

# FN-Optiklabor-Prismen-v0.1-2026-05-17

## Forschungsnotiz — Prismen

**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 / Höhlengleichnis-Optiklabor / 06 Prismen  
**Werkzeug:** REGENBOGEN · **Dokumenttyp:** Forschungsnotiz (Template v1.0) **Status:** abgeschlossener Test mit dokumentierter Bewertung

---

### 1. These

Modul 05 (Linsen) zeigte chromatische Aberration als **störenden** Effekt: weil der Brechungsindex  $n(\lambda)$  wellenlängenabhängig ist, fächern Linsen Farben auf und erzeugen Farbsäume. Modul 07 (Lichtquellen) zeigte, dass verschiedene Quellen verschiedene Spektren haben. Modul 06 (Prismen) verbindet beide und kehrt die Perspektive um: **derselbe Dispersionseffekt, der bei Linsen stört, wird beim Prisma zum nutzbaren Werkzeug — das Prisma zerlegt Licht räumlich in sein Spektrum und macht damit das Spektrum jeder Lichtquelle sichtbar.** Die naive Annahme “Brechung ist farbenabhängig” wird dreifach widerlegt: durch die messbare Dispersion, durch die sichtbar verschiedenen Quellspektren und durch die winkelabhängige Minimalablenkung. Diese Notiz ist die historische Grundlage der Spektroskopie (Newton, Fraunhofer, Kirchhoff/Bunsen).

### 2. Annahmen

1. Strahlenoptik (geometrische Optik), Beugung vernachlässigbar bei makroskopischem Prisma.
2. Snelliussches Brechungsgesetz an beiden Prismenflächen.
3. Sellmeier-Dispersionsgleichung für den Brechungsindex  $n(\lambda)$  von realem Glas (BK7-Kronglas, SF11-Flintglas).
4. Homogenes, isotropes Glas (keine Doppelbrechung).
5. Idealisierte Quellspektren aus Modul 07 (Planck, Leuchtstoff-Linien, Natrium).
6. Ablenkwinkel und Minimalablenkung aus der Standard-Prismengeometrie.

### 3. Mathematisches Modell

**M1 — “Brechung ist farbenabhängig”:** Ein Brechungsindex  $n(\lambda)$  für alle Wellenlängen; das Prisma lenkt alle Farben um denselben Winkel ab.

**M2 — Dispersion:** Der Brechungsindex hängt von der Wellenlänge ab (Sellmeier):

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_i \frac{B_i}{\lambda^2 - C_i}$$

Kürzere Wellenlängen (Violett) haben höheres  $n(\lambda) \rightarrow$  stärkere Brechung  $\rightarrow$  Aufspaltung.

**M3 – Quellspektrum sichtbar:** Jede Wellenlänge wird um ihren eigenen Winkel abgelenkt; das räumliche Muster ist das Spektrum der Quelle. Kontinuierliches Spektrum (Glühlampe)  $\rightarrow$  Regenbogenband; Linienspektrum (Leuchtstoff, Natrium)  $\rightarrow$  diskrete Linien.

**M4 – Ablenkwinkel und Minimalablenkung:** Für Einfallswinkel  $\theta_i$ , Prismenwinkel  $A$  und Index  $n$ :

$$\delta = \theta_i + \arcsin\left(\frac{n \sin(A - \arcsin(\frac{\sin \theta_i}{n}))}{n}\right) - A$$

Der Ablenkwinkel hat ein **Minimum** bei symmetrischem Durchgang:

$$\delta_{\min} = 2 \arcsin\left(\frac{n \sin \frac{A}{2}}{n}\right) - A$$

Bei zu flachem Einfall tritt **Totalreflexion** an der zweiten Fläche auf.

| Symbol          | Bedeutung               | Einheit  |
|-----------------|-------------------------|----------|
| $n(\lambda)$    | Brechungsindex          | —        |
| $A$             | Prismenwinkel (Apex)    | $^\circ$ |
| $\theta_i$      | Einfallswinkel          | $^\circ$ |
| $\delta$        | Ablenkwinkel            | $^\circ$ |
| $\delta_{\min}$ | Minimalablenkung        | $^\circ$ |
| $B_i, C_i$      | Sellmeier-Koeffizienten | —        |

## 4. Parameter

Drei Szenarien:

| Szenario           | Setup                                                                  |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------|
| A Dispersion       | 60°-Prisma, Einfall 50°, BK7 + SF11, Rot (656 nm) vs. Violett (405 nm) |
| B Quellspektren    | 60°-Prisma, Einfall 50°, BK7, Glühlampe / Leuchtstoff / Natrium        |
| C Minimalablenkung | 60°-Prisma, BK7 bei 589 nm, Einfall 30°-80°                            |

Toleranz vorab:  $\epsilon = 0{,}1^\circ$  Winkelauflösung.

Begründung: 0,1° ist gut sichtbar (entspricht  $\sim 2$  mm Versatz auf 1 m Projektionsabstand).

## 5. Vorhersage

| Szenario | Erwartung                                                                                                |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A        | Violett stärker gebrochen als Rot, Winkeldifferenz $> \epsilon$ ; Flintglas stärker als Kronglas         |
| B        | Glühlampe $\rightarrow$ breites Band, Leuchtstoff $\rightarrow$ Linien, Natrium $\rightarrow$ eine Linie |

## 6. Falsifikationskriterium

M1 ("Brechung ist farbusabhängig") ist widerlegt, wenn **eines** zutrifft: - Die Winkeldifferenz zwischen Rot und Violett übersteigt  $\epsilon$  (Dispersion). - Verschiedene Quellen erzeugen sichtbar verschiedene räumliche Muster (Abdeckungsunterschied  $> 0,3$ ). - Der Ablenkwinkel variiert mit dem Einfallswinkel und hat ein Minimum (statt konstant zu sein).

## 7. Konkurrenzmodelle

- **K1 — farbusabhängige Brechung (M1):** geprüftes engeres Modell.
- **K2 — Dispersion / Sellmeier (M2):** wellenlängenabhängiger Index.
- **K3 — Beugungsgitter:** zerlegt Licht ebenfalls spektral, aber durch Interferenz (Modul 01), nicht Brechung — komplementäres Prinzip, höhere Auflösung.
- **K4 — Gitterspektrometer / Spektroskop:** instrumentelle Anwendung.
- **K5 — Regenbogen in der Natur:** Dispersion + Totalreflexion in Wassertropfen — eigenes Sub-Thema.
- **K6 — achromatisches Dublett:** Kron- + Flintglas kombiniert, um Dispersion aufzuheben (Modul 05, umgekehrte Anwendung).
- **K7 — Prismenspektrometer mit Kalibrierung:** quantitative Wellenlängenmessung über bekannte Linien.

## 8. Versagensbereich

- **Sehr kleine Prismen / schmale Strahlen:** Beugung wird relevant (Modul 03), Auflösung begrenzt.
- **Sehr stark dispersives Glas bei flachem Einfall:** Totalreflexion verhindert den Durchgang (im Modell für SF11 bei  $50^\circ$  beobachtet, daher steilerer Einfall gewählt).
- **Absorbierende Gläser:** manche Wellenlängen werden im Glas geschluckt — verfälscht das Spektrum.
- **Doppelbrechung:** in anisotropen Kristallen (Kalkspat) zwei Strahlen — eigenes Thema.
- **Nichtlineare Optik:** bei extrem hoher Intensität (Laser) Frequenzverdopplung etc. — irrelevant hier.
- **Polarisation:** der Brewster-Winkel-Effekt an den Flächen wird ignoriert.

## 9. Simulation

Numerische Auswertung in `prismen_simulation.py`:

1. Sellmeier-Gleichung für BK7 und SF11,  $n(\lambda)$  über 380–780 nm.
2. Ablenkwinkel-Funktion mit beidseitiger Snellius-Brechung und Totalreflexions-Test.
3. Szene A: Ablenkung für Rot (656 nm) und Violett (405 nm), Aufspaltung berechnet.
4. Szene B: Quellspektren (Planck, Leuchtstoff, Natrium) durch Prisma; Peak-Detektion zur Klassifikation (Kontinuum vs. Linien) plus Abdeckungsanteil.

5. Szene C: Ablenkwinkel über Einfallswinkel 30°–80°; numerisches Minimum vs. analytische Minimalablenkungsformel; Totalreflexionsgrenze.

Ergebnisse in `prismen_results.json`. Plot als `prismen_szenen.svg` (vier Teilbilder: Dispersionskurve, Ablenkung pro Farbe, Minimalablenkung, Spektrum-Band).

## 10. Ergebnis

### 10.1 A Dispersion

| Größe                      | BK7 Kronglas     | SF11 Flintglas |
|----------------------------|------------------|----------------|
| $n$ bei 656 nm (Rot)       | 1.51433          | —              |
| $n$ bei 405 nm (Violett)   | 1.53020          | —              |
| $\Delta n$ (Violett – Rot) | 0.01587          | 0.06615        |
| Winkelaufspaltung          | 1.39°            | 14.82°         |
| Bewertung M1               | <b>widerlegt</b> | (stärker)      |

### 10.2 B Quellspektren (durch BK7-Prisma)

| Quelle           | Peaks | Abdeckung | erscheint als                       |
|------------------|-------|-----------|-------------------------------------|
| Glühlampe 2700 K | 0     | 92.6%     | breites kontinuierliches Band       |
| Leuchtstoff      | 4     | 90.1%     | <b>mehrere diskrete Linien</b> (Hg) |
| Natriumdampf     | 1     | 3.7%      | <b>einzelne schmale Linie</b>       |
| Bewertung M1     |       |           | <b>widerlegt</b>                    |

### 10.3 C Minimalablenkung (BK7, 589 nm)

| Größe                       | Wert              |
|-----------------------------|-------------------|
| Minimalablenkung numerisch  | 38.643°           |
| Minimalablenkung analytisch | 38.641°           |
| Einfallswinkel am Minimum   | 49° (symmetrisch) |
| Totalreflexion unterhalb    | 30°               |
| Bewertung M1                | <b>widerlegt</b>  |

Plot: `prismen_szenen.svg`.

## 11. Bewertung

**M1 (“Brechung ist farbunabhängig”) ist in allen drei Szenarien widerlegt.** Das Modul schließt damit den Optik-Farbcluster, indem es die Dispersion von der Störung (Modul 05) zum Werkzeug (Spektroskopie) umdeutet.

**Szene A** quantifiziert die Dispersion. Der Brechungsindex von BK7 ist bei Violett um 0,016 höher als bei Rot — eine scheinbar kleine Differenz, die aber eine Winkelaufspaltung von 1,39° erzeugt (gut sichtbar). Beim stark dispersiven Flintglas SF11 ist die Differenz mit 0,066 viermal größer, die Aufspaltung erreicht 14,8°. Das erklärt, warum hochwertige Spektroskop-Prismen aus Flintglas bestehen:

mehr Dispersion = bessere spektrale Trennung. Es erklärt zugleich, warum Modul 05 (Linsen) die chromatische Aberration als Problem hatte — derselbe Effekt, andere Bewertung je nach Ziel.

**Szene B** ist die direkte räumliche Bestätigung von Modul 07. Das Prisma macht das Spektrum sichtbar: die Glühlampe zeigt ein durchgehendes Regenbogenband (92,6% des sichtbaren Bereichs mit Energie, keine scharfen Peaks), der Leuchtstoff zeigt vier scharfe Quecksilber-Linien als Peaks über einem schwachen Phosphor-Untergrund, Natrium zeigt eine einzige Linie bei 589 nm (nur 3,7% Abdeckung). Das ist exakt das Funktionsprinzip jedes Spektroskops und der historische Weg, auf dem die Spektrallinien überhaupt entdeckt wurden. Fraunhofer fand 1814 dunkle Linien im Sonnenspektrum (Absorptionslinien); Kirchhoff und Bunsen erkannten 1859, dass jedes Element charakteristische Linien hat — die Geburt der Spektralanalyse und damit der Astrophysik (Sternspektren verraten die chemische Zusammensetzung).

**Szene C** widerlegt die Vorstellung einer festen Ablenkung auf einer dritten Ebene: selbst für eine einzige Wellenlänge ist der Ablenkungswinkel nicht konstant, sondern hängt vom Einfallswinkel ab und hat ein **Minimum** bei symmetrischem Durchgang (Strahl geht symmetrisch durchs Prisma). Die numerische Minimalablenkung ( $38,643^\circ$ ) stimmt mit der analytischen Formel ( $38,641^\circ$ ) auf zwei Tausendstel Grad überein — eine schöne Validierung. Die Minimalablenkungsmethode ist historisch die genaueste Art, den Brechungsindex eines Prismas zu messen. Bei zu flachem Einfall (unter  $30^\circ$ ) tritt Totalreflexion an der Austrittsfläche auf, das Licht kommt gar nicht durch.

**Verbindung zu vorhergehenden Modulen: - Modul 05 Linsen (chromatische Aberration):** dieselbe Dispersion  $n(\lambda)$ , dort als Bildfehler, hier als spektrales Werkzeug. Das achromatische Dublett (Kron + Flint) ist die Brücke — es kombiniert beide Gläser, um die Dispersion aufzuheben. - **Modul 07 Lichtquellen:** die Quellspektren, die Modul 07 numerisch behandelte, werden hier räumlich sichtbar gemacht. - **Modul 09 Farbmischung:** das Prisma erzeugt reine Spektralfarben; Modul 09 zeigte, dass Mischfarben (z.B. Monitor-Gelb) gerade keine Spektralfarben sind. Prisma und Monitor sind komplementär. - **Modul 01 Doppelspalt / Beugungsgitter:** das Gitter zerlegt Licht durch Interferenz statt Brechung — komplementäres Spektroskopie-Prinzip.

## 12. Nächster Test

**Modul 10 Spiegel** als möglicher nächster Schritt: Reflexion statt Brechung, Abbildungsgesetze, sphärische Aberration bei Hohlspiegeln. Oder **Regenbogen in der Natur** als Vertiefung von Modul 06: Dispersion plus Totalreflexion in Wassertropfen, Haupt- und Nebenregenbogen, Alexanders dunkles Band.

**Mögliche Erweiterung Modul 06 v0.2:** Beugungsgitter im direkten Vergleich zum Prisma (Auflösung, Ordnung, Überlappung), Prismenspektrometer mit Wellenlängen-Kalibrierung, Fraunhofer-Linien im Sonnenspektrum.

---

## Anhang A — Querverweise

- Praxis-Erklärung: PRAXIS-Prismen.md (folgt)
- Begleitpapier: BEGLEITPAPIER-Prismen.md (folgt)
- Werkzeug: REGENBOGEN.html (folgt)
- Code: prismen\_simulation.py

- Plot: `prismen_szenen.svg`
- Ergebnisdaten: `prismen_results.json`
- Vorgänger-Module: Modul 05 Linsen (chromatische Aberration), Modul 07 Lichtquellen (Quellspektren)
- Verwandte Module: Modul 09 Farbmischung (Spektralfarben), Modul 01 Doppelspalt (Beugungsgitter)

## Anhang B — Externer Bestandscheck

- **Hecht (2017)** *Optics*, 5. Aufl. — Standardwerk, Dispersion und Prismen.
- **Born & Wolf (1999)** *Principles of Optics* — Sellmeier, Dispersionstheorie.
- **Newton (1704)** *Opticks* — historische Prismen-Experimente.
- **Fraunhofer (1817)** — Entdeckung der Spektrallinien.
- **Kirchhoff & Bunsen (1860)** *Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen* — Spektralanalyse.
- **PhET “Bending Light”** — didaktische Brechungs-Simulation.

Was die Werkstatt-Notiz davon unterscheidet: drei kontrastierende Szenarien im Falsifikationsformat; die explizite Umdeutung der Dispersion von Störung (Modul 05) zu Werkzeug; echte Sellmeier-Numerik mit zwei Glassorten; die Brücke zur historischen Spektroskopie; Verbindungen zu Modul 05, 07, 09, 01.

## Anhang C — Quellen

- Hecht, E. (2017). *Optics*, 5. Aufl. Pearson.
- Born, M.; Wolf, E. (1999). *Principles of Optics*, 7. Aufl. Cambridge University Press.
- Newton, I. (1704). *Opticks*. London.
- Fraunhofer, J. (1817). Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungsvermögens verschiedener Glasarten. *Denkschr. Bayer. Akad. Wiss.*
- Kirchhoff, G.; Bunsen, R. (1860). Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen. *Ann. Phys.* 186:161.
- SCHOTT (2023). *Optical Glass Data Sheets* (BK7, SF11 Sellmeier-Koeffizienten).