# Kinematische Schließung in segmentierter Raumzeit: escape vs. fall

**Autoren:** Carmen Wrede, Lino Casu
**Fokusfassung:** Vertieft §4 „Kinematic closure: escape vs. fall". ϕ-/β-Kalibrierungen werden erklärt, Tests nur als Quellenhinweis (GitHub).

---

## Abstract

Wir zeigen, wie die duale Beziehung zwischen Fluchtgeschwindigkeit $v_esc$ und einem **Fall-Parameter** $v_{fall}$ in der **segmentierten Raumzeit (SSZ)** formal hergestellt wird. Ausgangspunkt ist die GR-Rotverschiebung eines stationären Beobachters im Schwarzschild-Außenraum, $\gamma_{GR}(r) = (1 - r_s/r)^{-1/2}$ . Daraus wird ein **GR-konjugierter Fallwert** $v_{fall}^{GR}(r)$ über Gleichsetzung der lokalen Lorentzfaktoren definiert. Dieser liefert exakt $v_{fall}^{GR}(r) = c\sqrt{r_s/r}$ und damit das Produkt $v_{esc}(r)\, v_{fall}^{GR}(r) = c^2\,(r_s/r)$ . Um die im SSZ-Ansatz gewünschte **produkt-invariante Schließung** $v_{esc}(r)\, v_{fall}(r) = c^2$ zu erhalten, führen wir eine **segmentierte Normierung** des Fallwertes ein: $v_{fall}(r) := (r/r_s)\, v_{fall}^{GR}(r)$ . Diese Normierung ist kein physikalischer 3-Geschwindigkeitswert, sondern ein **skalengebundener Parameter** des SSZ-Formalismus, der die operative Brücke zwischen klassischer Energiebilanz und diskreter ϕ-Skalierung bildet. Wir erläutern den Platz der **ϕ-Kalibrierung** (Gitter in $\ln R$ ) und die **β-Massenfeineinstellung** am $\varphi/2$ -Kopplungspunkt, ohne empirische Tests zu duplizieren. Verweise auf Reproduktionscode und Logs erfolgen ausschließlich über GitHub.

---

## 1. Notation und Rahmen

- $r_s = 2GM/c^2$ Schwarzschild-Radius, $U = GM/(rc^2)$ .
- $v_{esc}(r) = \sqrt{2GM/r} = c\sqrt{r_s/r}$ .
- **GR-Redshift/Lorentz:** $\gamma_{GR}(r) = (1 - r_s/r)^{-1/2}$ .
- **ϕ-Gitter:** $R = f_{emit}/f_{obs} = \varphi^N$ mit $N \in \mathbb{Z}$ , $\ln R = N \ln \varphi$ .
- **Euler-Hülle:** $R \approx \exp(\Delta U)$ und Quantisierung, wenn $\Delta U \approx N\ \ln \varphi$ .
- **Kopplungspunkt:** $r_\varphi \approx \varphi\,(\varphi/2)\, r_s$ mit milder Massen-Feineinstellung über $\beta$ (nicht PPN-β).

---

## 2. Konstruktion des Fall-Terms

### 2.1 GR-konjugierter Fallwert

Setze den lokalen Lorentzfaktor einer hypothetischen Fallbewegung gleich dem GR-Rotverschiebungsfaktor am selben $r$ :

$$\gamma_{GR}(r) = (1 - r_s/r)^{-1/2} = \left(1 - (v_{fall}^{GR}/c)^2\right)^{-1/2}.$$

Daraus folgt

$$(v_{fall}^{GR}/c)^2 = r_s/r \quad \Rightarrow \quad v_{fall}^{GR}(r) = c\,\sqrt{r_s/r}.$$

Damit gilt **exakt**

$$v_{esc}(r)\, v_{fall}^{GR}(r) = \left(c\sqrt{r_s/r}\right)^2 = c^2\,(r_s/r). \tag{2.1}$$

Gleichung (2.1) ist eine **produkt-gewichtete Schließung** mit dem dimensionslosen Faktor $r_s/r$ .

### 2.2 Segmentierte Normierung zum produkt-invarianten Dual

Der SSZ-Formalismus benutzt eine **skalierte Fall-Variable**

$$v_{fall}(r) := \frac{r}{r_s}\, v_{fall}^{GR}(r) = \frac{r}{r_s}\, c\sqrt{\frac{r_s}{r}} = c\,\sqrt{\frac{r}{r_s}}. \tag{2.2}$$

Dann folgt **sofort**

$$v_{esc}(r)\, v_{fall}(r) = \left(c\sqrt{r_s/r}\right)\left(c\sqrt{r/r_s}\right) = c^2. \tag{2.3}$$

Die Gleichung (2.3) ist die im Screenshot geforderte **kinematische Schließung**. **Wichtig:** $v_{fall}(r)$ nach (2.2) ist **kein** physikalischer 3-Geschwindigkeitswert, sondern ein **Dual-Parameter**, der die **reziproke Skalenkopplung** der segmentierten Beschreibung ausdrückt.

### 2.3 Gültigkeitsbereich und Interpretation

- (2.1) gilt allgemein im Schwarzschild-Außenraum.
- (2.3) ist eine **definitorische Dualität** des SSZ-Parameters (2.2). Sie macht die **operative Brücke** sichtbar: Wenn $v_{esc}$ in schwachen Feldern klein wird, wächst der skalen-duale Fallparameter so, dass das Produkt konstant bleibt.
- Physikalische Messungen koppeln über **Ratios** und **ϕ-Gitter**; die Dualität steuert die **Skalenseite**, nicht die lokale 3-Kinematik von Testteilchen.

---

## 3. Verbindung zur ϕ-Skalierung und zur Euler-Hülle

Die messbare Größe ist das Frequenz-/Uhren-Ratio $R$ . SSZ postuliert **diskrete Skalenübergänge** mit $R = \varphi^N$ . Die **Euler-Hülle** $R \approx e^{\Delta U}$ reproduziert GR; sie fällt **auf das ϕ-Gitter**, wenn $\Delta U \approx N \ln\varphi$ . Die kinematische Schließung (2.3) liefert dazu die **mechanische Seite**: Sie bindet die potentielle Energie $\propto 1/r$ an einen reziproken Skalenparameter und verhindert divergierende Beschleunigerbilder im Inneren.

---

## 4. ϕ-Kalibrierung (Erklärung ohne Tests)

- **Gittervariable:** $n^*(R) = \ln R/\ln\varphi$ .
- **Segmentanzahl:** $N = \mathrm{round}(n^*)$ .
- **Residual:** $\varepsilon = n^* - N$ misst die Abweichung vom idealen Gitter.
- **Geometrische Rückführung:** Eine einzige Euler-Exponentialbewegung $z(\theta) = z_0 \exp((k + i)\theta)$ mit $k = 2\ln\varphi/\pi$ liefert pro Vierteldrehung $\Delta\theta = \pi/2$ den Faktor $\varphi$ im Betrag. Damit sind **Rotation** (Phase) und **Skalierung** (Betrag) gekoppelt.

---

## 5. β-Feineinstellung am $\varphi/2$ -Kopplungspunkt (Erklärung)

- **Kopplungspunkt:** $r_\varphi \approx \varphi\,(\varphi/2)\,r_s$ minimiert Blend-Artefakte einer $C^2$-Stückmetrik und erhält die GR-Außenserie und PPN-Werte.
- **β-Term:** $r_\varphi(M;\beta) = r_\varphi\,[1+\beta\,\Delta(M)]$ , $|\beta| \ll 1$ .
- **Bedeutung:** $\beta$ **ist nicht** die PPN-β. Er verschiebt nur **sanft** die innere Skalenlage in Abhängigkeit eines langsamen Massen-Proxys $\Delta(M)$ .
- **Konsequenz:** Außen bleibt **PPN-kompatibel**; innen reguliert die Segmentierung die Krümmung ohne Singularitäten.

---

## 6. Physikalisches Bild in Kürze

1) **Außen:** GR-Hülle, kontinuierlich, PPN-Werte identisch zu GR in gemessener Ordnung.
2) **Grenzen:** Diskrete ϕ-Schritte in Ratios $R$ .
3) **Innen:** Stückweise konstante Skalen, $C^2$-Blend um $r_\varphi$ ; kinematische Schließung (2.3) verknüpft Skalen-Dualität mit Energiebilanz.
4) **Messstrategie:** Nur noch Ratios und Gitterstruktur; numerische Tests werden **nicht** hier, sondern im Code belegt.

---

## 7. Quellenhinweis: Reproduktion und Tests (nur Verweis)

Alle Skripte, Logs und reproduzierbaren Läufe liegen in den GitHub-Repos der Autor:innen, u. a.:
- **Segmented-Spacetime-Mass-Projection-Unified-Results** — Kernskripte (ϕ-Gitter, Euler-Rückführung, $r_\varphi$ , $\beta$ ).
- Zusatz-Repos für Datenvorbereitung und Archiv-Quellen.
Die Paper-Fassung verweist auf die Repos; **keine** Testtabellen im Haupttext.

---

## 8. Schluss

Die **produkt-invariante** Schließung $v_{esc}\,v_{fall} = c^2$ entsteht aus der **skalengebundenen** Definition des Fall-Parameters (2.2). Zusammen mit der ϕ-Kalibrierung und der sanften $\beta$ -Feineinstellung liefert SSZ ein reduziertes, aber belastbares Gerüst: außen GR-gleich, innen regulär, und operativ durch Ratios testbar. Die empirischen Nachweise stehen ausschließlich im Code und den GitHub-Protokollen.