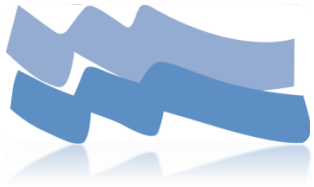
Hydrotec
Ingenieurgesellschaft für
Wasser und Umwelt mbH

Potenzial der NVIDIA Graphik Prozessoren (GPU) und der INTEL XEON Phi Coprozessor-Technik

Dr.- Ing. Hartmut Sacher und Dr. - Ing. Alpaslan Yörük

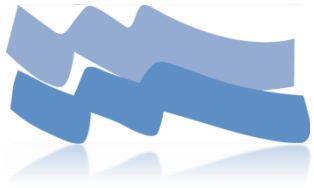
Gliederung



- Aktuelle und künftige Parallelisierung in Hydro_AS-2D
- Benötige Hardware
- Vergleich der Simulationsdauer für verschiedene Berechnungsbeispiele

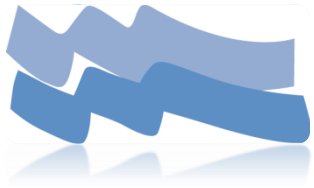
  Hydro_AS-2D 3.16 vs. Hydro_AS-2D GPU
- Hinweise und Fazit

Parallelisierung – Grundbegriffe und Hinweise



- Aktuelle Parallelisierung in Hydro_AS-2D 3.15
  - Erfolgt durch Compiler Optionen, die Intel Multicore-Architekturen unterstützen.
  - D.h., es werden mehrere Prozessoren für die Berechnung parallel genutzt.
- Parallelisierung in Hydro_AS-2D GPU
  - GPU-Parallelisierung – Unterstützung von Graphikprozessoren (NVIDIA)
  - Coprozessoren – Unterstützung von numerischen Coprozessoren (INTEL)
  - Eine Anpassung der Software (Berechnungscode) ist erforderlich.
  - Die Umsetzung wird gemacht, da die Parallelisierung gut machbar ist und deutliche Verkürzungen der Simulationsdauer möglich ist.
  - Die Aufgabe ist aber komplex und wird kontinuierlich weiter verfolgt.
- Anwenderhinweise
  - Es ist eine spezielle Hardware erforderlich.
  - Für den Coprozessor-Einsatz ist z.Z. ein Linux Betriebssystem erforderlich.
  - Es wird weiter eine „normale“ Hydro_AS-2D Version geben.

Parallelitätsmodelle

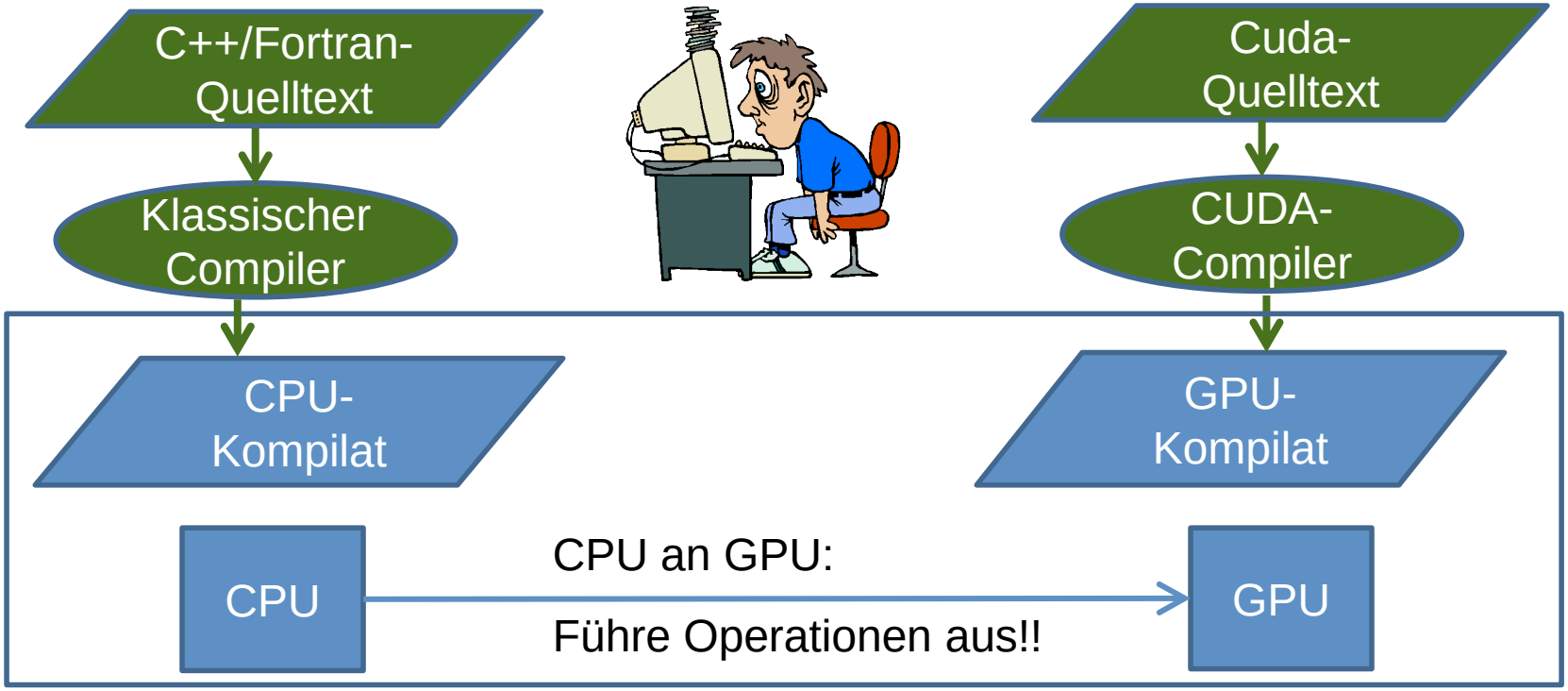


- MIMD: Multiple Instruction Multiple Data
  - Unabhängig agierende Prozessoren
  - Beste Auslastung bei unabhängigen Aufgaben
  - Bei Abhängigkeiten in Instruktionen: Synchronisation, Mutex (mutual exclusion),…
  - Realisiert in heutigen Rechnern mit mehreren Cores
  - Und seit ca. 2013 … auch in INTEL XEON Phi Coprozessoren

- SIMD: Single Instruction Multiple Data
  - Vektoroperationen: A[1:100000] = B[1:100000] + C[1:100000]
  - Beste Auslastung bei identischen Aufgaben
  - Parallelisiert „klassisches“ `for i= 1 .. n`
  - Berechnung durch Einsatz von Graphikprozessoren (GPU, NVIDIA)
  - Problem: `if-then-else` ist hochgeradig *nicht* SIMD;
    d.h., der GPU-Ansatz ist in Wahrheit komplex...

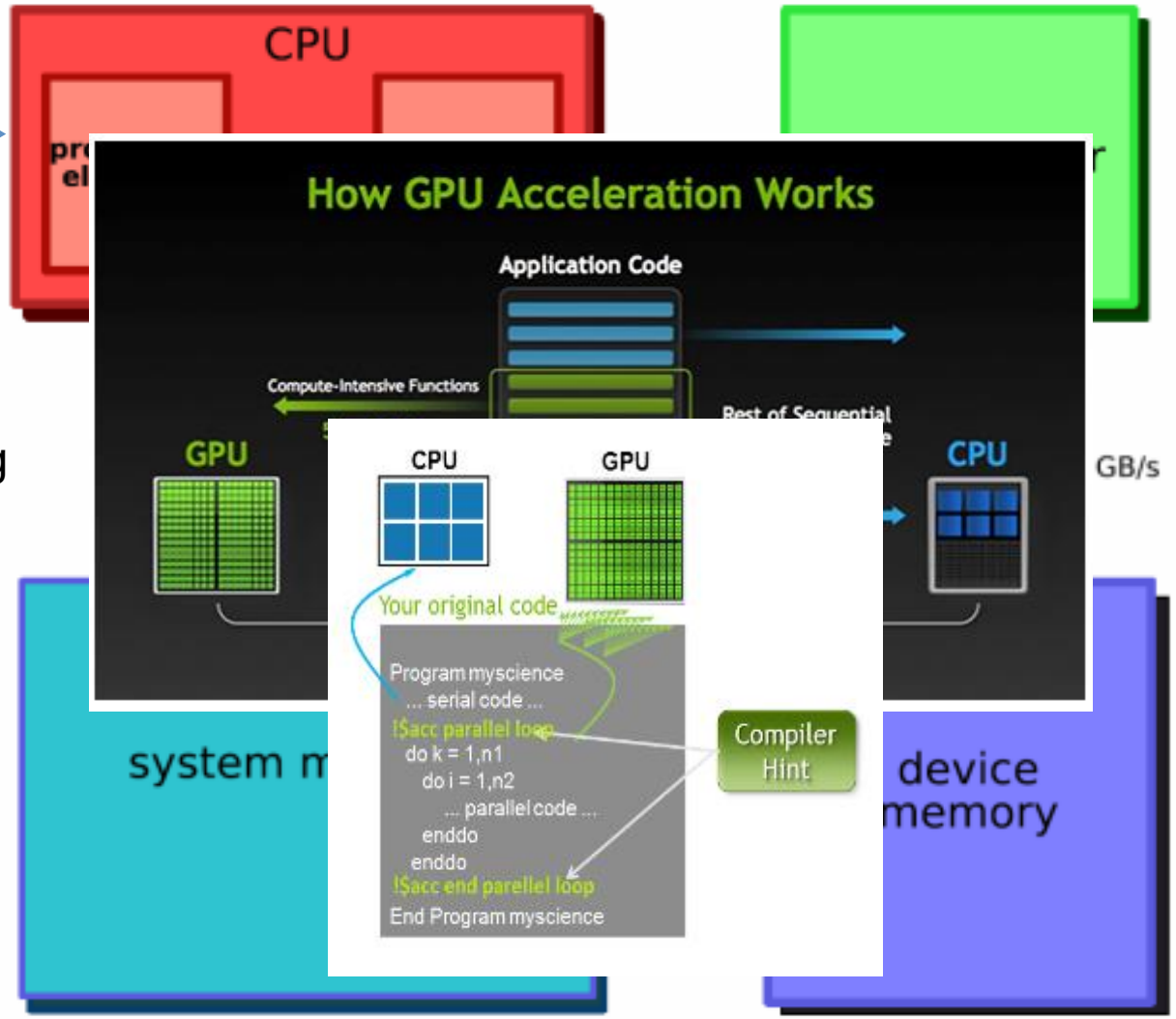
Wie programmiert man GPU?

- Spezielle Programmiersprachen
  - NVIDIA: CUDA (CUDA: Compute Unified Device Architecture) oder herstellerunabhängig: OpenCL
- GPU-Programmteile werden von CPU-Programm verwaltet und an die GPU „zur Berechnung“ übergeben



Wie funktionieren GPU im Rechner?

Rest der Welt



- CPU/GPU-Speicher
- GPU: keine Verbindung zum Rest der Welt
- Anweisungen: CPU -> GPU
- Speicherzugriffszeiten Coprozessor schnell

Simulations-Systeme unserer Tests

- Simulationsrechner Intel CPU (2x QuadCore)
- NVIDIA GPU Quadro K2000 (ca. 400 €)
- NVIDIA GPU Tesla K20m (ab ca. 3000 €)
- NVIDIA GPU Tesla K40 (ab ca. 5000 €)
- Unsere Testumgebung (4xK20): ca. 13.000 €

- Es sind auch mehrere GPU-Einheiten in einem Rechner möglich. Aber nur ein Rechenlauf pro GPU.

CPU-Simulation	GPU Quadro K2000	GPU Tesla K20	GPU Tesla K40
2x Intel® XEON® CPU E5620 @ 2.40GHz	1x Intel® XEON® CPU W3520 @ 2.67GHz	2x Xeon E5-2609 v2 @ 2.50GHz	2x Xeon E5-2660 v2 @ 2.50 GHz
8 GB RAM	2 GB RAM	5 GB RAM	12GB RAM
8 Cores	384 „Cores“	2496 „Cores“	2880 „Cores“

Berechnungsbeispiele - Modelle

- **Modell 1**: Dammbruch-Modell
  - A: 148.000 Knoten und Elemente
  - B: 590.000 Knoten und Elemente
- **Modell 2**: Kleineres Gewässer
  - 670.000 Knoten und 1,1 Mio. Elemente
- **Modell 3**: Gewässersystem (Rheinauen)
  - 1,35 Mio. Knoten und 2,63 Mio. Elemente (instationär)
- **Modell 4**: Großes Gewässer (Donauabschnitt)
  - 570.000 Knoten und 1,1 Mio. Elemente

	Nodes	Modellzeiten	Berechnungszeit CPU
Modell 1A	148185	17 Min	3 h
Modell 1B	589265	17 Min	15 h
Modell 2	668096	28 h	23 d
Modell 3	1349706	111 h	24 d
Modell 4	574751	17 h	26 h

Berechnungsbeispiele – Beschleunigung GPU

- Deutliche Beschleunigung der Rechenzeiten bei GPU Einsatz im Vergleich zu INTEL CPU
- Beschleunigung nimmt mit Anzahl GPU-Cores zu (Höhere Anzahl Graphikprozessoren bzw. Systemleistung)
- Beschleunigungsfaktor ist für alle Berechnungsmodelle unterschiedlich!

				Beschleunigungsfaktor		
	Knoten	**Modellzeiten**	**Berechnungszeit CPU**	**Quadro K2000**	**Tesla K20**	**Tesla K40**
Modell 1A	148185	17 Min	3 h	**20**	**35**	**41**
Modell 1B	589265	17 Min	15 h	**17**	**36**	**42**
Modell 2	668096	28 h	23 d	**6**	**13**	**17**
Modell 3	1349706	111 h	24 d	**5**	**11**	**12**
Modell 4	574751	17 h	4 d	**5**	**20**	**25**

Berechnungsbeispiele – Beschleunigung GPU

- Beschleunigung bei GPU Einsatz nimmt mit **Anteil benetzter Elemente** zu

		Beschleunigungsfaktor		
Test-Modelle	**Anteil benetzter Elemente [%]**	**K2000**	**K20**	**K40**
Modell 1A	**95**	**20**	**35**	**41**
Modell 1B	**95**	**17**	**36**	**42**
Modell 2	**54**	**6**	**13**	**17**
Modell 3	**25**	**5**	**11**	**12**
Modell 4	**30**	**7**	**19**	**21**

- Zusätzliche Rechenläufe Modell 4 im Vergleich zur CPU-Berechnung

			Beschleunigungsfaktor		
Weitere Tests Modell 4	**Anteil benetzter Elemente [%]**	**Berechnungs-zeit CPU**	**K2000**	**K20**	**K40**
Modell 4a HQ100	**30**	**4 d**	**5**	**20**	**25**
Modell 4b MQ	**5**	**1 d**	**5**	**19**	**21**
Modell 4c HQextrem	**52**	**6 d**	**7**	**26**	**30**

INTEL Xeon Phi Coprozessor

- Der XEON Prozessor ist der „Host“ für den Coprozessor, der mit der MIC (Many Integrated Core) Technologie arbeitet.
- Die Kommunikation läuft über den PCIe Bus, der Coprozessor läuft unter LINUX und kommuniziert mit dem PCIe Bus via TCP/IP.
- Ein Simulationsprogramm läuft also sowohl auf dem Host als auch als individueller Job auf dem Coprozessor. D.h., ein Coprozessor kann gleichzeitig mehrere Jobs verarbeiten.

Intel® Xeon Phi™ Coprozessoren

Die Intel Xeon Phi Coprozessoren bieten bis zu 61 Kerne, 244 Threads und 1,2 TeraFLOPS Leistung. Sie sind in verschiedenen Konfigurationen für unterschiedliche Hardware-, Software-, Workload-, Leistungs- und Effizienzanforderungen verfügbar.

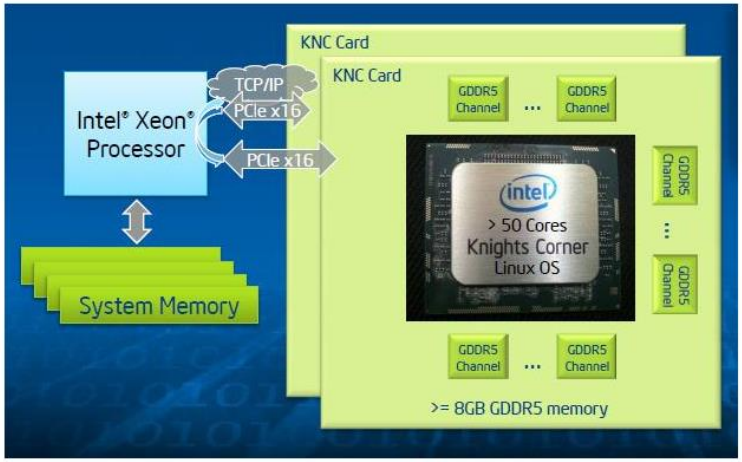
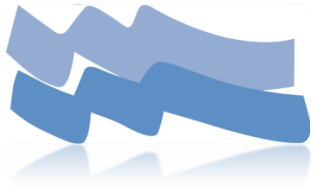


Figure 1. **The first generation Intel® Xeon Phi™ product codenamed “Knights Corner”**

INTEL Xeon Phi Coprozessor



- Unsere Testumgebung (ca. 4.500 €):

CPU-Simulation	INTEL XEON Phi Coprozessor
2x Intel® XEON® CPU E5-2609 @ 2.50GHz	1xINTEL Xeon Phi 3120P, 1.100 GHz
32 GB RAM	6 GB RAM
8 Cores	57 „Cores“

- 61 Kerne nicht gekoppelt mit der CPU, jeder Kern ist sehr leistungsfähig (x-faches von dem, was ein GPU-CUDA-Kern leistet).
- Die Software muss für die Coprozessor-Unterstützung angepasst werden.
- Daran arbeiten wir zur Zeit. D.h., wir können noch keine Aussage über die Simulationsdauern machen.

Bisheriges Fazit

- Der Einsatz einer GPU bringt deutliche Reduzierung der Simulationszeiten.
- Mehrere GPU in einem Rechner sind möglich. Mehrere Rechenläufe auf einer GPU sind nicht sinnvoll. Effizient ist z.Z. nur ein Rechenlauf je GPU.
- INTEL Coprozessor Technik werden wir weiter verfolgen; ggfs. sind je nach Anwendungsfall GPU oder Coprozessor schneller.

- Leistungsfähigere Hardware ist zu verwenden.
- 10 Mio. Knoten Netze? Dann muss ggfs. ein Gesamtmodell in einzelne Gebiete aufgeteilt werden (Performance SMS beachten).
- Ggfs. Umring testen für optimale Gebietsgröße.

Hydrotec
Ingenieurgesellschaft für
Wasser und Umwelt mbH

Potenzial der NVIDIA Graphik Prozessoren (GPU) und der INTEL XEON Phi Coprozessor-Technik

Dr.- Ing. Hartmut Sacher und Dr. - Ing. Alpaslan Yörük