

Kann ein Pilotlauf Vergrößerung absichern?

Korrigierter Versuch: gleiche Zielauflösung, weniger Zellen

Pascal Bauer mit Unterstützung von ChatGPT

19. September 2026

1 Die eigentliche Fragestellung

Die Idee von Pascal Bauer ist, interessante Gebiete weiterhin fein zu rechnen und nur anderswo Auflösung einzusparen. Ein billiger vorauslaufender Pilot soll erkennen, wo bald ein Ereignis eintritt, insbesondere eine herannahende Schockfront. Seine Kosten müssen kleiner sein als die Einsparung im Hauptlauf. Der vorherige Versuch mit zusätzlicher Verfeinerung beantwortete diese Frage nicht. Die hier dokumentierte Serie wurde durch den Assistenten entsprechend neu entworfen. Sie ist eine heuristische Pilotstudie, kein Zulässigkeitsbeweis.

2 Gitterentscheidung und Kontrollvarianten

Alle Läufe beginnen mit identischen Zuständen auf Tiefe 14 (16384 Zellen). Die gemeinsame anfängliche Zellmittelwertdarstellung wird konservativ aus der Ausgangsdarstellung auf Tiefe bis 10 übertragen. Für geschützte Grobgebiete bleibt Tiefe 14 zwingend erhalten; diese Eigenschaft wird kontrolliert. Nur ausserhalb wird auf Tiefe 10 reduziert, ergänzt um den Konformitätsabschluss. Bei Vergrößerung verlorene Details werden nicht nachträglich zurückgewonnen.

Wir lösen die Euler-Gleichungen mit $\gamma = 1.4$, ohne Gravitation, im Dreieck $x \geq 0, y \geq 0, x + y \leq 2$ mit offenen Rändern. Zwei Fälle: das schräge Sod-Problem und ein Mach-2-Schock gegen eine dichtere druckangepasste Wolke. Parameter entsprechen `web_cases.py`: Sod-Trennung $x + 0.35y = 0.87$, Zustände $(\rho, p) = (1, 1)$ und $(0.125, 0.1)$; Wolkenzentrum $(0.72, 0.59)$, Radius 0.12, Kerndichte 5 bei Umgebungsdichte und Druck 1, geglätteter Rand. Die Schockfront beginnt bei $x = 0.32$.

reference Durchgehend Tiefe 14, ohne Gitterentscheidung.

local Aktuelle Lösung auf Tiefe 10 restringieren. Relative Dichte- oder Drucksprünge über 0.03 schützen das Gebiet und einen Nachbarring.

buffer Wie local, mit zusätzlichem Radius aus der maximalen Signalgeschwindigkeit $|v| + c$, Vorschauzeit 0.03 und Grobzellgrösse. Die Umrechnung in Nachbarringe ist eine Heuristik, keine rigorose Schranke.

pilot Eine unabhängige Rechnung auf Tiefe 10 ist 0.03 voraus. Alle markierten Gebiete entlang der gespeicherten Vorschauzeiten werden geschützt, nicht nur die Endposition. Aktuelle Markierungen bleiben ebenfalls geschützt.

Entscheidungen erfolgen alle 0.01. Eine zusätzliche Haltezeit von einem Intervall gilt für alle Heuristiken. Gespeichert wird alle 0.0025 bis $t = 0.4$. Die Maskenermittlung auf groben Daten kann feine Strukturen übersehen. Genau deshalb ist eine unabhängige Ergebnisprüfung erforderlich; keine dieser Masken ist schon als sicher für Produktionsrechnungen ausgewiesen.

3 Messung und Qualitätskontrollen

20 nacheinander ausgeführte Jobs, ein Solverthread: eine Referenz je Fall, drei Wiederholungen je Heuristik in rotierender Reihenfolge. Die Heuristiken werden durch Mediane zusammengefasst, die Referenz wurde nur einmal gemessen. Hintergrundlast bleibt möglich. Eine echte parallele Ausführung auf mehreren Rechnern wird nicht behauptet; die Pilotkosten sind zunächst voll enthalten. Vorbereitung, Text-I/O, Gitterentscheidungen und Filmdateien zählen zur Gesamtdauer. Native Rechenzeiten und Wandzeiten sind zusätzlich getrennt.

Konformität, Zielstufe der geschützten Gebiete, Positivität im Solver und Erhaltung bei expliziten Transfers werden geprüft. Der Zellarbeit-Proxy $\sum_n N_n s_n$ verwendet Zellzahl N_n und Zeitschritte s_n je Intervall; er ist keine Messung von Kernstunden und erfasst nicht jede interne Operation.

Die Dichteabweichung wird gegen die durchgehend feine numerische Referenz auf deren vollständiger Tiefe ausgewertet. Grobe Zellmittelwerte werden stückweise konstant auf ihre feinen Nachfahren verteilt. Es gibt keine vorgeschaltete grobe Restriktion, die kleine Abweichungen verdeckt:

$$E_\rho = \frac{\sum_K |K| |\bar{\rho}_K - \bar{\rho}_K^{\text{ref}}|}{\sum_K |K| |\bar{\rho}_K^{\text{ref}}|}.$$

Die Referenz ist selbst diskretisiert, also keine exakte Lösung.

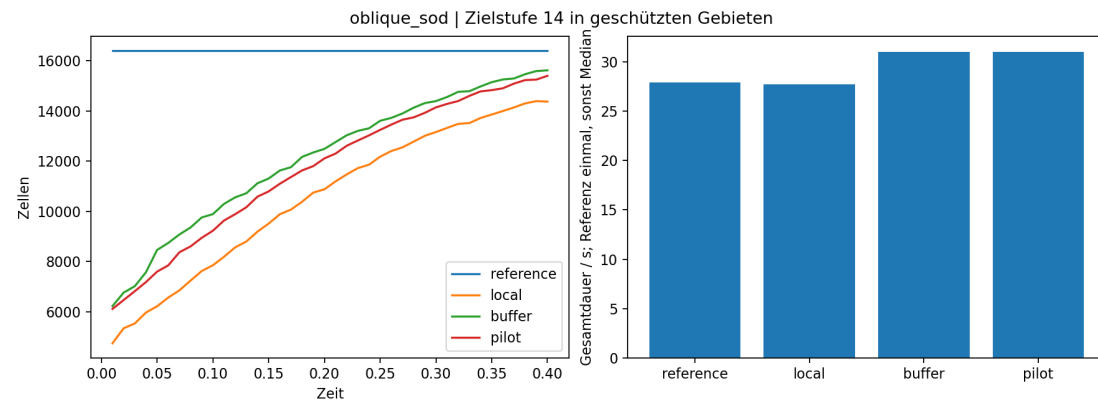
Der *Warnanteil* vergleicht das aktuell gewählte Gitter mit den feinen Referenzgebieten, deren Dichte-/Drucksprung innerhalb der nächsten 0.03 über 0.03 liegt. Angegeben wird der zeitliche Mittelwert des Anteils solcher Referenzzellen, die im aktuellen Gitter nicht die Zielstufe besitzen. Auch Konformitätsverfeinerungen werden mitgezählt. Das ist eine prospektive Indikatorabdeckung, keine physikalische Fehlerwahrscheinlichkeit und keine Garantie für den kontinuierlichen Verlauf zwischen gespeicherten Zeiten.

4 Ergebnisse

Eine Beschleunigung über 1 bedeutet weniger Gesamtdauer als die Referenz. Sie muss zusammen mit Dichtefehler und Warnanteil interpretiert werden.

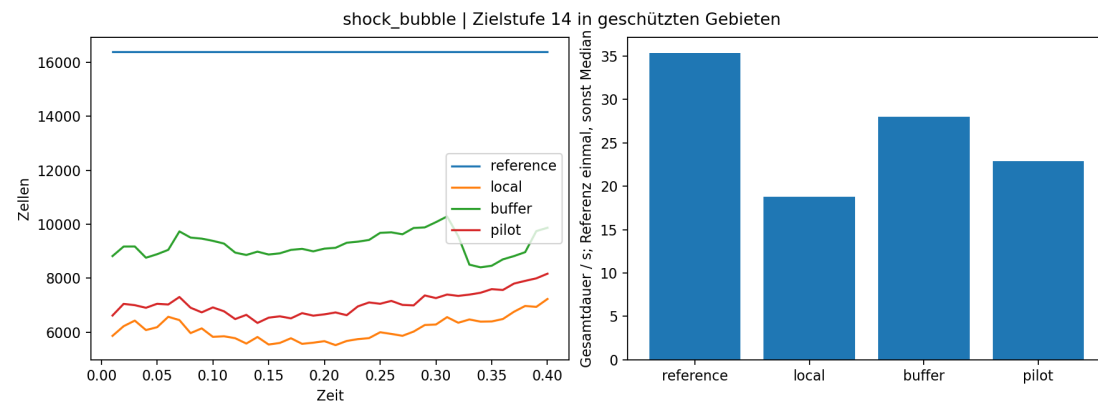
4.1 Schräger Schock

Methode	Sekunden	T_{ref}/T	Dichtefehler/%	Warnanteil/%
reference	27.93	1.00	0.000	0.0000
local	27.70	1.01	0.073	0.0574
buffer	31.04	0.90	0.005	0.0000
pilot	30.99	0.90	0.013	0.0000



4.2 Schock gegen Gaswolke

Methode	Sekunden	T_{ref}/T	Dichtefehler/%	Warnanteil/%
reference	35.38	1.00	0.000	0.0000
local	18.82	1.88	0.219	0.7457
buffer	27.99	1.26	0.104	0.0000
pilot	22.88	1.55	0.167	0.0025



5 Einordnung

Die korrigierte Idee zeigt im kompakten Fall einen Nutzen. Bei der Schock-Wolken-Wechselwirkung sinkt die Gesamtdauer mit Pilot von 35.38 auf 22.88 Sekunden, also um rund 35%, bei einer normierten Dichteabweichung von 0.167%. Der Pilot ist in diesen Zeiten voll enthalten. Rein lokale Vergrößerung ist noch schneller (18.82 Sekunden), zeigt aber 0.219% Dichteabweichung

und einen grösseren prospektiven Warnanteil: 0.746% statt ungefähr 0.0025% mit Pilot. Der Geschwindigkeitspuffer erreicht 0.104% Dichteabweichung und keinen Treffer des Warnindikators, kostet aber 27.99 Sekunden. Kein Treffer ist kein Sicherheitsbeweis.

Beim schrägen Schock liegt der Pilot dagegen mit 30.99 Sekunden über der feinen Referenz mit 27.93 Sekunden. Die Zellarbeit sinkt, doch Verwaltung und Gitterwechsel verbrauchen die Einsparung. Der Pilot ist somit nicht generell wirtschaftlich, sondern in dieser Serie bei räumlich begrenzter Aktivität ein sinnvoller Kompromiss. Alle drei Wiederholungen je Heuristik lieferten bitidentische Endzustände; die Referenzzeit hat keine Wiederholung.

Dieser Versuch prüft nun ausdrücklich Einsparung durch Vergrößerung bei gleicher maximaler Zielauflösung. Er entscheidet noch nicht über universelle Schwellenwerte, instabile oder selbstgravitative Strömungen. Insbesondere beruht der Pilot auf einer gröberen, möglicherweise abweichenden Dynamik. Der geschwindigkeitsbasierte Puffer ist die billigere Alternativhypothese. Eine niedrige Abweichung bei unveränderter Laufzeit ist kein Geschwindigkeitsgewinn; eine Beschleunigung bei grossem Warnanteil ist keine Freigabe.

Die Testdomäne ist endlich. Späte Zeiten können durch die offenen Ränder beeinflusst sein. Der Vergleich betrifft dasselbe endliche Randwertproblem, nicht eine unendliche oder periodische Schocklösung. Eine nächste Stufe muss mehrere Schwellen und Vorschauhorizonte bei gleichem akzeptiertem Fehler vergleichen. Erst dann lohnt die Implementierung einer tatsächlich parallel laufenden und synchronisierten Pilotinstanz.

6 Filme und Reproduzierbarkeit

Vierfachansichten zeigen Referenz, lokale Entscheidung, Geschwindigkeitspuffer und Pilot. Je Fall gibt es Dichte und Baumtiefe, jeweils 30 Sekunden bei 60 Bildern/s. Dichtefarben sind für die Darstellung zeitlich interpoliert, Gitterkarten bleiben diskret. Numerische Fehler werden aus Zellzuständen, nicht aus den Bildern ermittelt. Quellcode, Binaerdatei, Masken, Checkpoints, Messungen und Prüfsummen werden im Berichtsordner archiviert. Die ursprüngliche additive Serie bleibt unverändert erhalten.