Der Echtzeit-Phasenleser

Thomas Schüller · Syntagma Forschung · ORCID 0009-0003-9799-6747 · Fassung 0.5 · 01.06.2026 · Alle Rechte vorbehalten

Der Echtzeit-Phasenleser

Eine Geräteklasse und ihre formale Härtung — von der Strukturanalogie zum Funktor

Abstract (DE)

Eine Reihe technischer Geräte teilt eine auffällige Bauform: Ein kontinuierliches Signal durchläuft mehrere qualitativ verschiedene Regimes, und das Gerät darf nur in genau einem dieser Regimes seine eigentliche Operation (Messen, Greifen, Schalten) ausführen, während es die Übergangs- und Mischzonen meiden muss. Beispiele reichen vom kapnographie-getriggerten End-Tidal-Sampling über die Peak-Detektion in der Chromatographie bis zur Phasenerkennung im Schweißbad und zur Gärungsstufen-Steuerung. Diese Abhandlung benennt die gemeinsame Bauform als *Echtzeit-Phasenleser* und entwickelt sie in zwei Teilen. Teil A bestimmt die Geräteklasse phänomenologisch: Sie liest die Position eines Live-Signals in einem Zustandsraum, identifiziert das handlungserlaubte Einphasenfeld und triggert die Operation genau dort. Die Verwandtschaft der Geräte ist zunächst eine Strukturanalogie (Stufe 2 der Tiefenstaffel aus FORSCH-0078): geteiltes Relationssystem, verschiedene physikalische Gesetze. Teil B härtet diese Analogie formal. Aufbauend auf der etablierten Formalisierung von Analogie als strukturerhaltende Abbildung (Gentners Strukturabbildung; ihre kategorientheoretische Fassung als Funktor bei Phillips und anderen) wird gezeigt, dass die Geräteklasse sich präziser fassen lässt als ein *Funktor von einer Prozess-Kategorie in eine Aktions-Kategorie*, der ein Erkennungs-Prädikat (das Einphasenfeld) erhält. Die Echtzeit-Dimension erzwingt eine Erweiterung über die statische Funktor-Definition hinaus: Der Phasenleser ist kein einmaliges Mapping, sondern ein über der Zeit laufender Detektor, dessen Korrektheit von der Trennbarkeit der Regimes im Signal abhängt. Daraus folgt ein scharfes Konstruktionskriterium — die *Regime-Trennbarkeit* — und eine Fehlertaxonomie (Fehltrigger in der Mischzone, verschmierte Flanke, Regime-Drift). Die Arbeit ordnet damit Stufe 3 der Tiefenstaffel formal nach und liefert zugleich ein konkretes Engineering-Raster.

Abstract (EN)

A range of technical devices shares a striking architecture: a continuous signal passes through several qualitatively distinct regimes, and the device may perform its actual operation (measuring, grasping, switching) only within exactly one of these regimes, avoiding the transition and mixing zones. Examples range from capnography-triggered

end-tidal sampling through peak detection in chromatography to phase recognition in the weld pool and fermentation-stage control. This treatise names the shared architecture the *real-time phase reader* and develops it in two parts. Part A characterizes the device class phenomenologically: it reads the position of a live signal in a state space, identifies the action-permitted single-phase field, and triggers the operation precisely there. The kinship of the devices is initially a structural analogy (rung 2 of the depth ladder from FORSCH-0078): shared relational system, different physical laws. Part B hardens this analogy formally. Building on the established formalization of analogy as a structure-preserving map (Gentner's structure-mapping; its category-theoretic rendering as a functor in Phillips and others), it is shown that the device class is captured more precisely as a *functor from a process category into an action category* preserving a recognition predicate (the single-phase field). The real-time dimension forces an extension beyond the static functor definition: the phase reader is not a one-off mapping but a detector running over time whose correctness depends on the separability of the regimes within the signal. From this follows a sharp construction criterion — *regime separability* — and a fault taxonomy (false trigger in the mixing zone, smeared edge, regime drift). The work thereby formally completes rung 3 of the depth ladder while delivering a concrete engineering grid.

---

0 · Vorbemerkung: Anlass und Methode

Diese Abhandlung verfolgt zwei zuvor offene Fäden zusammen. Der erste stammt aus FORSCH-0078, §8, wo die kategorientheoretische Härtung von Stufe 3 der Tiefenstaffel ausdrücklich als offene Frage markiert wurde. Der zweite stammt aus einem Arbeitsgespräch, in dem beiläufig die Idee fiel, ein Messgerät sei „im Grunde ein Phasendiagramm-Leser in Echtzeit" und dies sei „eine verallgemeinerbare Geräteklasse". Beide Fäden treffen sich: Die Geräteklasse ist genau ein Anwendungsfall einer Stufe-2-Analogie, deren formale Spitze (Stufe 3) die Kategorientheorie liefert.

Diese Arbeit ist **Forschung**: Sie analysiert eine abstrakte Geräteklasse und formalisiert sie. Sie baut kein Produkt, nennt keinen Preis, beansprucht keine Marktreife.

Methodisch gilt: synthetisieren, bewerten, darüber hinausgehen, mit vorgängiger Literaturprüfung. Die Prüfung hat ergeben, dass Analogie als Funktor bereits formalisiert wurde (Phillips 2022; arXiv 2505.19792). Der Beitrag dieser Arbeit liegt daher nicht in der Funktor-Idee selbst, sondern in ihrer Anwendung auf eine *zeitlich laufende* Detektor-Klasse und in dem daraus folgenden Konstruktions- und Fehlerraster.

TEIL A — Die Geräteklasse

1 · Phänomenologie: vier Instanzen, ein Muster

Vier Geräte, die in keiner gemeinsamen Disziplin stehen, zeigen dieselbe Bauform.

Kapnographie-getriggertes End-Tidal-Sampling. Ein Atemzug durchläuft Phasen: Totraumluft (nie am Blut), ansteigende Mischluft, endexspiratorisches Alveolarplateau. Nur am Plateau ist die Luft repräsentativ für den Blutgasaustausch; nur dort darf gemessen werden. Ein schneller CO_2-Sensor liest die Kurvenform und triggert die übrige Analytik im Plateau.

Peak-Detektion in der Chromatographie. Eine Substanzmischung wird zeitlich aufgetrennt; jede Komponente verlässt die Säule als Peak über einer Grundlinie. Quantifiziert wird ein Analyt nur an seinem Peak, nicht im Untergrund und nicht in der Koelution mit Nachbarpeaks. Der Detektor erkennt Peak-Anfang, -Maximum und -Ende und integriert nur dort.

Phasenerkennung im Schweißbad. Beim Schweißen durchläuft das Material Regimes (fest, Schmelzbad, Erstarrung). Steuerungseingriffe (Energieeintrag, Drahtvorschub) sind nur in bestimmten Regimes sinnvoll; ein Eingriff in der falschen Phase erzeugt Defekte. Optische oder thermische Sensorik erkennt das Bad-Regime und gibt die Regelung frei.

Gärungsstufen-Steuerung. Eine Gärung läuft in Stufen (Anlauf, Hauptgärung, Nachgärung). Zugaben oder Temperaturwechsel wirken nur in der passenden Stufe wie beabsichtigt. Sensorik (CO_2-Rate, Dichte, pH) erkennt die Stufe und triggert den Eingriff.

Das gemeinsame Muster: Ein **Live-Signal** läuft durch **qualitativ verschiedene Regimes**; genau **ein Regime** erlaubt die eigentliche **Operation**; **Übergangs- und Mischzonen** müssen gemieden werden; ein **Erkenner** liest die Regime-Zugehörigkeit aus dem Signal und **triggert** die Operation. Das ist der Echtzeit-Phasenleser.

2 · Abgrenzung: was kein Phasenleser ist

Die Klasse ist nur scharf, wenn sie ausschließt. Kein Phasenleser ist:

- ein **Daueraufzeichner**, der unterschiedslos alles mitschreibt (er identifiziert kein handlungserlaubtes Regime);
- ein **Schwellwertschalter**, der auf eine einzige Skalargröße reagiert, ohne ein *Regime* zu erkennen (das Regime ist mehr als ein Schwellwert: es ist ein zusammenhängendes Feld im Zustandsraum mit innerer Homogenität);
- ein **statischer Klassifikator**, der einmalig ein fertiges Objekt einordnet (ihm fehlt die Echtzeit-Dimension: das Regime entsteht und vergeht im laufenden Signal).

Der Phasenleser sitzt zwischen diesen: Er erkennt Regimes (mehr als ein Schwellwert), er handelt selektiv (anders als der Daueraufzeichner), und er tut es fortlaufend an einem Signal, das selbst durch die Regimes wandert (anders als der statische Klassifikator).

3 · Die Analogie und ihre Stufe

Dass diese vier Geräte „dasselbe" tun, ist eine Behauptung, die nach FORSCH-0078 einzuordnen ist. Sie besteht den Übersetzungstest mühelos — „Phasenleser", „phase reader", „相検出器" bezeichnen in jeder Sprache dieselbe Sache, weil die Verbindung an der Struktur hängt, nicht am Wort. Sie ist keine bloße Bildschema-Ähnlichkeit (Stufe 1), denn die Geräte teilen ein verbundenes System von Relationen höherer Ordnung: *Regime hat Homogenität*, *Operation ist auf Regime bedingt*, *Mischzone negiert Operationserlaubnis*, *Erkenner bildet Signalposition auf Erlaubnis ab*. Das ist eine genuine Strukturanalogie, **Stufe 2**.

Sie ist aber zunächst *nicht* Stufe 3: Die vier Geräte teilen keine gemeinsame Gleichung. Die CO_2-Kurve folgt einer Atemmechanik, der Chromatographie-Peak einer Transportgleichung, das Schweißbad einer Wärmeleitungs- und Erstarrungsdynamik, die Gärung einer Reaktionskinetik. Verschiedene Kalküle, gemeinsames Relationssystem. Genau hier setzt Teil B an: Lässt sich die Stufe-2-Analogie zu einer Stufe-3-Aussage härten, indem man nicht die physikalischen Gleichungen vergleicht, sondern die *abstrakte Struktur des Detektierens* selbst als gemeinsames formales Objekt fasst?

TEIL B — Formale Härtung

4 · Vorarbeit: Analogie als strukturerhaltende Abbildung

Die formale Behandlung von Analogie hat eine klare Linie. Gentners Strukturabbildung fasst eine Analogie als Abbildung von einem Basisbereich in einen Zielbereich, die *Relationen* (nicht Attribute) erhält und verbundene Relationssysteme bevorzugt (Systematizität). Die Kognitionswissenschaft hat dies kategorientheoretisch reformuliert: Eine Analogie ist ein *Funktor* — eine Abbildung zwischen Kategorien, die nicht nur Objekte, sondern auch die Pfeile (Relationen, Prozesse) und ihre Verkettung erhält. Phillips fasst dies in der Merkformel, Kategorientheorie verhalte sich zur Kognitionswissenschaft wie der Funktor zur Repräsentation und die natürliche Transformation zum Vergleich. Die Systematizität, die bei Gentner ein empirisches Prinzip ist, wird kategorientheoretisch zur Konsequenz der Funktor-Eigenschaft: Wer die Verkettung erhält, erhält das System.

Diese Vorarbeit ist der Hebel. Wenn eine gute Analogie ein strukturerhaltender Funktor ist, dann ist die Frage nach Stufe 3 die Frage: *Welche Kategorien, welcher erhaltene Struktur-Anteil?* Beantwortet man sie, ist die Analogie nicht mehr „ähnlich",