

TSM–136D Supplementary Methods (Beilage) – Resonanzvermitteltes Zeit-Gating von (Anti)Deuteronen

136D/META-10-Stil: Run-Manifest · Schwellen · Zonenlogik · Reproduzierbarkeit

Version: v1.0 · Datum: 30.12.2025

Bezug (Empirie): ALICE Collaboration (Nature, 2025), DOI 10.1038/s41586-025-09775-5

TSM–136D Supplementary Methods (Beilage) – Resonanzvermitteltes Zeit-Gating von (Anti)Deuteronen

136D/META-10-Stil: Run-Manifest · Schwellen · Zonenlogik · Reproduzierbarkeit

Version: v1.0 · Datum: 30.12.2025

Bezug (Empirie): ALICE Collaboration (Nature, 2025), DOI 10.1038/s41586-025-09775-5

Status: Working Supplement (Methoden-/Implementationsbeilage; keine QCD-Ersatztheorie)

0. Zweck und Geltungsbereich

Diese Beilage standardisiert die reproduzierbare Anwendung der TSM-136D-Kennsätze und der META-10-Entscheidungslogik auf Datensätze, in denen ein resonanzvermitteltes Zeit-Gating (Θ -Fenster) als Mechanismus zur späteren Bindung (π -Gate) diskutiert wird (z. B. (Anti)Deuteronenbildung aus Resonanz-Zerfallsnukleonen).

Sie liefert:

- ein Run-Manifest (Konfiguration/Versionierung),
- die Gate-/Schwellenlogik (ϵ , B/S, Hysterese, N_dwell, Cap),
- das Report-Schema (Q_eff, PLV, R_combo, Cosonanz-Tripel),

- eine Stabilitäts-/Sensitivity-Einbettung (Top-Parameterkombinationen),
- Mindestregeln für Auditierbarkeit und Replikation.

> Wichtig: Die Beilage beschreibt eine Strukturübersetzung (TSM \leftrightarrow Messgrößen). Sie macht keine Aussage, dass TSM die zugrundeliegenden QCD-Modelle ersetzt.

1. Notation und Kernvariablen (136D/META-10)

1.1 Zeitachsen und Phasenbezug

- t : lineare Prozesszeit (Messzeit/Simulationszeit).
- τ : resonantes Zeitfenster ($t \leftrightarrow \tau$ -Wechsler; „Lock“-Fenster).
- $\Delta\phi$ (oder $d\phi$): Phasenlage, gewrappt nach $[-\pi, +\pi]$.
- ε : Phasentoleranz (Default $\varepsilon_{\text{deg}}=1.0^\circ \Rightarrow \varepsilon_{\text{rad}}=0.01745$).

1.2 Kohärenz / Bindung / Streuung

- $K \in [0,1]$: Kohärenzmaß (optional geglättet $\rightarrow \hat{K}$).
- B/S: Bindung/Streuung als Schwellenlogik (Default: $B \geq 0.80$, $S \leq 0.20$; inkl. Hysterese, N_{dwell}).
- \hat{C} (C_{hat}): Cosonanz-Index (0–1), als „Triple-Lock“ ($\hat{K} \text{ hoch} \wedge |\Delta\phi| \leq \varepsilon \wedge \tau\text{-Lock stabil}$).

> Praxis: Falls kein separates Streumaß vorliegt, kann $S := 1 - \hat{K}$ als konservative Näherung genutzt werden (muss im Manifest deklariert werden).

1.3 Basisreports (R-Familie)

Standardisierte Ableitungen:

- $\text{PLV} = |\cos(\Delta\phi)|$
- $Q_{\text{eff}} = \tau / \max(|\Delta\phi|, \varepsilon_{\text{rad}})$

- $\text{R_combo} = \text{minmax}(Q_{\text{eff}} \cdot \text{PLV})$ (minmax = robuste Normierung auf [0,1] innerhalb eines Reporting-Fensters; siehe §4.3)

2. Default-Parameter (Recommended v4.0.2-URK)

2.1 Baseline-Defaults

Parameter	Default
--- ---:	
eps_deg	1.0
epsilon_rad	0.01745329
cap_quantile	0.99
B_hi / B_lo	0.8 / 0.2
S_hi / S_lo	0.8 / 0.2
Hysteresis (enter/exit)	0.02 / 0.02
Stabilitätsfenster (w)	21
Verweilzeit (N_dwell)	21

2.2 ϵ -Context (optional, empfohlen)

Ziel: $\Delta\phi$ -Sensitivität stabilisieren.

Definition (MAD-basiert): $\text{eps_deg_context} = \text{argmin MAD}(\Delta\phi)$ über Kandidaten [0.5, 1.0, 1.5] innerhalb der Bounds [0.5, 1.5].

3. Inputs: Datenarten und Proxies

3.1 Minimalanforderung (für 136D-Reporting)

Ein Lauf ist 136D-berichtsfähig, wenn mindestens vorliegen:

- 1) $\Delta\phi$ oder ein Proxy (z. B. aus phasenaufgelösten Observablen oder aus PLV-Schätzung),
- 2) ein τ -Maß (effektive Verweil-/Delay-Zeit; z. B. Resonanz-Zerfalls-Delay oder Relaxationszeit),
- 3) ein K/\hat{K} -Maß (Kohärenz / Lock-Stabilität).

3.2 Spezifische Brücke für „Resonanz-Delay \rightarrow Θ -Fenster“

Für den ALICE-Mechanismus kann τ_{eff} als zeitlicher Puffer interpretiert werden:

- τ_{eff} : effektive „Freisetzungsverzögerung“ der Nukleonen (Resonanz-Zerfallskette).
- Θ -Fenster: Zeitabschnitt, in dem Gate ($|\Delta\phi| \leq \epsilon \wedge \tau\text{-Lock}$) erfüllt ist und Bindung (π -Gate) möglich wird.

Die Übersetzung ist modellabhängig und muss im Manifest als „Proxy-Definition“ dokumentiert werden (siehe §5).

4. Entscheidungslogik: Gates, Cap, Zonen

4.1 Phasen-Gate (Minimum)

``gate_ok = (|\Delta\phi| \leq \epsilon_{\text{rad}}) AND (PLV_{\tau} \geq 0.60)``

Optionales Vor-Gate (nur Vorselektion; nicht als Befund):

``Q_pre: \Delta\phi \leq 3^\circ (0.05236 \text{ rad}), PLV \geq 0.99``

4.2 Cap-Regel

Beiträge oberhalb des `cap_quantile` (Default 0.99) werden gedeckelt.

Motiv: Robustheit gegenüber Ausreißern und Nicht-Stationarität.

4.3 Zonen (6-Zonen-Basis → 3-Zonen-Report)

6-Zonen-Basis (interne Logik): `F+ | F | R↑ | R↓ | K | K+`

3-Zonen-Report (kommunikativ):

- kohärent \Leftrightarrow (K/K+-Bereich; Gate erfüllt; $B \geq B_{hi}$ und $S \leq S_{lo}$)
- fragmentiert \Leftrightarrow Gegenpol (Gate häufig fail; $B \leq B_{lo}$ und $S \geq S_{hi}$)
- regulativ \Leftrightarrow intermediär (Stabilisierung/Übergangsbereiche)

Hysterese: enter/exit = 0.02/0.02; N_dwell=21 (Verweilzeit, bevor ein Zonenwechsel als „valid“ zählt).

4.4 $\pi/\Delta/\Theta$ -Events (Reporting-Schwellen)

- π (Bindeschwelle): Zone in {K,K+} mit Mindest-Dwell ≥ 3 (und optional B/S-Kriterium).
- Δ (Transformationsschwelle): qualitativer Zonenwechsel (z. B. $R \leftrightarrow K$) unter Gate und außerhalb Hysterese.
- Θ (Zeitschwelle): Kairos-Fenster: Gate erfüllt und τ -Lock stabil; π/Δ -Events werden an Θ -Fenster gebunden berichtet.

5. Run-Manifest (Pflicht): Konfiguration, Proxies, Replikation

5.1 JSON-Template (empfohlen)

```
{
  "run_id": "ALICE-pp-deuteron-delay-TSM136D-demo",
  "tsm_bundle": "tsm-online-bundle_v1.21",
  "methods_supplement": "v1.0",
  "recommended_params_version": "v4.0.2-URK",
  "params": {
    "eps_deg": 1.0,
    "cap_quantile": 0.99,
    "B_hi": 0.8,
    "B_lo": 0.2,
    "S_hi": 0.8,
```

```

    "S_lo": 0.2,
    "hysteresis": {"enter": 0.02, "exit": 0.02},
    "window_w": 21,
    "N_dwell": 21
  },
  "proxies": {
    "tau_eff_definition": "Resonance-decay delay proxy; normalized by expansion
timescale (document exact mapping).",
    "dphi_definition": "Measured phase or estimated from PLV; wrap to [-
pi,pi).",
    "K_definition": "Coherence/lock metric; smoothing if used must be
specified.",
    "S_definition": "If not measured: S := 1 - K_hat (declare).",
  },
  "normalization": {
    "minmax": "robust min/max per window (e.g., q01/q99)",
    "cap": "quantile cap at cap_quantile"
  },
  "replication": {
    "seeds": [12345, 12346, 12347],
    "replay_window": 21,
    "perturbations": "documented (if any)"
  },
  "outputs": ["zones.csv", "R_estimates.csv", "summary.json", "run.log.jsonl"]
}

```

5.2 Pflicht-Logs (Minimal)

- `eps_phi_rad`, `dphi_rad`, `PLV`, `tau_eff`, `Q_eff`, `R_combo`, `zone`

- `gate_ok`, `phi_lock_ok`, `pi_gate_ok`, `dwell_counter`

- Versions: Bundle-Version, Recommended-Version, Datum, Hash/Commit (falls vorhanden)

6. Stabilität / Sensitivity (Top-10 aus den mitgelieferten Sweeps)

Die folgenden Parameterkombinationen zeigen im gelieferten Sweep eine hohe Stabilitätskennzahl (`stability_score`).

(Hinweis: Diese Tabelle ist eine interne Robustheitsorientierung, kein Empirie-Beleg.)

eps_deg	cap_quantile	B_hi	S_lo	B_lo	S_hi
mean_pair_diff	mean_pair_jacc	nondegeneracy_penalty	stability_score		
shares_koh	shares_reg	shares_frag			

```

|-----:|-----:|-----:|-----:|-----:|-----:|-----
----:|-----:|-----:|-----:|-----:|-----:|-----
----:|-----:|-----:|

```

1	0.99	0.75	0.2	0.2	0.8
0.0286	0.9424			0	0.9069
0.2	0.6	0.2			

1	0.98	0.75	0.2	0.2	0.8
0.0286	0.9424			0	0.9069
0.2	0.6	0.2			

0.5	0.99	0.75	0.2	0.2	0.8
0.0286	0.9424			0	0.9069
0.2	0.6	0.2			

0.5	0.98	0.75	0.2	0.2	0.8
0.0286	0.9424			0	0.9069
0.2	0.6	0.2			

0.5	0.98	0.75	0.2	0.2	0.75
0.0286	0.9424			0	0.9069
0.2	0.6	0.2			

1.5	0.98	0.8	0.2	0.2	0.8
0.0286	0.9424			0	0.9069
0.2	0.6	0.2			

1.5	0.99	0.75	0.2	0.2	0.75
0.0286	0.9424			0	0.9069
0.2	0.6	0.2			

0.5	0.995	0.75	0.2	0.2	0.8
0.0286	0.9424			0	0.9069
0.2	0.6	0.2			

0.5	0.995	0.75	0.2	0.2	0.75
0.0286	0.9424			0	0.9069
0.2	0.6	0.2			

1.5	0.98	0.75	0.2	0.2	0.75
0.0286	0.9424			0	0.9069
0.2	0.6	0.2			

7. Reproduzierbarkeits-Checkliste (kurz)

- 1) $\Delta\phi$ -Wrap nach $[-\pi, +\pi)$ bestätigt.
- 2) ε in rad dokumentiert (Default 1°).
- 3) `Q_eff`, `PLV`, `R_combo` exakt nach Formel + Normierung.
- 4) Cap-Quantil und Window-w fixiert; Seeds geloggt.
- 5) Zonenwechsel nur außerhalb Hysterese und nach N_{dwell} .
- 6) Proxy-Definitionen (τ_{eff} , K , $\Delta\phi$) explizit im Manifest.

8. Transparenz (kurz)

- TSM-136D/META-10 ist ein arbeits-hypothetischer Auswertungs- und Sprachrahmen.
- Aussagen über „Zeit-Gating“ sind Struktur-Mapping auf Messgrößen, keine physikalische Ableitung aus QCD.
- Für jede Veröffentlichung sind Datenquellen, Einheiten, Proxies und Audits offenzulegen.

Ende der Beilage