



Interaktive und kollaborative parallele Programmierung in der Lehre

Christian Terboven

terboven@itc.rwth-aachen.de

RWTH Aachen University

Julian Miller

miller@itc.rwth-aachen.de

RWTH Aachen University

Lena Oden

lena.oden@fernuni-hagen.de

FernUniversität Hagen

25.09.2020

Virtuelles Treffen der Fachgruppe Betriebssysteme der Gesellschaft für Informatik

Komplexität von und Partizipation an praktischen Aufgaben

- Interesse an Veranstaltungen zur Parallelprogrammierung und Datenanalyse steigt
 - VL PDP im Sommer 2020: ca. 130 Prüflinge

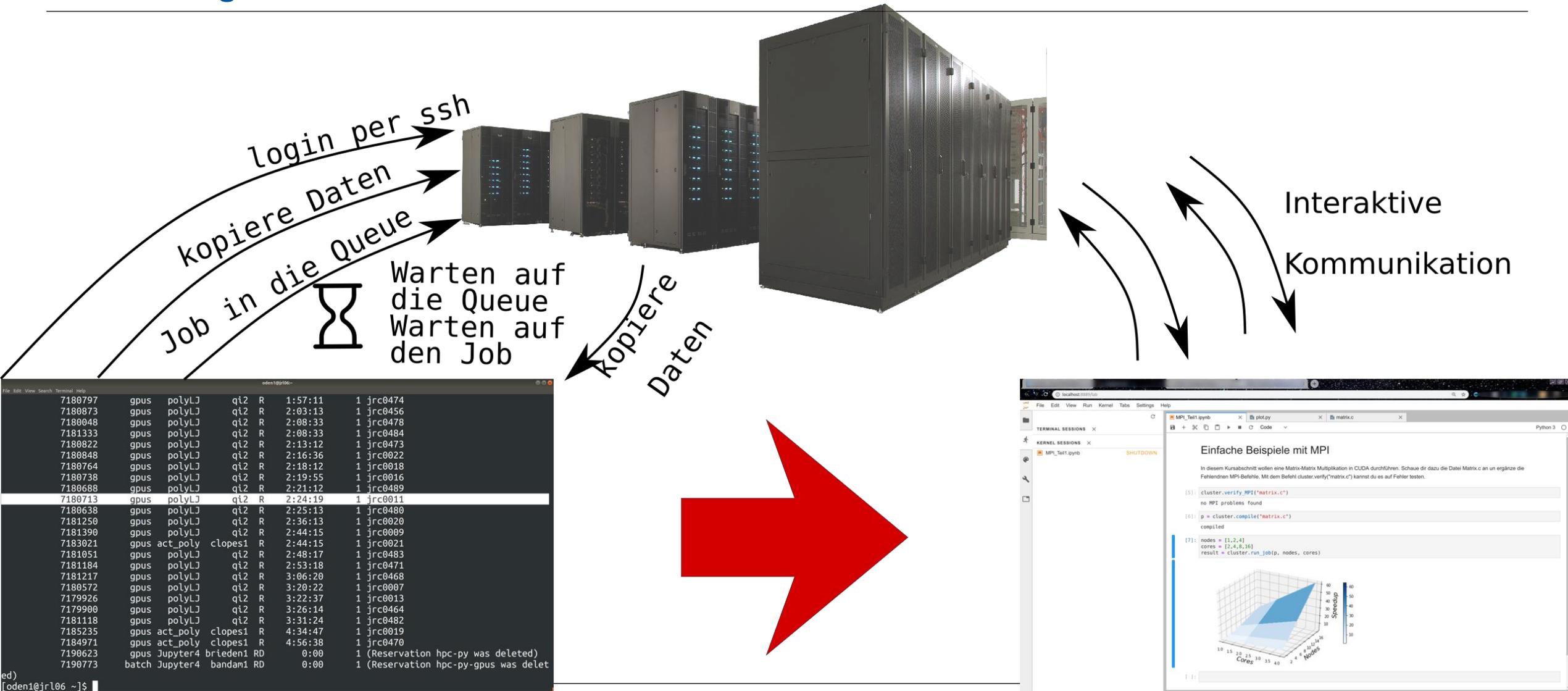
- Lernerfolg und die Motivation steigen, wenn
 - Effekte von Parallelität selbst erlebt werden
 - => Algorithmus selbst parallelisieren
 - Theoretische Erläuterungen durch praktische Übungen begleitet werden
 - => HPC-System der Spitzenklasse selbst nutzen

- Herausforderungen: technische Hürden
 - Zugang via Kommandozeile
 - Batch-System
 - Konfiguration der Systemumgebung
 - ...

IkapP-Umgebung

Eine digitale Umgebung für eigenständiges Lernen im Hochleistungsrechnen

Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte...



Übersicht: C++ mit OpenMP

```
In [13]: #pragma omp parallel
{
    #pragma omp critical
    {
        std::cout << "Test from thread #" << omp_get_thread
_num() << " of " << omp_get_num_threads() << std::endl;
        // printf("Test\n");
    }
}
// printf("\n");
```

```
Test from thread #3 of 4
Test from thread #0 of 4
Test from thread #2 of 4
Test from thread #1 of 4
```

Interpreting the C++ programming language

clang has a broad support of the features of C++. You can define functions, classes, templates, etc ...

Functions

```
In [8]: double sqr(double a)
{
    return a * a;
}
```

```
In [ ]: double a = 2.5;
double asqr = sqr(a);
asqr
```

Classes

```
In [ ]: class Foo
{
public:
    virtual ~Foo() {}
}
```

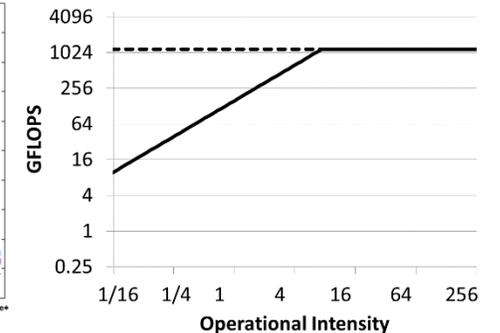
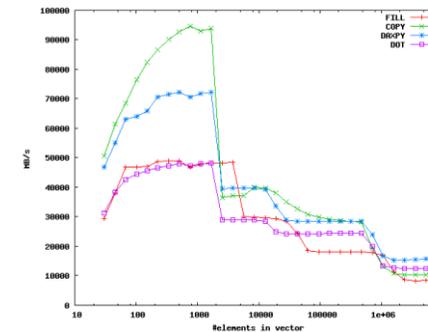
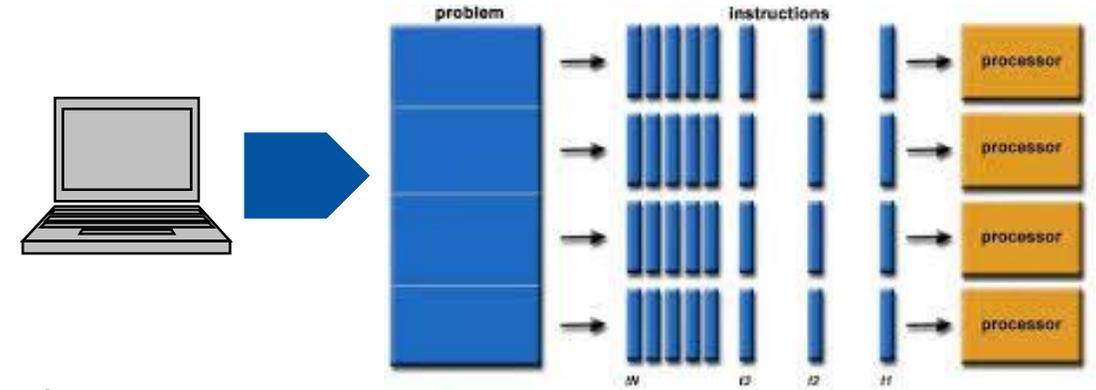


- Effekte der parallelen Ausführung:
 - Nichtdeterministische Reihenfolge der Threads
- Möglichkeiten des modifizierten cling
 - C++ Interpretation basierend auf clang Compiler
 - Integration der OpenMP Laufzeitumgebung
- IkapP Umgebung läuft testweise auf:
 - 8x Intel Xeon Broadwell-EX (E7-8860v4): jeweils 18 Kerne, 2.2 GHz
 - 1 TB Hauptspeicher



Lösungselemente im Detail

- Eigenständiges Lernen
 - Zugang zu HPC System für Studierende via jupyter
 - Interaktive Umgebung reduziert Komplexität beim Einstieg
 - Mess- und Ausführungsumgebung verbirgt Systemarchitektur
- Vernetztes und kooperatives Lernen
 - Unterstützung von Gruppenarbeit: gemeinsam und ortsunabhängig
 - Integration von Rocket.Chat
- Motivation durch gezielte Anreize
 - Integration von Wettbewerben: schnellste Lösung
 - Durchführung “live”
 - Interaktive Rätsel und Quizze
- Einbindung zusätzlicher methodischer Aspekte
 - Automatische Korrektheitsanalyse des parallelen Programms
 - Automatische Leistungsanalyse und –visualisierung der Lösung



Programmierwettbewerbe

Anreize zur intensive Auseinandersetzung mit dem Thema HPC

Praktikum: Parallel Programming for Many-Core architectures with OpenMP

- **Aufgabe:** Parallelisierung von drei Algorithmen mit OpenMP

- Task 1: sparse matrix vector multiplication
- Task 2: parallel merge sort
- Task 3: K-means clustering

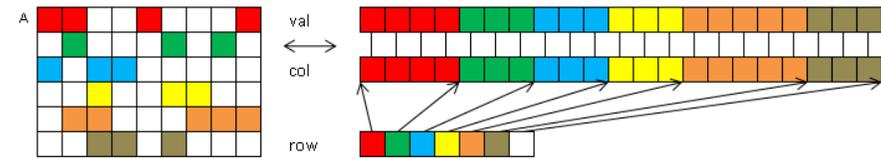
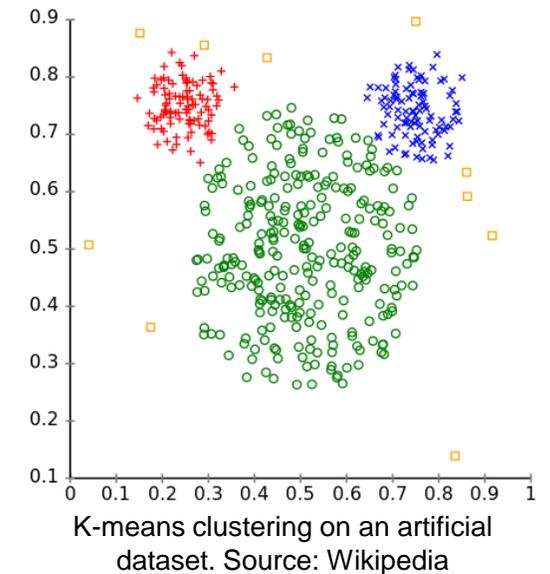
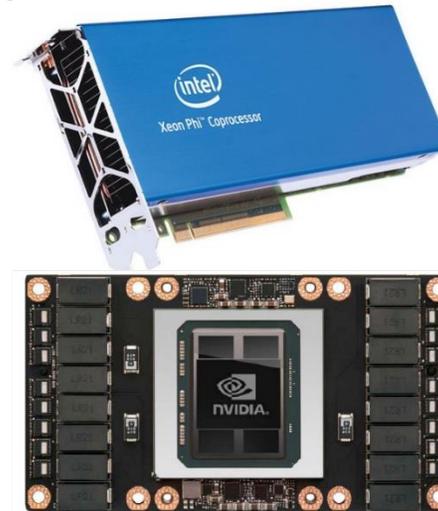


Illustration of the compressed row storage format.

- **Zielsysteme:** Intel Xeon Phi und NVIDIA GPUs

- **Wettbewerbe:** schnelle Ausführung der drei Programme auf beiden Architekturen



Monitoring von Aufwand und Fortschritt

- **Ziele**

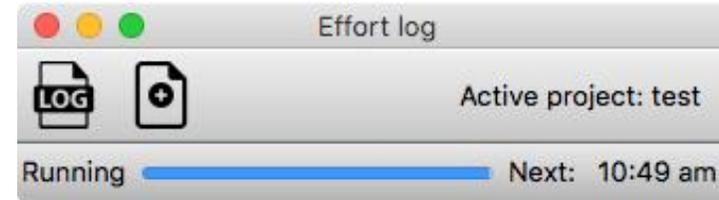
- Dokumentations- und Vortragsfähigkeiten
- Untersuchung der Effektivität unserer Kurse
- Forschung im Bereich Programmierproduktivität

- **Wissen**

- Wissenserhebung basierend auf den Lernzielen
- Durchführung vor und nach dem Kurs

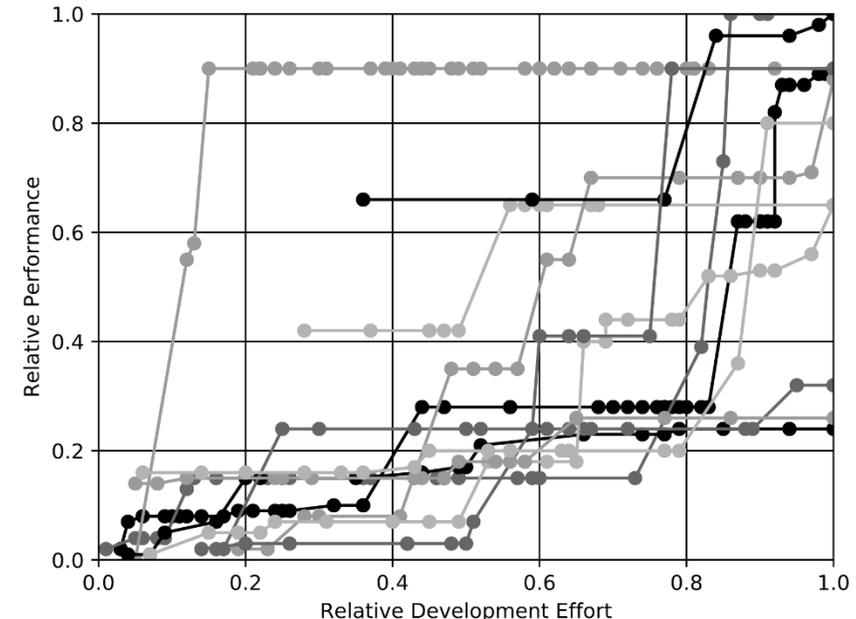
- **Entwicklungsaufwand**

- Elektronisches Entwicklertagebuch während des Praktikums
- Aufzeichnen von Leistungsdaten
- Ggfs. Vergleich der Programmiermodelle



Effort Log [3]

<https://github.com/rwth-hpc/effort-log>



Erreichte Leistung je nach Entwicklungsaufwand von $n = 12$ Lösungen im OpenMP Praktikum.

Ergebnisse und Rückmeldungen der Studierenden

- Insgesamt sehr positive Rückmeldung (Lehrerhebung: besser als RWTH Informatik Durchschnitt)
 - >80% fanden die Aufgaben motivierend
 - >90% fanden den Schwierigkeitsgrad angemessen
- Median des Aufwandes: 5,6 Stunden pro Woche
- Uneindeutige Bewertung der Selbststeuerung

like		dislike		
topic	#	topic	#	#
independent working/flexibility	11	unclear goal	14	
concept of tasks	7	little instructions	11	
competition	6			

System-nahe Effekte in IkapP / jupyter

HPC-Erfahrung im Browser sammeln?!

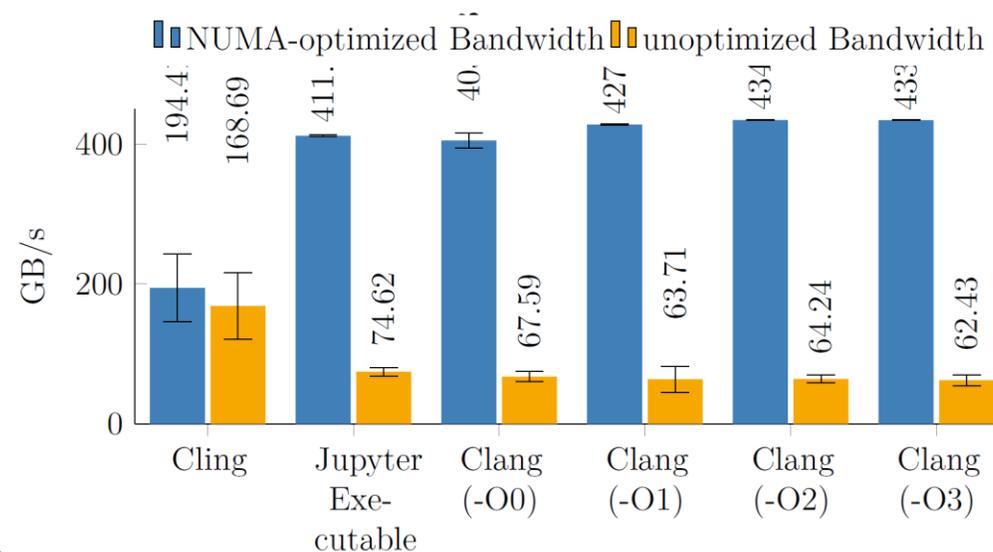
Untersuchung: Speicherbandbreite

- STREAM Benchmark (OpenMP-parallel)

Name	Kernel	Words Read + Write	Flop	B_c
Copy	$a[i] = b[i]$	2 words	0 Flop	-
Scale	$a[i] = s \cdot b[i]$	2 words	1 Flop	$2 \frac{Words}{Flop}$
Add	$a[i] = b[i] + c[i]$	3 words	1 Flop	$2 \frac{Words}{Flop}$
Triad	$a[i] = b[i] + s \cdot c[i]$	3 words	2 Flop	$\frac{3}{2} \frac{Words}{Flop}$

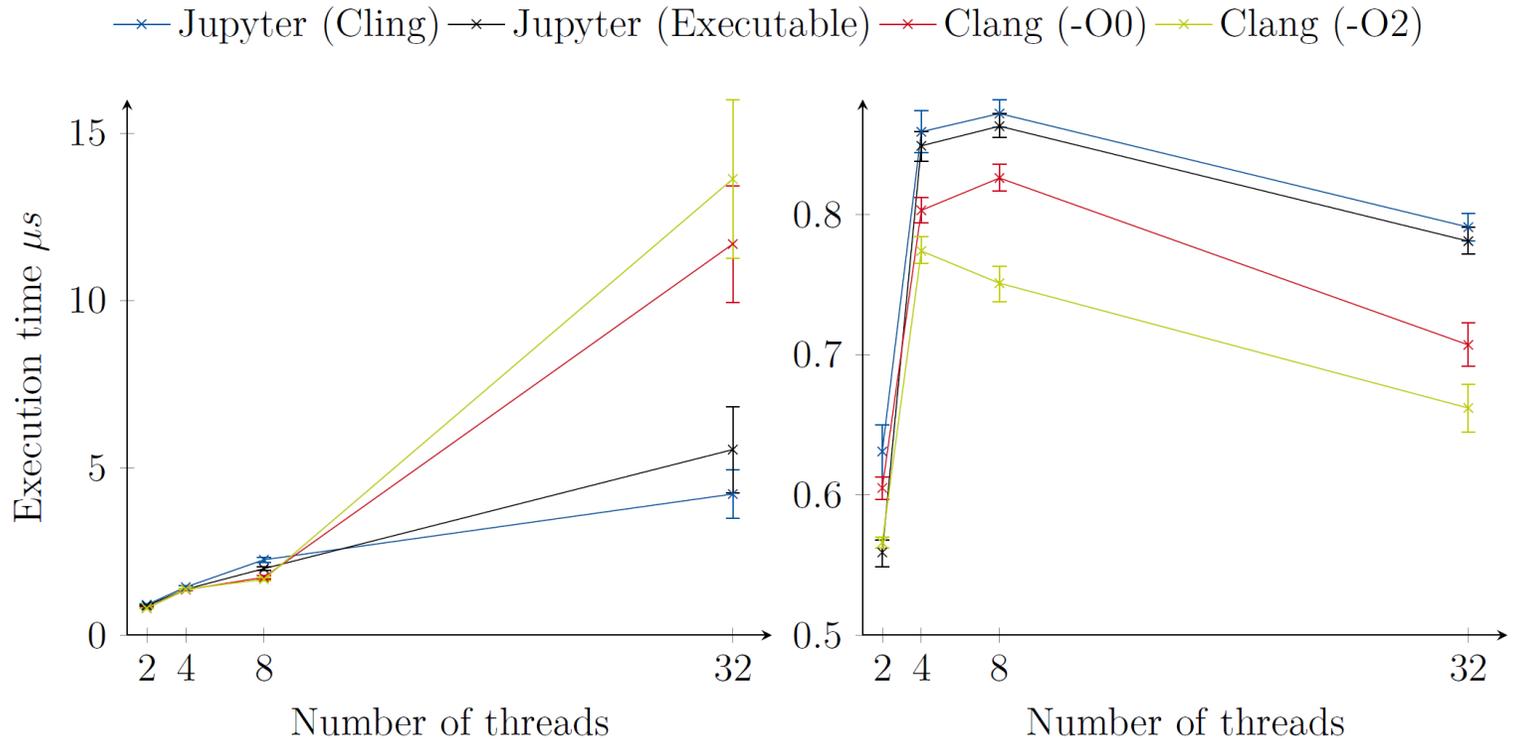
- STREAM (nur Triad) in IkapP mit 128 Threads:

- Alle NUMA-Effekte sichtbar
- Einfluss von Compileroptimierungen begrenzt



Untersuchung: Thread Management

- EPCC OpenMP Synchronization Benchmark



- Ebenso: False Sharing Benchmarks...

- Einschränkung: CPU-bound Benchmarks (z.B. LINPACK)

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Softwarepraktika
 - Effektiv in der Vermittlung von praktischer Erfahrung in der Lehre rund um HPC
 - Bieten Zugang zu und Erfahrung mit aktuellen HPC-Systemen

- Unser Ansatz
 - Eigenständiges Lernen und kreative Freiheiten durch offene Aufgabenstellungen
 - Besondere Motivation durch Wettbewerbselemente
 - Methodik zur Nachverfolgung von Aufwand und Fortschritt
 - Daten erlauben Forschung zur HPC Programmierproduktivität

- Ergebnisse
 - Sehr positive Rückmeldungen der Studierenden
 - Sehr erfolgreich beim Erreichen der Lernziele
 - IkapP-Umgebung realisiert Stand der Technik
 - Senkt die Einstiegshürden
 - Bietet HPC-Zugang für ein weites Publikum
 - Zukünftig im Einsatz bei den meisten unserer Veranstaltungen

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**