Segmented Spacetime (SSZ)

Eine falsifizierbare φ-geometrische Erweiterung der ART mit Ξ-Segmentdichte, D_SSZ=1/(1+Ξ) und einem *no-free-parameters*-Testgerüst für kosmologische Signaturen

Autoren: Carmen Wrede, Lino Casu, Akira (AI-Collaborator)

Version: 2026-02-11

Abstract

SSZ („Segmented Spacetime") ist ein konsistent formuliertes Framework, das die Allgemeine Relativitätstheorie (ART/GR) im schwachen Feld reproduziert und im starken Feld systematische Abweichungen (z. B. in Zeitdilatation/Redshift/Energie-Observables) als Funktion einer skalaren **Segmentdichte** Ξ beschreibt. Kernannahme ist eine SSZ-Zeitdilatation

$$D_{\rm SSZ}(r) = \frac{1}{1+\Xi(r)}\,, \qquad d\tau = D_{\rm SSZ}\,dt\,.$$

Die Geometrie ist φ-motiviert (goldener Schnitt; Spiral-/Skalierungsprinzipien) und wird in zwei Regime operationalisiert: **g1** (weak-field, GR-Limit) und **g2** (strong-field, saturierende Segmentierung). Dieses Paper schließt die zuletzt offenen Punkte: (i) eine eindeutige Definition von Ξ und ihrer Regime-Brücke, (ii) ein Anti-Zirkularitäts-/Anti-Story-Protokoll inklusive *no-free-parameters*-Check, und (iii) ein **kosmologisches Testgerüst**, das jede vorgegebene $\Xi(z)$ (ohne Curve-Fitting) sofort gegen drei Minimal-Constraints prüft: CMB-Akustikskala, BBN-Hubble-Speedup und lineares Strukturwachstum.

Wichtig: Das kosmologische Modul ist bewusst als *Falsifikations-Gerüst* konstruiert: Es akzeptiert jede $\Xi(z)$ als Input, trennt Konventionen (Zeitdefinition) transparent und liefert unmittelbare Widerspruchstests.

---

1. Notation und Begriffe

- c: Lichtgeschwindigkeit.
- G: Gravitationskonstante.
- M: eingeschlossene Masse.
- r: (SSZ-)Radius (lokal), $r_s \equiv 2GM/c^2$: Schwarzschild-Radius.
- z: kosmologische Rotverschiebung, $a = 1/(1+z)$: Skalenfaktor.
- ϕ: goldener Schnitt, $\phi = (1+\sqrt{5})/2$.
- Ξ: (dimensionslose) Segmentdichte.
- $D_{\rm SSZ} = 1/(1+\Xi)$: SSZ-Zeitdilatation.

Regime: - **g1 (weak)**: $\Xi \ll 1$, GR-Limit. - **g2 (strong)**: $\Xi \to \xi_{\max}$ saturiert.

---

2. Axiome und Kernpostulate

2.1 Segmentdichte als skalare Feldgröße

SSZ postuliert ein skalares Feld Ξ, das die lokale „Segmentierungsdichte" der Raumzeit beschreibt. Ξ ist *nicht* ein freier Fit-Parameter pro Objekt, sondern wird durch Regime-Formeln aus r_s/r und festen Konstanten abgeleitet.

2.2 SSZ-Zeitdilatation

Die zentrale beobachtbare Modifikation ist eine *multiplikative* Zeitdilatation

$$D_{\mathrm{SSZ}}(r) = \frac{1}{1+\Xi(r)}\,.$$

Damit gilt für eine lokale Eigenzeit τ:

$$\frac{d\tau}{dt} = D_{\mathrm{SSZ}}(r)\,.$$

Diese Definition ist absichtlich minimal: Sie ist direkt messbar (Uhrenvergleich/Redshift) und macht Ξ zu einer **Operational-Größe**.

2.3 Sättigungsannahme (keine Divergenz)

SSZ erzwingt eine obere Schranke $\xi_{\max}$ für Ξ:

$$\xi_{\max} = 1 - e^{-\phi} \approx 0.8017\,.$$

Damit ist die maximale Zeitdilatation am Grenzfall

$$D_{\min} = \frac{1}{1+\xi_{\max}} \approx 0.555\,.$$

Diese Schranke ist **kein Fit**, sondern festgelegt durch die φ-Konstruktion.

---

3. Weak/Strong-Bridge: explizite $\Xi(r)$-Formeln

3.1 Weak-Field (g1) – GR-Limit

Als weak-field-Näherung wird verwendet

$$\Xi_{\mathrm{weak}}(r) = \frac{1}{2}\,\frac{r_s}{r} = \frac{GM}{c^2 r}\,.$$

Dann ist

$$D_{\mathrm{SSZ}}(r) = \frac{1}{1+\frac{GM}{c^2 r}} \approx 1 - \frac{GM}{c^2 r} + \mathcal{O}\!\left(\frac{r_s^2}{r^2}\right)$$

und reproduziert damit den GR-Charakter im schwachen Feld (bis auf höhere Ordnung).

3.2 Strong-Field (g2) – saturierende Segmentierung

Für das starke Feld wird eine saturierende Form genutzt:

$$\Xi_{\text{strong}}(r) = \xi_{\max} \left(1 - e^{-\phi\, r/r_s}\right).$$

- Für $r \to 0$: $\Xi_{\text{strong}} \to 0$. - Für $r \to \infty$: $\Xi_{\text{strong}} \to \xi_{\max}$.

Interpretation: In g2 wird Segmentierung als *Sättigung* modelliert (keine Singularität in Ξ).

3.3 Bridge / Blend-Zone

Eine glatte Brücke zwischen g1 und g2 ist notwendig, darf aber keine „Story-Physics" sein. Wir trennen daher:

1) **Engineering-Blend** (z. B. Hermite-C^2) als numerisches Glättungswerkzeug.

2) **Physik-motivierte Blend-Zone**: Blend-Mitte durch ein invariantes Kriterium definieren (z. B. Gleichheit von Ξ_{weak} und Ξ_{strong}).

Allgemein:

$$\Xi(r) = w(r)\, \Xi_{\text{strong}}(r) + \big(1 - w(r)\big)\, \Xi_{\text{weak}}(r)$$

mit

$$0 \le w(r) \le 1\,.$$

Ein einfaches, gut kontrollierbares Gewicht ist

$$w(r) = \frac{1}{1 + \left(\frac{r}{r_*}\right)^n}$$

mit **fixem** n (z. B. $n = 4$ als „4-Segment-Grundzahl") und einem **fixen** r_*, das nicht gefittet, sondern **aus einer Gleichheitsbedingung** gewonnen wird.

> **No-fit-Regel:** r_* ist keine freie Wahl, sondern wird einmalig numerisch aus $\Xi_{\text{weak}}(r_*) = \Xi_{\text{strong}}(r_*)$ bestimmt und dann festgeschrieben.

---

4. Anti-Zirkularität: warum das kein „Curve-Fit-Märchen" ist

SSZ verpflichtet sich zu einem „Anti-Circularity"-Protokoll:

1. **Keine freien Parameter pro Objekt**: ϕ, $\xi_{\max}$, Regime-Formeln und der Übergang sind global fest.
2. **Matching-Punkte** (wie r_*) werden *einmalig* durch ein invariantes Kriterium festgelegt, nicht pro Datensatz.
3. **Keine Least-Squares-Fittings** als Kernbegründung.
4. **Validierung** erfolgt über Residuen/Abweichungsprofile, nicht über „best-fit".

5. **Falsifizierbarkeit**: Jede vorgeschlagene Ξ liefert harte Vorhersagen für Observables.

---

5. Kosmologische Erweiterung (Minimal-Gerüst)

5.1 Motivation

Wenn SSZ eine echte Erweiterung sein soll (nicht nur „starkes Feld um kompakte Objekte"), muss es auf kosmologischer Ebene konsistent sein. *Mindestens* muss eine vorgeschlagene effektive $\Xi(z)$ sofort gegen drei Standard-Checks bestehen:

- **CMB-Signaturen**: insbesondere die Akustikskala θ_*.
- **BBN-Constraints**: Hubble-Speedup zur Nukleosynthesezeit.
- **Strukturwachstum**: lineares Wachstum $D(z)$ und $f\sigma_8$-Proxies.

5.2 Zeitkonvention → effektive Friedmann-Gleichung

Wir starten mit einer FLRW-artigen Hintergrundbeschreibung (flach, $k = 0$ für das Minimal-Gerüst). In GR gilt

$$H_{\mathrm{GR}}(z) = H_0 \sqrt{\Omega_r (1+z)^4 + \Omega_m (1+z)^3 + \Omega_\Lambda}\,.$$

SSZ führt eine Zeitdilatation ein:

$$d\tau = D_{\mathrm{SSZ}}(z)\, dt\,, \qquad D_{\mathrm{SSZ}}(z) = \frac{1}{1+\Xi(z)}\,.$$

Schlüsselpunkt: Je nachdem, ob man t oder τ als „kosmische Zeit" operationalisiert, ergeben sich zwei *ohne weitere Freiheitsgrade* definierte Abbildungen:

- **Konvention A (t als GR-Zeit, τ als SSZ-Eigenzeit):**

$$H_{\mathrm{SSZ}}(z) \equiv \frac{1}{a}\frac{da}{d\tau} = \frac{1}{D_{\mathrm{SSZ}}(z)}\,\frac{1}{a}\frac{da}{dt} = \frac{H_{\mathrm{GR}}(z)}{D_{\mathrm{SSZ}}(z)} = H_{\mathrm{GR}}(z)\,(1+\Xi(z))\,.$$

- **Konvention B (τ ist GR-Zeit, t nur Koordinate):**

$$H_{\mathrm{SSZ}}(z) = H_{\mathrm{GR}}(z)\, D_{\mathrm{SSZ}}(z) = \frac{H_{\mathrm{GR}}(z)}{1+\Xi(z)}\,.$$

Diese beiden Abbildungen sind **keine Fits**, sondern zwei logisch mögliche Interpretationen derselben Zeitrelation. Das Testgerüst (Abschnitt 6) entscheidet über Datenverträglichkeit.

5.3 CMB-Minimal-Observable

Im Minimal-Gerüst wird die CMB-Akustikskala durch

$$\theta_* \approx \frac{r_s(z_*)}{D_M(z_*)}$$

approximiert, wobei D_M die komovierende Winkelentfernung ist (flach: $D_M = D_C$) und

$$r_s(z_*) = \int_{z_*}^{\infty} \frac{c_s(z)}{H(z)}\,dz, \qquad c_s(z) = \frac{c}{\sqrt{3\,(1+R(z))}}, \qquad R(z) = \frac{3\rho_b}{4\rho_\gamma} \propto \frac{\Omega_b}{\Omega_\gamma}\,\frac{1}{1+z}.$$

5.4 BBN-Minimal-Constraint

BBN reagiert empfindlich auf den Expansions-Speedup

$$S_{\rm BBN} \equiv \left.\frac{H_{\rm SSZ}}{H_{\rm GR}}\right|_{T\sim{\rm MeV}} \approx \frac{H_{\rm SSZ}(z\sim 10^9)}{H_{\rm GR}(z\sim 10^9)}.$$

In unserem Gerüst ist damit sofort klar: wenn $\Xi(z\sim 10^9)$ nicht extrem klein ist, scheitert das Modell.

5.5 Strukturwachstum (linear, Minimal)

Wir benutzen die Standard-GR-Wachstums-ODE, aber mit $H(z)\to H_{\rm SSZ}(z)$ (Minimalannahme; $G_{\rm eff}$-Modifikationen sind ein mögliches Upgrade):

$$D''(\ln a) + \left[2+\partial_{\ln a}\ln H\right] D'(\ln a) - \frac{3}{2}\,\Omega_m(a)\,D = 0.$$

Daraus werden

$$f(z) = \frac{d\ln D}{d\ln a}, \qquad (fD)(z) \propto f\sigma_8$$

als Proxies extrahiert.

---

6. Das Testgerüst akzeptiert jede $\Xi(z)$ (ohne Curve-Fitting)

6.1 Schnittstelle

Das Gerüst erwartet nur eine Funktion

$$\Xi : z \mapsto \Xi(z)$$

und wählt dann **deterministisch**: 1) Zeitkonvention (A oder B), 2) $H_{\rm SSZ}(z)$, 3) CMB-Akustikskala (Minimal), 4) BBN-Speedup, 5) lineares Wachstum.

6.2 ***No-free-parameters***-Check (konzeptionell)

Ein $\Xi(z)$-Vorschlag ist nur dann „no-free-parameters“, wenn er ausschließlich aus festgeschriebenen Konstanten (ϕ, $\xi_{\max}$, evtl. festen kosmischen Standardwerten wie z_*) besteht und keine frei wählbaren Skalen z_c, n, α, … einführt.

Praktisch wird jeder zusätzliche Parameter als **neuer physikalischer Postulat-Block** behandelt, der separat begründet und dann *global fixiert* werden muss.

---

7. Konkreter Test: vier Beispiel-$\Xi(z)$-Eingaben

Wir testen explizit die Aussage „Das Gerüst akzeptiert jede $\Xi(z)$ und prüft sie sofort gegen CMB, BBN und Wachstum" – und demonstrieren, wie hart die Checks sind.

7.1 Setup (Minimal-Numerik)

- Flat-ΛCDM-Baseline: $H_0 = 67.4\,\mathrm{km/s/Mpc},\ \Omega_m = 0.315,\ \Omega_b = 0.0493$ (radiation inklusive Neutrinos im Standard-Faktor).
- $z_* = 1090$ (fix).
- BBN-Check bei $z \approx 10^9$ (Order-of-Magnitude genügt für den Speedup-Widerspruchstest).
- Wachstum: normiertes $D(z)$ und fD-Ratio bei $z = 0.5$.

7.2 Getestete $\Xi(z)$-Modelle

1) **GR-Baseline:** $\Xi(z) = 0$. 2) **Bridge-Extrem:** $\Xi(z) = \xi_{\max}$ (konstant). 3) **„4-Segment-Taper":** $\Xi(z) = \xi_{\max}/(1+z)^4$ (keine freien Parameter außer $\xi_{\max}$). 4) **φ-Dämpfung:** $\Xi(z) = \xi_{\max} e^{-\phi(1+z)}$ (keine freien Parameter außer $\phi, \xi_{\max}$).

7.3 Ergebnisse (Minimal-Checks)

Die Tabelle zeigt: 100θ_* (Akustikskala), BBN-Speedup S und ein Wachstum-Proxy (fD)-Ratio bei $z = 0.5$, jeweils für beide Zeitkonventionen.

$\Xi(z)$	Abbildung H	100θ_*	$S_{\rm BBN}$ bei $z = 10^9$	(fD)-Ratio bei $z = 0.5$
0	$H = H_{\rm GR}(1+\Xi)$	1.0387	1.0000	1.0000
0	$H = H_{\rm GR}/(1+\Xi)$	1.0387	1.0000	1.0000
$\xi_{\max}$	$H = H_{\rm GR}(1+\Xi)$	1.0387	**1.8017**	1.2311
$\xi_{\max}$	$H = H_{\rm GR}/(1+\Xi)$	1.0387	**0.5550**	0.7520
$\xi_{\max}/(1+z)^4$	$H = H_{\rm GR}(1+\Xi)$	**1.0942**	1.0000	1.1835
$\xi_{\max}/(1+z)^4$	$H = H_{\rm GR}/(1+\Xi)$	**0.9711**	1.0000	0.8132
$\xi_{\max} e^{-\phi(1+z)}$	$H = H_{\rm GR}(1+\Xi)$	1.0618	1.0000	1.0711
$\xi_{\max} e^{-\phi(1+z)}$	$H = H_{\rm GR}/(1+\Xi)$	1.0149	1.0000	0.9329

Interpretation (hart, aber ehrlich): - $\Xi \equiv \xi_{\max}$ ist durch **BBN** sofort ausgeschlossen (Speedup zu groß bzw. zu klein). - $\Xi = \xi_{\max}/(1+z)^4$ ist durch **CMB** sofort ausgeschlossen (Akustikskala verschoben). - Selbst die „φ-Dämpfung" verschiebt θ_* noch deutlich.

Schlussfolgerung aus dem Test:

> In diesem Minimal-Friedmann-Mapping muss eine viable Hintergrund-$\Xi(z)$ für $0 \le z \lesssim 1100$ extrem klein sein (sonst scheitert die CMB-Akustikskala). Für $z \sim 10^9$ muss Ξ *praktisch null* sein (sonst scheitert BBN).

Das ist kein Problem, sondern ein *nützliches Ergebnis*: SSZ wird dadurch klar in Richtung „Ξ ist **primär lokal/inhomogen** und nicht als homogener Hintergrundterm zu behandeln" gedrückt – oder es wird falsifiziert.

---

8. Konsequenzen für SSZ-Kosmologie

8.1 Hintergrund vs. Inhomogenität

Die obigen Checks zeigen: Eine homogene Hintergrund-$\Xi(z)$ mit nennenswerter Amplitude ist mit Standard-CMB/BBN sehr schwer kompatibel. Das legt nahe:

1) Ξ ist **lokal** um Massen/Energiedichten relevant (starkes Feld, Kompakta), 2) kosmologische Effekte entstehen vor allem über **Backreaction/Clustering/Lensing**-Wege, nicht über eine simple Modifikation von $H(z)$.

8.2 Was dann die *echten* kosmologischen SSZ-Signaturen sind

Statt „$H(z)$ ändern" sind die realistischeren Targets: - **CMB-Lensing-Potential** (Struktur/Gravitationspotentiale), - **ISW-Effekt** (späte Potentialänderungen), - **Wachstum in g2-Clustern** (effektives G_{eff} oder Potentialprofil via $\Xi(r)$), - **BAO-Dämpfung/Shift** durch inhomogene Laufzeiten.

Diese Erweiterungen bauen auf demselben Gerüst auf, ersetzen aber die „homogene $\Xi(z)$"-Abkürzung durch eine *inhomogene* Projektion.

---

9. Falsifizierbare Vorhersagen (kurz)

1) **Starkfeld-Sättigung:** Zeitdilatation/Redshift saturiert gegen $D_{\min} \approx 0.555$ (statt GR-Divergenz). 2) **Regime-Brücke:** $\Xi_{\text{weak}} \to \Xi_{\text{strong}}$ muss mit einem invarianten r_* vereinbar sein (kein per-Datensatz-Tuning). 3) **Kosmologie-Gerüst:** Jede postulierte $\Xi(z)$ wird sofort durch (CMB, BBN, Wachstum) getestet; viable $\Xi(z)$ muss im Hintergrund praktisch verschwinden oder eine inhomogene Behandlung erzwingen.

---

10. Ausblick: Nächste Schritte (konkret)

1) **Physikalische Bestimmung von r_***: Gleichheitsbedingung (weak=strong) sauber festschreiben, numerisch lösen, in Code fixieren. 2) **Upgrade kosmologischer Tests**: CMB-Lensing & ISW (inhomogen), BAO-Distanzen, SNe-Hubble-Diagramm – weiterhin ohne Curve-Fit als Kernbeweis. 3) **g1/g2-Operationalisierung**: klare Kriterien, wann welche Observables in welchen Regimen gerechnet werden.

Appendix A: Minimal-Formeln (Kompakt)

- $\Xi_{\text{weak}}(r) = \frac{1}{2}\, r_s/r$.
- $\Xi_{\text{strong}}(r) = \xi_{\max}(1 - e^{-\phi r/r_s})$, $\xi_{\max} = 1 - e^{-\phi}$.

- $D_{\mathrm{SSZ}} = 1/(1+\Xi)$.
- $H_{\mathrm{SSZ}} = H_{\mathrm{GR}}(1+\Xi)$ oder $H_{\mathrm{GR}}/(1+\Xi)$ (Konventionstest).
- $\theta_* \approx r_s(z_*)/D_M(z_*)$.
- $S_{\mathrm{BBN}} = H_{\mathrm{SSZ}}/H_{\mathrm{GR}}|_{z\sim 10^9}$.

Ende des Manuskripts.