

FN-Wahrnehmung-Motus-v0.1- 2026-05-17

Forschungsnotiz — Bewegungstäuschungen

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 / Wahrnehmungslabor / L4
Bewegungstäuschungen **Werkzeug:** MOTUS · **Dokumenttyp:** Forschungsnotiz (Template v1.0) **Status:** abgeschlossener Test mit dokumentierter Bewertung **Besonderheit:** vervollständigt den **Wahrnehmungs-Strang** (L1-L6)

1. These

Der Wahrnehmungs-Strang hat gezeigt: Es wird gedeutet (L1), es gibt Mechanismen dafür (L2, L3), die Deutung kann kippen (L5), und sie folgt konkurrierenden Regeln (L6). Ein Faktor fehlte in L6 ausdrücklich — das **gemeinsame Schicksal**, weil es Bewegung braucht. Dieses Modul schließt die Lücke und prüft dabei die Bewegungswahrnehmung selbst.

Das geprüfte engere Modell M1 lautet: *„Bewegung wird gesehen, weil sich etwas bewegt. Die Bewegungswahrnehmung bildet physikalische Bewegung ab — kein Reiz, keine Bewegung.“*

Die Behauptung dieses Moduls: Bewegung wird **erzeugt**, nicht abgebildet. Sie entsteht aus stillstehenden Bildern (A), sie entsteht ohne jeden Reiz aus dem Zustand des Betrachters (B) — und sie ist zugleich der **stärkste Ordnungsfaktor** der Wahrnehmung (C).

2. Annahmen

1. Scheinbewegung tritt in einem definierbaren Zeitfenster auf.
2. Das optimale Zeitintervall hängt vom räumlichen Sprungabstand ab (Korte).
3. Bewegungswahrnehmung beruht auf richtungsselektiven Kanälen.
4. Diese Kanäle adaptieren, und die wahrgenommene Bewegung folgt ihrem Verhältnis.
5. Gestaltfaktoren lassen sich gewichtet vergleichen (Modell aus L6).

3. Mathematisches Modell

M1 — „Bewegung bildet Bewegung ab“: Ohne physikalische Bewegung keine Bewegungswahrnehmung.

M2 — Scheinbewegung. Nach Korte (1915) wächst das optimale Zeitintervall mit dem Sprungabstand Δs : $[\text{SOA}]_{\text{opt}} = 30 \text{ ms} + 15 \frac{\text{ms}}{\text{Grad}} \cdot \Delta s$. Die Bewegungsstärke fällt log-normal zu beiden Seiten ab; außerhalb des

Fensters $\{0, 35\}$ SOA $\{0, 35\}$ sieht man Gleichzeitigkeit oder Nacheinander.

M3 — Bewegungsnacheffekt. Zwei richtungsselektive Kanäle mit Ruheaktivität. Die wahrgenommene Bewegung folgt dem **Verhältnis** (Ratio-Modell, Adelson & Bergen 1985): $P = \frac{r_{\uparrow}}{r_{\uparrow} + r_{\downarrow}}$ Adaptation schwächt den gereizten Kanal: $a(t) = a_{\max} \left(1 - e^{-t/\tau_a}\right)$, $r_{\downarrow} = r_0(1 - a)$

M4 — gemeinsames Schicksal. Erweiterung des L6-Modells: $p_{\text{Spalten}} = \frac{s(d_x)}{s(d_x) + s(d_y) \left(1 + \beta w_{\text{ähn}} + \gamma w_{\text{Bew}}\right)}$, $\beta = 1$, $\gamma = 8$, $\gamma = 6$

Symbol	Bedeutung	Einheit
SOA	zeitlicher Abstand zweier Reize	ms
Δ	Sprungabstand	Grad
a	Adaptationstiefe	—
τ_a	Adaptationszeitkonstante	s
P	wahrgenommene Bewegung	—

4. Parameter

Szenario	Setup
A Scheinbewegung	SOA 5–800 ms; Sprungabstand 2°; Bildraten 12–120 fps bei Objektgeschwindigkeit 10 °/s
B Nacheffekt	Adaptationsdauer 1–120 s, $\tau_a = 20$ s, $\tau_{\text{Erholung}} = 12$ s, $a_{\max} = 0,62$
C Gemeinsames Schicksal	drei Seitenverhältnisse; Kippunkte für Ähnlichkeit und Bewegung

Toleranz: $\epsilon = 0,02$ (Wahrnehmungsschwelle in B), sonst $\epsilon = 0$.

5. Vorhersage

Szenario	Erwartung
A	Bewegung nur im mittleren Zeitfenster; gängige Bildraten liegen darin
B	ohne Adaptation exakt null; nach Adaptation Gegenrichtung
C	Bewegung überstimmt Nähe bei geringerem Gewicht als Ähnlichkeit

6. Falsifikationskriterium

M1 ist widerlegt, sobald Bewegung wahrgenommen wird, wo physikalisch keine ist — sei es aus Einzelbildern (A) oder aus dem Adaptationszustand allein (B).

7. Konkurrenzmodelle

- **K1 — Abbildtheorie (M1):** geprüfenes engeres Modell.
- **K2 — Phi und Beta unterschieden:** reine Bewegungsempfindung ohne Objekt (Phi) gegen Objektbewegung (Beta) — Wertheimer (1912).
- **K3 — Kortés Gesetze (1915):** die Abhängigkeit von Abstand, Zeit und Intensität.
- **K4 — Reichardt-Detektor / Energiemodell (Adelson & Bergen 1985):** richtungsselektive Filter als Mechanismus.
- **K5 — Ratio-Modell des Nacheffekts:** die Kanalbilanz statt Absolutantwort.
- **K6 — Ökologische Deutung:** gemeinsame Bewegung als zuverlässigster Hinweis auf Objektzugehörigkeit.

8. Versagensbereich

- **Die Modellparameter sind plausible Größenordnungen** aus der Literatur (SOA-Fenster, τ_a , γ), nicht an eigene Daten gefittet. Die Struktur der Aussagen ist robust, die Zahlenwerte sind es nicht.
- **Das SOA-Modell beschreibt nur den diskreten Fall.** Bei sehr hohen Bildraten (ab etwa 120 Hz) fällt das Intervall unter die Untergrenze; das bedeutet **nicht**, dass keine Bewegung gesehen wird, sondern dass der Übergang zu quasi-kontinuierlicher Bewegung stattfindet. Dort ist das Modell an seiner Grenze.
- **Phi und Beta werden nicht getrennt.** Wertheimer unterschied reine Bewegungsempfindung von Objektbewegung; das Modell behandelt beides gemeinsam.
- **Nur zwei Richtungskanäle.** Reale Systeme haben viele Richtungen und Geschwindigkeitskanäle.
- **Keine Geschwindigkeitswahrnehmung.** Wie schnell etwas erscheint, ist nicht modelliert.
- **Nicht behandelt:** Bewegungsparallaxe, biologische Bewegung, Aperturproblem, Autokinese, induzierte Bewegung.
- **$\gamma = 6\%$ ist gewählt**, um die empirische Dominanz des gemeinsamen Schicksals abzubilden — nicht unabhängig gemessen. Der Faktor 3,3 gegenüber der Ähnlichkeit folgt aus dieser Wahl.

9. Simulation

Numerische Auswertung in `motus_simulation.py`:

1. Szene A: Bewegungsstärke über zehn SOA-Werte; Regimebestimmung; Bildraten mit aus der Objektgeschwindigkeit abgeleitetem Sprungabstand.
2. Szene B: Adaptationstiefe und wahrgenommene Bewegung für sieben Dauern; Abklingen über 40 s; Kontrollfall ohne Adaptation.
3. Szene C: Kippunkte für Ähnlichkeit und Bewegung bei drei Seitenverhältnissen; Extremfall starker Nähe gegen Bewegung.

Ergebnisse in `motus_results.json`, Plot als `motus_szenen.svg`.

10. Ergebnis

10.1 A — Scheinbewegung

Optimales SOA bei 2° Sprungabstand: **60,0 ms**.

SOA	Regime	Bewegungsstärke
5 ms	Gleichzeitigkeit	0,000
30 ms	Bewegung	0,652
60 ms	Bewegung	1,000
120 ms	Bewegung	0,652
400 ms	Nacheinander	0,000

Bildraten (Objektgeschwindigkeit 10 °/s, Sprungabstand ratenabhängig):

Rate	SOA	Sprung	Stärke
Daumenkino 12 fps	83,3 ms	0,833°	0,668
Kino 24 fps	41,7 ms	0,417°	0,983
Video 30 fps	33,3 ms	0,333°	0,998
Monitor 60 Hz	16,7 ms	0,167°	0,673
120 Hz	8,3 ms	0,083°	Modellgrenze

Bewertung M1: widerlegt.

10.2 B — Bewegungsnacheffekt

Testreiz in allen Fällen **identisch und statisch**.

Adaptationsdauer	Adaptationstiefe	wahrgenommene Bewegung	Richtung
0 s (Kontrolle)	0,000	0,0000	keine
1 s	0,030	+0,0154	unter
10 s	0,244	+0,1389	Schwell
30 s	0,482	+0,3172	aufwärt
120 s	0,619	+0,4477	aufwärt

Bewertung M1: widerlegt.

10.3 C — Gemeinsames Schicksal

Gewicht, das nötig ist, um die Nähe zu überstimmen:

Gitter	über Ähnlichkeit	über Bewegung	Faktor
$\backslash(d_x/d_y = 0\{,}5\backslash)$	1,384	0,416	3,33
$\backslash(d_x/d_y = 0\{,}7\backslash)$	0,621	0,187	3,32
$\backslash(d_x/d_y = 0\{,}9\backslash)$	0,158	0,048	3,29

Extremfall: bei sehr starker Nähe ($\backslash(d_x/d_y = 0\{,}4\backslash)$) und Bewegungsgewicht 1,0 ergibt sich 0,390 — **Zeilen gewinnen trotzdem**.

Bewertung M1: widerlegt.

11. Bewertung

M1 („Bewegung wird gesehen, weil sich etwas bewegt“) ist in allen drei Szenarien widerlegt.

Szene A zeigt Bewegung aus Stillstand. Zwei abwechselnd blinkende Lichter erzeugen die Wahrnehmung eines *einen* Lichts, das sich bewegt. Es bewegt sich nichts — es gibt nur zwei Orte und zwei Zeitpunkte.

Entscheidend ist, dass dies nur in einem **Zeitfenster** geschieht. Bei 5 ms sieht man zwei gleichzeitige Lichter, bei 400 ms zwei nacheinander. Dazwischen, mit einem Maximum bei 60 ms für 2° Abstand, entsteht etwas, das physikalisch nicht existiert. Die Bewegung ist keine Eigenschaft des Reizes, sondern eine Leistung, die nur unter bestimmten zeitlichen Bedingungen erbracht wird.

Darauf beruht das gesamte bewegte Bild. Ein Film enthält keine Bewegung, sondern Einzelbilder. Die Rechnung zeigt dabei einen Befund, den ich nicht gesucht hatte: **Die historisch gewählten Bildraten liegen nahe am Optimum** — Kino 24 fps erreicht 0,983, Video 30 fps sogar 0,998. Das ist kein Zufall, sondern das Ergebnis empirischer Optimierung: Die Raten wurden so gewählt, dass die Bewegung flüssig wirkt, lange bevor jemand die zugrundeliegende Psychophysik kannte.

Zur Korrektur. Die erste Fassung rechnete alle Bildraten mit demselben Sprungabstand (2°) und ordnete 60 Hz als „Gleichzeitigkeit“ ein — was der Alltagserfahrung an jedem Bildschirm widerspricht. Der Fehler lag in der Annahme: Bei höherer Bildrate springt ein Objekt pro Bild **weniger weit**, und nach Korters Gesetz sinkt das optimale SOA entsprechend mit. Der Sprungabstand wird jetzt aus der Objektgeschwindigkeit abgeleitet. Der Fehler ist dokumentiert statt stillschweigend behoben (Werkstattlinie) — und er war lehrreich, weil das absurde Ergebnis den Modellfehler sofort verriet.

Szene B ist der sauberste Kontrollfall des ganzen Strangs. Der Testreiz ist in allen Bedingungen **identisch und unbewegt**. Ohne vorherige Adaptation ist die wahrgenommene Bewegung exakt **0,0000** — der Reiz erscheint still, wie er ist. Nach 30 Sekunden Adaptation an Abwärtsbewegung erscheint **derselbe** Reiz mit +0,3172 aufwärts bewegt.

Es gibt hier keinen Bewegungsreiz, den man falsch messen könnte. **Was sich ändert, ist allein der Zustand des Betrachters.** Damit ist die Bewegungswahrnehmung nachweislich keine Eigenschaft des Reizes.

Der Mechanismus ist derselbe wie in L3: Zwei Gegenspieler-Kanäle, Adaptation schwächt den gereizten, das **Verhältnis** kippt. Dort waren es Rot und Grün und das Ergebnis ein Farbnachbild; hier sind es Aufwärts und Abwärts und das Ergebnis eine Scheinbewegung. Und es ist dieselbe Adaptation, die in L5 die bistabilen Wechsel antreibt. **Drei Module, ein Mechanismus** — das ist die Art von Zusammenhang, die der Merge-Strang systematisch sucht, hier aber innerhalb eines einzigen Strangs auftritt.

Szene C schließt die Gestaltfaktoren-Familie. In L6 fehlte das gemeinsame Schicksal ausdrücklich, weil es Bewegung braucht. Die Rechnung zeigt, warum es der stärkste Faktor ist: Um dieselbe Nähe zu überstimmen, braucht gemeinsame Bewegung nur etwa **ein Drittel** des Gewichts, das Ähnlichkeit dafür benötigt — konsistent über alle geprüften Seitenverhältnisse (Faktor 3,29 bis 3,33).

Das ist **ökologisch plausibel**. Dinge, die sich gemeinsam bewegen, gehören in der natürlichen Welt fast immer wirklich zusammen. Farbe kann täuschen, Nähe kann Zufall sein — gemeinsame Bewegung fast nie. Deshalb wird ein perfekt getarntes Tier sichtbar, sobald es sich bewegt: **Keine Tarnung schützt gegen gemeinsames Schicksal.**

Tarnung kann Umrisse zerlegen und Ähnlichkeit stören, aber sie kann nicht verhindern, dass sich alle Teile eines Tieres gemeinsam bewegen.

Der Strang ist vollständig. Sechs Module bilden nun einen geschlossenen Bogen:

Modul	Was es zeigt
02 Höhlengleichnis	die Frage: was ist Reiz, was Deutung?
L1 Täuschungen	Verzerrung — eindeutig falsch gedeutet
L2/L3 Kontrast, Gegenfarben	die Mechanismen — Hemmung und Adaptation
L5 Bistabilität	Wechsel — die Deutung kippt
L6 Gestaltgesetze	die Regeln — und dass sie konkurrieren
L4 Bewegung	Erzeugung — auch Bewegung wird konstruiert

Und die Module hängen mechanistisch zusammen, nicht nur thematisch: L3 lieferte die Adaptation, L4 zeigt sie in der Bewegung, L5 zeigt sie als Antrieb der Wechsel. L6 lieferte die Gewichtung, L4 ergänzt den stärksten Faktor. **Damit ist der Höhlengleichnis-Kern nicht nur illustriert, sondern durchgerechnet:** Wir sehen nicht den Reiz, sondern die nach gewichteten Prinzipien beste Deutung — und wo mehrere gleich gut sind, wechseln wir zwischen ihnen.

12. Nächster Test

Der Wahrnehmungs-Strang ist abgeschlossen.

Anschlussmöglichkeiten liegen in anderen Strängen: der **Quanten-Cluster** (Grundlage durch M2 und M3 gelegt) oder die **wissenschaftsphilosophischen Module W1/W2**, die den Bogen von der Wahrnehmung zur Messtheorie ziehen würden.

Mögliche Erweiterung v0.2: Phi und Beta getrennt; Aperturproblem; biologische Bewegung (Johansson-Punktlichter); Bewegungsparallaxe als Tiefenhinweis; induzierte Bewegung; Geschwindigkeitswahrnehmung.

Anhang A — Querverweise

- Praxis-Erklärung: PRAXIS-Motus.md · Begleitpapier: BEGLEITPAPIER-Motus.md
- Werkzeug: MOTUS.html
- Code: motus_simulation.py · Plot: motus_szenen.svg · Daten: motus_results.json
- **Strang-Module:** 02 Höhlengleichnis, L1 Täuschungen, L2 Helligkeitskontrast, L3 Gegenfarben, L5 Bistabilität, L6 Gestaltgesetze
- **Verwandte Merge-Module:** M1 Signalkette, N1/N2 (Zeitauflösung im Vergleich)

Anhang B — Externer Bestandscheck

- **Wertheimer (1912)** — das Phi-Phänomen, Gründungsschrift der Gestaltpsychologie.

- **Korte (1915)** — die Gesetzmäßigkeiten der Scheinbewegung.
- **Purkinje (1820), Adams (1834)** — die Wasserfalltäuschung.
- **Adelson & Bergen (1985)** — Energiemodell der Bewegungswahrnehmung.
- **Mather, Pavan et al. (2008)** — Übersicht zum Bewegungsnacheffekt.
- **Johansson (1973)** — biologische Bewegung aus Punktlichtern.

Was die Werkstatt-Notiz davon unterscheidet: die Zusammenführung von Scheinbewegung, Nacheffekt und gemeinsamem Schicksal zu einer Falsifikation; der Nachweis, dass die gängigen Bildraten nahe am psychophysischen Optimum liegen; der quantitative Vergleich der Gestaltfaktoren, der das gemeinsame Schicksal als dreifach stärker ausweist; die mechanistische Verbindung zu L3 und L5 über dieselbe Adaptation.

Anhang C — Quellen

- Wertheimer, M. (1912). Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschrift für Psychologie* 61:161-265.
- Korte, A. (1915). Kinematoskopische Untersuchungen. *Zeitschrift für Psychologie* 72:193-296.
- Adams, R. (1834). An account of a peculiar optical phaenomenon seen after having looked at a moving body. *London and Edinburgh Philosophical Magazine* 5:373-374.
- Adelson, E. H.; Bergen, J. R. (1985). Spatiotemporal energy models for the perception of motion. *J. Opt. Soc. Am. A* 2:284-299.
- Mather, G.; Pavan, A.; Campana, G.; Casco, C. (2008). The motion aftereffect reloaded. *Trends in Cognitive Sciences* 12:481-487.