

# FN-Wissenschaft-Hermeneus-v0.1- 2026-05-17

## Forschungsnotiz — Die Deutungen

**Autor:** Thomas Schüller · forschung@tschueller.com · ORCID 0009-0003-9799-6747 **Affiliation:** privat finanziert, ohne institutionelle Affiliation **Lizenz:** CC BY 4.0 · **Version:** 0.1 · **Datum:** 2026-05-17  
**Strang:** FORSCHUNG / Wissenschaftsphilosophie / W2 **Werkzeug:** HERMENEUS · **Dokumenttyp:** Forschungsnotiz (Template v1.0)  
**Status:** abgeschlossener Test mit dokumentierter Bewertung  
**Besonderheit:** Abschluss der Werkstatt

---

### 1. These

Drei Module haben auf diese Frage hingeführt. **Q1** zeigte: Der Formalismus sagt Messergebnisse voraus, erzählt aber keine Geschichte über das Dazwischen. **Q2** zeigte: Die naheliegendste Geschichte — die Antworten stünden von Anfang an fest — ist experimentell ausgeschlossen. **W1** zog die Bilanz des Verfahrens und ließ diese eine Frage ausdrücklich offen.

Das geprüfte engere Modell M1 lautet: „Eine der Deutungen ist richtig, wir wissen nur noch nicht welche. Die Deutungsfrage ist eine gewöhnliche empirische Frage, nur noch nicht entschieden; ein besseres Experiment wird sie klären.“

Die Behauptung dieses Moduls: M1 ist falsch, und zwar **nachrechenbar**. Die empirische Äquivalenz konkurrierender Deutungen wird hier nicht behauptet, sondern **gerechnet** — durch explizite Integration der Bohmschen Trajektorien.

**Eine Vorbemerkung zur Haltung:** Dieses Modul ergreift **keine Partei**. Wer eine Empfehlung sucht, findet keine. Das ist Absicht und wird in Abschnitt 8 begründet.

### 2. Annahmen

1. Die Bohmsche Führungsgleichung lässt sich numerisch integrieren.
2. Die Quanten-Gleichgewichtshypothese gilt (Startverteilung =  $|\psi|^2$ ).
3. Zwei Verteilungen sind empirisch ununterscheidbar, wenn ihr Abstand im Bereich des Stichprobenrauschens liegt.
4. Strukturelle Kosten einer Deutung lassen sich auflisten, auch wenn sie nicht messbar sind.
5. Die Unterscheidung entscheidbar / unentscheidbar / nicht sinnvoll gestellt ist selbst begründbar.

### 3. Mathematisches Modell

**M1 — „eine ist richtig“:** Es gibt eine Deutung  $\mathcal{D}$ , die zutrifft, und ein mögliches Experiment  $\mathcal{E}$ , das sie von den übrigen unterscheidet.

**M2 — Bohmsche Mechanik.** Die Wellenfunktion führt Teilchen mit definierten Bahnen:  $v(x,t) = \frac{\hbar}{m} \operatorname{Im} \left( \frac{\partial_x \psi}{\psi} \right)$ ,  $\text{quad} \dot{x} = v(x,t)$ . Unter der Quanten-Gleichgewichtshypothese  $\rho(x,0) = |\psi(x,0)|^2$  folgt für alle Zeiten  $\rho(x,t) = |\psi(x,t)|^2$  (Äquivarianz).

**M3 — Prüfkriterium.** Sei  $L_1 = \int |\rho_{\text{Bohm}}| - |\psi|^2 dx$ . Der Vergleich erfolgt **nicht** gegen einen festen Schwellwert, sondern gegen das Rauschniveau:  $\sigma_{\text{über}} = \frac{L_1 - \langle L_1 \rangle}{\sqrt{\operatorname{sd}(L_1^2)}}$ , wobei  $L_1^2$  aus direkt aus  $|\psi|^2$  gezogenen Stichproben gleicher Größe stammt.

**M4 — Kosten.** Zu jeder Deutung  $\mathcal{D}$  gehört eine Menge aufgegebener Annahmen  $K(\mathcal{D})$ . Nach Bell gilt:  $\bigcap_{\mathcal{D}} K(\mathcal{D}) \neq \emptyset$  — jede gibt etwas auf.

| Symbol                 | Bedeutung                        | Einheit |
|------------------------|----------------------------------|---------|
| $v$                    | Bohmsche Führungsgeschwindigkeit | m/s     |
| $L_1$                  | Abstand zweier Verteilungen      | —       |
| $\sigma_{\text{über}}$ | Abweichung in Rauscheinheiten    | —       |
| $K(\mathcal{D})$       | aufgegebene Annahmen             | —       |

## 4. Parameter

| Szenario     | Setup                                                                                                                     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A Äquivalenz | 4 000 Trajektorien, 900 Zeitschritte, $t = 0, \dots, 40$ ; Spaltabstand $d=2$ , $\sigma_0 = 0,5$ ; 30 Kontrollstichproben |
| B Kosten     | fünf Deutungen: Kopenhagen, Viele-Welten, Bohm, GRW, QBism                                                                |
| C Grenze     | vier Arten von Fragen mit je einem Beispiel                                                                               |

Toleranz:  $\epsilon = 0$ ; das Kriterium in A ist rauschbezogen ( $3\sigma$ ).

## 5. Vorhersage

| Szenario | Erwartung                                       |
|----------|-------------------------------------------------|
| A        | Bohm-Verteilung im Rauschbereich von $ \psi ^2$ |
| B        | jede Deutung gibt etwas auf, keine behält alles |
| C        | die vier Arten sind trennscharf unterscheidbar  |

## 6. Falsifikationskriterium

M1 ist widerlegt, sobald zwei Deutungen mit **verschiedener Ontologie** nachweislich **dieselben** Messvorhersagen machen — dann kann kein Experiment entscheiden.

## 7. Konkurrenzmodelle

- **K1 — eine ist richtig (M1):** geprüfenes engeres Modell.
- **K2 — Kopenhagen:** der Zustand beschreibt, was zu erwarten ist; die Messung ist Grundbegriff.
- **K3 — Viele-Welten (Everett):** nur die Schrödinger-Gleichung, alle Ausgänge treten ein.
- **K4 — Bohmsche Mechanik:** Teilchen mit Bahnen, geführt von der Welle; explizit nichtlokal.
- **K5 — GRW / Kollapsmodelle:** objektiver Kollaps; **macht abweichende Vorhersagen** und ist damit keine reine Deutung.
- **K6 — QBism:** der Zustand beschreibt die Erwartungen eines Akteurs, nicht die Welt.

## 8. Versagensbereich

- **Szene A ist der einzige Teil mit echter Numerik.** Die Szenen B und C sind Systematisierungen, keine Rechnungen. Das ist ausgewiesen und nicht kaschiert.
- **Die Äquivalenz gilt unter der Quanten-Gleichgewichtshypothese.** Ob diese Annahme selbst begründet ist, ist eine offene Frage der Bohmschen Deutung — ein Kostenpunkt, der in Szene B auftaucht.
- **Eindimensionales Modell.** Der gerechnete Doppelspalt ist eine Vereinfachung; die Äquivalenz ist allgemein bewiesen, hier aber nur an einem Fall gezeigt.
- **Die Kostenaufstellung ist nicht vollständig.** Weitere Deutungen (Relationale Quantenmechanik, Konsistente Historien, Transaktionsdeutung) fehlen. Die Auswahl folgt der Verbreitung, nicht einer sachlichen Rangordnung.
- **Keine Empfehlung — und das ist begründet.** Die Wahl zwischen empirisch äquivalenten Deutungen ist keine Sachfrage. Eine Werkstatt, die auf Rechnung besteht, hat dazu nichts beizutragen außer der Kostenaufstellung. Wer hier eine Meinung ausspricht, verlässt das Verfahren.
- **Nicht behandelt:** Dekohärenz im Detail, die Rolle der Zeit, relativistische Verallgemeinerung der Deutungen, Quantengravitation.

## 9. Simulation

Numerische Auswertung in `hermeneus_simulation.py`:

1. Szene A: Integration von 4 000 Bohmschen Trajektorien; Vergleich der Endverteilung mit  $\psi^2$ ; Nullvergleich über 30 direkt gezogene Kontrollstichproben.
2. Szene B: Aufstellung der fünf Deutungen nach Behaltenem, Aufgegebenem und offener Stelle.
3. Szene C: vier Arten von Fragen mit Beispiel, Status und Lehre.

Ergebnisse in `hermeneus_results.json`, Plot als `hermeneus_szenen.svg`.

## 10. Ergebnis

### 10.1 A — Empirische Äquivalenz, gerechnet

---

| Größe                                       | Wert                             |
|---------------------------------------------|----------------------------------|
| Trajektorien                                | 4 000                            |
| $\psi(L_1)$ Bohm zu $\psi^2$                | <b>0,0971</b>                    |
| $\psi(L_1)$ reines Rauschen (30 Kontrollen) | $0,1024 \pm 0,0102$              |
| <b>Bohm über dem Rauschen</b>               | <b><math>-0,52 \sigma</math></b> |
| Korrelation                                 | 0,99448                          |

**Die Bohm-Verteilung ist von einer direkt aus  $\psi^2$  gezogenen Stichprobe statistisch nicht unterscheidbar.**

**Bewertung M1: widerlegt.**

## 10.2 B — Die Kostenrechnung

| Deutung      | gibt auf                         | offene Stelle                          |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------------|
| Kopenhagen   | Beschreibung der Messung selbst  | Wo verläuft der Heisenberg-Schnitt?    |
| Viele-Welten | ein Ergebnis pro Messung         | Woher kommen die Wahrscheinlichkeiten? |
| Bohm         | Lokalität, Sparsamkeit           | Warum gilt das Quanten-Gleichgewicht?  |
| GRW          | die exakte Schrödinger-Gleichung | Parameter frei — <b>und messbar</b>    |
| QBism        | den Zustand als Weltbeschreibung | Was ist dann die Welt?                 |

**Bewertung M1: widerlegt.**

## 10.3 C — Vier Arten von Fragen

| Art                               | Beispiel                           | Status                      |
|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| entschieden                       | lokaler Realismus                  | ausgeschlossen (2015)       |
| noch offen                        | GRW-Parameter                      | eingeschränkt               |
| <b>prinzipiell unentscheidbar</b> | <b>Kopenhagen / Everett / Bohm</b> | <b>empirisch äquivalent</b> |
| nicht sinnvoll gestellt           | Superdeterminismus                 | nicht falsifizierbar        |

**Bewertung M1: widerlegt.**

# 11. Bewertung

**M1 („eine ist richtig, wir wissen nur noch nicht welche“) ist in allen drei Szenarien widerlegt.**

**Szene A ist das Herzstück, und sie ist gerechnet.** Die Bohmsche Mechanik wurde nicht beschrieben, sondern integriert: 4 000 Teilchen, geführt von der Führungsgleichung, über 900 Zeitschritte. In dieser Deutung hat **jedes Teilchen eine definierte Bahn und geht durch genau einen Spalt** — genau das, was Q1 als M1 widerlegt hatte.

Und trotzdem ist die Endverteilung von  $\psi^2$  **statistisch nicht unterscheidbar**:  $-0,52 \sigma$  vom reinen Stichprobenrauschen, Korrelation 0,994.

Das ist der entscheidende Punkt und er ist keine philosophische Behauptung: **Eine Deutung mit Teilchenbahnen und eine ohne liefern dieselbe messbare Verteilung.** Kein Experiment am Doppelspalt kann zwischen ihnen unterscheiden — nicht weil die Experimente zu ungenau wären, sondern weil beide dasselbe vorhersagen.

**Zu den zwei Korrekturen.** Die erste Fassung prüfte gegen einen festen Schwellwert ( $L_1 < 0{,}05$ ) und fiel durch, obwohl die Verteilungen übereinstimmten. Der Fehler lag im Kriterium: Bei 4 000 Trajektorien auf 90 Bins ist ein  $L_1$  dieser Größe reines Histogramm-Rauschen. **Derselbe Fehlertyp wie in Q2**, wo das lokal-realistische Modell scheinbar über der Bell-Schranke lag.

Der daraufhin eingebaute Nullvergleich zog die Kontrollstichprobe jedoch auf dem **Startgitter** ( $\pm 8$ ) — bis  $t_1$  liegen aber 18,7 % der Wahrscheinlichkeit außerhalb. Das Ergebnis war absurd: Bohm schien **besser als die Wahrheit selbst**. Erst ein weiteres Gitter machte den Vergleich gültig. Dass ein unmögliches Zwischenergebnis den Fehler verrät, ist inzwischen ein Muster in dieser Arbeit.

**Szene B: keine behält alles.** Fünf Deutungen, fünf verschiedene Preise. Kopenhagen behält ein Ergebnis pro Messung und Lokalität, gibt aber eine Beschreibung des Messvorgangs auf — wo der Heisenberg-Schnitt liegt, bleibt offen. Viele-Welten behält Lokalität, Determinismus und kommt ohne Zusatzpostulat aus, gibt aber die Eindeutigkeit der Wirklichkeit auf. Bohm behält Bahnen und Determinismus, zahlt mit expliziter Nichtlokalität.

**Das ist die eigentliche Lehre aus Bell:** Es gibt keine Deutung, die alles behält. Die Frage ist nicht „welche ist richtig“, sondern „welchen Verlust nimmt man in Kauf“ — und das ist keine empirische Frage.

**Eine Abgrenzung gehört dazu, die oft verwischt wird: GRW fällt aus dem Rahmen.** Kollapsmodelle modifizieren die Schrödingergleichung und machen dadurch **abweichende** Vorhersagen — sehr klein, aber im Prinzip messbar. GRW ist deshalb streng genommen **keine Deutung, sondern eine konkurrierende Theorie**. Sie gehört in Szene C in die Kategorie „noch offen“, nicht „unentscheidbar“.

**Szene C: vier Arten von Fragen.** Die Werkstatt endet mit einer Unterscheidung, die sich durch ihre ganze Arbeit zieht.

**Entschieden** ist der lokale Realismus — durch Bell-Experimente ausgeschlossen. Das ist der Idealfall: Eine Position, die metaphysisch aussah, wurde messbar.

**Noch offen** sind die GRW-Parameter. Was heute unentscheidbar scheint, kann morgen entscheidbar sein — wenn die Theorie abweichende Vorhersagen macht.

**Prinzipiell unentscheidbar** ist die Wahl zwischen Kopenhagen, Everett und Bohm. Hier hilft keine bessere Messung, und Szene A zeigt warum — nicht als Behauptung, sondern als Rechenergebnis.

**Nicht sinnvoll gestellt** ist der Superdeterminismus. Eine Position, die mit jedem denkbaren Befund verträglich ist, sagt nichts. Das ist Poppers Kriterium, und es greift hier.

**„Unentscheidbar“ und „bedeutungslos“ sind verschiedene Dinge.** Die Deutungsfrage ist unentscheidbar, aber nicht bedeutungslos — die Deutungen unterscheiden sich in dem, was sie erklären und was sie voraussetzen. Nur ist diese Differenz nicht durch Messung zu klären.

**Warum hier keine Empfehlung steht.** Es wäre leicht, an dieser Stelle eine Deutung zu bevorzugen — die sparsamste, die anschaulichste, die am besten zur Relativitätstheorie passt. Genau das unterbleibt.

Die Werkstatt hat 32-mal auf Rechnung bestanden. Wo gerechnet werden konnte, wurde gerechnet; wo nicht, wurde es ausgewiesen. Die Wahl zwischen empirisch äquivalenten Deutungen **lässt sich nicht rechnen**. Wer hier eine Meinung ausspricht, verlässt das Verfahren — und tut es unter dem Anschein, es fortzusetzen. Das wäre der unehrlichste Schluss, den diese Arbeit nehmen könnte.

**Der Bogen schließt sich.** Modul 02 (Höhlengleichnis) stellte die Frage, ob wir die Dinge sehen oder ihre Schatten. Der Wahrnehmungs-Strang zeigte, dass wir nicht den Reiz sehen, sondern die beste Deutung. M1 (CATENA) zeigte, dass jede Messkette dieselbe Struktur hat. Q1 und Q2 zeigten, dass auch die Physik an dieser Stelle steht. W1 zog die Bilanz.

**Und W2 endet dort, wo das Verfahren endet.** Nicht mit einer Antwort, sondern mit einer genauen Angabe, wo sie aufhört möglich zu sein. Das ist derselbe Abschnitt 8, den jedes der 32 Module hat — nur diesmal für die ganze Werkstatt.

## 12. Nächster Test

Die Werkstatt ist mit diesem Modul abgeschlossen. Was bleibt, sind Erweiterungen bestehender Module (v0.2) und die Veröffentlichungsvorbereitung.

**Offener Punkt vor Einreichung:** Die 33 Werkzeuge sind bisher nur JS-syntaktisch validiert und nie real im Browser geprüft. Das ist vor einer Zenodo-Einreichung nachzuholen.

**Mögliche Erweiterung v0.2:** weitere Deutungen (Relationale Quantenmechanik, Konsistente Historien, Transaktionsdeutung); Dekohärenz quantitativ; die Rolle der Zeit in den Deutungen; relativistische Verallgemeinerung.

---

## Anhang A — Querverweise

- Praxis-Erklärung: PRAXIS-Hermeneus.md · Begleitpapier: BEGLEITPAPIER-Hermeneus.md
- Werkzeug: HERMENEUS.html
- Code: hermeneus\_simulation.py · Plot: hermeneus\_szenen.svg · Daten: hermeneus\_results.json
- **Anschluss-Module:** Q1 Doppelspalt (die Lücke), Q2 Verschränkung (die ausgeschlossene Füllung), W1 Bilanz, 02 Höhlengleichnis (die Ausgangsfrage), M1 Signalkette
- **Damit abgeschlossen:** 33 Module in 7 Strängen

## Anhang B — Externer Bestandscheck

- **Bohm (1952)** — die Führungswellen-Deutung.
- **Everett (1957)** — die Relative-State-Formulierung.
- **Ghirardi, Rimini & Weber (1986)** — objektiver Kollaps.
- **Bell (1987), *Speakable and Unspeakable*** — die kritische Würdigung aller Positionen.
- **Fuchs, Mermin & Schack (2014)** — QBism.

Was die Werkstatt-Notiz davon unterscheidet: Die empirische Äquivalenz wird **gerechnet** statt behauptet — mit expliziter Integration der Bohmschen Trajektorien und einem rauschbezogenen Prüfkriterium. Die Kostenaufstellung enthält bewusst keine Rangordnung. Die Abgrenzung von GRW als konkurrierender Theorie statt Deutung wird ausdrücklich gemacht.

## Anhang C — Quellen

- Bohm, D. (1952). A suggested interpretation of the quantum theory in terms of “hidden” variables. *Physical Review* 85:166–193.
- Everett, H. (1957). “Relative state” formulation of quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics* 29:454–462.
- Ghirardi, G. C.; Rimini, A.; Weber, T. (1986). Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems. *Physical Review D* 34:470–491.
- Bell, J. S. (1987). *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*. Cambridge University Press.
- Fuchs, C. A.; Mermin, N. D.; Schack, R. (2014). An introduction to QBism. *American Journal of Physics* 82:749–754.

---

Wortzahl: ca. 2200 · Seiten: 10 · Version 0.1 · 2026-05-17