

BEGLEITPAPIER-Instrumente

Begleitpapier — Optische Instrumente v0.1

Autor: Thomas Schüller · Datum: 2026-05-17 · Lizenz: CC BY 4.0
Strang: FORSCHUNG / Höhlengleichnis-Optiklabor / 12 Instrumente
Werkzeug: ORGANON

Was

FN-Optiklabor-Instrumente-v0.1-2026-05-17 ist das zwölfte (Nummer) Modul des Optiklabor-Strangs (chronologisch das zwölfte abgeschlossene). Es kombiniert die Bausteine aus Modul 05 (Linsen) und 10 (Spiegel) zu Instrumenten — Fernrohr und Mikroskop — und prüft die naive Annahme “Vergrößerung ist beliebig steigerbar”. Die zentrale Einsicht: **Vergrößerung ist nicht das einzige Kriterium, und die Beugung (Modul 03) setzt eine harte Grenze — jenseits der förderlichen Vergrößerung gibt es nur leere Vergrößerung.**

Was geprüft wurde

Drei Szenarien:

- **A Fernrohr** — Kepler vs. Galilei bei gleichen Brennweiten
- **B Mikroskop** — drei Konfigurationen, zweistufige Vergrößerung
- **C Beugungsgrenze** — Abbe/Rayleigh, förderliche vs. leere Vergrößerung

Toleranz vorab: $\epsilon = 1\%$.

Was herausgekommen ist

Szenario	Befund	Bewertung von M1
A	beide 40×, Kepler umgekehrt/1025mm, Galilei aufrecht/975mm	unzureichend
B	$V_{ges} = \text{Produkt}$ (100×/400×/2222×)	(Köder, scheint zu gelten)
C	förderlich ~650× bei NA 0.65, 1500× = leer	widerlegt

M1 widerlegt — auf zwei Ebenen. Der didaktische Clou ist der Köder-und-Falsifikation-Aufbau: Szene B verführt mit beliebig steigerbaren Zahlen, Szene C zeigt die Beugungsgrenze und entlarvt die hohen Werte als leer.

Bedeutung im Strang

Modul 12 ist der Konvergenzpunkt der geometrischen Optik — es führt drei frühere Module zusammen:

1. **Brücke zu Modul 05 Linsen.** Die Linsen sind die Bausteine von Fernrohr und Mikroskop. Ihre Aberrationen (chromatisch, sphärisch) begrenzen die reale Leistung zusätzlich zur Beugung. Das achromatische Dublett aus Modul 05/06 ist genau die Korrektur, die gute Objektive brauchen.
2. **Brücke zu Modul 10 Spiegel.** Das Spiegelteleskop ist die chromatikfreie Alternative zur Linsenoptik. Weil ein Spiegel keine chromatische Aberration hat und von hinten gestützt werden kann, sind alle großen Teleskope Spiegelteleskope. Dieselbe Abbildungsgleichung, anderes Bauprinzip.
3. **Brücke zu Modul 03 Einfachspalt/Beugung.** Das ist die wichtigste Verbindung: Die Beugung, in Modul 03 ein Randphänomen am Spalt, wird hier zur fundamentalen Auflösungsgrenze. Das Rayleigh-Kriterium folgt direkt aus dem Beugungsmuster der kreisförmigen Apertur. Modul 12 zeigt, dass die "Kuriosität" Beugung das physikalische Limit jedes optischen Instruments ist.
4. **Brücke zu Modul 04 Kameramodell.** Dasselbe Schärfen-Beugung-Spannungsfeld: ein Kameraobjektiv ist bei kleiner Blende beugungsbegrenzt, bei großer Blende aberrationsbegrenzt. Die optimale Blende liegt dazwischen.
5. **Erkenntnistheoretischer Bogen.** Das Modul zeigt: unsere Instrumente erweitern die Wahrnehmung, aber sie haben prinzipielle Grenzen. Das schließt an den Höhlengleichnis-Kern (Modul 02) an — wir sehen die Welt durch Apparate, und diese Apparate formen und begrenzen, was wir sehen können.

Werkzeug ORGANON

Das Werkzeug ORGANON.html (Schritt 5) wird die Instrumente interaktiv machen: Schicht A mit Umschalter Fernrohr (Kepler/Galilei) / Mikroskop, Schieberegler für die Brennweiten, Live-Anzeige von Vergrößerung, Baulänge, Bildlage; im Beugungs-Modus die Auflösungsgrenze und der Übergang förderlich → leer. Schicht B mit Winkelvergrößerung, Mikroskop-Formel, Rayleigh- und Abbe-Kriterium. Bilingual DE+EN.

Externer Bestandscheck

- **Hecht (2017)** *Optics* — optische Instrumente, Beugungsgrenze.
- **Born & Wolf (1999)** *Principles of Optics* — Abbe-Theorie, Auflösung.
- **Jenkins & White (2001)** *Fundamentals of Optics* — Fernrohr, Mikroskop.
- **Abbe (1873)** — Theorie des Mikroskops.
- **Hell & Wichmann (1994)** — STED, Überwindung des Abbe-Limits.

Was die Werkstatt-Notiz davon unterscheidet: drei Szenarien im Falsifikationsformat; die Zusammenführung von Linsen (05), Spiegeln (10) und Beugung (03) zu einem konvergenten Modul; der Köder-und-Falsifikation-Aufbau; das greifbare Konzept der leeren Vergrößerung.

Was nicht enthalten ist

- **Spiegelteleskope im Detail** — Newton, Cassegrain, Segmentspiegel (Erweiterung).
- **Adaptive Optik** — Korrektur des atmosphärischen Seesings.
- **Superauflösungs-Mikroskopie** — STED, STORM, PALM (Nobelpreis 2014).
- **Elektronenmikroskop** — Materiewellen (de Broglie), Auflösung im Atombereich.
- **Mehrlinsen-Objektive** — reale Aberrationskorrektur mit vielen Elementen.
- **Reale Aberrationen quantitativ** — chromatisch/sphärisch im Instrument.
- **Lichtstärke und Öffnungsverhältnis** — f/D , Belichtung.
- **Fernrohr-Sehfeld und Austrittspupille** — weitere Qualitätskriterien.

Reproduktion

python3 instrumente_simulation.py im Modul-Ordner erzeugt instrumente_results.json und einen SVG-Plot mit vier Teilbildern. Abhängigkeiten: Python ≥ 3.10 , NumPy, Matplotlib. Numerik: Fernrohr-Winkelvergrößerung (Kepler/Galilei), Mikroskop-Zweistufenformel, Rayleigh- und Abbe-Kriterium, förderliche Vergrößerung.

Schließungstyp

Modul-Schluss v0.1 für Fernrohr, Mikroskop und die Beugungsgrenze. Damit ist die **geometrische Optik weitgehend vollständig**: Brechung (05/06), Reflexion (10), Instrumente (12), plus der Farbcluster (07/08/09). Erweiterungen zu Spiegelteleskopen, Superauflösung und Elektronenmikroskopie gehören in eine v0.2 bzw. eigene Module.