierung ausnutzen: MPI- und SMP-Parallelisierung, sowie Vektorisierung. Mithilfe von MPI werden die Berechnungsteilgitter aus einer Gebietszerlegung (z.B. entlang der x-Achse) auf die einzelnen Knoten der Hitachi SR8000 verteilt. Innerhalb eines solchen Berechnungsgebietes wird die COMPAS SMP-Parallelisierung entlang der y-Achse zur Nutzung der jeweils 8 CPUs pro Knoten verwendet. Schließlich wird entlang der z-Achse Pseudovektorisierung angewandt — hierunter versteht man die parallele Ausnutzung des großen Registersatzes dieser Rechnerarchitektur. Der Simulationskernel skaliert unter den angewandten Parallelisierungsmethoden sehr gut (vgl. Abb. 4) und erlaubt daher sogar die interaktive Simulation bei größeren Datensätzen.

Im weiteren Verlauf des Projekts sollen zusätzliche Interaktionsmöglichkeiten (Veränderung von Ein- und Ausström-

Wirbelstärke $\sqrt{\omega_i \omega_i}$ an der Oberseite von nach oben getragenen langsamen Fluid. Die zusätzlich eingezeichneten Wirbellinien weisen in einem Schnitt entlang der eingezeichneten um 36° geneigten weißen Geraden die typische Hufeisenform auf ([1],[4]), s. Abb. 1 unten.

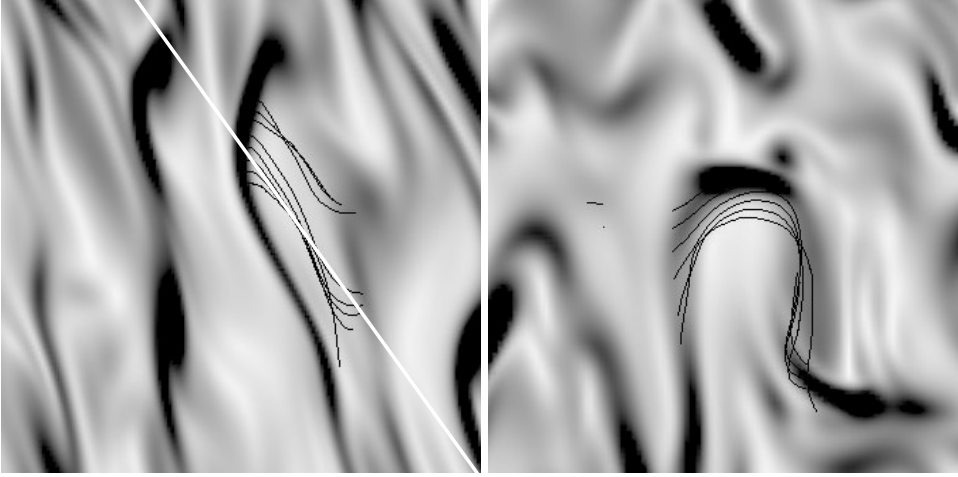


Abb. 1: Wirbelstärke $\sqrt{\omega_i \omega_i}$, weiß/schwarz: niedrige/hohe Intensität. Zusätzlich sind Wirbellinien eingezeichnet. Oben: Schnitt in spanntreuer Richtung, unten: Schnitt entlang der weißen Linie der oberen Abbildung.

[†]Die Definition der Terme findet sich in [3]. Die dort zusätzlich aufgeführten Terme entfallen hier, sie resultieren aus der Aufteilung der Variablen in mittlere Größen und Schwankungswerte.

Die Transportgleichung $\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = P_\epsilon^4 + \Pi_\epsilon + D_\epsilon - Y_\epsilon$ enthält folgende Terme auf der rechten Seite: Produktion, Drucktransport, Diffusion und Destrution [†]. Im Folgenden werden die Produktion und die Destrution betrachtet. Sie tragen zur Gesamtbilanz bei, Drucktransport und Diffusion verteilen nur.

Der Produktionsterm P_ϵ^4 entspricht dem Wirbelstreckmechanismus, der Länge und Krümmung von Wirbellinien verändert. Wird ein Wirbel entlang seiner Achse gedehnt, wird er also länger und dünner, dann bewegt sich das rotierende Fluid auf die Wirbelachse zu, es wird also das Trägheitsmoment des Wirbels verringert. Da der Drehimpuls erhalten bleiben muss, erhöht sich die Rotationsenergie entsprechend der bei der Wirbelstreckung geleisteten Arbeit. Wirbelstreckung ist der umgekehrte Vorgang: Der Wirbel wird breiter und seine Rotationsenergie nimmt ab.

Wirbelstreckung kann nur dort stattfinden, wo Wirbelstärke bereits vorhanden ist. Die Momentanfelder von P_ϵ^4 und $\sqrt{\omega_i \omega_i}$ (Abb. 2 und 1) sehen sich daher sehr ähnlich. Der größte Unterschied ist, dass P_ϵ in Zonen von Stauchung, so z.B. am rechten Ende der Struktur, auch negative Werte annehmen kann. Dies geschieht allerdings viel seltener als die Wirbelstreckung.

Die produzierte Varianz der Wirbelstärke wird zum größten Teil vernichtet durch die Destrution Y_ϵ . Abb. 3 zeigt, dass diese an den Rändern der Wirbelstrukturen sehr hoch ist. Dort diffundiert aufgrund der hohen Gradienten Wirbelstärke in die Umgebung der Wirbel, Unterschiede in der Wirbelstärke werden eingeebnet. Dies verringert die Varianz der Wirbelstärke.

Simulation turbulenter Strömungen II

Über charakteristische Strömungsstrukturen, die zur Dissipation kinetischer Turbulenzenergie beitragen

Johannes Kreuzinger, Rainer Friedrich
FG Strömungsmechanik, TU München

Im Rahmen des KONWIHR-Projektes DiSiGVT wurden direkte numerische Simulationen (DNS) turbulenter Strömungen durchgeführt, um eine Datenbasis für die Validierung der Modellannahmen eines neuen Turbulenzmodells zu erzeugen, das von Jovanović am LSTM der Universität Erlangen-Nürnberg entwickelt wurde [2]. Es basiert auf der Invariantentheorie und der Zweipunktkorrelationstechnik. Zur Validierung werden alle Terme in den Transportgleichungen der Reynoldsspannungsgen $u_i' u_j'$ und der turbulenten Dissipationsrate $\epsilon = \mu \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \frac{\partial u_i'}{\partial x_j}$ benötigt. DNS kann diese Werte liefern, allerdings nur für einfache Modellströmungen, sogenannte “kanonische Strömungsfälle”, und bei relativ niedrigen Reynoldszahlen ($O(10^4)$). Die Terme der Reynoldsspannungstransportgleichungen wurden in der Literatur bereits häufig ausgewertet. Anders steht es mit den Termen der Transportgleichung der Dissipationsrate. Hier sind nur wenige Daten zugänglich, mit teilweise nicht ausreichender Genauigkeit. Einige Terme, die bei der Formulierung der Transportgleichung für den homogenen Anteil von ϵ auftreten, wurden noch nie ausgewertet.

Um diese Lücken in den vorhandenen Datenbasen zu schließen, wurden Simulationen homogener Scherturbulenz und ebener Kanalströmung durchgeführt, Simulationen der ebenen Mischungsschicht sind für nächstes Jahr geplant.

Die genaue Bestimmung der Terme der ϵ -Transportgleichung erfordert feinere Rechengitter, als sie normalerweise bei DNS üblich sind. Dies lässt sich anhand der räumlichen Verteilung der einzelnen Terme in einer typischen Wirbelstruktur in homogener Scherturbulenz zeigen. Dazu werden Momentanfelder der zwei bestimmenden Terme betrachtet. Zusätzlich wird noch eine physikalische Interpretation gegeben. Denn, obwohl die ϵ -Transportgleichung allein durch Differenziation und algebraische Umformungen der Impulstransportgleichungen gebildet wird, lassen sich die einzelnen entstehenden Terme anschaulich erklären.

Bei der Betrachtung von Strukturen ist die Aufteilung in Mittel- und Schwankungswerte im Allgemeinen irreführend. Eine Wirbelstruktur besteht aus beiden Anteilen. Es empfiehlt sich daher, beide gemeinsam, d.h. den Momentanwert, zu betrachten. Außerdem werden, da es sich um Momentanfelder handelt, keine Mittelwerte mehr gebildet. Es gilt also im Folgenden: $(\cdot)' \rightarrow (\cdot)$ und $(\cdot) \rightarrow (\cdot)$. So geht z.B. $\epsilon = \mu \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \frac{\partial u_i'}{\partial x_j}$ in $\epsilon = \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$ über.

Anstelle von ϵ kann man auch $\omega_i \omega_i$, die Varianz der Wirbelstärke, betrachten, die einfacher zu interpretieren ist. Die Terme sind zwar nicht identisch, jedoch sind die Momentanfelder (abgesehen von dem konstanten Faktor μ) beinahe nicht zu unterscheiden. Dasselbe gilt für die entsprechenden Transportterme.

Abb. 1 oben zeigt die Wirbelstärke in einem Schnitt senkrecht zur spannungsweiten Richtung. Oben geht die Strömung nach rechts, unten nach links. Gezeigt ist ein Viertel des Berechnungsgebietes in vertikaler und ein Achteil in horizontaler Richtung. Die Struktur in der Mitte des Bildes ist eine gekrümmte Fläche hoher

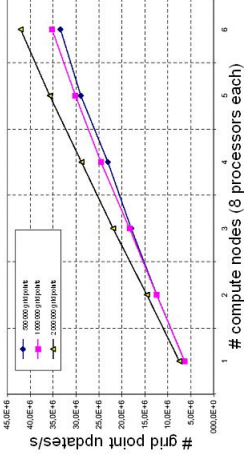


Abbildung 4: Leistungsmessung und Skalierung: Der Graph zeigt eine gute Skalierung des Problems auf der Hitachi SR8000, die auf die Parallelisierung über drei Ebenen (Vektorisierung, MPI- und SMP-Parallelisierung) zurückzuführen ist. Die Graphen wurden für unterschiedliche Gittergrößen gemessen und zeigen, dass sich die Parallelisierung über SMP und Vektorisierung noch mehr lohnt, je größer die Berechnungsgitter sind.

bedingungen) implementiert, eine größere Auswahl an VR-Geräten zur Steuerung der Applikation eingesetzt und beliebig geformte Fluid-Volumen ermöglicht werden. Außerdem wollen wir den Berechnungskern der Applikation um ein Turbulenzmodell erweitern, um realistische Szenarien für Innenraumströmungen zu simulieren.

Danksagung: Das Projekt ViSimLab (Virtual Reality basierte, interaktive Strömungssimulation mit der Lattice-Boltzmann Methode) wird durch das KONWIHR-Programm finanziert. Weiterer Dank geht an Prof. Manfred Krafczyk (Lehrstuhl für Computernwendungen im Bauwesen, TU Braunschweig) und Siegfried Kühner (Lehrstuhl für Bauinformatik, TU München) für die Arbeit und Unterstützung im Projekt, sowie Oliver Wenisch (LRZ München) für die Unterstützung bei speziellen Anpassungen an die VR-Umgebung und die Hitachi SR8000.

Literatur

[KHKR03] Kühner, S., Hardt, P., Krafczyk, M., Rank, E.: Computational Steering of a Lattice-Boltzmann based CFD-Solver in Virtual Reality, Proceedings of Conference on Construction Applications of Virtual Reality, Virginia, USA (2003)

[KK002] Kühner, S., Krafczyk, M.: Virtual Fluids - An environment for integral visualization of CAD and simulation data, Proceedings of 5th international fall workshop “Vision, Modeling and Visualization 2000”, Saarbrücken, Germany (2000)

[Kue03] Kühner, S.: Virtual Reality basierte Analyse und interaktive Steuerung von Strömungssimulationen im Bauingenieurwesen. PhD Thesis, Lehrstuhl für Bauinformatik, TU München (submitted)

[Kra01] Krafczyk, M.: Gitter-Boltzmann Methoden: Von der Theorie zur Anwendung, Professorial dissertation, LS Bauinformatik, TU München (2001)

[MWL99] Mulder, J. D., Wijk, J. van, Liere, R. van: A Survey of Computational Steering Environments, Future generation computer systems, 15(2), (1999)

Beim Stuttgarter HLRS/HLRB Workshop im Oktober (vgl. Seite 3) wurden durch den HLRS Lenkungsausschuss auch dieses Jahr wieder “Golden Spike Awards” für die drei besten Projekten vergeben. Frau Wenisch hat einen **“Golden Spike Award”** für das hier beschriebene Projekt und Ihren Vortrag mit dem Thema “Interactive CFD Simulations by Coupling Supercomputers with Virtual Reality” erhalten.

KONWIHR und das Quartl gratulieren!

Probleme bei wandnahen direkten numerischen Berechnungen turbulenter Kanalströmungen

F. Durst, K.N. Beronov, R. Volkert,
LSTM-Erlangen

Vor einiger Zeit berichteten Moser und Kim mit Kollegen [1] über Ergebnisse direkter numerischer Simulationen turbulenter Kanalströmungen. Die bereitgestellten Daten ergaben einen sehr guten Einblick in die Eigenschaften wandnaher Turbulenz und ermöglichten verlässliche Anwendungen der errechneten Ergebnisse, um Annahmen in Turbulenzmodellen zu überprüfen. Die Daten aus den direkten numerischen Simulationen derse Autoren brachten einen wirklichen Fortschritt im Verständnis der Transportvorgänge in wandnahen turbulenten Strömungen. Die in [1] beschriebene Simulationsergebnisse wurden in eine umfassende Datenbank zusammengefasst, die auch Momente höherer Ordnungen enthält. Unter den aus turbulenten Fluktuationen der Geschwindigkeitskomponenten berechneten Statistiken war auch F_v , das 4. normierte Moment (auch Flatness Factor oder Kurtosis genannt) von v , die Geschwindigkeitskomponente senkrecht zur Wand. Dabei bei gingen aus den Simulationsdaten sehr hohe Werte von F_v hervor. Frühzeitig wurde am LSTM-Erlangen darauf hingewiesen, dass Turbulenz mit solchen Kurtosis-Werten physikalisch nicht vorstellbar ist, und es wurde die Vermutung geäußert, dass in Wandnähe Genauigkeitsprobleme mit den numerischen Berechnungen der v -Komponente auftreten, falls dort nicht besondere Maßnahmen getroffen werden, um v -Fluktuationen in

wandnahen Strömungen verlässlich zu berechnen. Um die Notwendigkeit solcher Maßnahmen zu unterstreichen, wurden mit Unterstützung von Prof. R. Moser, Kim und Moin [1] wiederholt. Die Berechnungen ergaben, dass mit abnehmendem Gitterabstand die Kurtosiswerte in Wandnähe beachtlich ansteigen. Dies ist in Abbildung 1 zu sehen.

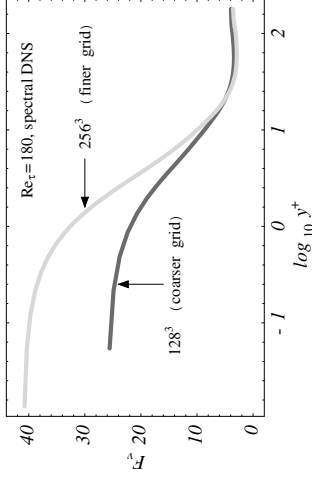


Abbildung 1: Voraussagen zweier numerischer Simulationen mit einem Pseudospektralverfahren jeweils verschiedener Auflösung, für die Abhängigkeit des Kurtosis F_v vom Wandabstand y^+ bei der Reynoldszahl $Re_\tau = 180$.

In einer Arbeit konnten Durst und Beronov [2] die Ursachen für die hohen v -Kurtosis-Werte herausarbeiten und aufzeigen, dass Formulierungen in den numerischen Berechnungsverfahren zu singulärem Verhalten der Gleichungen in Wandnähe führen. Die Arbeit zeigt, dass es die numerischen Probleme sind, die zu den hohen F_v -Werten in Wandnähe führen. Modellüberlegungen zu den Fehlern konnten angestellt werden, und aus den Ableitungen ging eine Beziehung hervor, die es ermöglicht, die hohen F_v -Werte vorherzusagen, die aus numerischen Berechnungen hervorgehen. Eine gute Modellierung von $F_v(y)$ -Profilen, die aus numerischen Simulationen mit verschiedenen Verfahren bei unterschiedlichen Reynoldszahlen erfolgen, ist schon

mit vier Modellparametern möglich, wie in Abbildung 2. Bei den Untersuchungen wurde sowohl theoretisch wie auch auf Grund einer Datenanalyse der Simulationsergebnisse festgestellt, dass die fehlerhafte v -Komponente weiter zu beträchtlichen Fehlern in den Statistiken anderer wichtiger Strömungskomponenten führt. Mit dem Erkennen des Problems sind die Grundlagen gelegt, um Lösungen zu suchen, die in Zukunft die Verlässlichkeit numerischer Berechnungen wandnaher Strömungen sichern können.

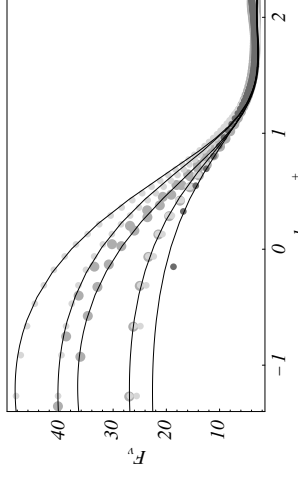


Abbildung 2: F_v -Profile aus Simulationen mit Lattice Boltzmann und Pseudospektralverfahren bei $178 \leq Re_\tau \leq 590$ werden durch eine 4-Parameter Näherung der geraden Momente von v mit $\log(y^+)^2$ -Polynomen modelliert.

Für die Mehrzahl von strömungsmechanischen Anwendungen z.B. in der Verfahrenstechnik, ist die erfolgreiche Modellierung und praktische Einschätzung von turbulenten Stoff- und Energietransportprozessen das Hauptziel. Dabei ist die hohe Auflösung und Qualität von Strömungsdaten in der unmittelbaren Wandnähe eine grundsätzliche Voraussetzung. Eine entsprechende umfassende Beschreibung der wandbehafteten Turbulenz ist nur durch einen komplexeren Einsatz von numerischen und experimentellen Verfahren zu erreichen, wobei direkte numerische Simulationen die Hauptrolle im wandnahen Bereich

spielen. Die Aufgabe, die Zuverlässigkeit solcher Simulationen zu gewährleisten, ist deshalb wichtig.

Literatur

- [1] J. Kim, P. Moin, R. Moser (1987) Turbulence statistics in fully developed channel flow at low Reynolds number, *J. Fluid Mech.* **177** 133–166, R. Moser, J. Kim, N.N. Mansour (1999) Direct numerical simulation of turbulent channel flow up to $Re_\tau = 590$, *Phys. Fluids* **11** 943–945, <http://www.tam.uiuc.edu/faculty/moser/channel/>
- [2] F. Durst, K.N. Beronov (2004) On the difficulties in resolving the viscous sublayer in wall-bounded turbulence, in R. Friedrich, B. Geurts, O. Métais (ed.s), *Direct and Large-Eddy Simulation V*, Proc. des 5 ERCOFTAC LES Workshop, Kluwer Acad. Publ.
- F. Durst, K.N. Beronov (2003) Errors in Predictions of Turbulent Cross-Flow Velocity Components in Wall-Bounded Channel Flows, eingereicht im *J. Fluid Mech.*

Frisch aus der Druckpresse ...



The Statistical Dynamics of Turbulence.
Joan Jovanović
Springer, 2004, ISBN 3-540-20336-2