

Orthogonale Resonanzverarbeitung

Der formale Apparat des Resonanzmodells

Paper P2 des Theorieprogramms

Artur Klassen

artur.klassen@me.com

2. August 2026 · überarbeitet am 9. August 2026

Zusammenfassung

Dieses Paper fixiert den formalen Apparat des Resonanzmodells (Orthogonale Resonanzverarbeitung, ORV) in einer einzigen verbindlichen Darstellung. Der Zustand eines resonanzfähigen Systems wird als komplexe Amplitude $\Psi = M + iI$ mit zwei unabhängigen reellen Freiheitsgraden gefasst – M manifest, I latent. Der Apparat trennt strikt zwei Ebenen: den generativen Zustandsraum (punktweise) und den Signal-/Trajektorienraum (Beobachtungsschicht), auf dem allein die Hilbert-Transformation und die Quadratur-Orthogonalität wohldefiniert sind. Fünf kanonische Definitionen (D1–D5) legen Zustand, Rotationsoperator $\mathcal{J}$, Rekonstruktionsoperator $\mathcal{Q}$, partielle Kopplung $\kappa \in [0, 1]$ und Messpfad fest; die Restzerlegung $R = R_s + R_e$ mit irreduziblem $R_s > 0$ trägt die Erkenntnisgrenze des Modells. Frühere Definitionslinien werden als geschachtelte Modellklassen $\mathfrak{M}_0 \subset \mathfrak{M}_1 \subset \mathfrak{M}_2 \subset \mathfrak{M}_3$ eingeordnet, wobei $\mathfrak{M}_1$ (deterministische Quadratur) exakt die Falsifikationsbedingung der vollen Theorie liefert. Als Referenzdynamik dient ein Stuart–Landau-Netzwerk mit Sakaguchi-konsistenter Kopplung $e^{-i\varphi_{ij}}(\Psi_j - \Psi_i)$; die Rekonstruktionsschicht wird als partielle Identifikation formuliert. Zehn offene formale Probleme und eine Konkordanz der Notation schließen die Darstellung ab.

Schlüsselbegriffe: Resonanzmodell, Orthogonale Resonanzverarbeitung, komplexe Amplitude, Hilbert-Transformation, Stuart–Landau, Kuramoto–Sakaguchi, inverses Problem, partielle Identifikation, Modellklassen-Hierarchie, Falsifizierbarkeit

Inhaltsverzeichnis

Zweck und Lesart	2
1 Zustandsraum und Trajektorienraum	3
1.1 Ebene Z: Zustandsraum (generativ, punktweise)	3
1.2 Ebene S: Signal-/Trajektorienraum (Beobachtungsschicht)	4
1.3 Abbildungen zwischen den Ebenen	5
1.4 Was aus der Nichtinvertierbarkeit von $\mathcal{O}$ folgt	5
2 Kanonische Definitionen D1–D5	6
3 Die Freiheitsstufen-Hierarchie $\mathfrak{M}_0 \subset \mathfrak{M}_1 \subset \mathfrak{M}_2 \subset \mathfrak{M}_3$	8
3.1 Definition der Stufen	8
3.2 Übersicht	8
3.3 Drei Präzisierungen	8

4	Orthogonalität: O1, O2, O3	10
4.1	Die drei Begriffe	10
4.2	Formulierungsdisziplin: $\langle M, I \rangle$ nur in Innenprodukträumen der Dimension ≥ 2	10
5	Dynamik	12
5.1	Verbindliche Referenzdynamik: Stuart–Landau-Netzwerk	12
5.2	Phasenreduktion und Kuramoto–Sakaguchi	12
5.3	Erweiterungsschicht: hybrides dynamisches System	13
5.4	Numerik	14
5.5	Herkunft der Bausteine	14
6	Mess- und Rekonstruktionsschicht	16
6.1	Problemstellung: schlecht gestelltes inverses Problem	16
6.2	Randbedingte Verengung	16
6.3	Rekonstruktionoperator	16
6.4	Partielle Identifikation (Manski-Anschluss)	17
6.5	Kopplungskoeffizient κ	17
6.6	Liminalitätsparameter	17
6.7	Attraktoren und Doppelspannung	17
7	Offene formale Probleme	18
8	Konkordanz: Altnotation $\rightarrow$ kanonische Notation	19
	Literatur	21
	Erklärung	22

Zweck und Lesart

Zweck: ein verbindlicher Apparat. Das Resonanzmodell formalisiert Victor Turners Unterscheidung von *Struktur* (manifeste soziale Ordnung) und *Antistruktur* (latentes Veränderungspotential) als Komponenten eines gemeinsamen Zustandsraums. Das Theorieprogramm ist über mehrere Jahre in Fassungen mit teils divergierender Notation und teils fehlerhaften Definitionsvarianten gewachsen; die vorliegende Arbeit stellt den **einen verbindlichen formalen Apparat** bereit: einen Symbolsatz, eine kanonische Definitionsbox, eine Modellklassen-Hierarchie, die Referenzdynamik sowie die Mess- und Rekonstruktionsschicht. Bei Abweichungen zwischen früheren Fassungen und diesem Paper gilt dieses Paper; die Konkordanz in Abschnitt 8 bildet die Altnotation auf die kanonische ab.

Zwei Redlichkeitsregeln gelten durchgängig. Erstens: Es werden **keine neuen Theoreme** eingeführt; Aussagen ohne Beweis sind ausdrücklich als *Behauptung* oder *Vermutung* markiert (und im Satzbild als eigene Umgebungen gekennzeichnet). Zweitens: Der verwendete mathematische Apparat – analytisches Signal, Hilbert-Transformation, Stuart–Landau- und Kuramoto–Sakaguchi-Dynamik, Theorie schlecht gestellter inverser Probleme, partielle Identifikation – ist Standard der nichtlinearen Dynamik, Signal- und Inferenztheorie und wird mit Herkunft ausgewiesen (Herkunftstabelle 2 in Abschnitt 5.5). Die Eigenleistung des Programms ist die *Verschaltung* dieser Bausteine: die Abbildung $(M, I) \leftrightarrow (\text{manifest}, \text{latent})$, die Rahmung des Schlusses vom Manifesten auf das Latente als inverses Problem mit irreduziblem Rest und die geschichtete Falsifikationsarchitektur – nicht die Bausteine selbst.

Verhältnis zum Grundlegungspapier (P1). Dieses Paper (P2) ist der formale Teil eines zweiteiligen Paars. Das Begleitpapier P1 (*Struktur und Antistruktur als orthogonale Kopplung – Grundlegung des Resonanzmodells*) trägt die inhaltliche Gesamtdarstellung: Herkunft aus der Feldpraxis, Begriffsarbeit an Struktur und Antistruktur, Ebenenarchitektur mit Grundwette, Anwendungsfeld Identität, Hypothesen H1–H5 samt Falsifikationsbedingungen. P2 fixiert den formalen Apparat, auf den P1 sich stützt, ergänzt die dort nur skizzierten Stücke (Zwei-Ebenen-Konstruktion des Zustands- und Signalraums, Freiheitsstufen-Hierarchie, konsolidierter Operatorkatalog) und ist selbsttragend lesbar: Alle Definitionen werden hier vollständig angegeben. Empirische Aussagen treten in beiden Papieren ausschließlich als Hypothesen auf; für keine liegt bislang eine vollzogene Messung vor.

Aufbau. Abschnitt 1 konstruiert die zwei Ebenen des Apparats (Zustandsraum, Trajektorienraum) und die Abbildungen dazwischen. Abschnitt 2 gibt die kanonischen Definitionen D1–D5. Abschnitt 3 fasst die Entwicklungslinien des Programms als geschachtelte Modellklassen $\mathfrak{M}_0 \subset \dots \subset \mathfrak{M}_3$. Abschnitt 4 trennt drei Orthogonalitätsbegriffe und formuliert die verbindliche Formulierungsdisziplin für Innenprodukte. Abschnitt 5 gibt die Referenzdynamik samt Phasenreduktion und Gültigkeitsbedingungen. Abschnitt 6 entwickelt die Mess- und Rekonstruktionsschicht als partielle Identifikation. Abschnitt 7 nummeriert die offenen formalen Probleme; Abschnitt 8 enthält die Konkordanz.

1 Zustandsraum und Trajektorienraum

Frühere Fassungen des Programms notierten die Quadratur-Axiomatik auf dem Momentanwert-Raum $\mathbb{R}^K$, realisierten sie aber durch die Hilbert-Transformation – einen Operator auf *Zeitreihen*. Diese Axiomatik bewies damit Eigenschaften für einen Raum, in dem ihre einzige Realisierung nicht existiert (Kategorienbruch). Der Apparat löst das konstruktiv durch strikte Trennung zweier Ebenen mit expliziten Abbildungen dazwischen (Abbildung 1).

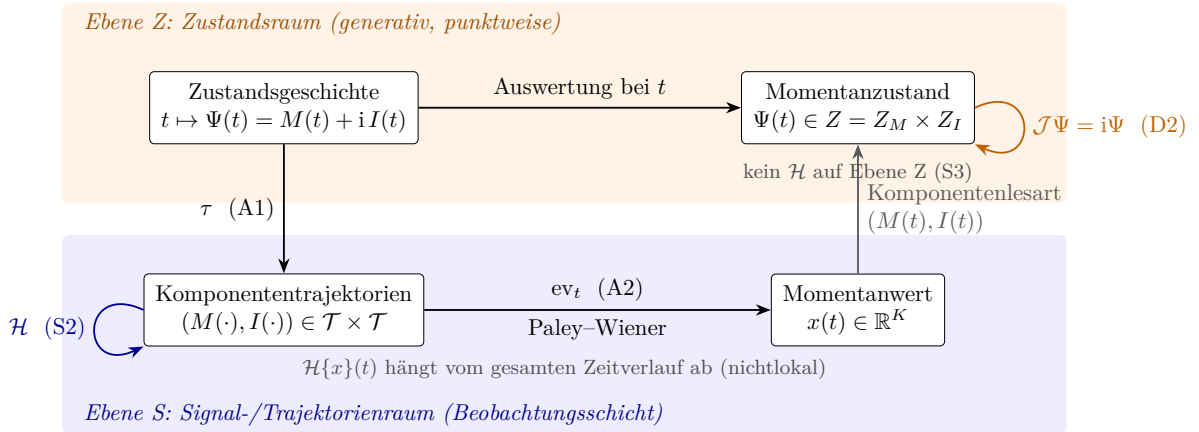


Abbildung 1: Zwei-Ebenen-Konstruktion des Apparats als kommutierendes Diagramm: Die Trajektorienbildung τ ordnet einer Zustandsgeschichte ihr Komponentenpaar in $\mathcal{T} \times \mathcal{T}$ zu; die Auswertung ev_t liefert den Momentanwert zurück ($\text{ev}_t \circ \tau$ ist die punktweise Auswertung der Zustandsgeschichte). Der Rotationsoperator $\mathcal{J}$ lebt auf Ebene Z, die Hilbert-Transformation $\mathcal{H}$ ausschließlich auf Ebene S; der Momentanwert-Raum $\mathbb{R}^K$ ist Bild der Auswertungsabbildung, nicht Träger der Quadratur-Axiomatik.

1.1 Ebene Z: Zustandsraum (generativ, punktweise)

(Z1) Grundräume. Für ein resonanzfähiges System (einen Agenten) i sind Z_M (Raum manifester Konfigurationen) und Z_I (Raum latenter Konfigurationen) zunächst *metrische Räume*;

der Gesamtzustandsraum ist der Produktraum

$$Z = Z_M \times Z_I, \quad d((M_1, I_1), (M_2, I_2)) = \sqrt{d_M(M_1, M_2)^2 + d_I(I_1, I_2)^2}. \quad (1.1)$$

(Z2) Vektorraum-Spezialisierung. Alle algebraischen Ausdrücke dieses Papers ($\Psi = M + iI$, $|\Psi|^2$, Linearkombinationen) setzen zusätzlich Vektorraum- bzw. Innenproduktstruktur voraus. Diese wird für die konkreten Arbeitsfälle **explizit angenommen**:

- *Skalarfall* (ein Kanal pro Agent): $Z_M = Z_I = \mathbb{R}$, kompakt $\Psi_i(t) \in \mathbb{C}$.
- *Mehrkanalfall* (K Sensorkanäle): $Z_M = Z_I = \mathbb{R}^K$ mit gewichtetem Skalarprodukt $\langle x, y \rangle_w = \sum_{k=1}^K w_k x_k y_k$, $w_k > 0$, $\sum_k w_k = K$; kompakt $\Psi_i(t) \in \mathbb{C}^K$ (endlichdimensional, daher vollständig).
- *Mehragentenfall* (N Agenten): kartesisches Produkt $\Psi(t) = (\Psi_1, \dots, \Psi_N) \in (\mathbb{C}^K)^N$. Eine Tensorproduktstruktur wird **nicht** verwendet; nicht-faktorisierbare Korrelationen (Verschränkung im quantenmechanischen Sinn) werden ausdrücklich nicht beansprucht.

Für allgemeine (nur metrische) Z_M, Z_I bleibt die Gültigkeit der algebraischen Ausdrücke ein offener Punkt (Problem R4, Abschnitt 7).

(Z3) Zeitindizierung. Ein Zustand ist punktweise in der Zeit definiert: $\Psi_i(t)$ ist der Momentanzustand. Auf dieser Ebene existiert **kein** Hilbert-Operator: $\mathcal{H}$ ist auf $\mathbb{R}^K$ nicht definiert.

1.2 Ebene S: Signal-/Trajektorienraum (Beobachtungsschicht)

(S1) Trajektorienraum. Für ein Beobachtungsfenster $[0, T]$ sei

$$\begin{aligned} \mathcal{T} := \left\{ x : [0, T] \rightarrow \mathbb{R}^K \mid x \text{ kanalweise bandpassgefiltert, gleichanteilsfrei (DC-frei)} \right\} \\ \subset (L^2[0, T])^K, \end{aligned} \quad (1.2)$$

mit dem Skalarprodukt

$$\langle x, y \rangle_{\mathcal{T}} = \sum_{k=1}^K w_k \int_0^T x_k(t) y_k(t) dt. \quad (1.3)$$

(S2) Hilbert-Transformation auf $\mathcal{T}$. Die kanalweise Hilbert-Transformation $\mathcal{H} : \mathcal{T} \rightarrow \mathcal{T}$, $(\mathcal{H}x)_k = \mathcal{H}\{x_k\}$, ist auf diesem Raum wohldefiniert. Auf dem DC-freien, bandbegrenzten Unterraum gelten die Standardaussagen der Signaltheorie (Gabor 1946; Bedrosian 1963; Boashash 1992):

$$\mathcal{H}^2 = -1, \quad \mathcal{H}^\dagger = -\mathcal{H} \text{ (schiefadjungiert)}, \quad \|\mathcal{H}x\| = \|x\|, \quad \langle x, \mathcal{H}x \rangle_{\mathcal{T}} = 0 \quad \forall x \in \mathcal{T}. \quad (1.4)$$

Damit gelten die früher auf $\mathbb{R}^K$ nur *behaupteten* Quadratur-Axiome auf $\mathcal{T}$ *beweisbar* – als Standardresultate, die hier nicht neu bewiesen werden. Eine frühere Geradzahligkeits-Bedingung an die Kanalzahl K (mit Padding im ungeraden Fall) **entfällt**: Sie war ein Artefakt der endlichdimensionalen Fehlplatzierung; an ihre Stelle tritt die Bandpass-/DC-frei-Bedingung.

Randkonvention (verbindlich). Die Eigenschaften der Hilbert-Transformation ($\mathcal{H}^2 = -\text{id}$, Normerhaltung, L^2 -Orthogonalität) gelten exakt auf $L^2(\mathbb{R})$. Endliche Beobachtungsfenster $[0, T]$ realisieren $\mathcal{H}$ approximativ über die deklarierte DFT-Implementierung (Zero-Padding auf gerade Länge, keine periodische Fortsetzungsannahme über das Fenster hinaus); alle Aussagen über gefensterte Signale gelten daher bis auf einen Randfehler, der mit Fensterlänge und Bandbegrenzung kontrolliert und in der Auswertung als solcher berichtet wird (vgl. R1, Abschnitt 7).

(S3) Nichtlokalität. $\mathcal{H}\{x\}(t)$ hängt vom gesamten Zeitverlauf von x ab, nicht vom Momentanwert $x(t)$. $\mathcal{H}$ ist daher konstitutiv ein Operator der Ebene S und kann keine Aussage über den Momentanzustand der Ebene Z definieren.

1.3 Abbildungen zwischen den Ebenen

(A1) Trajektorienbildung. Jede Zustandsgeschichte induziert die Abbildung

$$\tau : \Psi(\cdot) \mapsto (M(\cdot), I(\cdot)), \quad (1.5)$$

die einer generativen Trajektorie ihr Komponentenpaar als Element von $\mathcal{T} \times \mathcal{T}$ zuordnet (sofern die Trajektorie die Regularitätsbedingungen von (S1) erfüllt; andernfalls nach Bandpassfilterung als Teil des deklarierten Beobachtungsmodells).

(A2) Auswertung. Umgekehrt liefert die Auswertungsabbildung

$$\text{ev}_t : \mathcal{T} \rightarrow \mathbb{R}^K, \quad \text{ev}_t(x) = x(t), \quad (1.6)$$

den Momentanwert. Auf dem bandbegrenzten Unterraum ist die Punktauswertung wohldefiniert: bandbegrenzte L^2 -Funktionen besitzen stetige Repräsentanten (Paley–Wiener). Der Momentanwert-Raum $\mathbb{R}^K$ ist damit **Bild der Auswertungsabbildung**, nicht der Träger der Quadratur-Axiomatik (vgl. Abbildung 1).

(A3) Beobachtungsabbildung. Die generative Dynamik ist nur vermittelt zugänglich:

$$\text{Beobachtung (Signatur)} = \mathcal{O}[\text{generative Dynamik}], \quad (1.7)$$

mit einer im Allgemeinen nicht invertierbaren Observationsabbildung $\mathcal{O}$ (Bandwahl, Abtastung, Rauschen, Kanalauswahl). Signatur und Mechanismus dürfen nicht identifiziert werden; die Signatur ist nur relativ zu einem deklarierten $\mathcal{O}$ diagnostisch.

Merkregel. Ebene Z trägt die *Definitionen* (was der Zustand ist), Ebene S trägt die *Schätzungen* (was aus Signalen berechnet wird). Jeder Operator des Programms gehört genau einer Ebene an: $\mathcal{J}$ der Ebene Z (D2), $\mathcal{H}$ der Ebene S (D5); $\mathcal{Q}$ vermittelt von S nach Z als Inferenz (D3, Abschnitt 6).

1.4 Was aus der Nichtinvertierbarkeit von $\mathcal{O}$ folgt

(Ergänzt am 9. August 2026. Keine neue Annahme — die Nichtinvertierbarkeit von $\mathcal{O}$ ist in (A3) bereits festgestellt; hier stehen ihre Konsequenzen.)

(N1) Faser. Zu einem beobachteten Datum d gehört die Menge aller Zustandsgeschichten, die es erzeugt haben könnten, $\mathcal{O}^{-1}(d) = \{z : \mathcal{O}[z] = d\}$. Die randbedingte Verengung schneidet daraus eine Teilmenge heraus; die Identifikationsmenge ist

$$S_I^{B,T}(d) = \mathcal{O}^{-1}(d) \cap C(B) \cap C(T),$$

mit $C(B), C(T)$ den mit deklarierter Randinformation und beobachteter Zeitstruktur verträglichen Zuständen. In dieser Schreibweise ist *der Rand verengt, er kodiert nicht* keine Behauptung, sondern eine Mengenoperation.

(N2) Kern (linearer Fall). Ist $\mathcal{O}$ linear, so sind alle Fasern Nebenklassen eines festen Unterraums, $\ker \mathcal{O} = \{z : \mathcal{O}[z] = 0\}$ und $\mathcal{O}^{-1}(d) = z_0 + \ker \mathcal{O}$. Richtungen in $\ker \mathcal{O}$ hinterlassen in den Daten **keine** Spur; über sie entscheidet keine Datenmenge, weil sie in den Daten nicht vorkommen.

(N3) Wiedergewinnbarer Anteil. Rekonstruierbar ist nicht Z , sondern der Quotient $Z/\ker \mathcal{O}$: bestimmbar ist, in *welcher* Faser der Zustand liegt, nicht *wo* in ihr. Daraus folgt eine Prüfregel, die vor jeder Erhebung an der geplanten Anordnung anwendbar ist: Jede Aussage über I ist entweder eine Aussage über die Faser — dann ist sie prüfbar — oder eine Aussage über die Lage innerhalb der Faser — dann ist sie es nicht.

(N4) **Anordnungsschranke.** Zerlegt man I in seinen Anteil in $\ker \mathcal{O}$ und dessen Komplement, so ist der identifizierbare Anteil nach oben beschränkt durch

$$\kappa^*(\mathcal{O}) = 1 - \frac{\text{Var}(I_{\ker})}{\text{Var}(I)} \leq 1.$$

Zur Abgrenzung: $\kappa_{\max} = 1$ in D4 ist eine *Normierungsfestlegung* des Kopplungsparameters, $\kappa^*(\mathcal{O})$ die *anordnungsabhängige Obergrenze des identifizierbaren Anteils*. Es gilt $\kappa^* < 1$ genau dann, wenn $\ker \mathcal{O}$ auf den für I relevanten Richtungen nichttrivial ist.

(N5) **Informationstheoretischer Zwilling.** Für die Kette $Z \rightarrow d \rightarrow \hat{I}$ gilt die Datenverarbeitungsungleichung $I(Z; \hat{I}) \leq I(Z; d)$: Keine Auswertung kann mehr über I liefern, als $\mathcal{O}$ durchgelassen hat. κ^* ist damit eine Eigenschaft des Aufbaus, nicht der Auswertung.

(N6) **Verkettung.** Beobachtung ist in der Praxis keine einzelne Abbildung, sondern eine Kette $\mathcal{O} = \mathcal{O}_c \circ \mathcal{O}_b \circ \mathcal{O}_a$ — etwa Verhalten $\rightarrow$ Körperkonfiguration $\rightarrow$ Bild $\rightarrow$ Merkmalsvektor. Wegen $\ker \mathcal{O}_a \subseteq \ker \mathcal{O}$ gilt: **Was das erste Glied verwirft, ist danach nicht rekonstruierbar**, durch keine Verfeinerung späterer Glieder. Ein messbarer Raum ist deshalb im Regelfall selbst bereits Bild einer Projektion aus einem nicht direkt messbaren Raum. Wirksame Anreicherung setzt stromaufwärts an, also an der Anordnung — der formale Grund für den Vorrang der Datenarchitektur vor der Auswertung.

2 Kanonische Definitionen D1–D5

Die folgenden fünf Definitionen sind die verbindliche Kerndefinition des Programms. Sie stimmen inhaltlich mit der Definitionsbox des Grundlegungspapiers P1 überein, präzisiert um die Ebenen-Zuordnung aus Abschnitt 1 und den Festlegungsstatus der Normierung $\kappa \in [0, 1]$.

Definition 1 (D1 – Zustand (generativ, primär)) Für ein resonanzfähiges System i :

$$\Psi_i(t) := M_i(t) + i I_i(t), \quad M_i, I_i \in \mathbb{R} \text{ **unabhängige reelle Freiheitsgrade**,} \quad (2.1)$$

mit M (Struktur: manifest, beobachtbar) und I (Antistruktur: latent). Unabhängig heißt hier: generativ eigenständig und nicht deterministisch auseinander ableitbar — nicht: statistisch unabhängig. Die dynamische Kopplung beider Freiheitsgrade regelt die partielle Kopplung (D4, κ). Abgeleitete Koordinaten:

$$|\Psi_i|^2 = M_i^2 + I_i^2, \quad \theta_i := \text{atan2}(I_i, M_i), \quad M_i = |\Psi_i| \cos \theta_i, \quad I_i = |\Psi_i| \sin \theta_i. \quad (2.2)$$

Lesart von $\Psi = M + iI$: **Kompaktnotation** für das Paar $(M, I) \in Z_M \times Z_I$ mit Phasenkopplung; kein Anspruch auf einen komplexen Zustandsraum im ontologischen Sinn, keine Wellenfunktion, kein Born-Postulat; $|\Psi|^2$ ist eine klassische Signalintensität.

Definition 2 (D2 – Rotationsoperator) (Operatoraussage, nicht Komponentendefinition.)

$$\mathcal{J}\Psi := i\Psi, \quad \mathcal{J}^2 = -\text{id}, \quad \mathcal{J} : (M, I) \mapsto (-I, M). \quad (2.3)$$

Die Multiplikation mit i ist eine 90° -Rotation des Gesamtzustands (Ebene Z) – die frühere „ $I := M \cdot i$ “-Intuition lebt hier legitim weiter. **Unzulässig** bleibt $I := M \cdot i$ als Definition der Komponente: Wörtlich gelesen folgte $\Psi = M(1 + i)$, $|\Psi|^2 = 2M^2$ bzw. $I^2 = -M^2$, und I würde zur deterministischen Funktion von M – im Widerspruch zu D1 und zur strukturellen Orthogonalität O3 (Abschnitt 4).

Definition 3 (D3 – Rekonstruktionsrelation) (Messschicht, sekundär.) Jede Beziehung der Form $I \approx \mathcal{Q}\{M, B, T\}$ ist eine **Rekonstruktion**, keine Definition:

$$I^*(t) = \mathcal{Q}\{M, B, T\} = \arg \min_{I \in \mathcal{S}_I^{B, T}(M)} L(I, M, T), \quad I(t) = \mathcal{Q}\{M, B, T\} + R(t), \quad (2.4)$$

$$R = R_s + R_e, \quad R_s > 0 \text{ (irreduzibel)}, \quad \|R_e\| \leq C(1 - \kappa) \|I\|. \quad (2.5)$$

Dabei ist B die Boundary (deklarierte Kontext- und Randinformation) und T die Zeitstruktur (beobachtete Vorgeschichte); Einzelheiten in Abschnitt 6.

Definition 4 (D4 – Partielle Kopplung) $\kappa = \kappa(\theta, B, T) \in [0, 1]$ misst, wie stark sich das Latente im Manifesten ausdrückt; hoch in Resonanz, niedrig in Verstellung, Routine oder Entfremdung. Die Normierung $\kappa \in [0, 1]$ (mit $\kappa_{\max} = 1$) wird kanonisch **festgelegt**, nicht hergeleitet (Problem R3).

Definition 5 (D5 – Messpfad) Bei einkanaligen reellen Passband-Daten $s_i(t)$:

$$\widehat{\Psi}_i(t) = [s_i(t) + i \mathcal{H}\{s_i\}(t)] e^{-i\omega_c t}, \quad \widehat{M}_i = \text{Re } \widehat{\Psi}_i, \quad \widehat{I}_i = \text{Im } \widehat{\Psi}_i, \quad (2.6)$$

mit deklarerter Trägerfrequenz ω_c . $\mathcal{H}$ ist die Hilbert-Realisierung des Quadraturanteils von $\mathcal{Q}$ auf Ebene S – **Merkmalsextraktion, kein Zugang zu I** ; die Schätzung $\widehat{I}$ ist vollständig aus den Daten berechenbar und per Konstruktion orthogonal zu $\widehat{M}$, daher kein Beleg für die Signaturhypothese der Beobachtungsschicht. Gültigkeit der Einhüllenden-/Phasendeutung nur schmalbandig (Bedrosian-Bedingung).

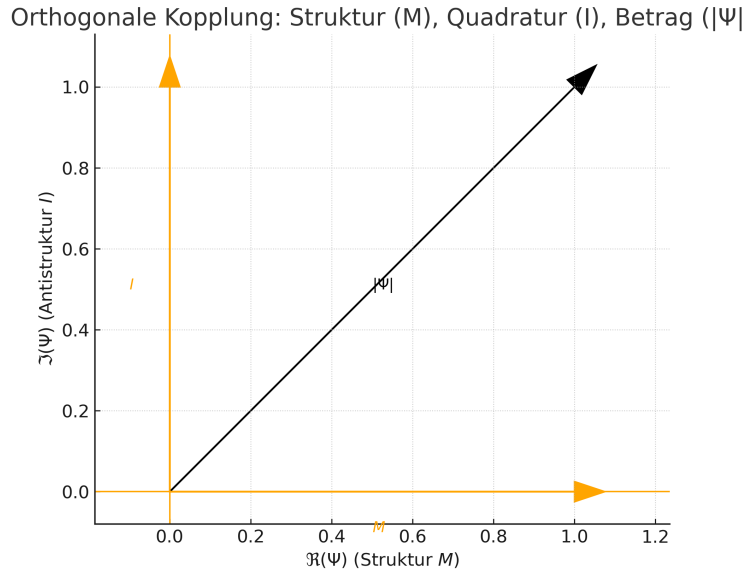


Abbildung 2: Grundbild zu D1: Der Zustand Ψ in der komplexen Ebene mit Struktur M auf der reellen und Antistruktur I auf der imaginären Achse; der Betrag $|\Psi|$ ist die integrierende Größe. Die Achsenlage zeigt die Darstellungsorthogonalität O1 (Abschnitt 4) – sie gilt per Konstruktion und ist von der Signal- und der strukturellen Orthogonalität strikt zu trennen.

Lesehilfe. D1 und D2 definieren den Zustand; D3–D5 definieren, wie über ihn geschlossen und gemessen wird. Jedes Auftreten von „ $I = Q(M)$ “, „ $I = \hat{Q}_{90}M$ “, „ $I := \hat{Q}M$ “ oder „ $I := M \cdot i$ “ in früheren Fassungen des Programms ist kanonisch als Instanz von D3/D5 zu lesen (bei „ $M \cdot i$ “ als fehlnotierte D2). Die zulässige Umformulierung der älteren Quadratur-Definition lautet: „Im Einkanal-Messpfad wird I durch $\hat{I} := \mathcal{H}\{\hat{M}\}$ *geschätzt* (Rekonstruktionsrelation, nicht Definition).“

Entscheidend ist, was D1 *nicht* sagt: I wird nicht aus M erzeugt. Das Modell ist *generativ* – beide Komponenten sind eigenständig, und genau diese Eigenständigkeit trägt die Erkenntnisgrenze $R_s > 0$.

3 Die Freiheitsstufen-Hierarchie $\mathfrak{M}_0 \subset \mathfrak{M}_1 \subset \mathfrak{M}_2 \subset \mathfrak{M}_3$

Die Entwicklungsgeschichte des Programms kennt zwei Definitionslinien: eine ältere, in der die Antistruktur als deterministische Quadratur der Struktur definiert wurde, und die kanonische, in der I ein unabhängiger reeller Freiheitsgrad ist. Diese Linien sind kein Widerspruch zweier Theorien, sondern zwei Reifestadien einer Theorie. Kanonisch wird das Verhältnis als **geschachtelte Modellklassen** gefasst (Abbildung 3): Restriktionen der vollen Theorie, formuliert auf der Trajektorienebene S . Da die Stufe-1-Restriktion die nichtlokale Relation $I = \mathcal{H}\{M\}$ enthält, ist die Schachtelung streng genommen eine Schachtelung von *Trajektorienklassen*, nicht von punktwisen Zustandsräumen; diese Festlegung behebt den informellen Teil des Problems, seine vollständige formale Ausarbeitung bleibt offen (Problem R1).

3.1 Definition der Stufen

Sei $\mathcal{P}$ die Klasse zulässiger Komponententrajektorien $(M(\cdot), I(\cdot)) \in \mathcal{T} \times \mathcal{T}$ (pro Agent; Parameter der Dynamik gemäß Abschnitt 5). Dann:

$$\begin{aligned} \mathfrak{M}_0 &:= \{(M, I) \in \mathcal{P} \mid I \equiv 0\} \quad (\text{Struktur-only, } \Psi \approx M) \\ \mathfrak{M}_1 &:= \{(M, I) \in \mathcal{P} \mid I = \mathcal{H}\{M\}\} \quad (\text{deterministische Quadratur; äquiv. } R \equiv 0, \delta = 0) \\ \mathfrak{M}_2 &:= \{(M, I) \in \mathcal{P} \mid I = I_\delta[M], \text{ Phasenlage } \frac{\pi}{2} \pm \delta; \varphi_{ij} \text{ frei}\} \quad (\text{Phasenwahl, deterministisch}) \\ \mathfrak{M}_3 &:= \mathcal{P} \quad (\text{volle Theorie: } I \text{ unabhängig}) \end{aligned} \tag{3.1}$$

Dabei bezeichnet $I_\delta[M]$ die deterministische Quadratur mit relativer Phasenabweichung δ (im harmonischen Referenzfall $M = \cos \omega t$, $I_\delta = \sin(\omega t + \delta)$; vgl. O2 in Abschnitt 4). Es gilt die strikte Schachtelung

$$\mathfrak{M}_0 \subset \mathfrak{M}_1 \subset \mathfrak{M}_2 \subset \mathfrak{M}_3, \tag{3.2}$$

denn jede Stufe entsteht aus der nächsthöheren durch zusätzliche Restriktion: $\mathfrak{M}_2 \supset \mathfrak{M}_1$ via $\delta = 0$, $\varphi_{ij} = 0$; $\mathfrak{M}_1 \supset \mathfrak{M}_0$ formal über den entarteten Fall $M \equiv 0$ bzw. – inhaltlich tragfähiger – über die Einbettung von $\mathfrak{M}_0$ als „ I -freies“ Randmodell derselben Parametrisierung. Die Einbettungsaussagen sind elementare Mengeninklusionen der Parameterrestriktionen, keine Theoreme.

3.2 Übersicht

3.3 Drei Präzisierungen

1. **Schachtelung vs. Wahrheitsanspruch.** Die Stufen 0–2 sind *Elemente der Modellklasse*; das Kernpostulat der Stufe 3 ($R_s > 0$) behauptet jedoch, dass das tatsächliche System **nicht** in $\mathfrak{M}_0$ – $\mathfrak{M}_2$ liegt. $\mathfrak{M}_1$ (vollständige Bestimmbarkeit von I aus M) ist exakt die **Falsifikationsbedingung** der Rekonstruktionstheorie: Gelänge irgendeinem Verfahren

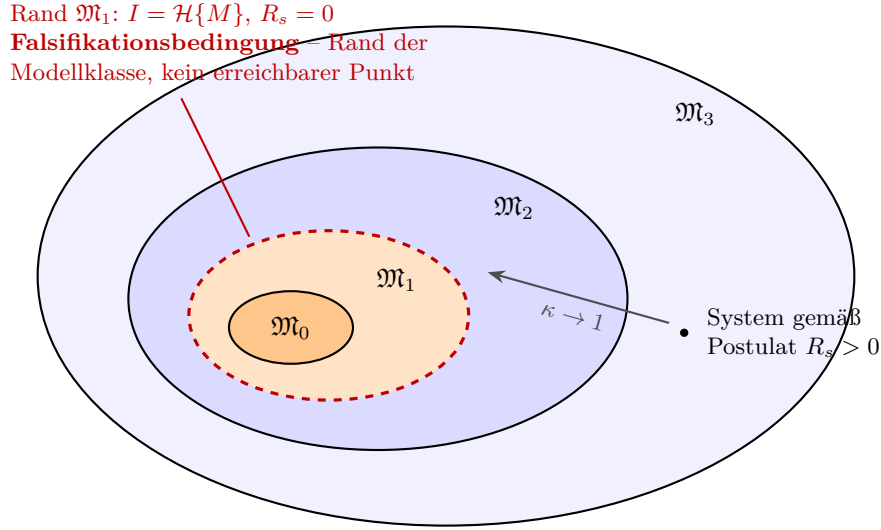


Abbildung 3: Freiheitsstufen-Hierarchie als geschachtelte Trajektorienklassen $\mathfrak{M}_0 \subset \mathfrak{M}_1 \subset \mathfrak{M}_2 \subset \mathfrak{M}_3$ (Gleichung (3.1)). Das Kernpostulat $R_s > 0$ verortet das tatsächliche System außerhalb von $\mathfrak{M}_0$ – $\mathfrak{M}_2$; im Limes $\kappa \rightarrow 1$ nähert sich die Rekonstruktion der deterministischen Stufe-1/2-Form, ohne sie je zu erreichen (Behauptung 1). Die rot markierte Stufe $\mathfrak{M}_1$ ($R_s = 0$) ist exakt die Falsifikationsbedingung der Rekonstruktionstheorie.

Stufe	Restriktion	Freie Größen	Status im Kanon
$\mathfrak{M}_0$	$I \equiv 0, \Psi \approx M$	M	Nullmodell A des Minimaltests; Vergleichsmodell für den Modellvergleich ($\Delta\text{AIC}/\text{BIC}$ gegen dimensionsgleiche reelle Modelle)
$\mathfrak{M}_1$	$I = \mathcal{H}\{M\}$; exakte O2-Signatur; $R \equiv 0$	M ($\mathcal{H}$ fix)	Spezialfall ohne Eigeninformation: I trägt keine Information über M hinaus. Legitim ausschließlich als Mess-/Rekonstruktionsschicht (D5) und als Signatur-Grenzfall der Beobachtungsschicht. Keine Zustandsdefinition
$\mathfrak{M}_2$	I deterministisch aus M bei Phasenlage $\pi/2 \pm \delta$; Kopplungsphase $\varphi_{ij} \neq 0$ zugelassen	M, δ, φ_{ij}	Signatur- und Dynamikerweiterung <i>innerhalb</i> der deterministischen Klasse (Varianz, Hybridität, Frustration); I bleibt aus M ableitbar
$\mathfrak{M}_3$	keine: I unabhängiger reeller Freiheitsgrad; partielle Kopplung $\kappa(\theta, B, T)$; $R = R_s + R_e$ mit $R_s > 0$	$M, I, \delta, \varphi_{ij}, \kappa, R$	Kanonische Theorie (D1–D5); enthält $\mathfrak{M}_0$ – $\mathfrak{M}_2$ als formale Grenzfälle

Tabelle 1: Die vier Freiheitsstufen: Restriktion, freie Größen und kanonischer Status.

die vollständige Bestimmung von I aus M ($R_s = 0$), wäre das Modell falsifiziert (Abbildung 3). Die Hierarchie ist damit epistemisch produktiv: Sie liefert die Nullmodelle, gegen die die volle Theorie getestet wird ($\mathfrak{M}_0$ -vs- $\mathfrak{M}_3$ -Vergleich als A/B-Minimaltest).

2. **Zwei Erscheinungsweisen der Stufe 1.** (a) Als *Messpfad* (Hilbert-Quadratur auf beobachteten Daten, Ebene S) ist $\mathfrak{M}_1$ dauerhaft legitimer Bestandteil des Kanons – Schätzverfahren, nicht Theorieaussage. (b) Als *Zustandsbehauptung* („die Antistruktur ist die Quadratur der Struktur“) ist sie überholt und durch D1 abgelöst.

3. **Grenzwert-Beziehung über κ .** Siehe Behauptung 1.

Behauptung 1 (Grenzwert-Beziehung über κ ; kein Beweis) *Im Limes maximaler Kopplung ($\kappa \rightarrow 1$) wird R_e minimal und $\mathcal{Q}\{M, B, T\}$ nähert sich der bestmöglichen deterministischen Schätzung – der Stufe-1/2-Form; wegen $R_s > 0$ wird sie nie erreicht. $\mathfrak{M}_1$ ist der **Rand der Modellklasse, kein erreichbarer Punkt.***

4 Orthogonalität: O1, O2, O3

Der Begriff „orthogonal“ trägt im Programm drei strikt zu trennende Bedeutungen. Ihre Vermischung war die Hauptquelle formaler Fehler früherer Fassungen.

4.1 Die drei Begriffe

(O1) Darstellungorthogonalität. M und I liegen auf orthogonalen Achsen der komplexen Ebene ($\text{Re} \perp \text{Im}$; vgl. Abbildung 2). Gilt *per Konstruktion* der Darstellung; empirisch gehaltlos.

(O2) Signalorthogonalität (Ebene S). Als Zeitreihen sind $M(t)$, $I(t)$ im L^2 -Sinn orthogonal:

$$\langle M, I \rangle_{L^2} = \int_0^T M(t) I(t) dt = 0, \quad (4.1)$$

z. B. für exakte Quadraturpaare $M = \cos \omega t$, $I = \sin \omega t$ (Abbildung 4). O2 ist die *Signaturhypothese* der Beobachtungsschicht: empirisch prüfbar, typischerweise nur näherungsweise erfüllt; die Abweichung $\langle M, I_\delta \rangle_{L^2} \propto \sin \delta$ ist selbst Messgröße. Empirische Fassung: Orthogonalitätskontrolle $|r(M_k, I_k)| < \varepsilon$ pro Kanal.

(O3) Strukturelle Orthogonalität (Ebene Z). Es existiert kein universelles Verfahren, das aus vollständiger Kenntnis von M die latente Struktur I für alle Systeme und Zeitpunkte ableitet: Die Vorwärtsabbildung $f : Z_I \rightarrow Z_M$ ist nicht injektiv. O3 ist die erkenntnistheoretisch tragende Aussage (Abschnitt 6). O3 ist *schwächer* als informationstheoretische Entkopplung: $\text{MI}(I; M) = 0$ wird **nicht** gefordert – sie machte jede Rekonstruktion unmöglich; an ihre Stelle tritt die partielle Kopplung D4.

Keiner der drei Begriffe impliziert einen anderen.

4.2 Formulierungsdisziplin: $\langle M, I \rangle$ nur in Innenprodukträumen der Dimension ≥ 2

Verbindliche Regel. Ausdrücke der Form $\langle M, I \rangle = 0$ sind ausschließlich zulässig, wenn M und I Elemente **desselben** Innenproduktraums der Dimension ≥ 2 sind – im Programm konkret: des Trajektorienraums $\mathcal{T}$ (dann ist O2 gemeint, Notation $\langle \cdot, \cdot \rangle_{L^2}$) oder eines reellen Unterraums $V \subset H$ mit $\dim V \geq 2$ in der Operatorfassung (unten).

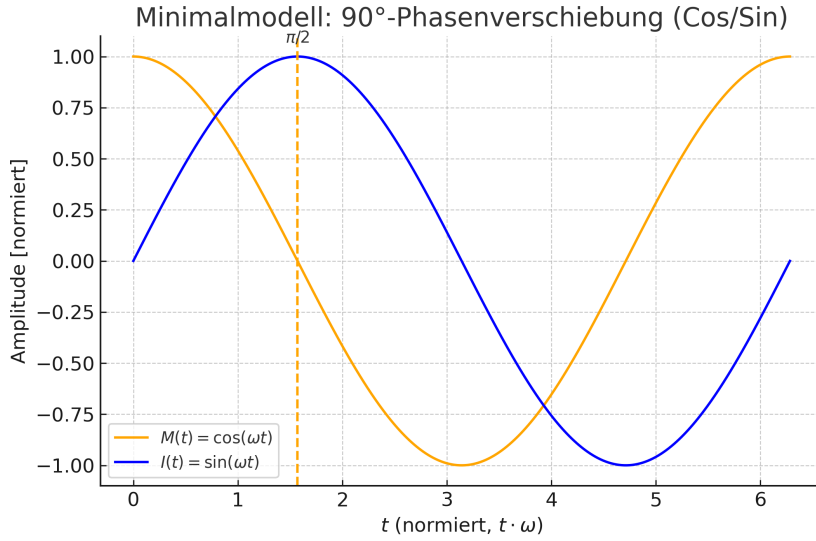


Abbildung 4: Signalorthogonalität O2 im harmonischen Referenzfall: das exakte Quadraturpaar $M(t) = \cos(\omega t)$, $I(t) = \sin(\omega t)$ mit 90° -Phasenverschiebung ($\pi/2$). Über eine Periode gilt $\langle M, I \rangle_{L^2} = 0$ (4.1); die Abweichung von der exakten Quadratur ($\delta \neq 0$, Stufe $\mathfrak{M}_2$) ist selbst Messgröße der Beobachtungsschicht.

Ausgeschlossener Skalarfall. Für reelle Skalare $M, I \in \mathbb{R}$ ist $\langle M, I \rangle = M \cdot I$; die Bedingung $\langle M, I \rangle = 0$ erzwingt dann $M = 0$ oder $I = 0$ und ist fast überall leer. Formulierungen wie „ $\Psi = M + iI$, $M, I \in \mathbb{R}$, $\langle M, I \rangle = 0$ “ sind daher **kategorial falsch** und werden im Programm nicht verwendet; wo Momentanwerte gemeint sind, ist allein O1 aussagbar. Ebenso unzulässig sind Skalarprodukte zwischen Elementen *verschiedener* Räume ohne explizit definierte Einbettung.

Operatorfassung (Messschicht). Die saubere operatorielle Form der Quadratur-Orthogonalität lautet: Auf einem geeigneten reellen Unterraum $V \subset H$ mit $\dim V \geq 2$ sei $Q_{90} : V \rightarrow V$ linear mit

$$Q_{90}^2 = -\mathbf{1}, \quad \langle x, Q_{90}x \rangle = 0 \quad \forall x \in V. \quad (4.2)$$

Dann ist $\widehat{I} := Q_{90}\widehat{M}$ eine *Regel zur Erzeugung einer orthogonalen Komponente* in der gewählten Basis – eine Schätzung der Messschicht (D5), nicht die Behauptung, I sei „nicht-real“, und nicht die Zustandsdefinition. Der Faktor i in $\Psi = M + iI$ ist Rechenkonvention zur Sichtbarhaltung des Phasenbezugs. Die Operatorfamilie $Q_\phi = \cos(\phi)\mathbf{1} + \sin(\phi)Q_{90}$ gehört zur Messschicht der Stufe $\mathfrak{M}_2$ (schiefe Quadratur, Parameter δ). Ein Kollaps im quantenmechanischen Sinn wird nicht behauptet; Projektionen auf Kontexte sind Kontextualisierung, nicht Messung im QM-Sinn.

Merksatz gegen den „Null ergibt sich“-Fehlschluss. Die Rechnung $\Psi = M + i(M \cdot i) = M - M = 0$ widerlegt die Definition $I := M \cdot i$, sie „bestätigt“ keine Orthogonalität. Korrekt ist die Operatoraussage D2 ($\mathcal{J}\Psi = i\Psi$); Orthogonalitätsaussagen folgen aus O1/O2, nie aus $\Psi = 0$.

5 Dynamik

5.1 Verbindliche Referenzdynamik: Stuart–Landau-Netzwerk

Die kanonische Referenzdynamik (Referenz, nicht Notwendigkeit: Ebene C der geschichteten Architektur von P1) ist das gekoppelte Stuart–Landau-Netzwerk in der **Sakaguchi-konsistenten Form**:

$$\dot{\Psi}_i = (\gamma_i + i\omega_i) \Psi_i - (\beta_i + i\chi_i) |\Psi_i|^2 \Psi_i + \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N a_{ij} e^{-i\varphi_{ij}} (\Psi_j - \Psi_i) \quad (5.1)$$

mit linearer Verstärkung $\gamma_i > 0$, Sättigung/Dämpfung $\beta_i > 0$, Eigenfrequenz ω_i , nichtlinearer Frequenzverschiebung (Scherung) χ_i , Kopplungsstärke $K > 0$, Netzwerkgewichten $a_{ij} \geq 0$ und Kopplungsphase φ_{ij} . Der Stuart–Landau-Oszillator ist die Normalform der Hopf-Bifurkation (García-Morales & Krischer 2012). Ohne Kopplung relaxiert jeder Oszillator auf den Grenzzyklus $|\Psi_i| = \sqrt{\gamma_i/\beta_i}$ mit renormierter Frequenz $\tilde{\omega}_i = \omega_i - \chi_i \gamma_i/\beta_i$. Für $\varphi_{ij} = 0$ ist die Kopplung rein diffusiv.

Normierungskonvention. Die Gleichungen sind in normierten Größen formuliert: Ψ dimensionslos; konsistent gilt $[\omega] = [\gamma] = [\beta] = [\chi] = [K] = 1/\text{Zeit}$ (bei dimensionslosem $|\Psi|^2$), a_{ij} dimensionslos.

Abgrenzung zur Altform (verbindlich). Die in früheren Fassungen verwendete Kopplung $\frac{K}{N} \sum_j a_{ij} (\Psi_j - \Psi_i e^{i\varphi_{ij}})$ ist **nicht äquivalent**: Wegen $\Psi_j - \Psi_i e^{i\varphi} = (\Psi_j - \Psi_i) + (1 - e^{i\varphi})\Psi_i$ zerfällt sie in diffusive Kopplung plus einen linearen Zusatzterm und liefert in der Phasenreduktion nur eine Frequenzverschiebung ($-\sin \varphi$), **keine Frustration der Wechselwirkung** (analytisch und numerisch verifiziert). Der früher behauptete Grenzfall „ $\varphi_{ij} = \pi/2$ reduziert auf das Minimalmodell“ ist falsch; korrekt ist $\varphi_{ij} = 0$. Bei jeder Übernahme aus Altfassungen ist die Altform durch $e^{-i\varphi_{ij}}(\Psi_j - \Psi_i)$ zu ersetzen; im reduzierten Phasenmodell entsprechend $\sin(\theta_j - \theta_i + \varphi_{ij}) \rightarrow \sin(\theta_j - \theta_i - \varphi_{ij})$.

5.2 Phasenreduktion und Kuramoto–Sakaguchi

Für schwache Kopplung relativ zur Amplitudenrelaxation (Gültigkeitsbedingung $\frac{K}{N} \max_j a_{ij} \ll \beta_i$; vgl. R10) bleiben die Amplituden nahe $R_i = \sqrt{\gamma_i/\beta_i}$, und die Phasendynamik lautet

$$\dot{\theta}_i = \tilde{\omega}_i + \frac{K}{N} \sum_j a_{ij} \left[\frac{R_j}{R_i} \sin(\theta_j - \theta_i - \varphi_{ij}) + \sin \varphi_{ij} \right], \quad (5.2)$$

wobei der konstante Term als Frequenzrenormierung absorbierbar ist; für homogene Amplituden ergibt sich exakt das **Kuramoto–Sakaguchi-Modell** (Sakaguchi & Kuramoto 1986)

$$\dot{\theta}_i = \omega_i + \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N a_{ij} \sin(\theta_j - \theta_i - \varphi_{ij}), \quad (5.3)$$

für $\varphi_{ij} = 0$ das Kuramoto-Modell (Kuramoto 1984; Strogatz 2000). Beide Herleitungen sind Standard und wurden für dieses Programm nachgerechnet und bestätigt.

Mittelfeld und Ordnungsparameter. Das amplitudentragende Mittelfeld und sein Kuramoto-Grenzfall:

$$Z(t) := \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \Psi_j(t), \quad r e^{i\Phi} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N e^{i\theta_j} = \frac{Z}{\rho_0} \Big|_{|\Psi_j| \equiv \rho_0}, \quad r \in [0, 1]. \quad (5.4)$$

Hohe r : Synchronisation (Konformität, kollektive Resonanz); niedrige r : Inkohärenz (Pluralität, Liminalität).

Kritische Kopplung. Für den **All-to-all-Fall** ($a_{ij} = 1$) mit einheitlicher Frustration φ und unimodaler, symmetrischer Eigenfrequenzdichte g gilt das Molekularfeld-Resultat (Sakaguchi & Kuramoto 1986; Acebrón et al. 2005)

$$K_c(\varphi) = \frac{K_c(0)}{\cos \varphi}, \quad K_c(0) = \frac{2}{\pi g(0)}. \quad (5.5)$$

Die Netzwerk-Einschränkung (all-to-all, einheitliches φ) ist Voraussetzung des Resultats, nicht des Modells; für strukturierte Netzwerke ist die Schwelle topologieabhängig und gesondert zu bestimmen.

Drei Phasengrößen, strikt getrennt. α – globale Rotation/Eichung ($\Psi_\alpha = \Psi e^{i\alpha}$), be-
tragserhaltend, empirisch gehaltlos; δ – relative Quadraturabweichung (Signalebene, der $\mathfrak{M}_2$ -
Parameter); φ_{ij} – Kopplungsphase/Frustration (Dynamikebene). Keine der drei ist mit der
Zustandsphase θ identisch.

5.3 Erweiterungsschicht: hybrides dynamisches System

Die Erweiterungen des ORV-Rahmens (Kontext, Gatekeeping, Boundary-Kopplung zwischen Signal- und Narrativkanal) werden als **hybrides dynamisches System** gefasst: kontinuierlicher Fluss eines nichtlinearen Vektorfelds plus diskrete Sprungoperatoren. Eine frühere Beschreibung als „kleinste Teilalgebra von $\text{End}(X)$, abgeschlossen unter Lie-Klammer“ war wörtlich falsch: $\text{End}(X)$ enthält nur *lineare* Endomorphismen, die Erzeuger sind nichtlineare Vektorfelder, und für nichtlineare Abbildungen ist $A \circ B - B \circ A$ nicht die Lie-Klammer (für Vektorfelder gilt die Jacobi–Lie-Klammer $[X, Y] = DY \cdot X - DX \cdot Y$). Kanonische Fassung:

(E1) Phasenraum. $X = (\mathbb{C}^{K+d})^N$ (kartesisches Produkt), mit $\Psi_i = (\Psi_i^{(\text{sig})}, \Psi_i^{(\text{narr})})$; der narrative Anteil ist ein dimensionsreduzierter Embedding-Raum $\mathbb{C}^d$, $d \leq K$.

(E2) Kontinuierlicher Generator. $L : X \rightarrow TX$ ist ein zeitabhängiges **nichtlineares Vektorfeld** (Element von $\text{Vect}(X)$, nicht von $\text{End}(X)$),

$$L = L_0 + L_{\text{int}} + L_\partial (+ \Sigma dW), \quad (5.6)$$

mit lokalem Stuart–Landau-Anteil L_0 (Parameter $\gamma_i, \beta_i, \omega_i, \chi_i$ wie 5.1), gatekeeping-modulierter Kopplung $L_{\text{int}} = \hat{G} \odot \hat{K}$ (Kopplungsform gemäß 5.1), linearer Boundary-Kopplung $L_\partial = \lambda_B \hat{B}$ (Blockmatrix zwischen Signal- und Narrativ-Unterraum) und optionalem Rauschterm (Euler–Maruyama-Diskretisierung; Kloeden & Platen 1992).

(E3) Diskrete Sprünge. Kontextwechsel wirken als Sprungoperatoren $J_c = \hat{C}_c$: Die Menge $\{\hat{C}_c : c \in C\}$ **linearer kontraktiver** Operatoren ($\|\hat{C}_c\|_{\text{op}} \leq 1$, SVD-Parametrisierung $\hat{C}_c = U_c D_c V_c^\dagger$, Singulärwerte $s_k^{(c)} \in [0, 1]$) bildet mit der Komposition ein **Monoid** (Neutralelement $\hat{C}_0 = \mathbf{1}$; im Allgemeinen nicht kommutativ, nicht invertierbar). Eine stärkere „Algebra“-Behauptung wird nicht erhoben.

(E4) Propagator. Für eine Beobachtungsepisode mit Kontextwechseln $t_1 < \dots < t_P$:

$$\Phi(T, 0) = \Phi_L(T, t_P) \circ J_{c_P} \circ \Phi_L(t_P, t_{P-1}) \circ \dots \circ J_{c_1} \circ \Phi_L(t_1, 0), \quad (5.7)$$

wobei Φ_L der Fluss von L ist. **Irreversibilität, präzise:** Der ODE-Fluss Φ_L zwischen Sprüngen ist ein Diffeomorphismus (invertierbar) und wegen $\gamma_i > 0$ im Allgemeinen nicht normkontraktiv. Irreversibel (nicht invertierbar, kontraktiv) sind **allein die Sprungoperatoren** J_c ; nur über Sprünge hinweg versagt die Rückrechenbarkeit.

(E5) Nicht-Kommutativität. Für die *linearen* Kontextoperatoren ist der Kommutator wohldefiniert: $[\hat{C}_A, \hat{C}_B] = \hat{C}_A \hat{C}_B - \hat{C}_B \hat{C}_A \neq 0$ generisch (Inkompatibilität der Kontextbasen; Grundeigenschaft der Matrizenmultiplikation, kein Novum). Für „Kontext vs. Dynamik“ genügt die Abbildungsungleichheit $\hat{C}_c \circ \Phi_L \neq \Phi_L \circ \hat{C}_c$; eine Lie-Klammer wird hierfür nicht benötigt und nicht behauptet.

(E6) Gatekeeping. $\hat{G}(s) = (1 - g(s)) \mathbf{1} + g(s) \hat{\Pi}_{\text{clamp}}$ mit Stressvektor $s = (S, F)$, Sigmoid-Gating

$$g(s; \vartheta, \lambda) = \sigma(\lambda_1(S - \vartheta_S)) \cdot \sigma(\lambda_2(F - \vartheta_F)) \in [0, 1], \quad (5.8)$$

und orthogonalem Projektor $\hat{\Pi}_{\text{clamp}}$; $\hat{G}$ ist kontraktiv. Kaskadenform $\hat{G}_{\text{cascade}} = \hat{G}_3 \circ \hat{G}_2 \circ \hat{G}_1$ mit aufsteigenden Schwellen. Notationshinweis: Steilheiten heißen λ_1, λ_2 (κ ist für die partielle Kopplung reserviert), Schwellen ϑ_S, ϑ_F (θ ist für die Zustandsphase reserviert).

(E7) Klassifikation der Operatoren. Linear sind $\{\hat{Q}, \hat{C}, \hat{B}, \hat{M}, \hat{\Pi}\}$; $\hat{L}$ (kubischer Term) und $\hat{K}$ (zustandsabhängige Modulation) sind **Vektorfelder**, $\hat{G}$ ist zustandsparametrisiert.

(E8) Grenzfläche. $\partial H := \{\Psi \in H : \Psi^{(\text{sig})} \neq 0 \wedge \Psi^{(\text{narr})} \neq 0\}$ ist **kein Unterraum** ($0 \notin \partial H$; nicht additionsabgeschlossen), sondern eine offene, dichte Teilmenge von H ; die Grenzflächendynamik ist durch den Boundary-Operator $\hat{B}$ (Blockmatrix) definiert.

(E9) Narrative Quadratur. Die Kalibrierung von $\hat{Q}^{(\text{narr})}$ als orthogonale Matrix R mit $R^2 = -\mathbf{1}$ über

$$R = \arg \min_{R \in O(d), R^2 = -\mathbf{1}} \sum_n \|I_n^{(\text{narr})} - R M_n^{(\text{narr})}\|^2 \quad (5.9)$$

ist eine Optimierung über die **Konjugationsklasse orthogonaler komplexer Strukturen** $\{R \in O(d) : R^2 = -\mathbf{1}\}$ (d gerade; Existenz nur dann) – *nicht* über die Stiefel-Mannigfaltigkeit, und anders als das klassische orthogonale Procrustes-Problem (Schönemann 1966, geschlossene SVD-Lösung) besitzt das restringierte Problem **keine Standardlösung**; numerische Lösung erforderlich. Ob die so kalibrierte „narrative Antistruktur“ die Quadratur-Axiome inhaltlich trägt, ist offen (Problem R5).

Status. Die gesamte Erweiterungsschicht ist Ausblick: mathematisch konsistent benannt, empirisch unerprobt.

5.4 Numerik

Integration der Referenzdynamik mit Heun- oder RK4-Verfahren; explizites Euler-Vorwärts ist wegen der kubischen Nichtlinearität nur für sehr kleine Schrittweiten vertretbar und wird nicht empfohlen. Stochastische Erweiterung: Euler–Maruyama (Kloeden & Platen 1992). Initialisierung generativ (M_i^0, I_i^0 unabhängig); Initialisierung aus Einkanal-Daten nur über den deklarierten Messpfad D5.

5.5 Herkunft der Bausteine

Der formale Apparat ist Standard der nichtlinearen Dynamik, Signal- und Inferenztheorie. Die Eigenleistung des Programms ist die *Verschaltung*; kein Baustein der Tabelle 2 wird als Eigenentwicklung beansprucht.

Einordnung zur Fourier-Analyse. Eine früher behauptete Mengeninklusion „Fourier $\subset$ ORV“ wird **nicht** aufrechterhalten: ORV ist ein Ordnungsrahmen, kein abgeschlossenes mathematisches Objekt, und eine formale Einbettung (Funktor) ist nicht konstruiert. Kanonische Formulierung: Die Fourier-Analyse erfüllt alle Einschränkungen des ORV-Rahmens (ein einziger Raum, feste orthogonale Basis, kontextfreie, invertierbare Operatoren); der Zusatzgehalt der ORV liegt genau in der Aufhebung dieser Einschränkungen – Nicht-Invertierbarkeit (Restterm R), Kontextabhängigkeit (Boundary B), Nicht-Kommutativität (Reihenfolgeeffekte).

Baustein	Standardname Herkunft	/ Referenz	Rolle im Programm
Analytisches Signal $s + i\mathcal{H}\{s\}$ Hilbert-Transformation	Gabor'sches analytisches Signal klassische Signaltheorie	Gabor 1946; Boashash 1992 ebd.; Bedrosian 1963	Messpfad D5 Quadratur-Realisierung auf Ebene S
Stuart-Landau-Oszillator Kuramoto-Modell	Normalform der Hopf-Bifurkation Kuramoto 1975/1984	García-Morales & Krischer 2012 Kuramoto 1984; Strogatz 2000; Acebrón et al. 2005	Referenzdynamik 5.1 Phasen-Minimalmodell
Sakaguchi-Frustration; $K_c(\varphi)$ Ordnungsparameter, PLV, CRQA SVD	Sakaguchi-Kuramoto Synchronisationsforschung numerische Standardliteratur	Sakaguchi & Kuramoto 1986 Lachaux et al. 1999; Marwan et al. 2007 Golub & Van Loan 2013	Kopplungsphase φ_{ij} kollektive Kennzahlen Parametrisierung der Kontextoperatoren
Orthogonales Procrustes-Problem	Schönemann 1966	Schönemann 1966	Ausgangspunkt der narrativen Quadratur (E9)
Euler-Maruyama, Heun/RK4 Schlecht gestellte inverse Probleme Partielle Identifikation	numerische SDE-/ODE-Verfahren Hadamard; Regularisierungstheorie Ökonometrie	Kloeden & Platen 1992 Hadamard 1902; Engl, Hanke & Neubauer 1996 Manski 2003	Diskretisierung Rahmung von Abschnitt 6 Rahmung der Mengen-Rekonstruktion (6.4)
Critical slowing down	Kipppunkt-Forschung	Scheffer et al. 2009	Liminalitäts-Signatur
Sigmoid-Gating, Pseudoinverse	Standardmethoden	Lehrbuchstoff	Gatekeeping (E6), Boundary-Kalibrierung

Tabelle 2: Herkunft der Bausteine des formalen Apparats. Alle Bausteine sind Standard und werden mit Herkunft ausgewiesen; der Beitrag des Programms liegt in ihrer Verschaltung und Modulation.

Beide teilen die Hilbert-Transformation als gemeinsames Werkzeug; eine mengentheoretische Inklusion wird nicht behauptet (Problem R6).

6 Mess- und Rekonstruktionsschicht

6.1 Problemstellung: schlecht gestelltes inverses Problem

Beobachtung liefert die Projektion $\Pi_M(\Psi) = M$ (bzw. auf Ebene S das Signal $\mathcal{O}[\Psi]$). Der Schluss auf I ist die Umkehrung der Vorwärtsabbildung $f : Z_I \rightarrow Z_M$. Da f nicht injektiv ist (O3), ist die Urbildmenge

$$S_I(M) := f^{-1}(M) = \{ I \in Z_I \mid f(I) = M \} \quad (6.1)$$

im Allgemeinen mehrwertig: Das Problem ist schlecht gestellt im Sinne Hadamards (Hadamard 1902; Engl, Hanke & Neubauer 1996) – keine Eindeutigkeit; typischerweise keine stetige Datenabhängigkeit; für $M \notin \text{Bild}(f)$ keine Existenz. Abbildung 5 stellt den vollständigen Weg von den Rohdaten bis zur Identifikationsmenge dar.

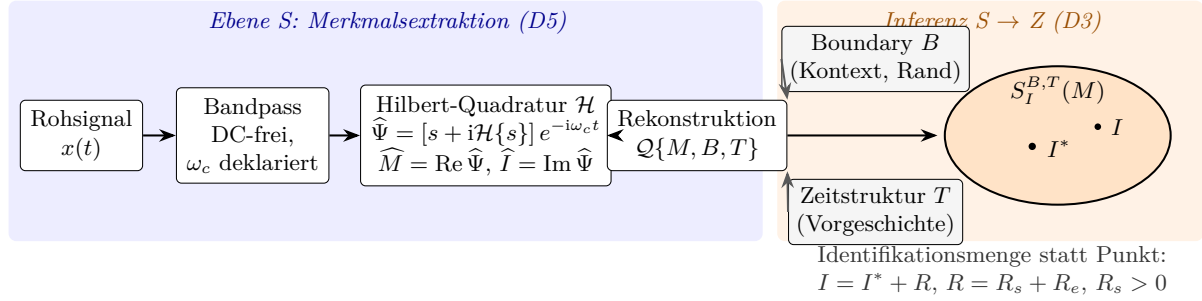


Abbildung 5: Mess- und Rekonstruktionsschicht als Pipeline: Aus dem Rohsignal $x(t)$ entsteht nach Bandpassfilterung über die Hilbert-Quadratur $\mathcal{H}$ die Merkmalsextraktion des Messpfads D5 (Ebene S). Der Rekonstruktionsoperator $\mathcal{Q}$ vermittelt mit Boundary B und Zeitstruktur T von S nach Z – sein Ergebnis ist keine Punktbestimmung, sondern die Identifikationsmenge $S_I^{B,T}(M)$ mit Repräsentant I^* ; das tatsächliche I bleibt um den Rest $R = R_s + R_e$ mit irreduziblem $R_s > 0$ unbestimmt (partielle Identifikation, Abschnitt 6.4).

6.2 Randbedingte Verengung

Boundary $B(t)$ (deklarierte Kontext- und Randinformation; keine Systemeigenschaft) und Zeitstruktur $T(t) = \{M(s) \mid s \in [t - \tau, t]\}$ (beobachtete Vorgeschichte) verengen die Menge, ohne sie zu schließen:

$$S_I^{B,T}(M) \subseteq S_I^B(M) \subseteq S_I(M), \quad \nu := 1 - \frac{\text{diam } S_I^{B,T}(M)}{\text{diam } S_I(M)} \in [0, 1], \quad (6.2)$$

mit dem Einschränkungsggrad ν als Maß des Rekonstruktionsgewinns (wohldefiniert für $0 < \text{diam } S_I(M) < \infty$; der punktförmige und der unbeschränkte Fall sind auszuschließen bzw. gesondert zu behandeln). Erkenntnis über Antistruktur ist damit *Einschränkungserkenntnis*: Sie sagt, welche latenten Konfigurationen ausgeschlossen sind, nicht, welche vorliegt.

6.3 Rekonstruktionsoperator

$$I^*(t) = \mathcal{Q}\{M, B, T\} = \arg \min_{I \in S_I^{B,T}(M)} L(I, M, T), \quad (6.3)$$

$$L = \underbrace{\sum_{s \in T} \|f(I(s)) - m(s)\|^2}_{\text{Datenterm}} + \underbrace{\lambda \mathcal{R}(I)}_{\text{Regularisierung}} + \underbrace{\mu \mathcal{C}(I, \theta)}_{\text{Kopplungsterm}},$$

mit Kopplungsterm $\mathcal{C}(I, \theta) = -\kappa(\theta, B, T) \log p(I \mid M, \theta)$: bei hoher Kopplung κ stärker datengetrieben, bei niedriger stärker erwartungsgeleitet. $\mathcal{Q}$ ist nichtlinear, nicht invertierbar und bedingungsrelativ (B, T sind offenzulegen); I^* ist ein *Repräsentant* der Menge $S_I^{B,T}(M)$, nicht die Menge selbst (Toleranzfassung: $S = \{I : L(I) \leq L(I^*) + \varepsilon\}$). Es gilt die Rekonstruktionsgleichung D3 mit $R = R_s + R_e$, $R_s > 0$.

Eine ältere affirmativ-holografische Form ($\lim_{B \rightarrow \text{vollständig}} R \rightarrow 0$) ist aufgegeben: Das Modell ist strukturell *anti-holografisch* – der Rand verengt, er kodiert nicht.

6.4 Partielle Identifikation (Manski-Anschluss)

Die Mengenstruktur von 6.1–6.3 ist formal die Struktur der **partiellen Identifikation**: I ist aus (M, B, T) nicht punkt-, sondern **mengenidentifiziert**; $S_I^{B,T}(M)$ spielt die Rolle der Identifikationsmenge (*identified set*), und zusätzliche glaubwürdige Restriktionen (B, T) verkleinern die Menge, ohne Punktidentifikation zu erzwingen (Manski 2003). Methodische Konsequenz für alle Empirie des Programms: **Identifikationsmengen statt Punktschätzung** – berichtet werden $S_I^{B,T}$ (bzw. diam, ν , Unsicherheitsmaße) mitsamt den Bedingungen (B, T, λ, μ) ; ein einzelner Punktschätzer I^* ist stets als Repräsentant mit Toleranzumgebung auszuweisen. Das Postulat $R_s > 0$ ist in dieser Sprache die Behauptung, dass die Identifikationsmenge **nie** auf einen Punkt schrumpft. *Status: Struktur-Analogie und methodische Rahmung (Anschlussbehauptung), kein übernommenes Theorem der Ökonometrie.*

6.5 Kopplungskoeffizient κ

$\kappa(\theta, B, T) \in [0, 1]$ gemäß D4.

Behauptung 2 (Restschranke; Begründungsskizze, kein Beweis) *Für den epistemischen Restanteil gilt die Schranke $\|R_e\| \leq C(1 - \kappa)\|I\|$ aus (2.5).*

Eine frühere Gleichsetzung von κ mit der Transinformation $MI(I; M)$ ist **aufgegeben**: Sie identifizierte dimensional eine Transinformation mit einem Kopplungskoeffizienten; kanonisch ist κ ein normierter Kopplungsparameter, dessen Funktionalform, Messvorschrift und Verhältnis zu MI offen sind (Problem R3). Transinformation wird stets $MI(\cdot; \cdot)$ geschrieben, nie „ $\mathcal{I}$ “.

6.6 Liminalitätsparameter

Als lokaler Liminalitätsindex eines Agenten wird – wo ein solcher gewünscht ist – die abgeleitete Größe

$$L_i := |\sin \theta_i| = \frac{|I_i|}{|\Psi_i|} \in [0, 1] \quad (\text{alternativ } L_i^2 = \sin^2 \theta_i = I_i^2 / |\Psi_i|^2) \quad (6.4)$$

definiert: $L = 0$ bei rein manifester Lage ($\theta \in \{0, \pi\}$), $L = 1$ bei rein latenter Lage ($\theta = \pm\pi/2$), $L(\pi/4) = 1/\sqrt{2} \approx 0,707$. Die zugehörige Phasen-Entropie $H_L(\theta) = -\cos^2 \theta \ln \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \ln \sin^2 \theta$ hat ihr Maximum $\ln 2 \approx 0,693$ bei $\theta = \pi/4$ (nicht bei $\pi/2$; dort ist $H_L = 0$).

Diese Definition **ersetzt** eine in sich widersprüchliche Altformel ($L = 1 - |\cos 2\varphi|$), die ihrer eigenen Eigenschaftsliste widersprach. **Status:** L_i ist eine optionale abgeleitete Kennzahl der Zustandsebene; die kanonische Fassung von Liminalität ist *dynamisch* – Kritikalität: Aufenthalt des Kollektivs nahe des Übergangs, niedriger Ordnungsgrad $|Z|$, critical slowing down (Scheffer et al. 2009). L_i ersetzt diese nicht.

6.7 Attraktoren und Doppelspannung

Innere Zustände werden als Attraktoren $A_k \subset Z_I$ modelliert (kompakt, invariant, anziehend; Einzugsgebiete U_k , Separatrizen Σ_{kl}). Zwei Spannungsgrößen: epistemische Spannung $S_t = d_I(I(t), A_k)$ und Face-Spannung $F_t = \min_{l \neq k} d_I(I(t), \Sigma_{kl})$. Hohe S_t bei kleiner F_t kennzeichnet

kritische, liminale Episoden und verbindet die Rekonstruktionsebene mit der dynamischen Liminalität. Die zugehörigen Signaturen (Spannungsdivergenz vor Transitionen; phasenabhängige Rekonstruktionsqualität) haben den Status *testbarer Konsequenzen*, nicht bewiesener Sätze.

7 Offene formale Probleme

Die folgenden Punkte sind **offen**. Sie werden hier nicht schein gelöst, sondern als Arbeitsprogramm deklariert – die Präzision, mit der ein Programm seine Lücken benennt, ist Teil seiner Prüfbarkeit.

R1 – Zustandsraum vs. Trajektorienraum bei der Stufenrestriktion. Abschnitte 1 und 3 legen fest, *dass* die Stufenrestriktionen auf der Trajektorienebene leben. Offen bleibt die formale Ausarbeitung: die genaue Charakterisierung der Restriktion $I = \mathcal{H}\{M\}$ als Funktionalgleichung auf dem Pfadraum (Kausalitäts-/Randverhalten bei endlichem Fenster — die verbindliche Randkonvention hierzu steht in Abschnitt 1.2; Verhältnis punktwieser generativer Dynamik zu nichtlokaler Nebenbedingung). Bis dahin ist „ $\mathfrak{M}_1$ als Spezialfall“ mengentheoretisch sauber, aber dynamisch nur informell begründet.

R2 – Unterbestimmtheit der Vorwärtsabbildung f . Ohne konkrete Funktionalform für mindestens eine Domäne ist Nicht-Injektivität (O3) empirisch nicht von schlechter Messung unterscheidbar. Dies ist der vulnerabelste Punkt des Programms und sein wichtigster offener Formalisierungsschritt.

R3 – κ : Funktionalform, Messvorschrift, Verhältnis zu MI. Die Normierung $\kappa \in [0, 1]$ ist gesetzt, nicht hergeleitet; die Beziehung zwischen κ und $MI(I; M)$ ist nach Aufgabe der Gleichsetzung (6.5) ersatzlos offen.

Vermutung 1 (Produktform von κ ; unbestimmt) $\kappa = \kappa_0(B, T) \cdot g(d\theta/dt, \sigma_\theta)$.

R4 – Vektorraum- vs. metrische Struktur von Z_M, Z_I . $M + iI$ setzt Vektorraumstruktur voraus; allgemein sind die Räume nur metrisch eingeführt (1.1). Vollständigkeitsnachweise für unendlichdimensionale Fälle und die Topologie etwaiger Zwischenräume fehlen.

R5 – Quadratur-Realisierung für den narrativen Kanal. Für Embedding-Daten existiert keine aus der Axiomatik abgeleitete Quadratur; die restringierte Procrustes-Kalibrierung (E9) ist eine Ad-hoc-Konstruktion ohne Standardlösung, und $\langle M_{\text{narr}}, I_{\text{narr}} \rangle = 0$ ist unbewiesen.

R6 – Fourier/ORV. Die Mengeninklusion ist zurückgenommen (5.5). Eine positive formale Fassung (kategoriale Einbettung mit explizitem Funktor) steht aus; bis dahin ist die Beziehung eine konzeptuelle Analogie mit klar benanntem Zusatzgehalt.

R7 – Basisfamilien und Nicht-Kommutativität. Welche Messbasen $\{\hat{M}_B\}$ zugelassen sind, wie Ψ unter Basiswechsel transformiert und ob die Nicht-Kommutativität der Kontextoperatoren mehr ist als die generische Eigenschaft orthogonaler Projektionen, ist unspezifiziert.

R8 – Geschachtelte/hierarchische Quadratur-Anwendung. Die Anwendung über Beschreibungsebenen (Individuum $\rightarrow$ Dyade $\rightarrow$ Gruppe $\rightarrow$ Institution) ist unformalisiert. **Verwechslungswarnung:** Diese Beschreibungsebenen-Hierarchie ist kategorial verschieden von der Modellklassen-Hierarchie $\mathfrak{M}_0\text{--}\mathfrak{M}_3$ (Abschnitt 3).

R9 – Status und Prüfbarkeit von $R_s > 0$. Das Postulat besitzt eine Falsifikationskante ($R_s = 0$), aber die operationale Trennung R_s vs. R_e (wann ist ein Rest „prinzipiell“ statt „praktisch“?) ist nicht spezifiziert; ohne sie ist die Falsifikationsbedingung empirisch nicht scharf. *Stand 9. August 2026:* Mit Abschnitt 1.4 (N4) ist die Frage auf eine Konvergenzaussage über eine messbare Größe zurückgeführt — $R_s > 0$ ist äquivalent zu $\kappa^*(\mathcal{O}) < 1$ für alle erreichbaren Anordnungen. Ein Verfahrensvorschlag liegt vor (**Randanreicherungskurve**: geschachtelte Folge von Anordnungen, Auftragung von $\text{diam } S_I$ bzw. κ über die Stufen, Unterscheidung an der Asymptote, mit Positivkontrolle je Stufe). **Adressiert, nicht gelöst:** Präregistrierung und Erhebung stehen aus.

R10 – Gültigkeitsbedingungen der Phasenreduktion und Kopplungsrestriktionen. Die Bedingung $\frac{K}{N} \max_j a_{ij} \ll \beta_i$ ist benannt, aber der Konsistenzbereich zwischen Kuramoto-Limit und voller Amplitudendynamik ist fallweise zu prüfen – die Intensität $|\Psi|^2$ ist zentrale Messgröße gerade dort, wo die Phasenreduktion sie eliminiert. Einschränkungen an a_{ij} , φ_{ij} (Symmetrie, Vorzeichen, Asymmetrie) sind vorgeschlagen, aber sozialwissenschaftlich nicht begründet.

R11 – Erweiterte Kopplungsregime (Anti-Phase/repulsiv, Cluster/Chimära, Dämpfung Γ). Der Kern arbeitet mit $K > 0$ und $\varphi_{ij} \in [0, \pi/2)$; die Standard-Phänomenologie des importierten Formalismus umfasst darüber hinaus Anti-Phasen-Arretierung ($\varphi \in (\pi/2, \pi]$ bzw. $K < 0$), Teilsynchronisation mit mehreren Teil-Ordnungsparametern bis hin zu Chimära-Zuständen sowie explizite Dämpfungsarchitekturen ($-\Gamma_i \Psi_i$ bzw. zustandsabhängiges γ_i). Keines dieser Regime ist im Kern ausgearbeitet; die zugehörigen soziologischen Deutungskandidaten (Polarisierung/Lagerspaltung, Lagerbildung, Beruhigungs-/Kontrollmechanismen) sind unoperationalisiert und ohne Messvorschrift. Ein gekennzeichnete Ausblick mit Regime-Landkarte findet sich in der Gesamtdarstellung, Teil III.

Vier weitere Punkte ergänzen die Liste: (i) Die Erweiterungsschicht 5.3 ist formal konsistent benannt, aber vollständig unvalidiert (Kontextoperator-Kalibrierung, Gatekeeping-Schwellen, Boundary-Regression sind Programm, nicht Ergebnis). (ii) Die empirische Orthogonalitätskontrolle $|r(M_k, I_k)| < \varepsilon$ ist Qualitätskontrolle der Signalverarbeitung, kein Theorietest (Tautologie-Vorbehalt: Hilbert-Quadratur ist per Konstruktion orthogonal); der nicht-triviale Test ist der inkrementelle Informationsgehalt von I . (iii) Schmalbandigkeits- und Stationaritätsannahmen des Messpfads sind substanzielle, offenzulegende Vorentscheidungen; Inter-Band-Kopplungen werden durch Bandpassfilterung systematisch eliminiert. (iv) Stabilitäts- und Sensitivitätsanalyse der Gesamtdynamik (Bifurkationsdiagramm, Parameterabhängigkeit der Vorhersagen) stehen aus.

8 Konkordanz: Altnotation $\rightarrow$ kanonische Notation

Tabelle 3 bildet die im Entwicklungsverlauf des Programms verwendete Notation auf die kanonische ab. Sie ist die verbindliche Lesehilfe für alle früheren Fassungen; deren Symbolik ist als Theoriestand nicht mehr zitierfähig.

Tabelle 3: Konkordanz: kanonisches Symbol, Bedeutung, ersetzte Altnotation bzw. Konfliktauflösung.

Kanonisches Symbol	Bedeutung	Ersetzt / Konfliktauflösung
$\Psi = M + iI$, $M, I \in \mathbb{R}$	Zustand; unabhängige Freiheitsgrade; Kompaktnotation	$\mathcal{I} := M \times i$ (überholt); $\Psi = M + i\hat{Q}M$ (nur Stufe 1 / Messpfad)

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Kanonisches Symbol	Bedeutung	Ersetzt / Konfliktauflösung
$\theta = \text{atan2}(I, M)$	Zustandsphase	$\varphi = \arctan(I/M)$; φ wird für die Kopplungsphase freigehalten (folgenreichste Symboldrift der Entwicklungsphase)
α	globale Rotation (Eichung), gehaltlos	α_i als „Wachstum/Erregbarkeit“ $\rightarrow$ kanonisch γ_i
δ	relative Quadraturabweichung (Signalebene, Stufe 2)	„ $\varphi = \pi/2 \pm \delta$ “; „freie Phasenlage φ “ (systeminterner Anteil)
φ_{ij}	Kopplungsphase / Frustration (Dynamikebene, Sakaguchi)	φ (Kuramoto-Abschnitte früherer Fassungen); NICHT identisch mit δ oder θ
$\mathcal{J}, \mathcal{J}\Psi = i\Psi$	Rotationsoperator auf dem Zustand, $\mathcal{J}^2 = -\text{id}$	„ $I := M \cdot i$ “ (als Komponentendefinition aufgegeben, als Operatoraussage in $\mathcal{J}$ aufgehoben); $\hat{Q}_{90}/\hat{Q}_{\pi/2}$ in Rotations-Lesart
$\mathcal{H}$	Hilbert-Transformation (Messpfad-Realisierung der Quadratur, Ebene S)	$\hat{Q} = H$; $\hat{Q}_{90}$ in Quadratur-Lesart. $\mathcal{H}$ wirkt auf beobachtete Signale, nie auf den Zustand
$\mathcal{Q}\{M, B, T\}$	Rekonstruktionsoperator (nichtlinear, nicht invertierbar, kontextrelativ)	$Q(M), Q\{M\}, \hat{Q}$. Die frühere Dreifachbelegung „ Q “ (Rotation / Hilbert / Rekonstruktion) ist auf $\mathcal{J} / \mathcal{H} / \mathcal{Q}$ aufgeteilt
$R = R_s + R_e, R_s > 0$	Restterm (strukturell irreduzibel + epistemisch reduzierbar)	R mit $\lim_{B \rightarrow \text{vollständig}} R \rightarrow 0$ (affirmative Holografie, überholt); R undifferenziert
$\kappa(\theta, B, T) \in [0, 1]$	partielle Kopplung manifest/latent	$\kappa(\varphi, B, T)$ (Umbenennung $\varphi \rightarrow \theta$); κ als „Kontextphase“ entfällt ersatzlos – Kontext ist in B kodiert; κ_1, κ_2 (Gatekeeping-Steilheiten) $\rightarrow \lambda_1, \lambda_2$
B, T	Boundary (Kontext), Zeitstruktur (Vorgeschichte)	—
$S_I^{B,T}(M), \nu$	Identifikationsmenge, Einschränkungsggrad	$\eta \rightarrow \nu$
$f : Z_I \rightarrow Z_M$	Vorwärtsabbildung (nicht injektiv)	—
Z_M, Z_I (generativ); $H^{(\text{sig})}, H^{(\text{narr})}$ (ORV-Rahmen)	Räume manifester/latenter Konfigurationen; Hilberträume der ORV-Einbettung	Doppelnotation bewusst: Z -Räume allgemein nur metrisch, H -Räume mit Innenprodukt (R4); frühere H_M/H_I entfallen
Z, r, Φ	Mittelfeld, Ordnungsgrad, Kollektivphase	$R(t)e^{i\Phi} - R$ kollidiert mit dem Restterm, daher r
$\gamma_i, \beta_i, \omega_i, \chi_i$	Verstärkung, Sättigung, Eigenfrequenz, Scherung (Stuart–Landau)	α_i (s. o.)
K, a_{ij}	Kopplungsstärke, Netzwerkgewichte	—

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Kanonisches Symbol	Bedeutung	Ersetzt / Konfliktauflösung
$e^{-i\varphi_{ij}}(\Psi_j - \Psi_i)$	verbindliche konsistente Kopplungsform (5.1)	Sakaguchi-Kopplungsform $(\Psi_j - \Psi_i e^{i\varphi_{ij}})$ – liefert keine Frustration, nur Frequenzverschiebung
$L_i = \sin \theta_i $	optionaler Liminalitätsindex (6.6)	$L = 1 - \cos 2\varphi $ (in sich widersprüchlich, ersetzt)
$MI(\cdot; \cdot)$	Transinformation	$\mathcal{I}(I; M)$; nie „ I “ geschrieben
—	historisches Symbol	$\hat{Q}_{\pi/2}$ bleibt als historisches Symbol zitierfähig, wird nicht mehr verwendet

Literatur

- Acebrón, J. A., Bonilla, L. L., Pérez Vicente, C. J., Ritort, F., & Spigler, R. (2005). The Kuramoto model: A simple paradigm for synchronization phenomena. *Reviews of Modern Physics*, 77(1), 137–185.
- Bedrosian, E. (1963). A product theorem for Hilbert transforms. *Proceedings of the IEEE*, 51(5), 868–869.
- Boashash, B. (1992). Estimating and interpreting the instantaneous frequency of a signal — Part 1: Fundamentals. *Proceedings of the IEEE*, 80(4), 520–538.
- Engl, H. W., Hanke, M., & Neubauer, A. (1996). *Regularization of Inverse Problems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gabor, D. (1946). Theory of communication. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, 93(26), 429–457.
- García-Morales, V., & Krischer, K. (2012). The complex Ginzburg–Landau equation: an introduction. *Contemporary Physics*, 53(2), 79–95.
- Golub, G. H., & Van Loan, C. F. (2013). *Matrix Computations* (4. Aufl.). Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Hadamard, J. (1902). Sur les problèmes aux dérivées partielles et leur signification physique. *Princeton University Bulletin*, 13, 49–52.
- Kloeden, P. E., & Platen, E. (1992). *Numerical Solution of Stochastic Differential Equations*. Berlin: Springer.
- Kuramoto, Y. (1984). *Chemical Oscillations, Waves, and Turbulence*. Berlin: Springer.
- Lachaux, J.-P., Rodriguez, E., Martinerie, J., & Varela, F. J. (1999). Measuring phase synchrony in brain signals. *Human Brain Mapping*, 8(4), 194–208.
- Manski, C. F. (2003). *Partial Identification of Probability Distributions*. New York: Springer.
- Marwan, N., Romano, M. C., Thiel, M., & Kurths, J. (2007). Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics Reports*, 438(5–6), 237–329.
- Sakaguchi, H., & Kuramoto, Y. (1986). A soluble active rotator model showing phase transitions via mutual entrainment. *Progress of Theoretical Physics*, 76(3), 576–581.
- Scheffer, M., Bascompte, J., Brock, W. A., Brovkin, V., Carpenter, S. R., Dakos, V., Held, H., van Nes, E. H., Rietkerk, M., & Sugihara, G. (2009). Early-warning signals for critical transitions. *Nature*, 461, 53–59.
- Schönemann, P. H. (1966). A generalized solution of the orthogonal Procrustes problem. *Psychometrika*, 31(1), 1–10.
- Strogatz, S. H. (2000). From Kuramoto to Crawford: exploring the onset of synchronization in populations of coupled oscillators. *Physica D*, 143(1–4), 1–20.

Erklärung

Dieses Paper ist unter substanzieller Mitarbeit großer Sprachmodelle entstanden (Konsolidierung, Formulierung, formale Prüfung mit analytischer und numerischer Nachrechnung); die Verantwortung für Gehalt und Behauptungen liegt allein beim Autor. Kein Inhalt gilt als geprüft, weil ein Modell ihn erzeugt hat, sondern nur, soweit er nachgerechnet bzw. an den Quelldokumenten verifiziert wurde; unbewiesene Aussagen sind im Text als Behauptung oder Vermutung markiert. Die Langfassung des hier verdichteten Formalismus, die vollständige Herleitungs- und Korrekturgeschichte sowie der Versionierungsplan der Archivfassungen sind im Konsolidierungsdossier des Theorieprogramms (Stand 08/2026) dokumentiert. Für keine der im Programm formulierten Hypothesen liegt bislang eine vollzogene Messung vor.