

Computersimulationen von Vielteilchensystemen

Projekt: *Smoothed Particle Hydrodynamics* *Sod shock tube*

Smoothed Particle Hydrodynamics wird zur Beschreibung von Gasen und Flüssigkeiten verwendet. Hierbei wird zur Lösung der hydrodynamischen Gleichungen der Raum in virtuelle Volumenelemente (sog. SPH-Teilchen) unterteilt. Die Ausdehnungen dieser Teilchen überlappen sich mit den umgebenden Teilchen. Mittels einer Gewichtungsfunktion (Smoothing-Kernel) werden die hydrodynamischen Größen durch eine Interpolation über die Umgebung ausgewertet [1, 3, 4].

In diesem Projekt soll die Ausbreitung einer Schockwelle in einem Kanal (zunächst in einer Dimension) mit diesem Verfahren simuliert werden [2, 5]. Allgemein zählt man ein Problem dieser Art, bei dem an einer einzigen Stelle eine Unstetigkeit in den Anfangsbedingungen besteht, zu den Riemann-Problemen. Diese Probleme können auch analytisch gelöst werden [5] und eignen sich daher als Testfälle um die Güte eines Simulationscodes zu testen.

Der *Sod shocktube* zählt zu den Standardtestfällen in der Hydrodynamik und wird durch einen Sprung in der Dichte realisiert. Bezogen auf SPH kann man daran sehr schön einige Schwachstellen des Grundalgorithmus erkennen [3], die die Einführung künstlicher Dissipationstherme unabdingbar machen. Ziel dieses Projektes ist die Untersuchung dieser Schwachstellen und diese den Ergebnissen aus den Erweiterungen gegenüber zu stellen. Das Augenmerk soll dabei auf der künstlichen Viskosität liegen.

Bevor man mit dem Programmieren beginnt sollte man sich Gedanken zur Struktur des Programms machen. Wenn man sich über den Aufbau eines Programms schon im klaren ist erspart man sich im Nachhinein viel Arbeit. Das Programm sollte direkt so ausgelegt sein, dass es die Koordinaten und Geschwindigkeiten zu einer beliebigen Anzahl von Teilchen einlesen kann und beliebig in ein, zwei oder drei Dimensionen gerechnet werden kann. Eine Möglichkeit besteht zum Beispiel darin, dass das Programm zunächst eine Parameter-Datei einliest in der die Informationen (über Dimension, Teilchenanzahl, einschalten der künstlichen Viskosität, Zeitintervalle für Ausgabe, etc.) stehen, bevor dann letztlich erst die Anfangsbedingungen eingelesen werden.

- a) Überlegen sie sich zunächst ein geeignetes Format in dem die Simulationsdaten zwischengespeichert werden können, insbesondere welche Größen ausgegeben werden sollen ($N_{tot}, t, \rho_i, u_i, \dots$). Schreiben sie dann ein Unterprogramm das dieses Format einlesen und schreiben kann. (Denken sie bei dem Format vielleicht auch schon mal an die Lesbarkeit für ein Plotprogramm wie Gnuplot oder Matlab.)
- b) Das Hauptprogramm soll als erstes ein Unterprogramm aufrufen, das eine Parameterdatei einliest. In dieser können beispielsweise die Gesamtsimulationszeit, die Schrittweite, die Gesamtteilchenzahl, Glättungslänge, welche Anfangsbedingungen generiert werden soll, und so weiter angegeben werden.

- c) Das Hauptprogramm soll nun ein Unterprogramm aufrufen, das die Anfangsbedingungen generiert, und diese Anfangsbedingungen in einem ersten Snapshot ausgeben. In einer Dimension ist eine äquidistante Anordnung sinnvoll, in zwei Dimensionen könnte ein kubisches oder hexagonales Gitter in Betracht gezogen werden.
- d) Der dynamische Verlauf wird durch den Grundalgorithmus (siehe Anhang) beschrieben. Schreiben Sie zunächst nur die Programmteile für den Grundalgorithmus ohne Erweiterungen.
- e) Die Simulation soll nach sinnvoll gewählten Zeitintervallen (auch etwas für die Parameterdatei) die aktuellen Zustandsgrößen in fortlaufenden Dateien ausgeben können. Interessant zu Beobachten sind auch der Verlauf der kinetischen, thermischen und Gesamtenergie.
- f) Ebenfalls nach einer für die Simulation von Ihnen gewählten sinnvollen Zeitspanne soll die Simulation beendet werden.

Sobald das Programm läuft besteht die Möglichkeit es zu erweitern und modifizieren.

- g) Der Programmcode wird um die künstliche Viskosität erweitert (s. Anhang: Erweiterungen).

Literatur

- [1] V. Springel (2010), Smoothed Particle Hydrodynamics in Astrophysics, Kap.1-2.3,5.2, <http://arxiv.org/abs/1109.2219>
- [2] J.J. Monaghan, R.A. Gingold (1983), Shock Simulation by the Particle Method SPH, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0021999183900360>
- [3] D. Price (2010), Smoothed Particle Hydrodynamics and Magnetohydrodynamics, <http://users.monash.edu.au/~dprice/pubs/spmhd/price-spmhd.pdf>
- [4] PhD-Thesis, Roland Speith (1998), Untersuchung von Smoothed Particle Hydrodynamics anhand astrophysikalischer Beispiele, <http://www.pit.physik.uni-tuebingen.de/~speith/publ/speith.diss.ps.gz>
- [5] Vorlesung zu Hydrodynamik: <http://www.mpa-garching.mpg.de/lectures/HYDRO/>
- [6] Webseite "The Astro Code Wiki": <http://www.astrosim.net/code/doku.php?id=home:codetest:hydrotest:standardsuite>