

# Adaptives Zeit-Integrations-Verfahren für die effiziente Intergration von bewegten Teilchen in grossen Teilchenbeschleunigern

## Master-Arbeit

### Einleitung

In Teilchenbeschleunigern werden Elektronen, Protonen oder Ionen in Bündeln zu hohen Energien beschleunigt. Elektromagnetische Felder und Teilchen wirken in komplizierter Weise aufeinander. Das elektromagnetische Feld bewegt die Teilchen. Andererseits beeinflusst die Dynamik der Teilchen wiederum das Feld. In einem Teilchenbündel befinden sich sehr viele (mehr als  $10^9$ ) Teilchen. Einerseits stossen sich die Teilchen gegenseitig durch die Coulombkraft ab, andererseits gibt es aber auch fokussierende und ablenkende Kräfte, welche die Teilchen auf ihrer Bahn halten. Durch diese Einflüsse entstehen sehr komplexe Vorgänge. Die Physik der Beschleuniger ist die Elektrodynamik. Mathematisch müssen partielle Differentialgleichungen (Maxwell-Gleichungen) gelöst werden.

Die Simulation von Teilchenbeschleunigern ist zu einem wichtigen Werkzeug beim Entwerfen und in der Wartung von solch faszinierenden Maschinen geworden. Um genaue Angaben über die Beschleuniger-Physik machen zu können, ist es unabdingbar das Plasma angemessen zu modellieren – d.h. es müssen sehr viele Teilchen in die Berechnung einbezogen werden. Da dies auf einem einzigen Prozessor wegen mangelnder Speicherkapazität nicht möglich ist, muss das Problem parallel gelöst werden.

Am PSI wurde in einer internationaler Zusammenarbeit ein massiv paralleles Beschleuniger Simulationspaket OPAL (Object Oriented Parallel Accelerator Library) [1, 4] entwickelt. OPAL wird am PSI für die bestehenden Teilchenbeschleuniger, wie auch beim neuen SwissFEL Projekt [2] für präzise 3D-Rechnungen eingesetzt. In OPAL wird ein Particle In Cell (PIC) Verfahren im Zusammenhang mit der stossfreien Poisson-Vlasov Gleichung verwendet. Für die Zeit-Integration werden verschiedene Verfahren mit fixer Schrittweite verwendet. Es werden in grossen Strukturen mit bis zu  $10^9$  Teilchen auf Gittern in der Grössenordnung  $1024^3$  gerechnet. Einer der Löser und die Grundgleichungen sind in [4] dargestellt.

### Aufgabestellung

Um die Effizienz von OPAL (time to solution) vor allem im Bereich SwissFEL Modellierung zu erhöhen, sollen adaptive Zeitschrittverfahren untersucht, in OPAL implementiert und validiert werden.

- Einarbeiten in OPAL, Literaturstudium
- Evaluation und Charakterisierung von (parallelen) Zeitschritt-Verfahren für die stossfreien Poisson-Vlasov Gleichung
- Implementation eines der Verfahren in OPAL
- Validierung und Benchmarking
- Option: Benchmarking mit *real world* Beispielen aus dem SwissFEL Projekt.

## Anforderungen

- Fundierte Programmierkenntnisse in C++ und OOP Verständnis
- Numerik
- Plasmaphysik & Elektrodynamik
- Es ist von Vorteil, wenn die Vorlesung “Paralleles Rechnen” besucht wurde
- Freude an interdisziplinären Arbeiten

## Dokumentation

Die ausgeführten Arbeiten sollen in einer möglichst prägnanten schriftlichen Arbeit dokumentiert werden. Der Bericht ist so abzufassen, dass er für einen Mitstudenten verständlich ist.

## Vortrag

Gegen Ende der Arbeit ist über die gewonnenen Erkenntnisse im Rahmen eines Seminars am Chair of Computational Science vorzutragen. Der Zeitpunkt wird später festgelegt.

## Kontakt

- PSI: Dr. Andreas Adelman, [andreas.adelmann@psi.ch](mailto:andreas.adelmann@psi.ch), Tel: 056 310 42 33
- ETH: Prof. Dr. Peter Arbenz, [arbenz@inf.ethz.ch](mailto:arbenz@inf.ethz.ch), Tel: 044 632 7432

## Literatur

- [1] OPAL (Object Oriented Parallel Accelerator Library) <http://amas.web.psi.ch/docs/>
- [2] The SwissFEL Project <http://www.psi.ch/media/swissfel-the-future-project>
- [3] A. Adelman, P. Arbenz and Y. Ineichen, *A fast parallel Poisson solver on irregular domains applied to beam dynamics simulations*. J. Comp. Phys. 229 (12): 4554-4566 (2010).
- [4] A. Adelman, Ch. Kraus, Y. Ineichen, Y. Bi, and J. Yang, The OPAL (Object Oriented Parallel Accelerator Library) Framework, Paul Scherrer Institut, PSI-PR-08-02, 2008