

Bitgeometrie und Barnes–Hut: lokale Pilotserie

Pascal Bauer

Versuchsplanung und Auswertung mit ChatGPT

18. September 2026

1 Fragestellung und Versuchsaufbau

Beschleunigt das direkte Dekodieren von Blattcodes die Kraftberechnung? Wir trennen die einmalige Geometrievorbereitung vom wiederholten Oeffnungstest. Der neue Decoder erzeugt dieselben gespeicherten Integerboxen; er ersetzt nicht das Oeffnungskriterium. Produktionsstandard bleibt unveraendert.

Zwoelf Zustaende, $N = 1000, 4000$, zwei verklumpte Verteilungen und drei Seeds. Je Zustand wurde genau eine direkte Paarreferenz berechnet und gespeichert. Gesamtdauer der Serie: 28.8 s.

Die Massen sind ueber drei Groessenordnungen log-uniform verteilt und auf Gesamtmasse eins normiert. $G = 1$, Plummer-Laenge $\epsilon = 0.005$. Ebene Positionen, Newton-Kern mit dreidimensionalem Abstandsverhalten; keine Zeitintegration.

Alle Zeiten mit einem Thread. Drei Zeitwiederholungen nach Aufwaermen; Kraftvarianten in gemischter Reihenfolge. Drei Seeds sind die Replikate, Zeitwiederholungen keine zusaetzlichen physikalischen Stichproben. Direktreferenz in long double mit symmetrischer Paarrechnung; ohne Baumapproximation, aber nicht ohne Rundung.

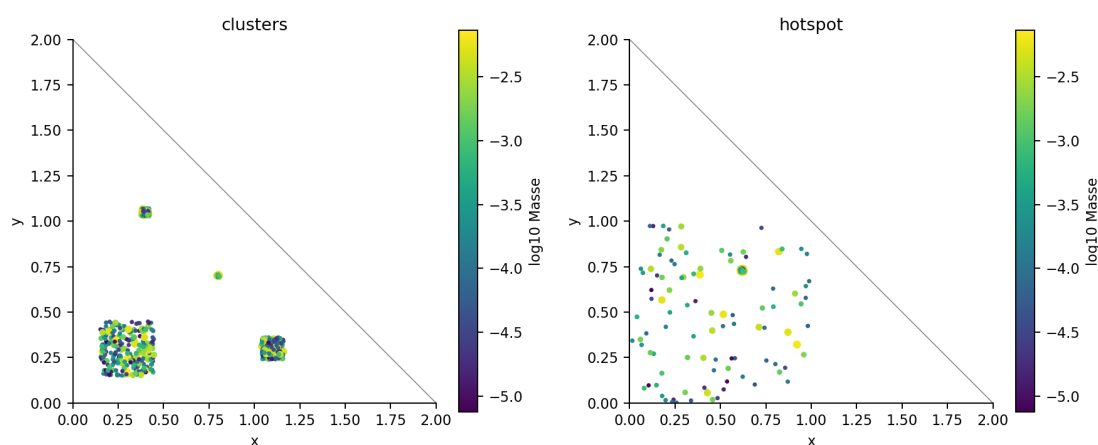


Abbildung 1: Beispielzustaende, Seed 807. Farbe und Punktgroesse zeigen unterschiedliche Massen.

2 Korrektheit und Geometrievorbereitung

Alle Integerboxen sind exakt identisch. Fuer beide Oeffnungskriterien bei $heta = 0.6$ stimmen Kraftarrays und Besuchszahlen beider Geometrievorbereitungen ueberein. Alle sechs lokalen CTest-Programme bestehen.

Die zusaetzhliche Kontrolle $heta = 0$ bei $N = 1000$ ergibt gegen die gespeicherte Paarreferenz einen maximalen globalen relativen L2-Fehler von 1.290×10^{-15} .

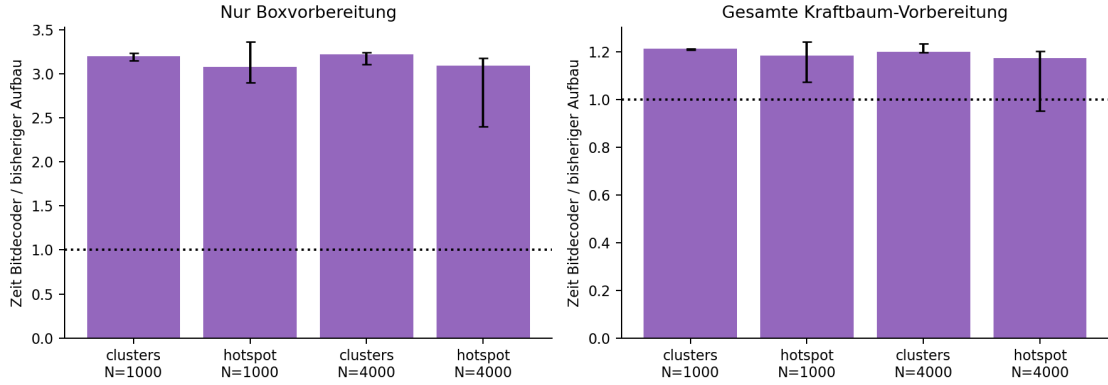


Abbildung 2: Zeitquotienten pro Zustand, Median und volle Spannweite der drei Seeds. Werte ueber eins bedeuten: Bitdecoder langsamer.

Fall	N	Box alt [ms]	Box neu [ms]	Quotient
clusters	1000	0.038	0.120	3.20
hotspot	1000	0.037	0.112	3.08
clusters	4000	0.139	0.450	3.22
hotspot	4000	0.140	0.432	3.09

Der bisherige Durchlauf berechnet Elterngeometrie einmal und gibt sie an Kinder weiter. Der direkte Decoder liest dagegen fuer jeden Knoten den Pfad erneut. Eine guenstige Formel fuer ein einzelnes Blatt muss daher nicht der schnellste Aufbau aller Knoten sein. Die Kraftlaeuft koennen durch identische Boxen nicht algorithmisch kuerzer werden.

3 Kraftfehler und Laufzeit

Globaler Fehler: $E_2 = \sqrt{\sum_i \|a_i - a_i^{\text{ref}}\|^2 / \sum_i \|a_i^{\text{ref}}\|^2}$. Punktweise relative Fehler verwenden den Nenner $\max(\|a_i^{\text{ref}}\|, 10^{-12} a_{\text{RMS}}^{\text{ref}})$; P99 und Maximum stehen in den Rohdaten. Dies ist kein Eingriff in die Kraefte.

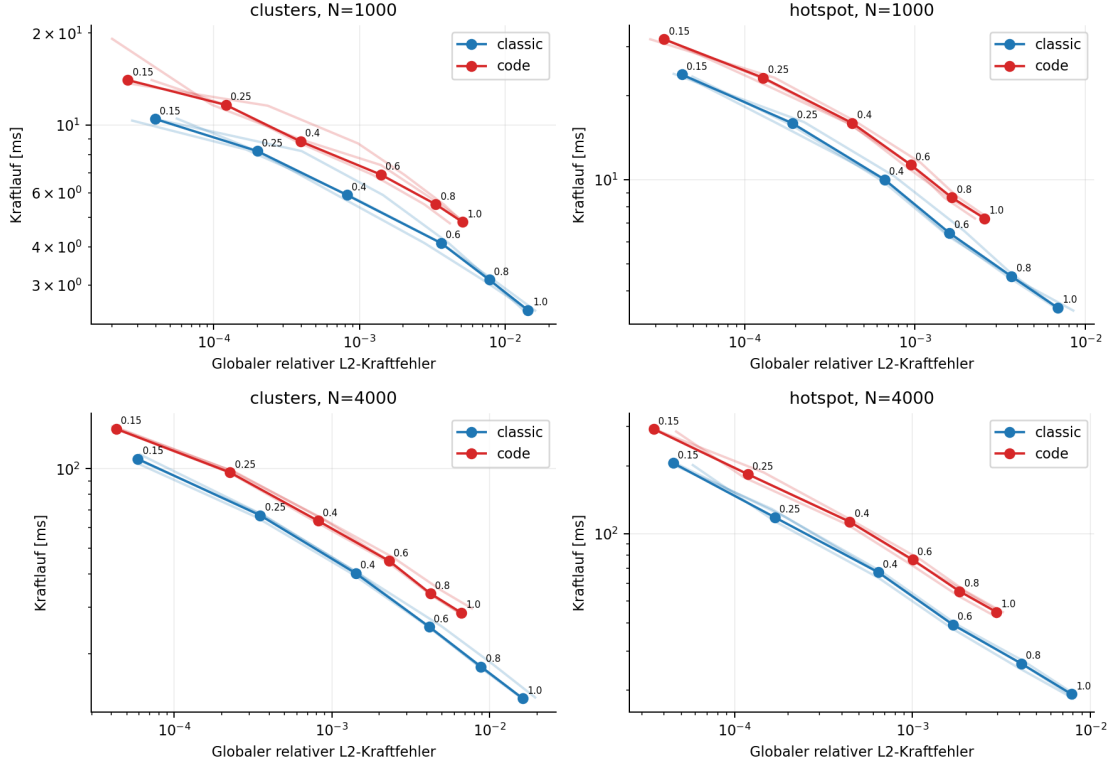


Abbildung 3: Laufzeit gegen Kraftfehler. Beschriftungen: theta. Duenne Linien: einzelne Seeds; dicke Linien: punktweise Mediane. Links unten ist guenstig.

Das klassische Kriterium verwendet den Massenschwerpunkt Abstand, das Code-Kriterium eine konservative untere Abstandsschranke aus Boxen. Gleiche theta-Werte bedeuten deshalb nicht gleiche Genauigkeit.

4 Vergleich unter gleichem Fehlerbudget

Pro Zustand waehlen wir die schnellste gemessene theta-Variante mit $E_2 \leq 0.01$. Keine Interpolation. Gleiche Fehlerschranke bedeutet nicht identische Fehlerprofile. Die folgende Tabelle zeigt Mediane ueber drei Seeds; alle drei muessen das Budget erreichen.

Fall ($N = 4000$)	Modus	Kraft [ms]	Gesamt [ms]	P99	theta-Bereich
clusters	classic	17.89	25.23	0.064	0.60–0.80
clusters	code	28.61	35.95	0.035	1.00–1.00
hotspot	classic	19.24	24.96	0.035	1.00–1.00
hotspot	code	44.69	50.67	0.010	1.00–1.00

Der Code-Modus erreicht bei $\theta=1$ teilweise deutlich kleinere Fehler als gefordert und zeigt hier bessere P99-Werte. Die vorhandene Schnittstelle erlaubt θ nur bis eins; der Vergleich ist daher durch Parameterbereich und diskretes Raster begrenzt. Er belegt keinen grundsatzlichen Sieger bei exakt gleicher Genauigkeit.

Gesamt = separat gemessene Gitterzeit + Median der bisherigen Kraftbaum-Vorbereitung + Kraftlauf. Das ist eine zusammengesetzte Kostenschaetzung, keine neue End-to-End-Messung. Fuer zehn Kraftlaeufe auf unveraenderter Geometrie werden die Aufbaukosten durch zehn geteilt (summary.json). Direktreferenz und Dateiausgabe gehoeren nicht zu diesen Zeiten.

4.1 Erste Lehren und offene Arbeiten

1. Den Zweibit-Decoder nicht pauschal als Ersatz des vorhandenen Boxaufbaus freigeben: in dieser Serie ist seine Boxvorbereitung langsamer. Fuer einzelne, bisher nicht gespeicherte Zellabfragen kann er dennoch sinnvoll sein.
2. Oeffnungskriterien anhand der Laufzeit-Fehler-Kurven beurteilen, nicht allein anhand von θ . Die konservative Boxgeometrie ist kein kostenloser Genauigkeitsgewinn.
3. Naechster technischer Kandidat: tabellierter Blockdecoder oder Nutzung bereits berechneter Praefixgeometrie. Erst danach weitere lokale Messung, kein automatischer Umbau der Produktion.
4. Fuer belastbare Auswahl groessere N , weitere Softening-Laengen und explizite Schranken auch fuer P99 pruefen. Ein genauerer Dreiecksabstand wurde hier nicht implementiert.
5. Isolierte Oeffnungstest-Kosten bleiben offen. Besuchszaehler und Laufzeit zeigen den Gesamteffekt, aber ohne zusaetzliche Kernelmessung keine reine Zeit pro Entscheidung.

Kleine lokale Pilotserie, keine astrophysikalische Validierung. Keine kontinuierliche Last-/Temperaturkontrolle. Idee und Auftrag: Pascal Bauer. Umsetzung und Auswertung: ChatGPT. Quellarchiv, Binaerdatei, Compilerflags, Referenzen, Rohdaten und Pruefsummen liegen neben diesem Bericht. Arbeit 0.3 blieb unveraendert.