

Kollisionsvergleich: lokale Verfeinerung und begrenzte Laufzeit

Pascal Bauer – Auswertung mit ChatGPT

18. September 2026

1 Fragestellung und unverändertes Modell

Zwei kompakte Gaswolken mit Durchmesser 0,1 kollidieren versetzt. Verglichen werden 6594 Zellen (maximale Tiefe 18) und 35714 Zellen (Tiefe 21). Die feinste lineare Zellskala sinkt von 0,002762 auf 0,000977, also um den Faktor $\sqrt{8}$, nicht um den Faktor acht. Die Massenskala beträgt 0,1 und die Plummer-Länge 0,012. Es gibt weder Rotation noch Zentralmasse. Der Rand des Wurzeldreiecks mit Ecken $(0, 0)$, $(2, 0)$, $(0, 2)$ reflektiert. Das Verfahren bleibt gegenüber dem Ausgangsfilm unverändert; dies ist nicht die neue Kick/Hydro/Kick-Serie. Beide Läufe sollten bis $t = 2$ reichen, jeweils mit maximal 7200 Sekunden Rechenbudget. Die Verfeinerungsregion bleibt räumlich fest.

2 Abschluss und Datensicherung

Der grobe Lauf erreicht $t = 2$. Der feine Lauf endet durch Überschreitung der Zeitgrenze im Abschnitt von 0,25 nach 0,30. Der Runner nennt diesen Zustand technisch **failed**; die gemeldete Ursache ist **TimeoutExpired**, nicht ein nachgewiesener numerischer Fehler. Der letzte vollständige Zustand liegt bei $t = 0,25$. Die im Status gespeicherten 6177,66 Sekunden gehören zum vorherigen abgeschlossenen Abschnitt, nicht zur gesamten Laufzeit bis zum Abbruch. Es wurde kein zusätzlicher Rechenlauf gestartet.

Das komplette vorhandene Laufverzeichnis wurde separat gesichert. Beide Checkpoint-Prüfsummen stimmen mit den archivierten Statuswerten überein. Für alle 40 beziehungsweise fünf vollständigen Abschnitte wurde die bitgenaue Übereinstimmung zwischen Endzustand und folgendem Anfangszustand geprüft; auch der letzte NPZ-Zustand stimmt exakt mit dem JSON-Checkpoint überein. Die Prüfsummen stehen in **auswertung.json**. Der unvollständige Abschnitt wird nicht als physikalisches Ergebnis verwendet.

3 Konservativer Vergleich

Jedes feine Blatt wird durch wiederholtes Entfernen des letzten Kindbits seinem tatsächlich vorhandenen groben Vorfahren zugeordnet. Für die konservativen Zellmittel U erfolgt die Restriktion durch

$$U_K^{\text{restr}} = \frac{1}{|K|} \sum_{k \in K} |k| U_k.$$

Die Summen der Teilflächen wurden gegen die groben Zellflächen geprüft. Verglichen werden ausschliesslich 26 gemeinsame gespeicherte Zeiten von 0 bis 0,25. Die normierte Dichtedifferenz ist

$$D(t) = \frac{\sum_K |K| |\rho_K^{\text{restr}} - \rho_K^{18}|}{\sum_K |K| \rho_K^{18}}.$$

Am gemeinsamen Endzeitpunkt beträgt $D = 0,0547849$, also rund 5,48 Prozent. Dieser Wert misst Auflösungsempfindlichkeit, nicht den Fehler gegenüber einer bekannten exakten Lösung. Zwei Gitter und eine kurze gemeinsame Entwicklung liefern keinen Konvergenzbeweis.

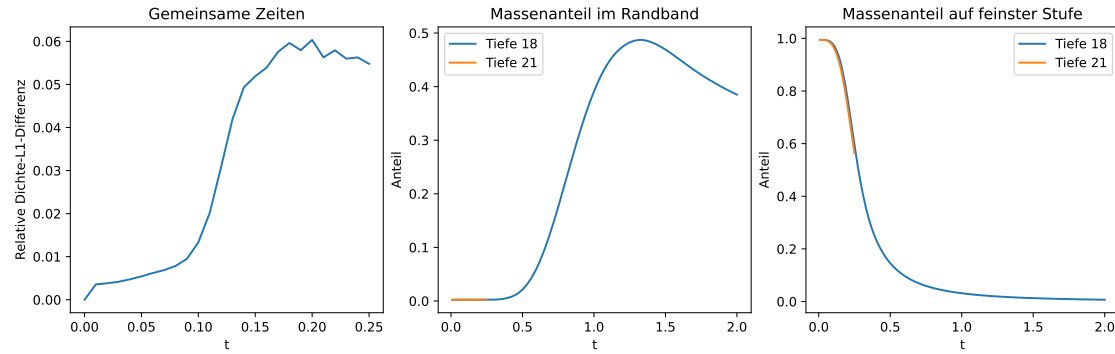


Abbildung 1: Links: Vergleich nur zu gemeinsamen Zeiten. Mitte und rechts: Diagnostik über die jeweils tatsächlich gesicherte Laufzeit. Die längere grobe Kurve darf nicht als gemeinsame Nachkollisionsgeschichte gelesen werden.

4 Rand und Verfeinerungsgebiet

Beim feinen Lauf befinden sich bei $t = 0,25$ etwa 0,2334 Prozent der Masse im Randband und 56,33 Prozent auf der feinsten Stufe. Das Randband umfasst Zellen, deren Schwerpunkt weniger als 0,1 von einer der drei Randgeraden entfernt ist; es ist kein direkter Nachweis einer bereits erfolgten Wellenreflexion. Der feinste Massenanteil ist ebenfalls eine geometrische Diagnose und kein Fehlerindikator. Der letzte vollständige feine Abschnitt hat einen minimalen Druck von $1,783 \cdot 10^{-9}$; daraus folgt keine Aussage über den abgebrochenen Abschnitt.

Am Ende des groben Laufs liegen dagegen 38,50 Prozent der Masse im Randband und nur 0,678 Prozent auf der feinsten Stufe. Seine späte Entwicklung ist daher nicht als isolierte, durchgehend hoch aufgelöste Kollision zu interpretieren. Für eine belastbare Nachkollisionsstudie fehlen insbesondere der entsprechend lange feine Lauf und eine Kontrolle von Randlage und räumlich mitgeführter Auflösung.

5 Animation und Reproduktion

`vergleich.mp4` zeigt beide Gitter synchron über die gemeinsame Zeit, mit identischer logarithmischer Dichteskala und dem vollständigen Rechengebiet. Gespeicherte Bilder werden für die Betrachtungsdauer wiederholt, ohne zusätzliche Zwischenzustände zu interpolieren. Die 26 Zustände ergeben bei neun Wiederholungen und 15 Bildern pro Sekunde 15,6 Sekunden Film. Auswertung und Darstellung sind durch `auswerten.py` reproduzierbar; dieser Code startet keinen Solver.

6 Einordnung zusammen mit den Ruheläufen

Die separat archivierte Serie `Scheiben_Ruhelaefue_02` erreicht auf 16384 und 65536 Zellen jeweils $t = 2$, eine dynamische Zeit. Die Dichte-L1-Änderung sinkt von 1,970 auf 0,694 Prozent; das Verhältnis kinetischer zu anfänglicher thermischer Energie von $6,23 \cdot 10^{-5}$ auf $7,44 \cdot 10^{-6}$. Die normierte Energieänderung sinkt von $1,725 \cdot 10^{-3}$ auf $1,149 \cdot 10^{-4}$. Diese Energieprüfung verwendet ein approximatives Baumpotential mit engerer Kontrollöffnung, keinen direkten Paarenergiebeweis. Die Ergebnisse sind ermutigend für weitere Einschlagstests, belegen aber keine Langzeitstabilität. Eine neue Simulation benötigt eine neue Freigabe.