

# Pilotprojekt der Lehrmittelkommission „Neue optische Experimente für die Physikausbildung im Zeitalter der Photonic“

11. Workshop der Pädagogischen Hochschule Salzburg  
Lehrmittelkommission  
Salzburg am 23. Juni 2022

Dr. Peter Schaller  
Sprecher der Lehrmittelkommission

ehemals

Philipps



Universität  
Marburg



# 1. Basisexperimente

Leichten Zugang zum Phänomen schaffen  
Basics für Wissensnetz bilden

Fundament mit monochromatischen Lasern grün – rot

Wiedererkennen der physikalischen Phänomene  
in der Natur

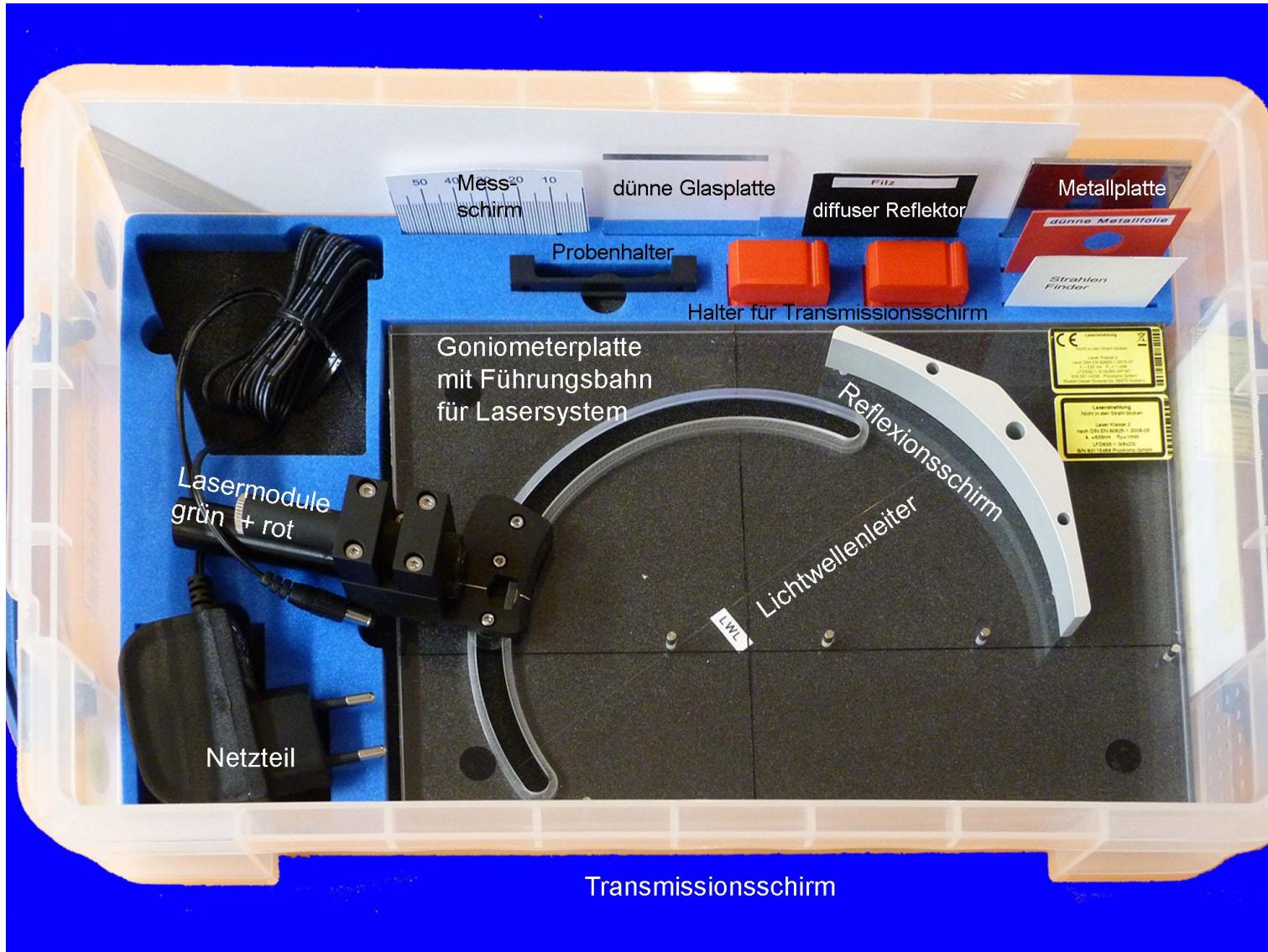
## Physikalische Größen

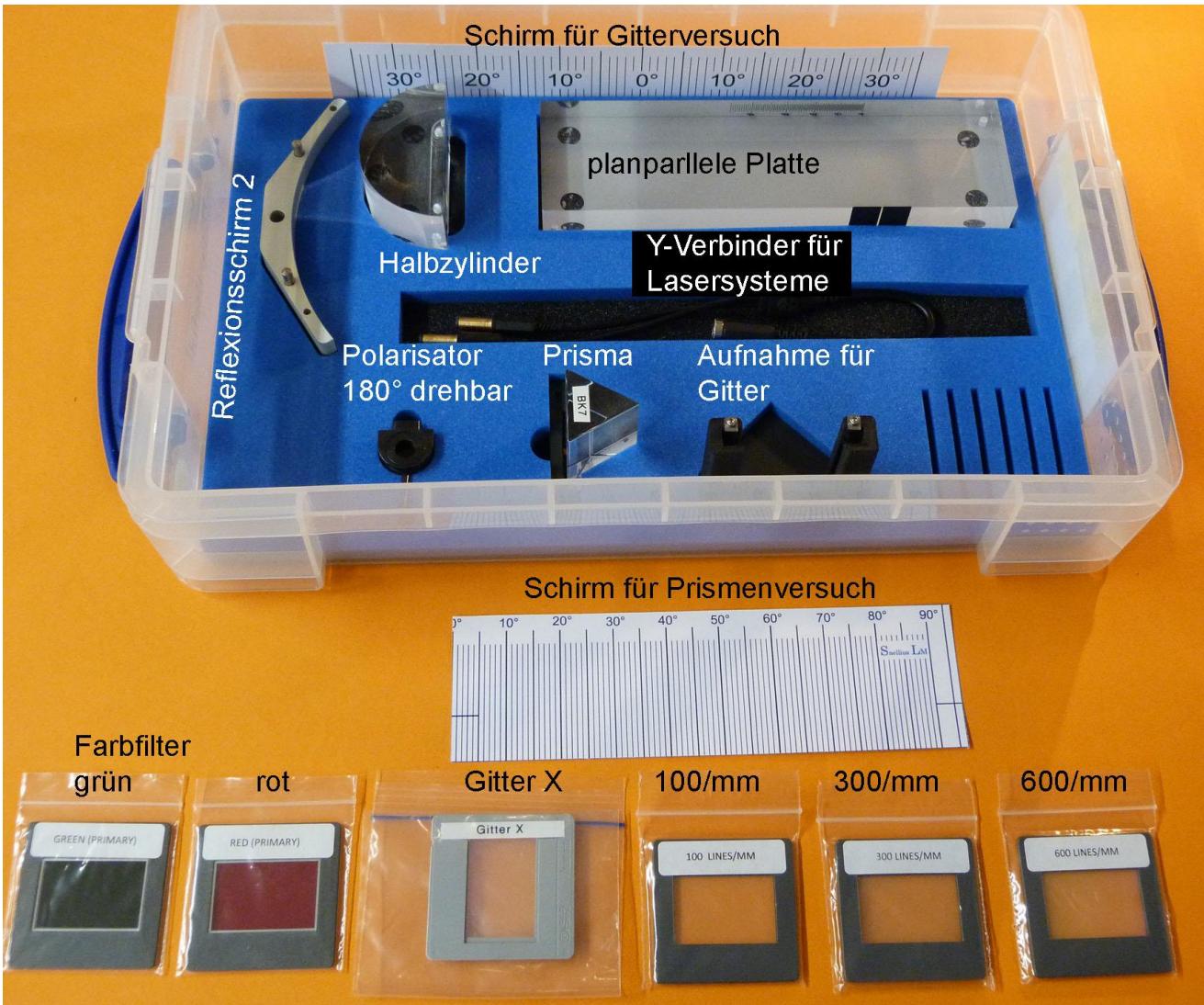
müssen dort abgelesen werden, wo sie entstehen

## Experimentierumgebung **Versuchsaufbau**

- zeitgemäßes Design
- einfache Handhabung
- schneller Versuchsbeginn
- Freiheitsgrade: Variation der physikalischen Parameter
- sicheres und erfolgreiches Experimentieren

# LASER-OPTIK-KIT Snellius-Basic





# Georg Christoph Lichtenberg

1742 - 1799



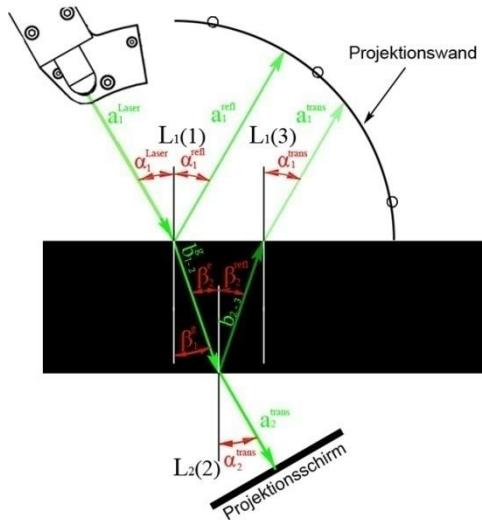
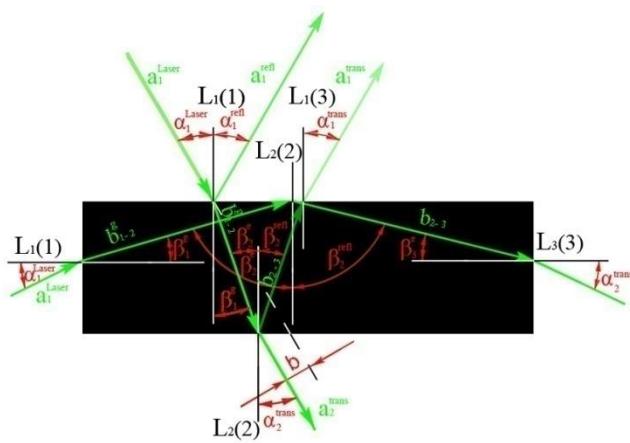
„In unseren physikalischen Büchern trennen wir mit Recht, was in der Natur ungetrennt vorkommt Reflexion, Refraktion und Inflektion“

**„Alles auf Einmahl thun zu wollen, zerstört alles auf Einmahl“**

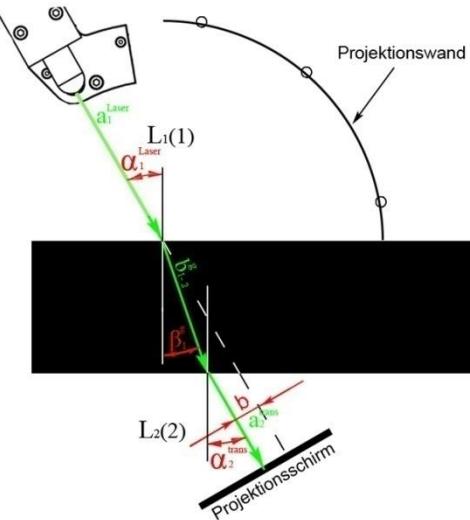
## Konzept:

Zusammenwirken der Phänomene an einem Körper beobachten nacheinander quantitativ untersuchen:  
**Didaktische Reduktion**

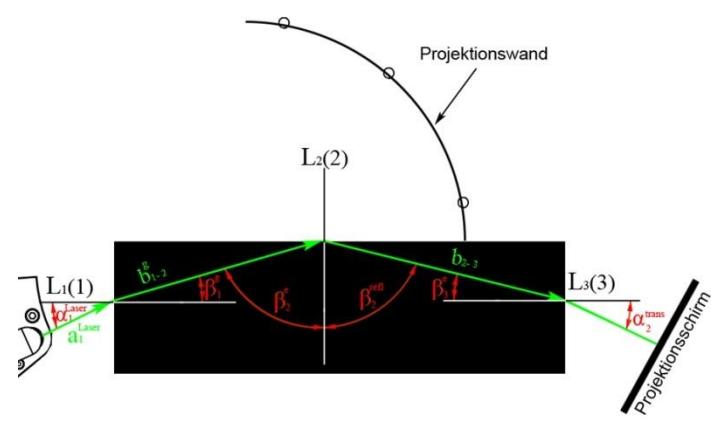
# Lernerperspektive – didaktische Reduktion



Reflexion  
Brechung



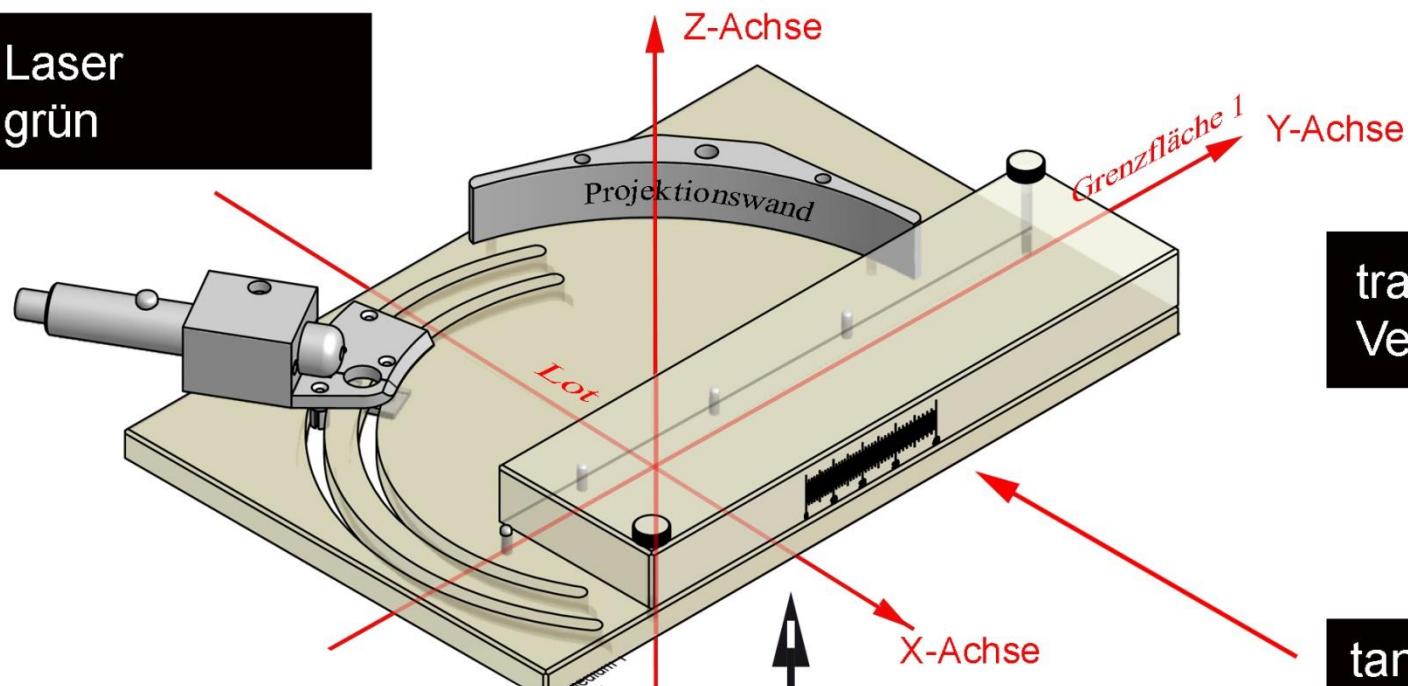
Parallelverschiebung



Totalreflexion

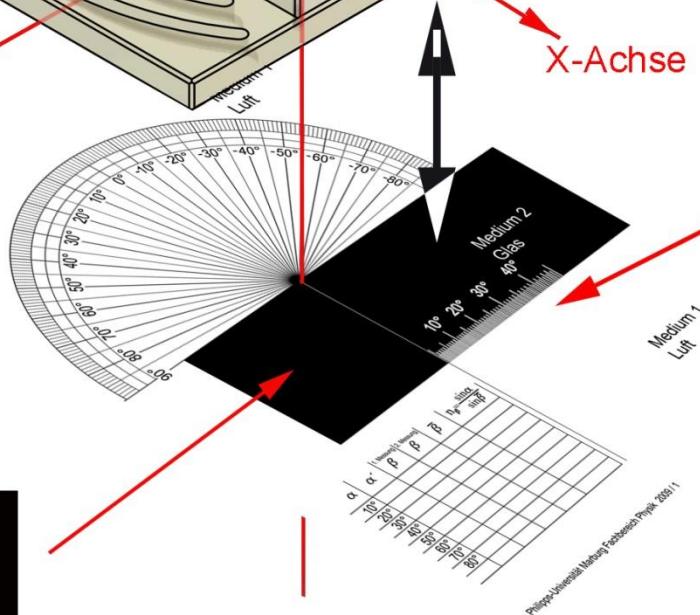
# Einheit von Versuchsaufbau und Protokollvorlagen

Laser  
grün



transparenter  
Versuchsaufbau

Gesetz von Snellius  
1.1 Strahlengänge  
Luft - Plexiglas

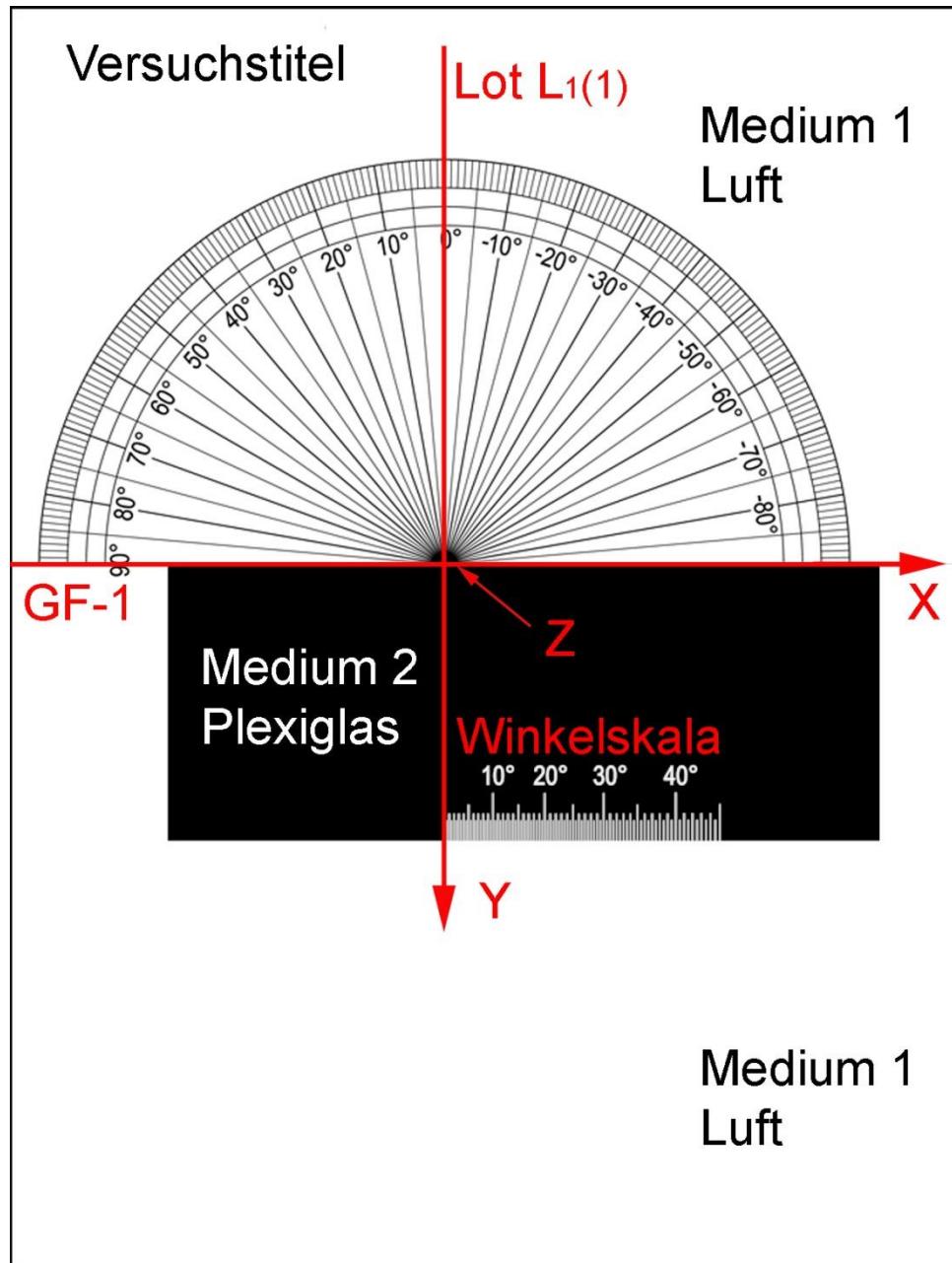


tangensskalierte  
Skala

Hintergrund  
schwarz

Versuchs- und  
Protokollvorlage  
Strahlengänge

# Versuchs- und Protokollvorlagen - Special-Tablett



Es gibt 13 verschiedene Special-Tabletts für die Versuchskomplexe Sie erfüllen eine 3-fache Funktion

- Vorlage für Versuch  
Didaktische Reduktion
- Versuchsdurchführung
- Nachbereitungsphase

Pilotprojekt der Lehrmittelkommission  
„Neue optische Experimente für die Physikausbildung im  
Zeitalter der Photonic“

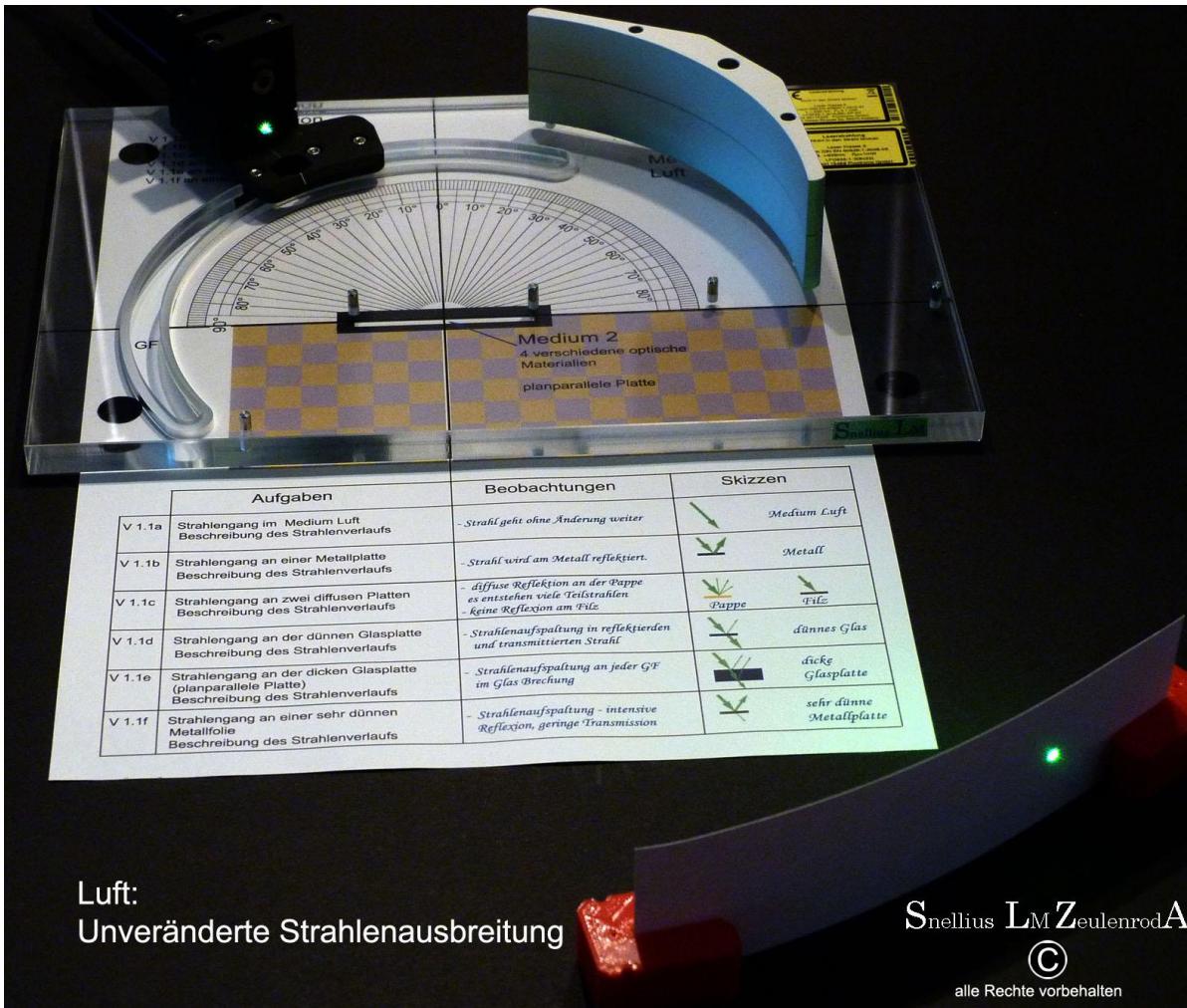
## **Versuche:**

1. Strahlen treffen optische Stoffe
2. Strahlengänge in planparallelen Körpern  
Brechungsgesetz – Totalreflexion
3. Versuche mit Prismen und Halbzylindern  
Brechzahlbestimmung mit verschiedenen Methoden
4. Beugung am Gitter Licht – Wellenlängenbestimmung
5. Gesetz von Malus – Optische Aktivität

# Basics- Fachliche Klärung des Lerninhaltes

## Strahlen treffen auf verschiedene optische Materialien

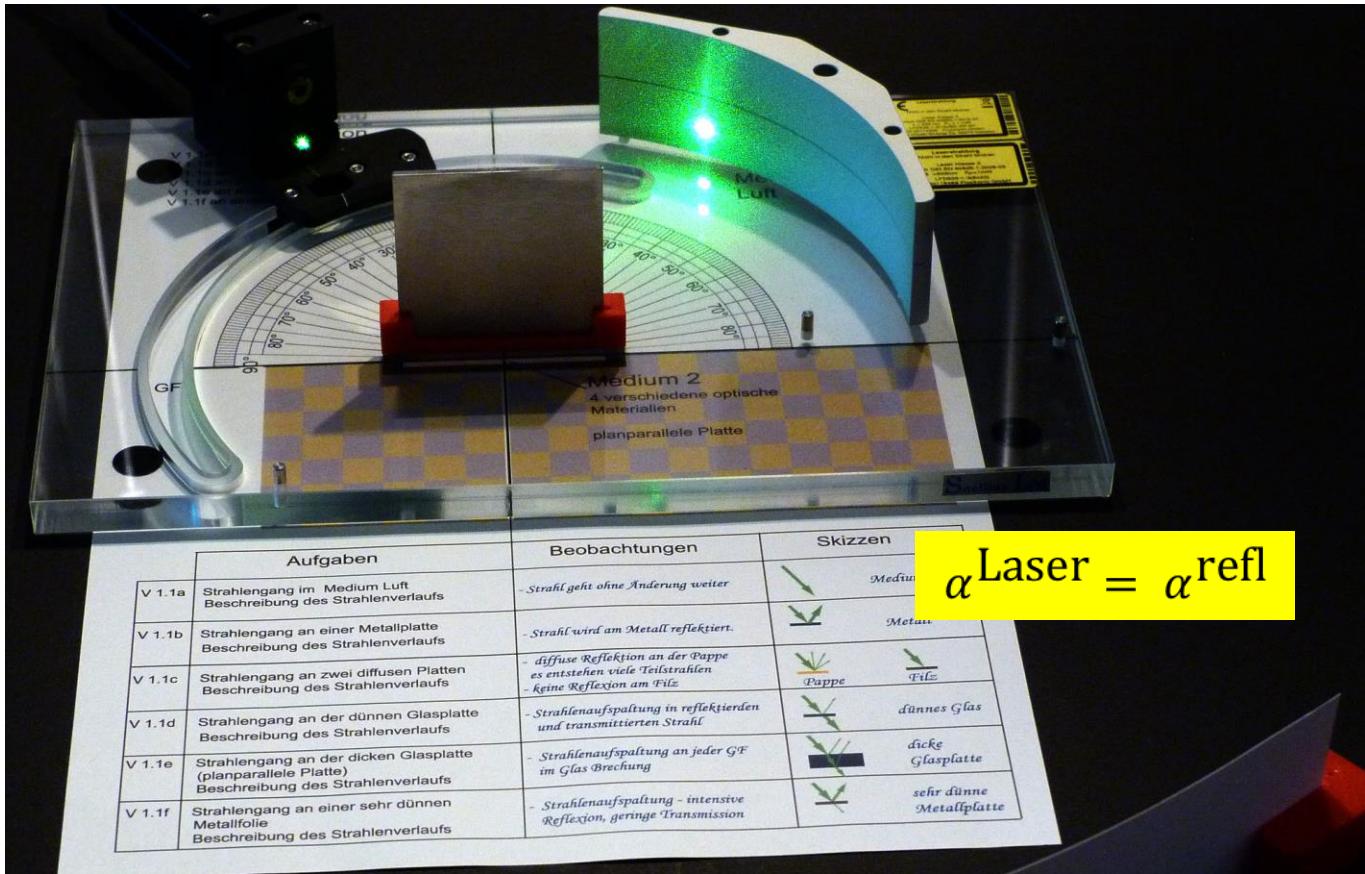
### Klärung der verschiedenen Phänomene



# Basics- Fachliche Klärung des Lerninhaltes

Strahlen treffen auf verschiedene optische Materialien

Klärung der verschiedenen Phänomene



Metall:

Strahl wird gemäß dem Reflexionsgesetz reflektiert

# P-Seminar im Carl-Orff Gymnasium Unterschleißheim

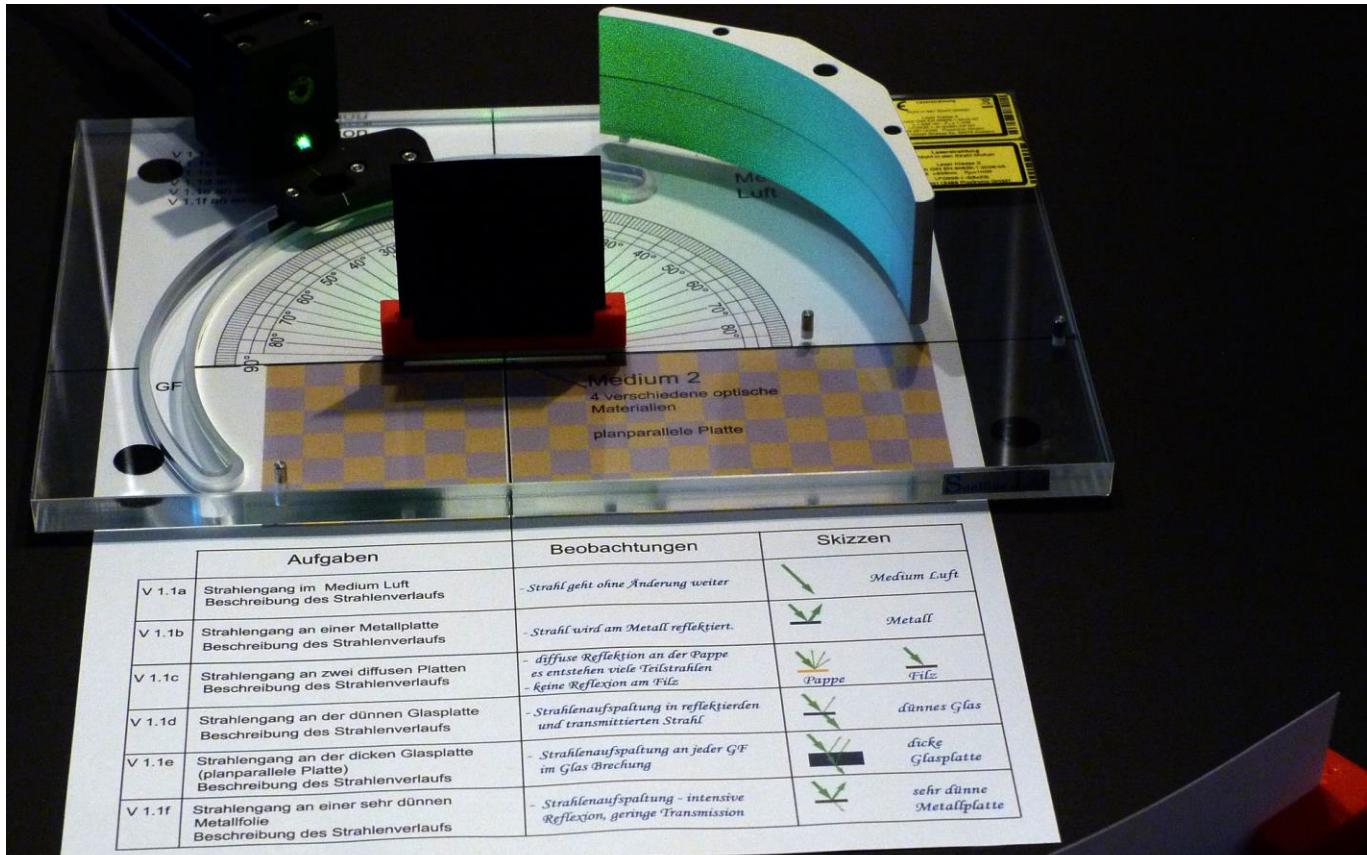


Der Reflexionsversuch Foto: Schaller- 2018-10-26

# Basics- Fachliche Klärung des Lerninhaltes

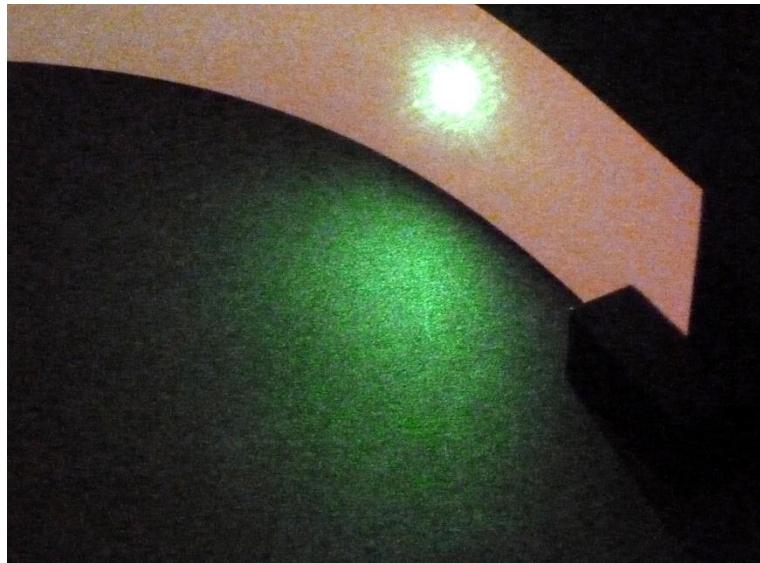
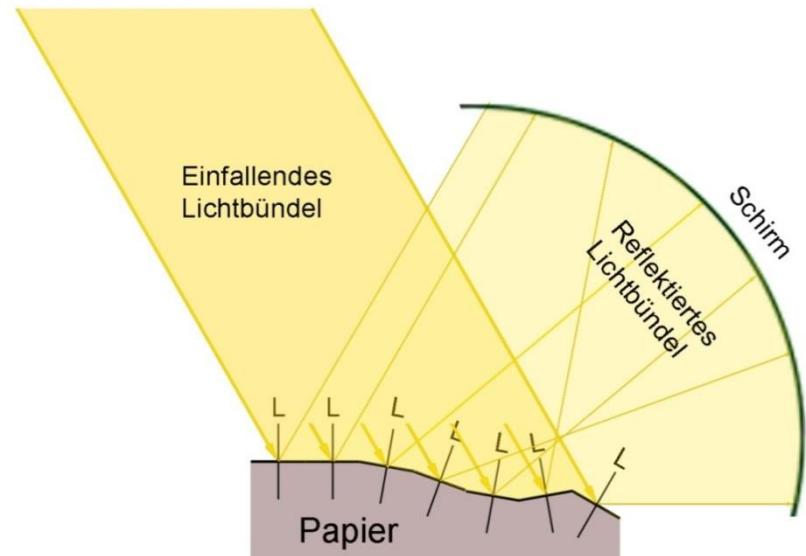
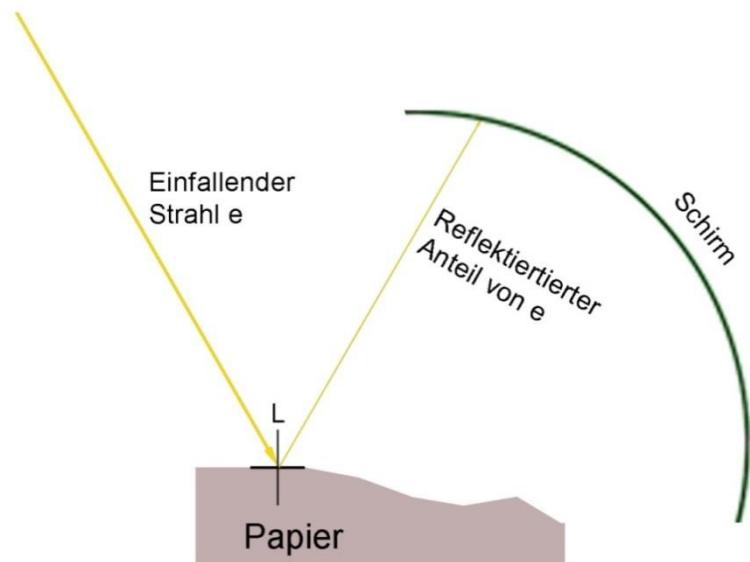
Strahlen treffen auf verschiedene optische Materialien

Klärung der verschiedenen Phänomene



diffuser Reflektor:  
jeder Strahl wird an seinem Lot reflektiert

# Strahlen treffen auf unebene Flächen



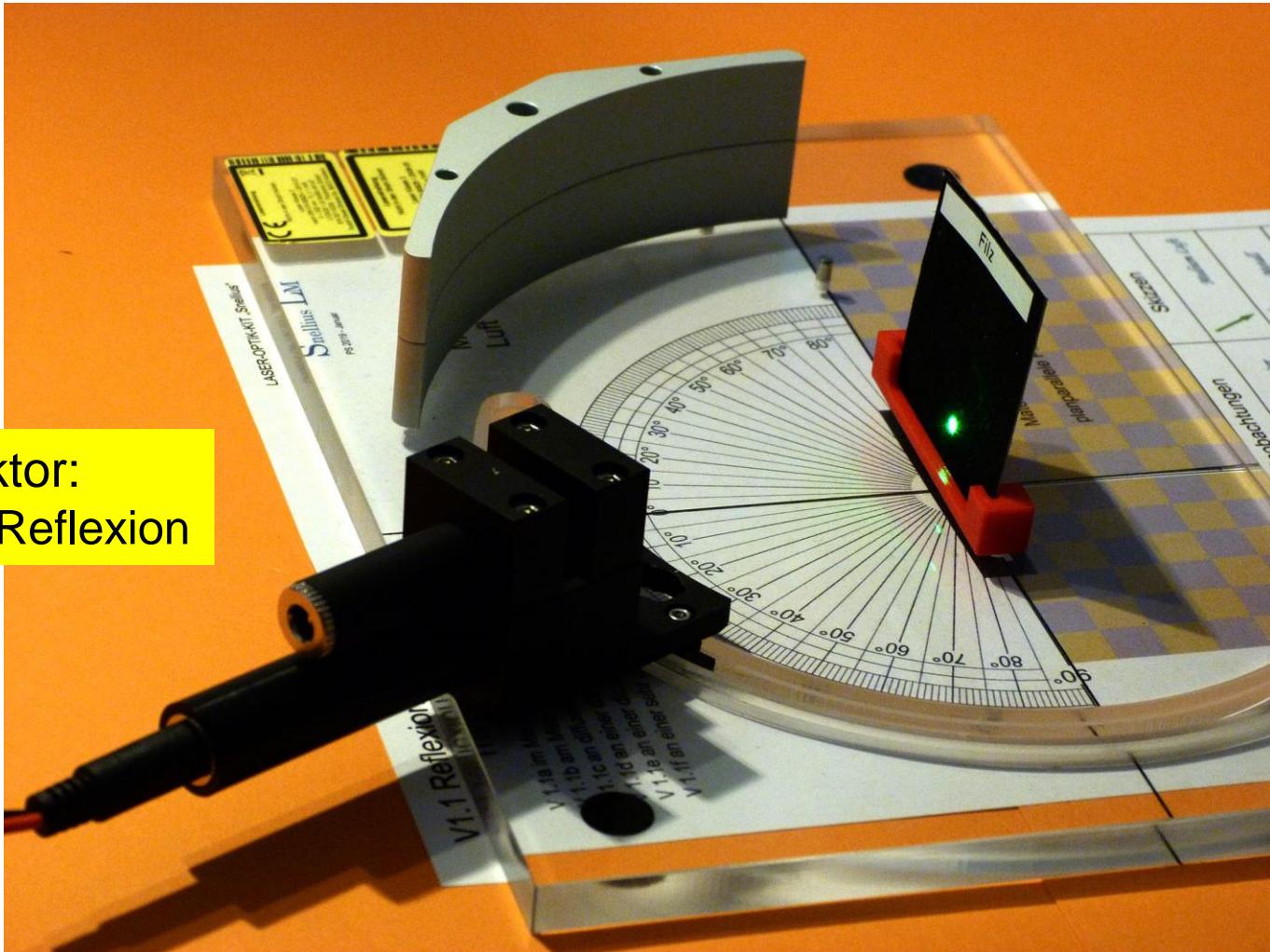
Diffuse Reflexion –  
Ausleuchtung von Zimmern

Lambert - Strahler

# Basics- Fachliche Klärung des Lerninhaltes

Strahlen treffen auf verschiedene optische Materialien

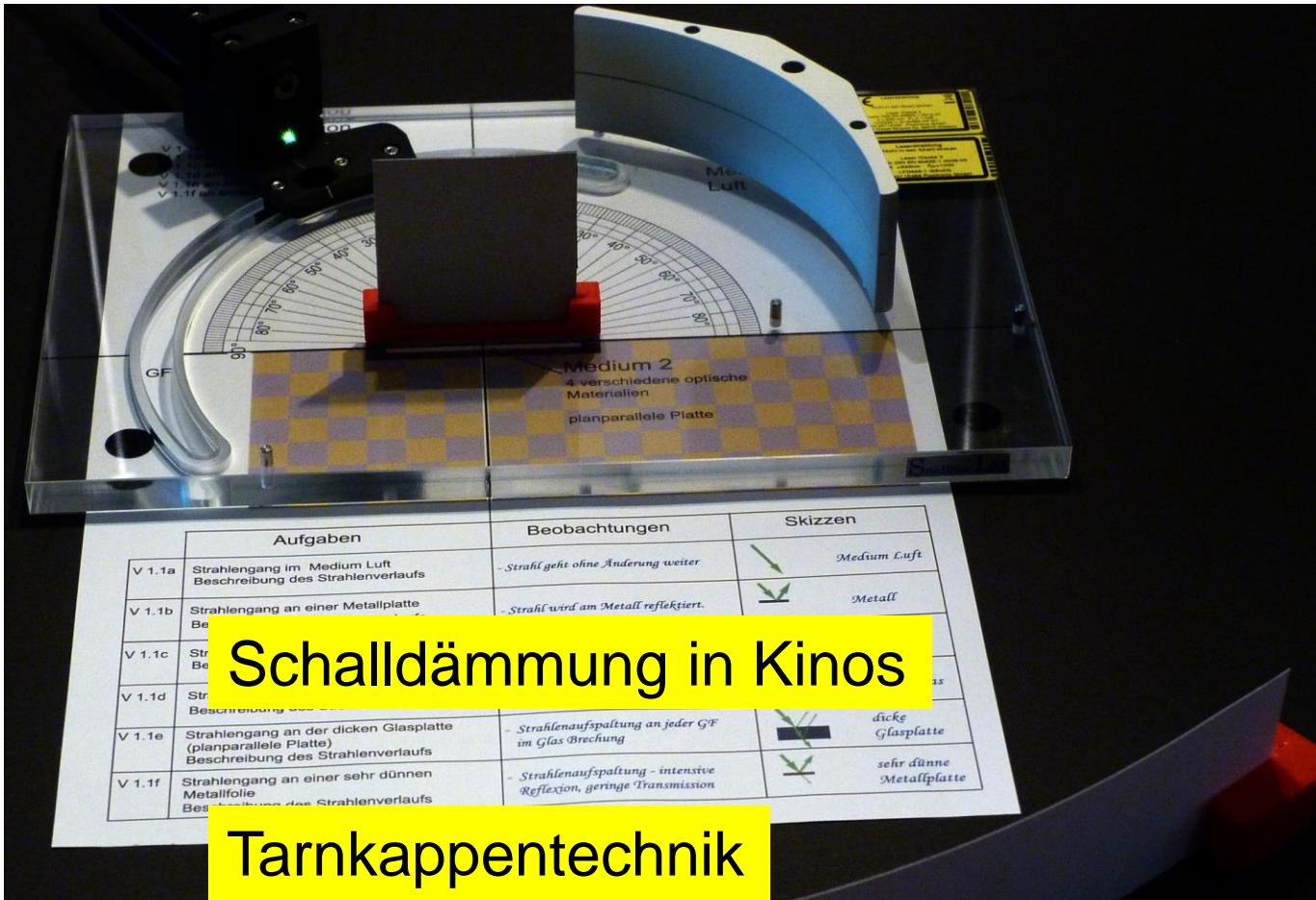
Klärung der verschiedenen Phänomene



# Basics- Fachliche Klärung des Lerninhaltes

Strahlen treffen auf verschiedene optische Materialien

Klärung der verschiedenen Phänomene

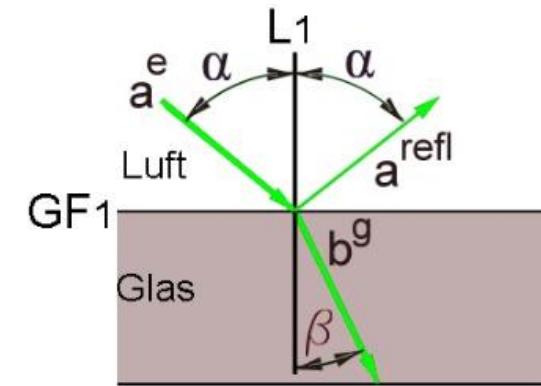
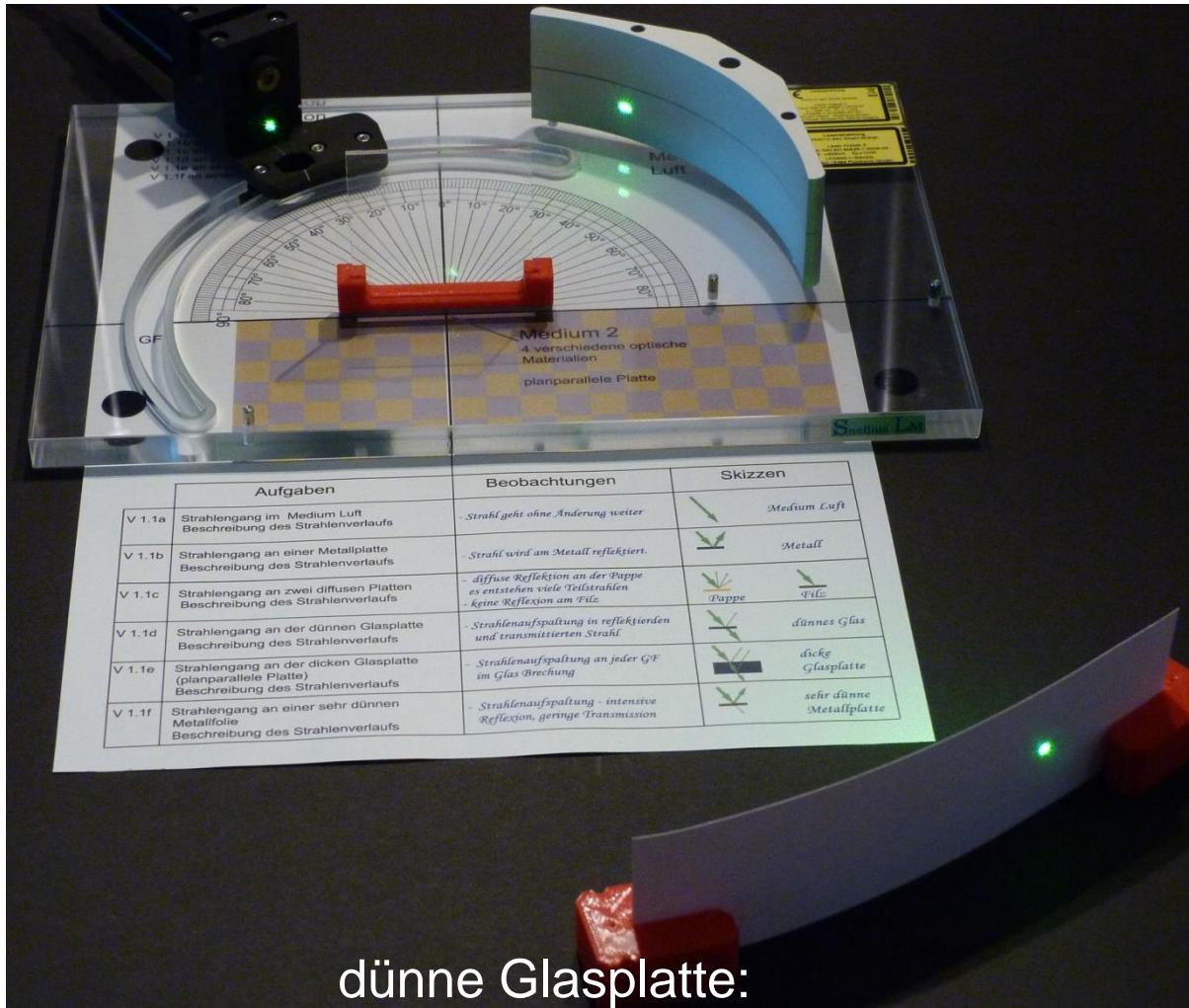


Filz als Reflektor:  
nahezu keine Reflexion

# Basics- Fachliche Klärung des Lerninhaltes

Strahlen treffen auf verschiedene optische Materialien

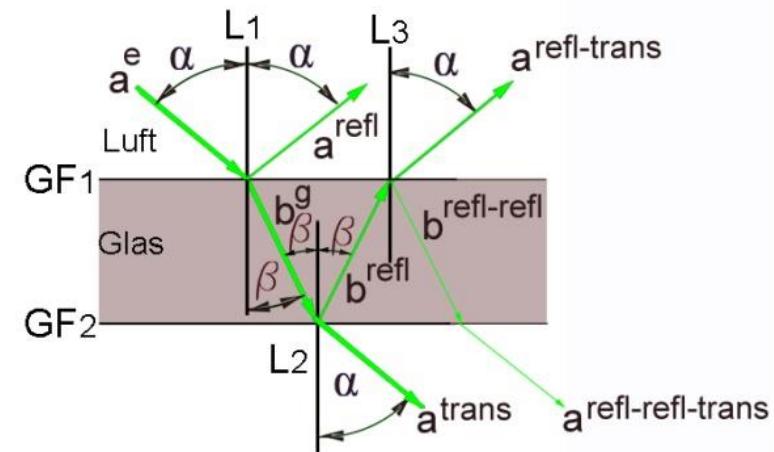
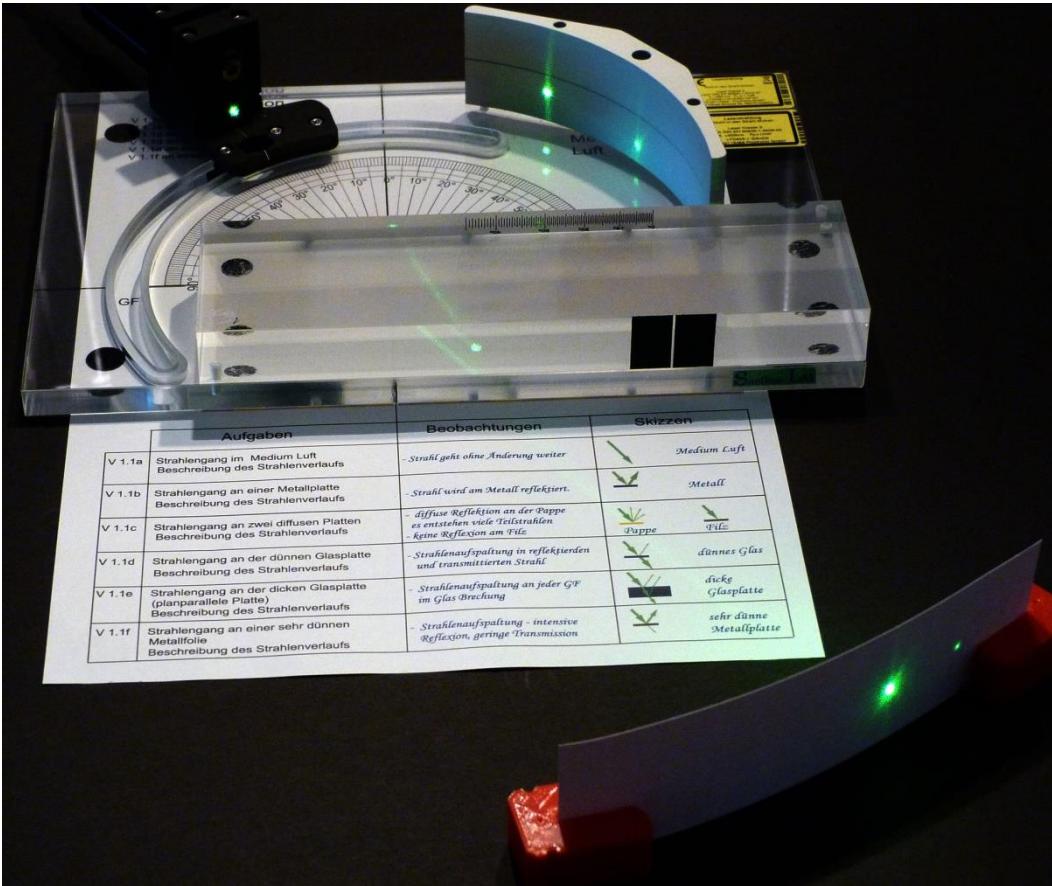
Klärung der verschiedenen Phänomene



# Basics- Fachliche Klärung des Lerninhaltes

Strahlen treffen auf verschiedene optische Materialien

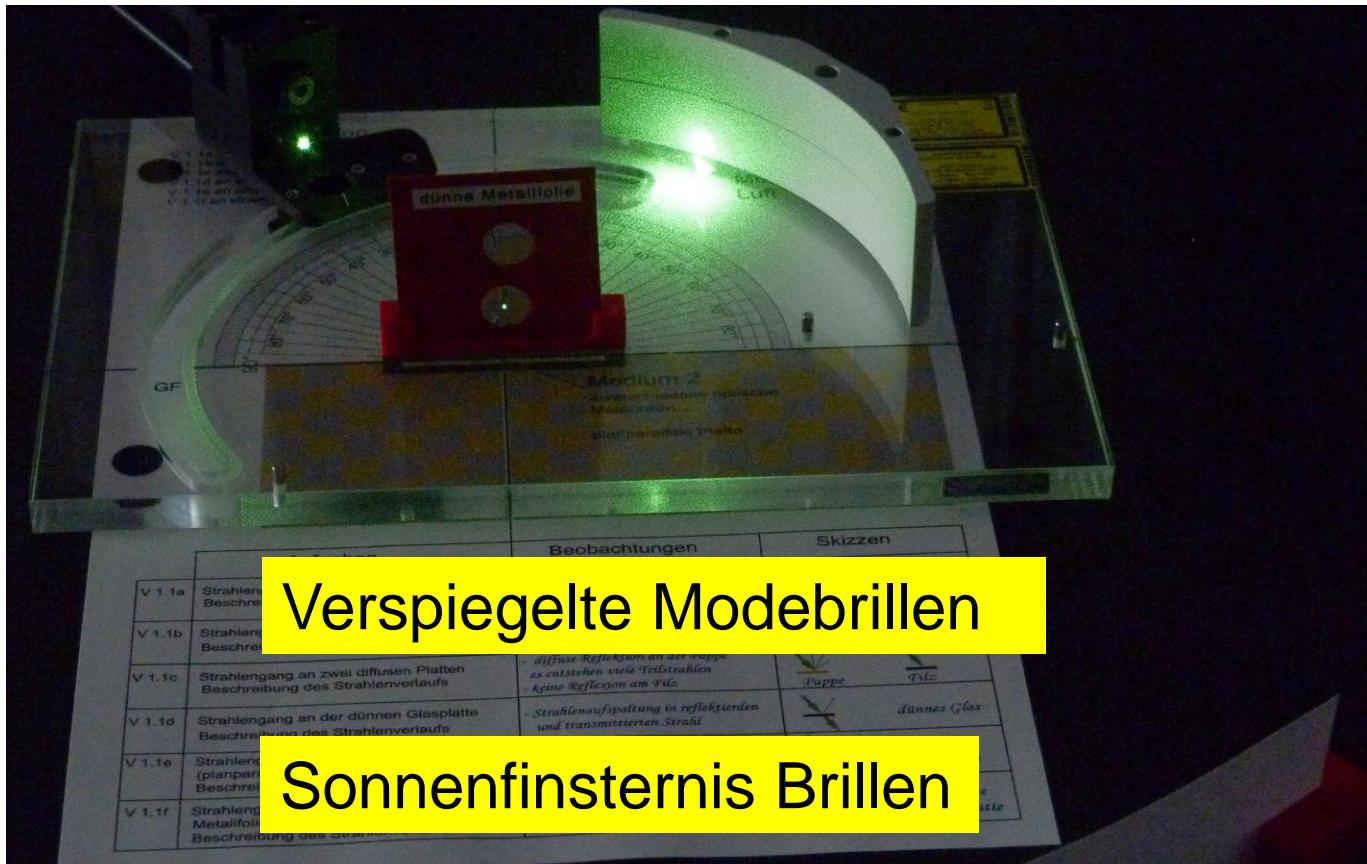
Klärung der verschiedenen Phänomene



# Basics- Fachliche Klärung des Lerninhaltes

Strahlen treffen auf verschiedene optische Materialien

Klärung der verschiedenen Phänomene



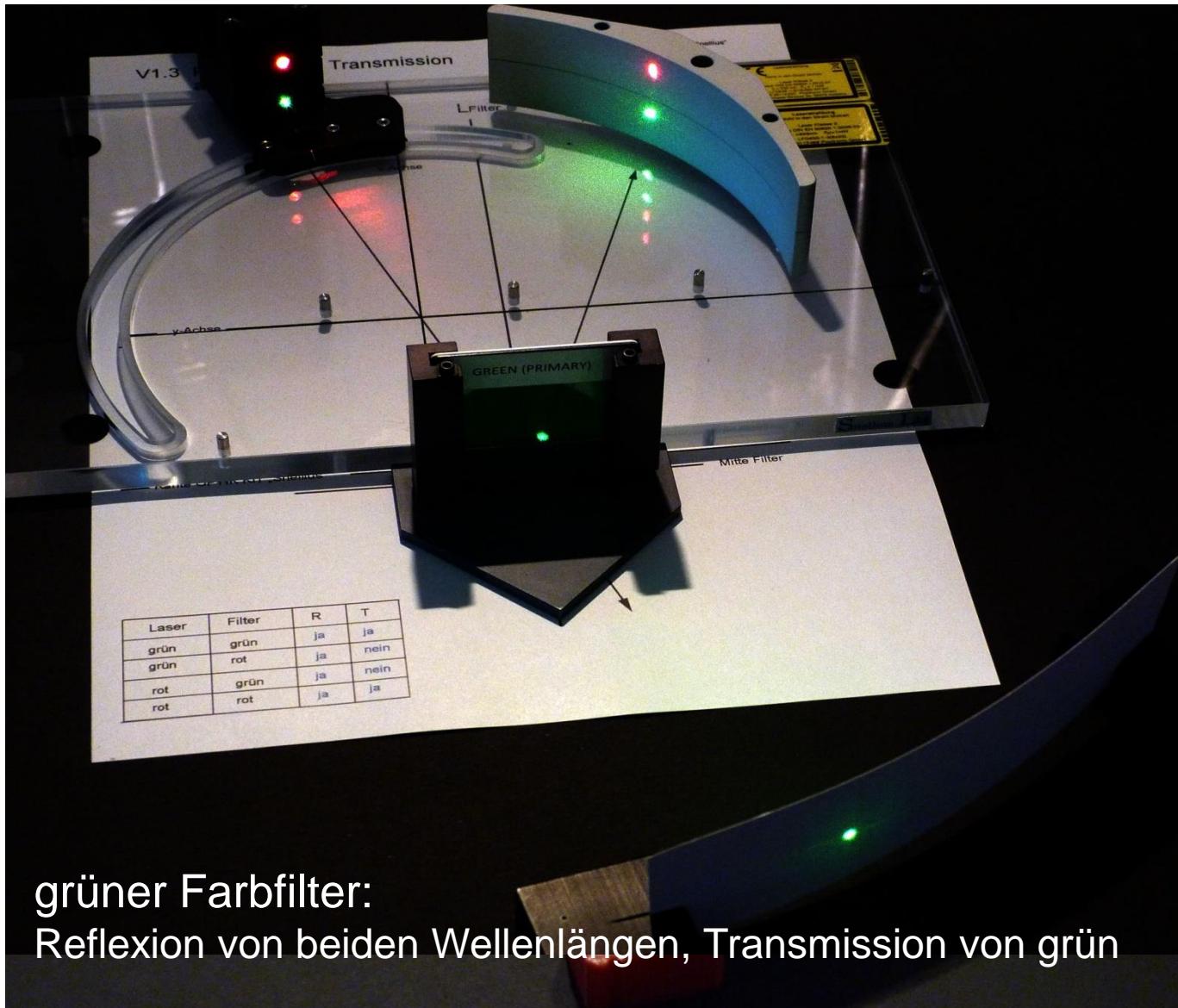
dünne Metallfolie:

Strahlenaufspaltung intensive Reflexion, geringe Transmission

# Basics- Fachliche Klärung des Lerninhaltes

Strahlen treffen auf verschiedene optische Materialien

Klärung der verschiedenen Phänomene



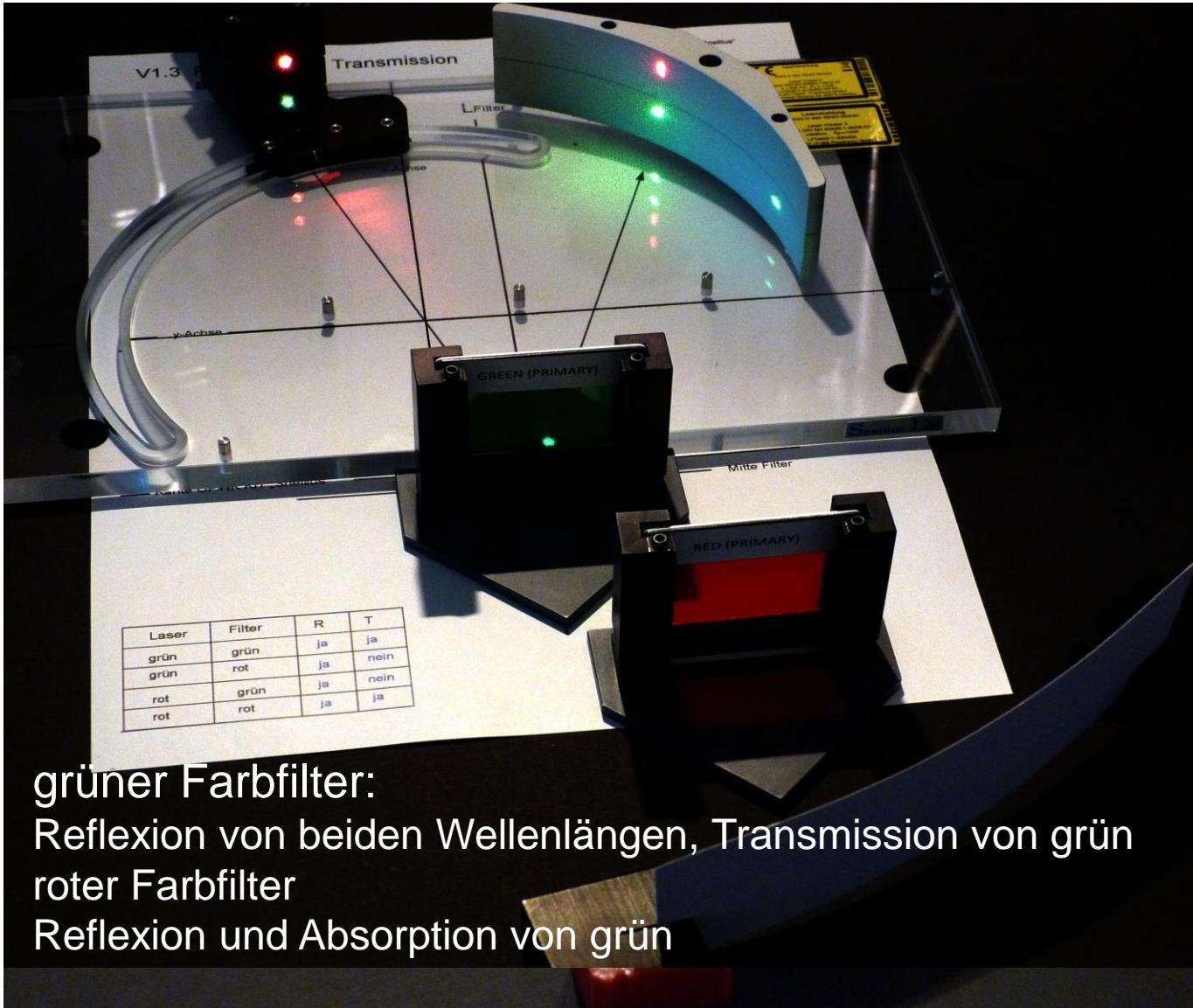
grüner Farbfilter:

Reflexion von beiden Wellenlängen, Transmission von grün

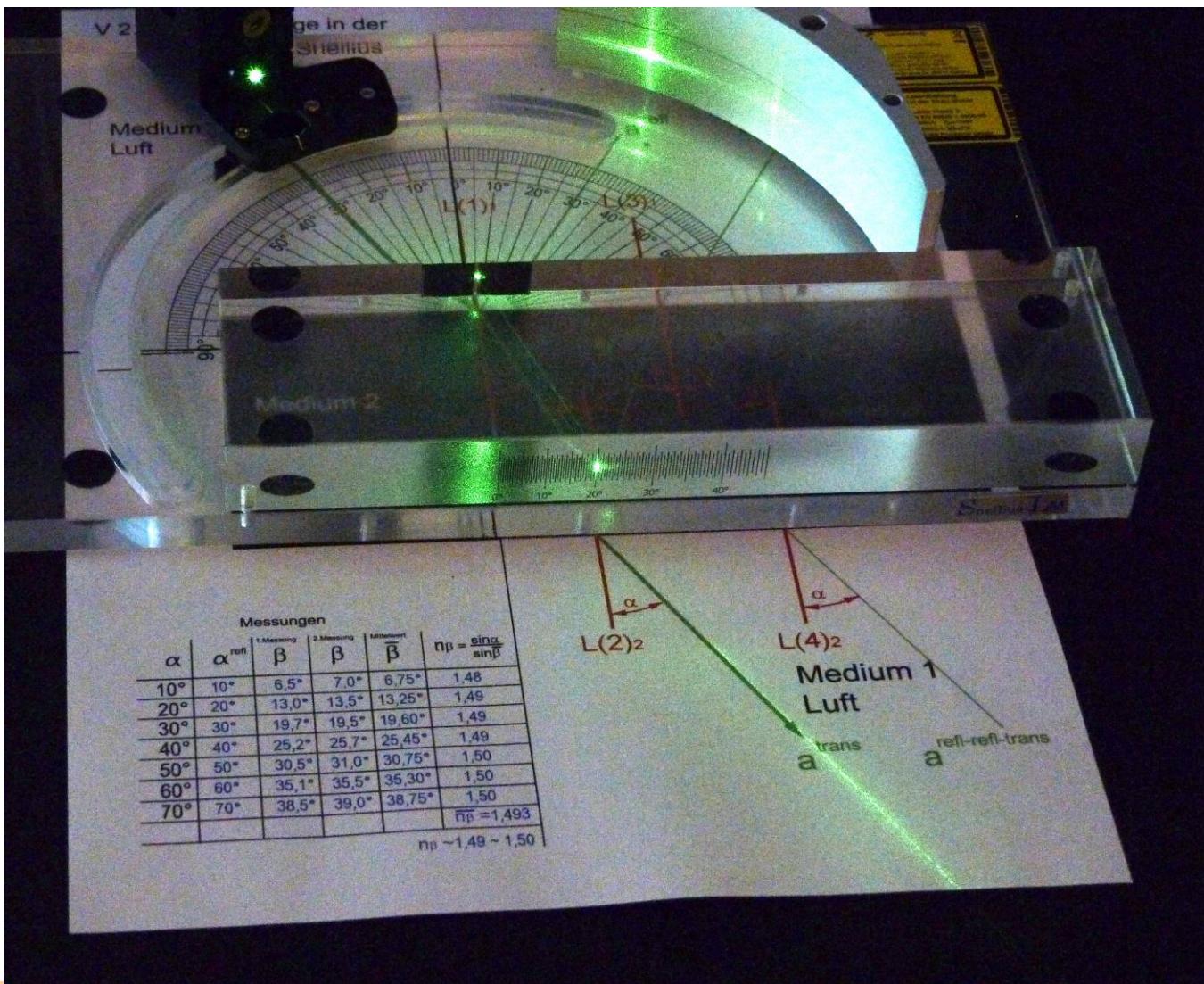
# Basics- Fachliche Klärung des Lerninhaltes

Strahlen treffen auf verschiedene optische Materialien

Klärung der verschiedenen Phänomene

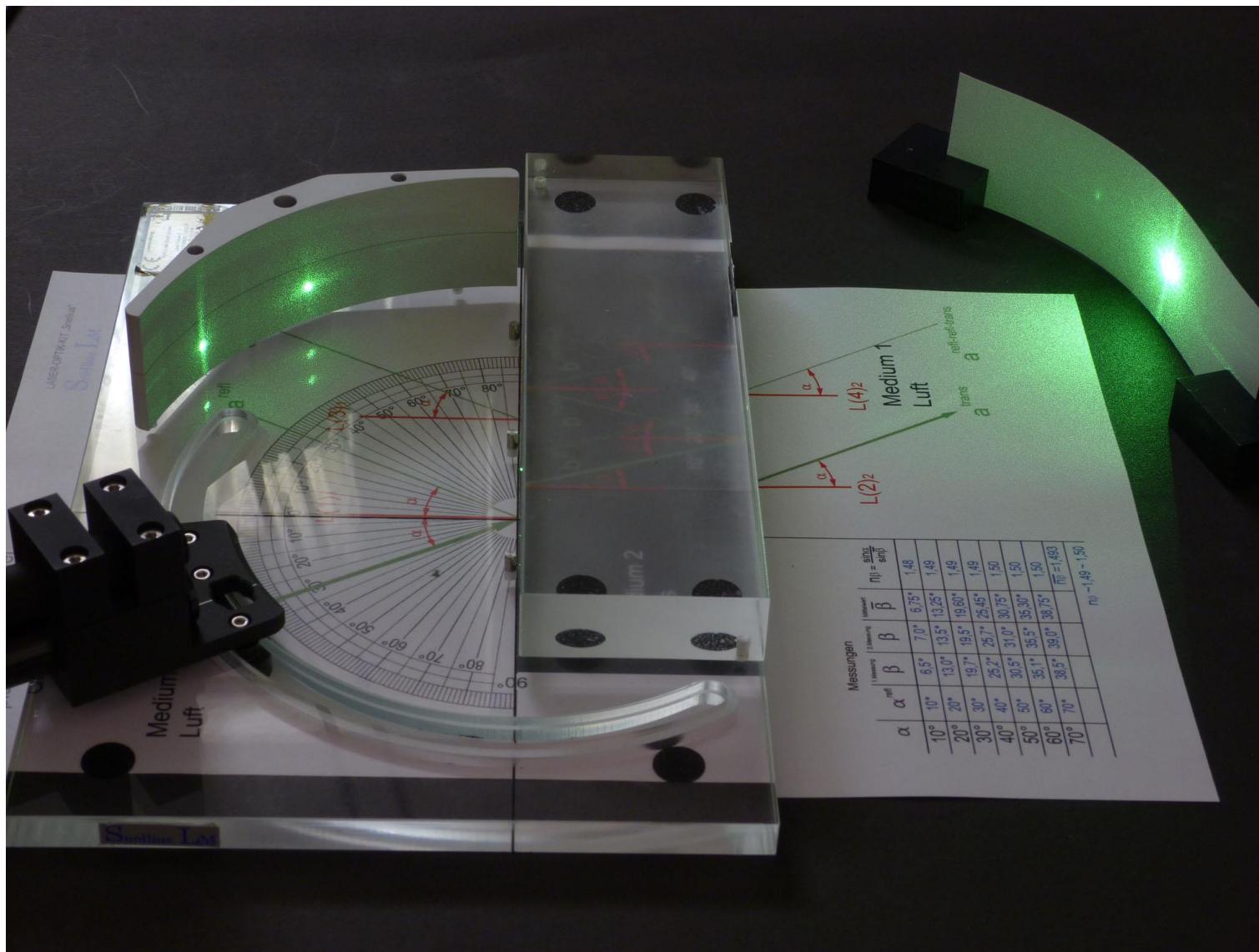


# V. 2.1 Strahlengänge an der planparallelen Platte

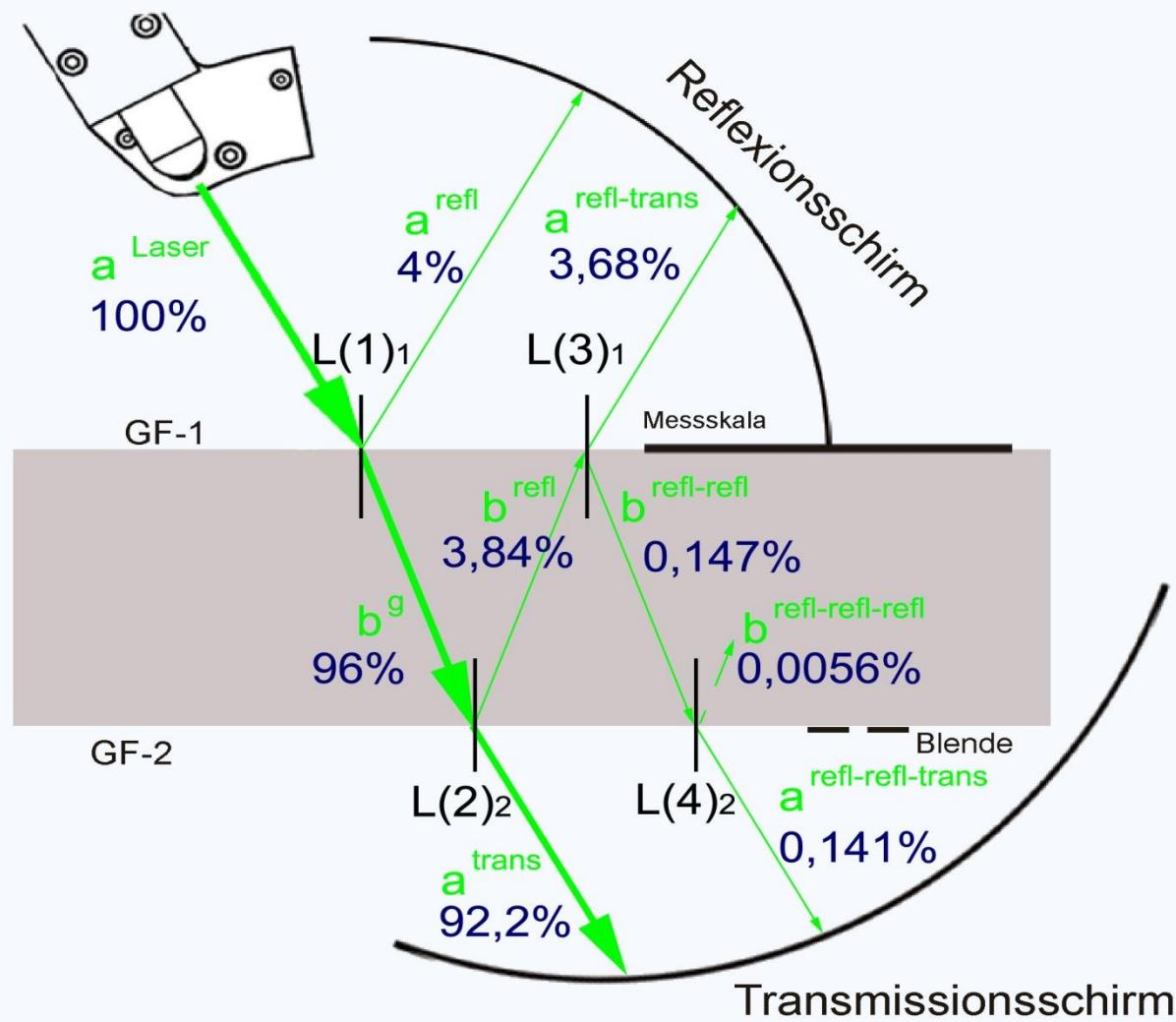


- Reflexions- und Brechungsgesetz an zwei Grenzflächen quantitativ
- Parallelverschiebung des transmittierten Strahls

## V. 2.2 Intensitäten der Teilstrahlen an der planparallelen Platte



## V. 2.2 Intensitäten der Teilstrahlen an der planparallelen Platte

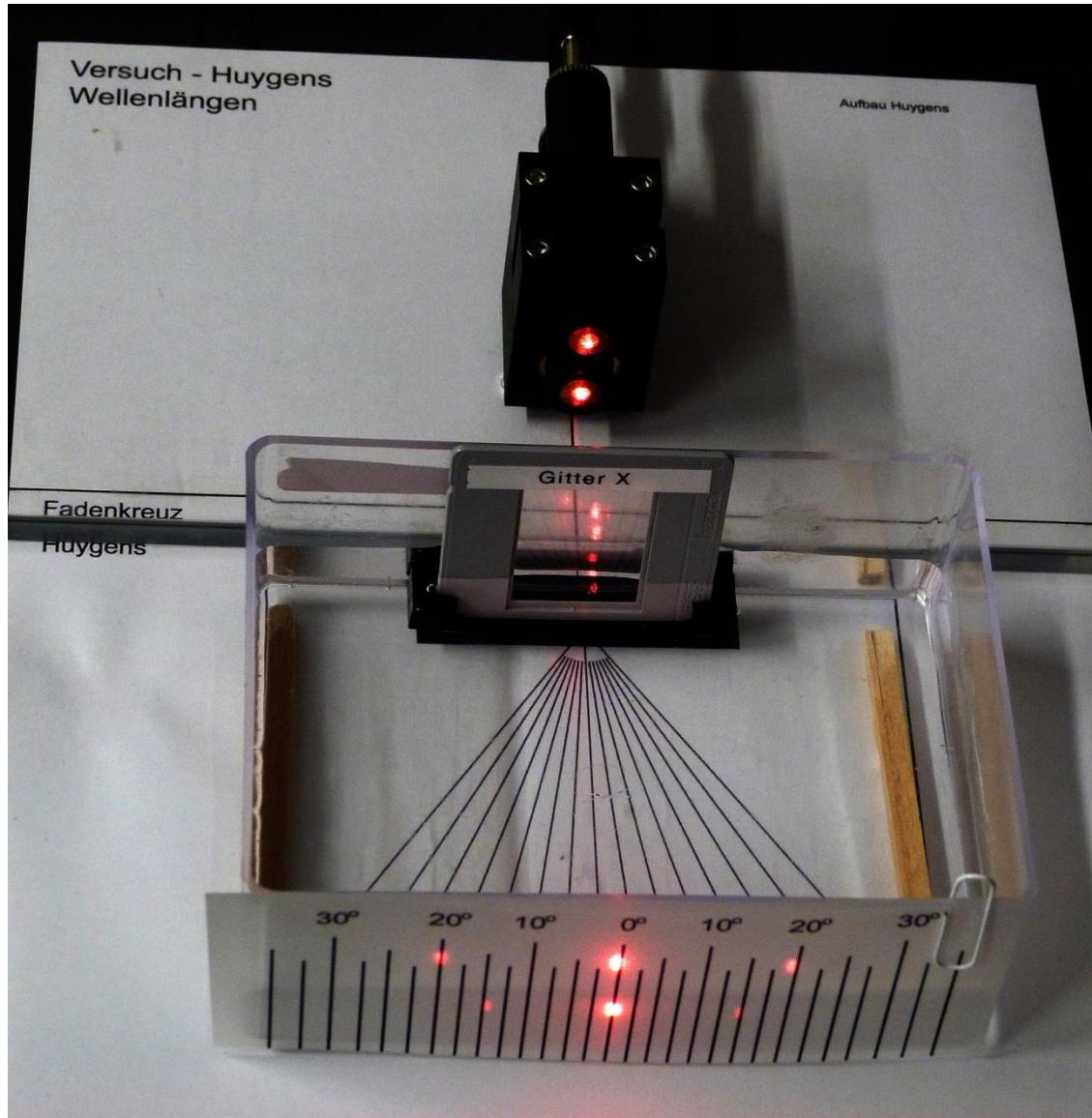


# Kontext zur Natur



# Wellenlänge oder Frequenz      $c = f \lambda$

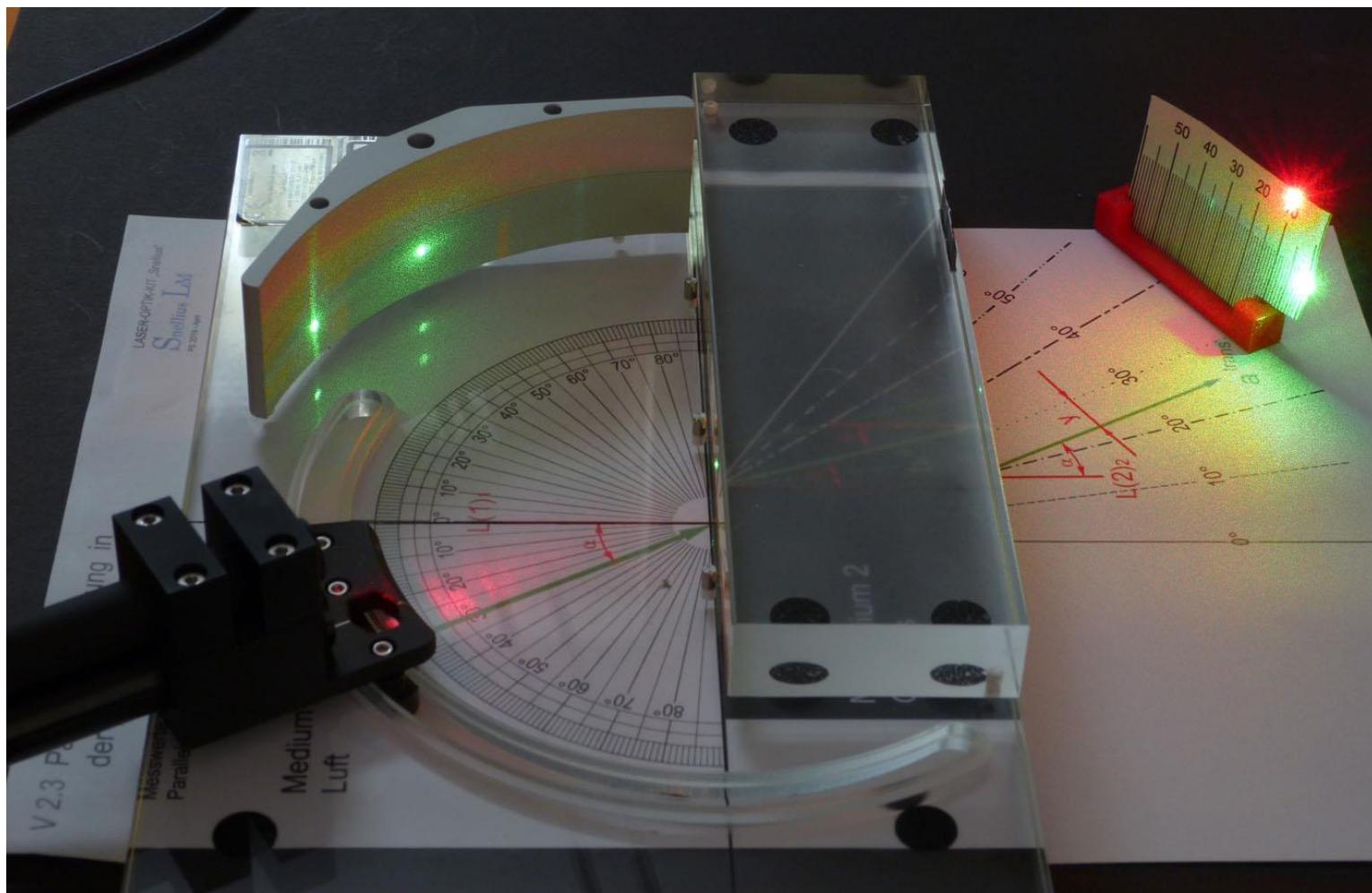
$$\lambda = \frac{1}{d} \sin \Theta$$



$$\sin \Theta = \frac{k \lambda}{d}$$

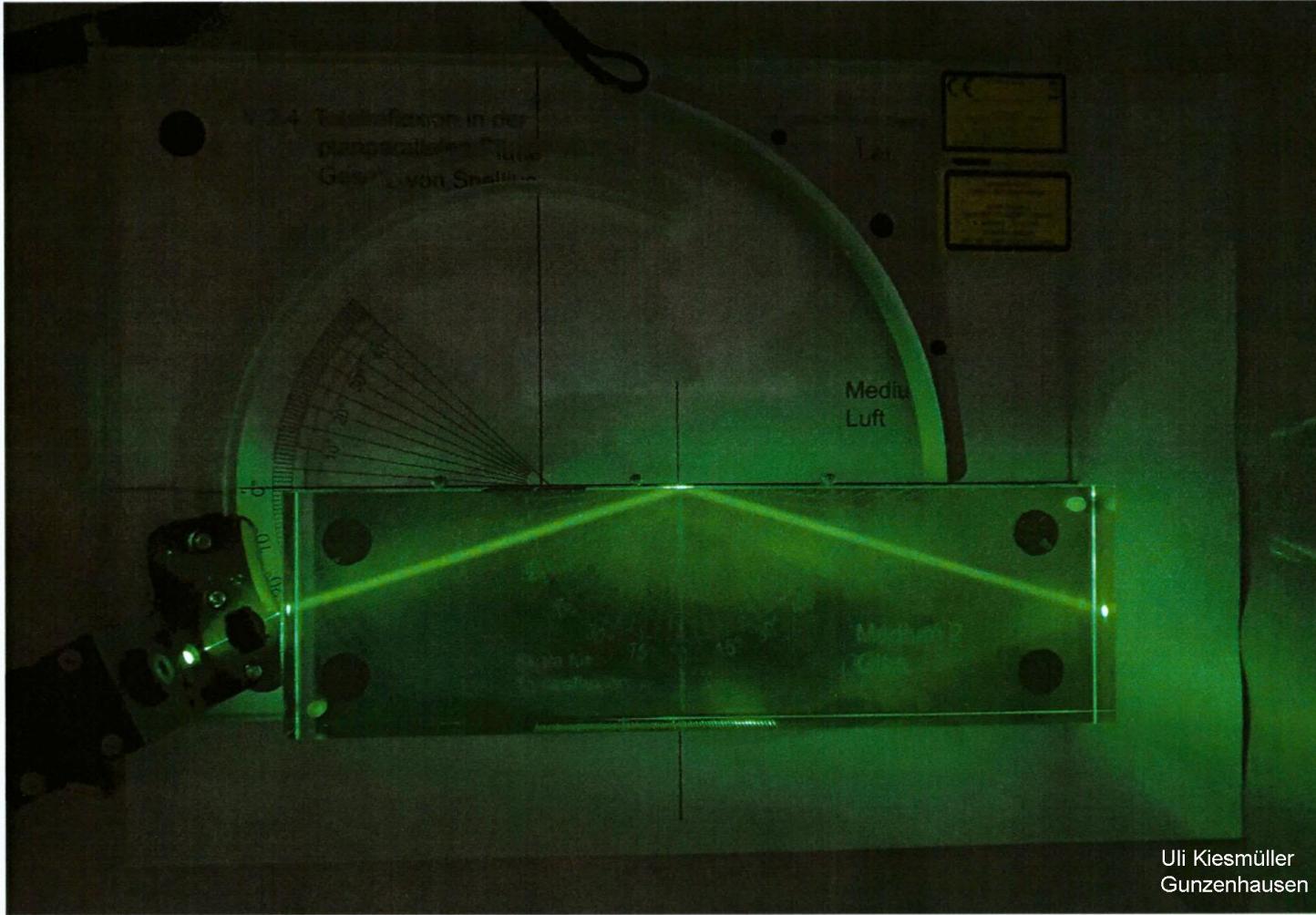
$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{1}{0,2} \mu\text{m} \quad \sin 19^\circ = 650\text{nm} \quad \lambda_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1}{0,2} \mu\text{m} \quad \sin 15^\circ = 517\text{nm}$$

# V2.3 Parallelverschiebung



Der grüne Strahl wird parallelverschoben.

## V2.4 Die Totalreflexion



Uli Kiesmüller  
Gunzenhausen

- Kein Lichtaustritt auf Projektionswand beobachtbar
- Physikalische Grundlage für die Endoskopie in der Medizin

# Tag der Physik im Simon-Marius-Gymnasium Gunzenhausen



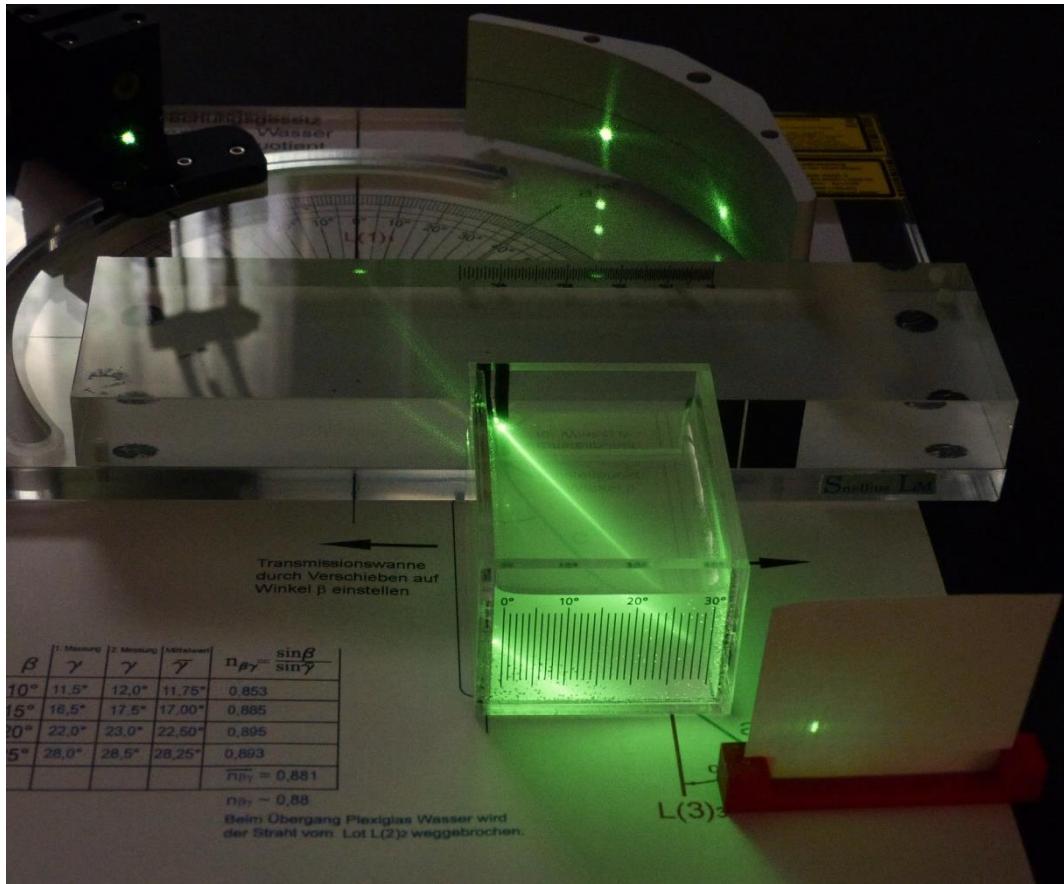
Der Reflexionsversuch Foto: Schaller 2020-03-12 Gunzenhausen

## V2.4 Die Totalreflexion



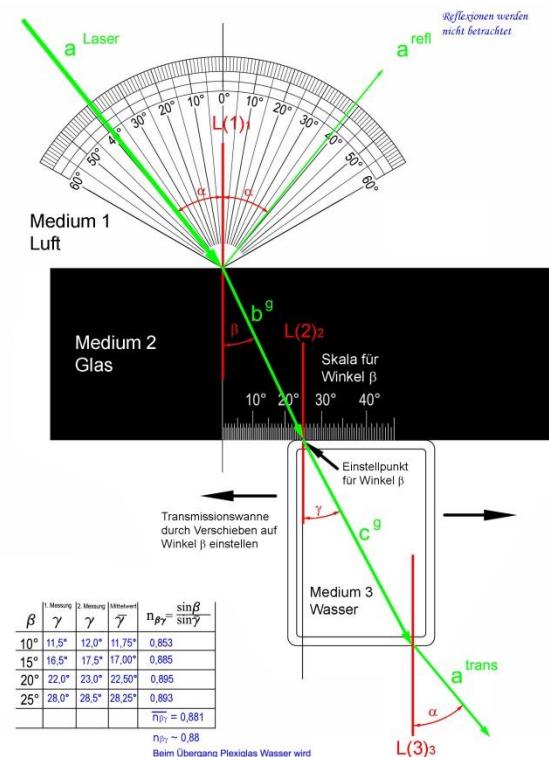
- Stark erwärmte Straße, Luft über der Straße hat geringer Dichte als die Luftsicht darüber

# V2.6 Der Brechzahlquotient



V 2.6 Brechungsgesetz  
Plexiglas - Wasser  
Brechzahlquotient

LASER-OPTIK-KIT „Snellius“  
**Snellius LM**  
PS 2019 - April



Didaktisch wichtig:  
Plexiglas ist Medium 2  
Wasser ist Medium 3

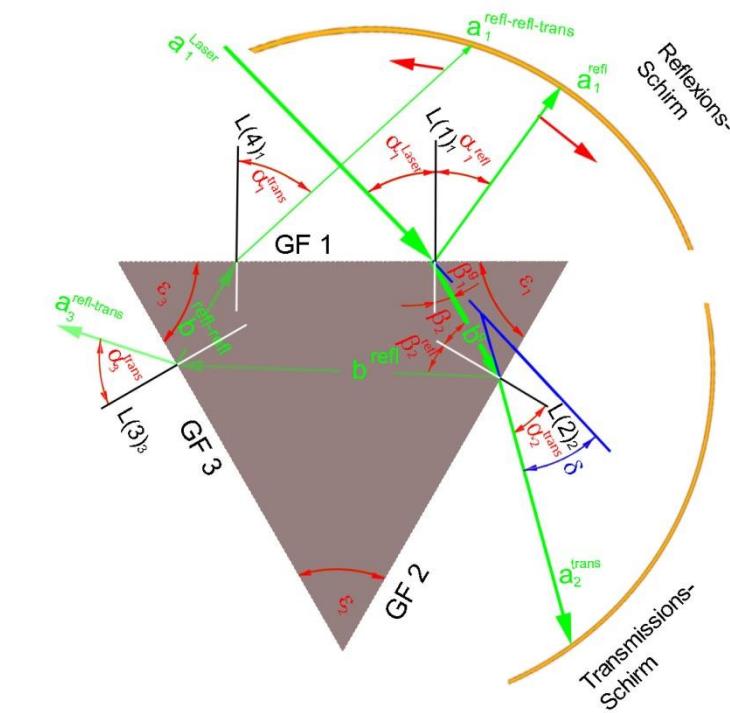
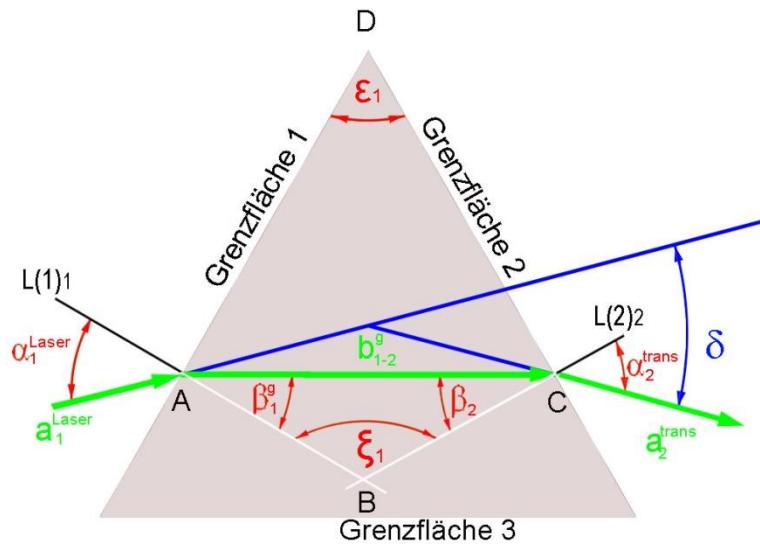
$$n_{\beta\gamma} = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} < 1$$

Brechung vom Lot weg

V3

vier Methoden der Brechzahlbestimmung

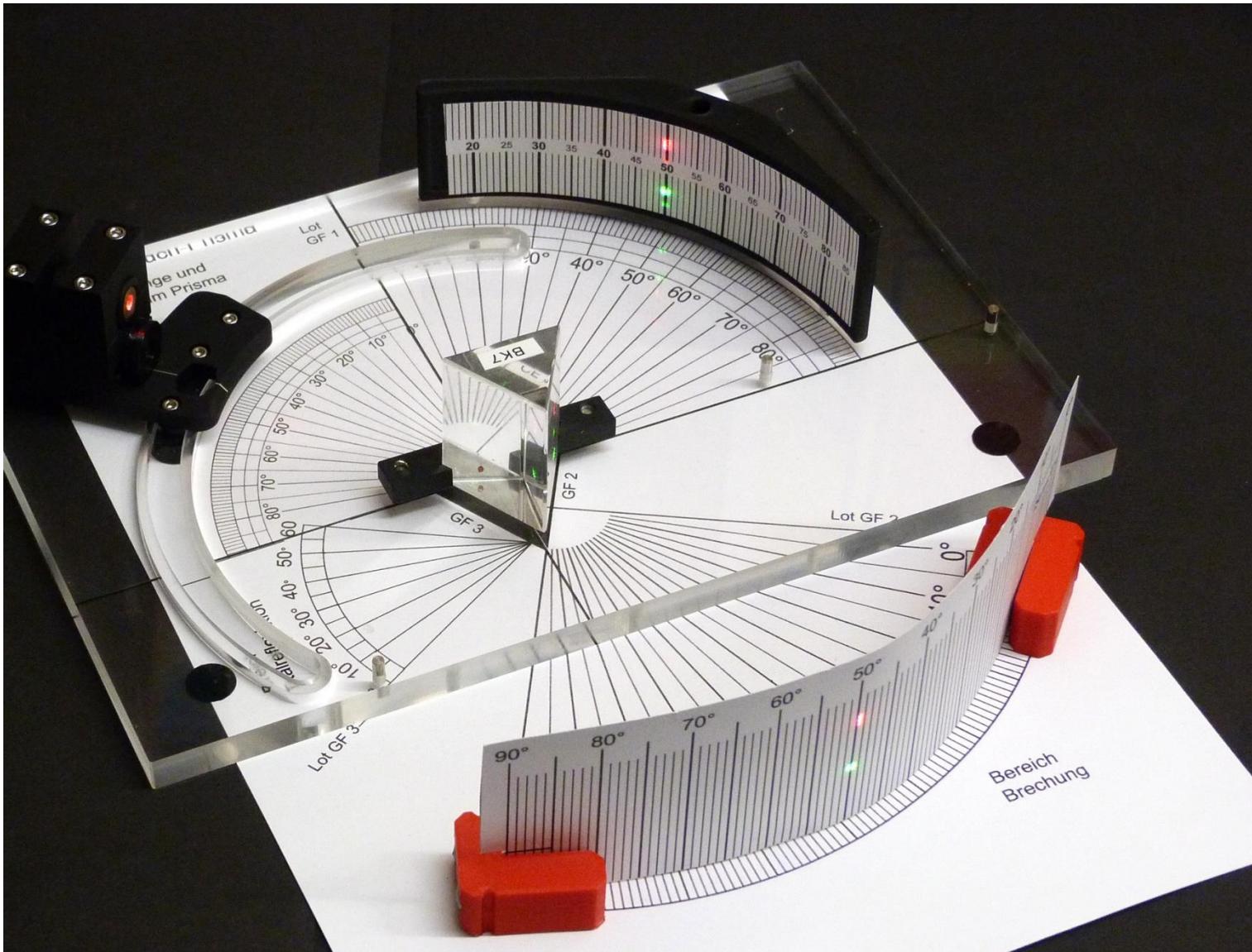
# V3.1- Im Prisma am Winkel der geringsten Ablenkung



$$\delta_{\min} = \alpha_1^{\text{Laser}} + \alpha_2^{\text{trans}} - \varepsilon_1$$

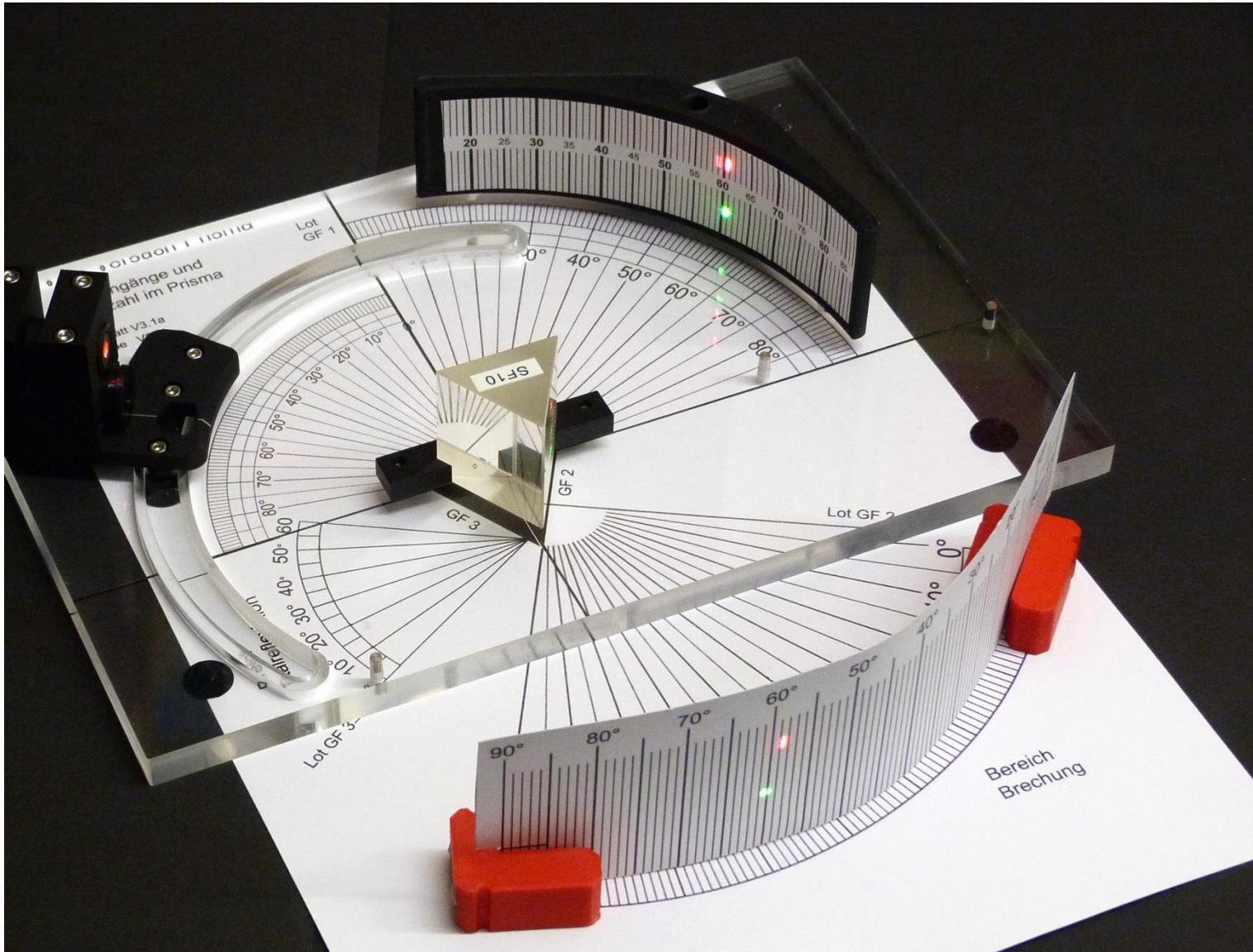
$$n_\beta = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{\min} + \varepsilon_1}{2}\right)}{\sin\frac{\varepsilon}{2}}$$

# V3.1- Im Prisma am Winkel der geringsten Ablenkung



$$n_{\text{Kron}} = 1,51$$

# V3.1- Im Prisma am Winkel der geringsten Ablenkung



$$n_{\text{Flint}} = 1,71$$

# V3.2a- Am Grenzwinkel der Totalreflexion

Bestimmung des Grenzwinkels  
der Totalreflexion  
im Halbzylinder

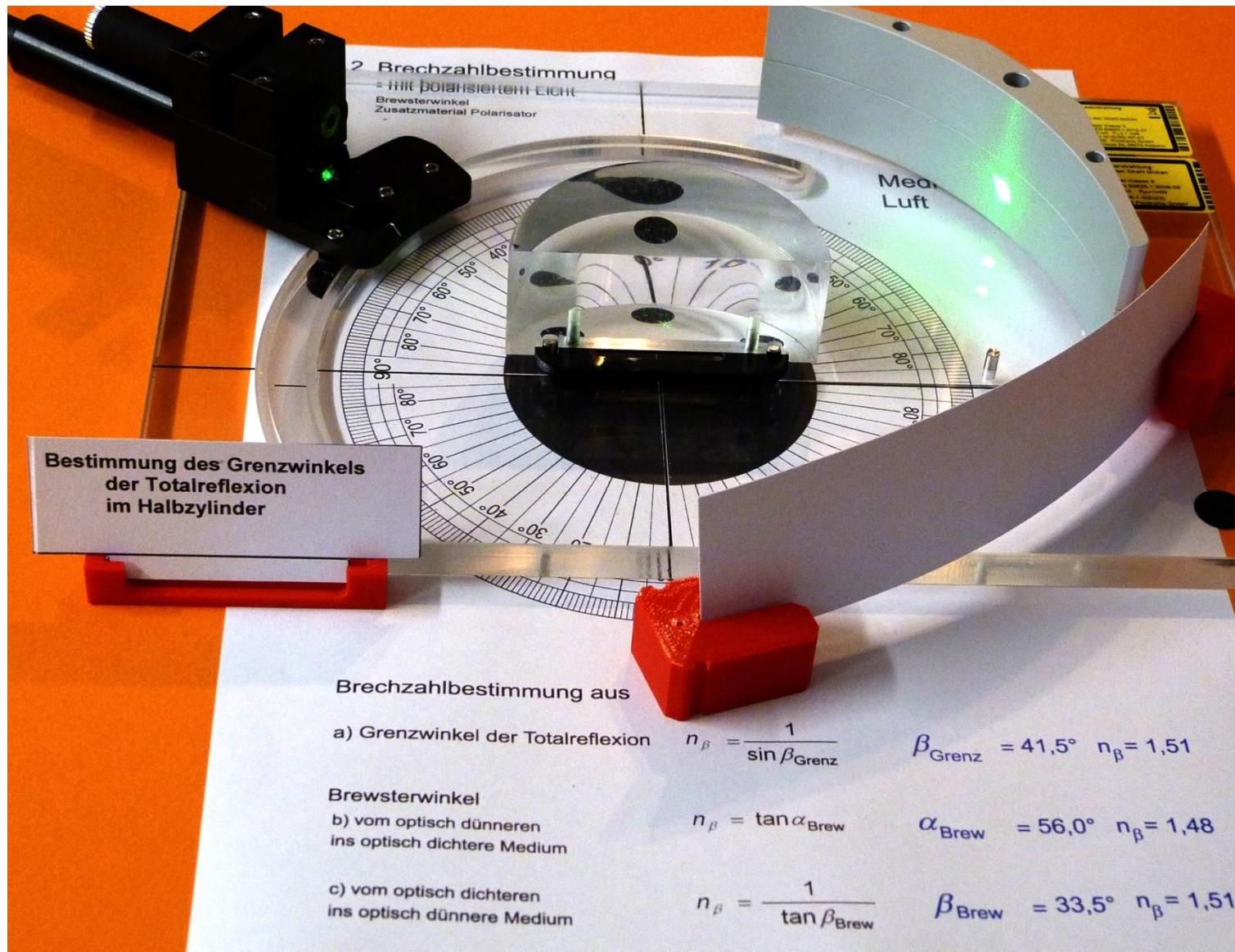
Brechzahlbestimmung aus

a) Grenzwinkel der Totalreflexion       $n_{\beta} = \frac{1}{\sin \beta_{\text{Grenz}}}$        $\beta_{\text{Grenz}} = 41,5^\circ \quad n_{\beta} = 1,51$

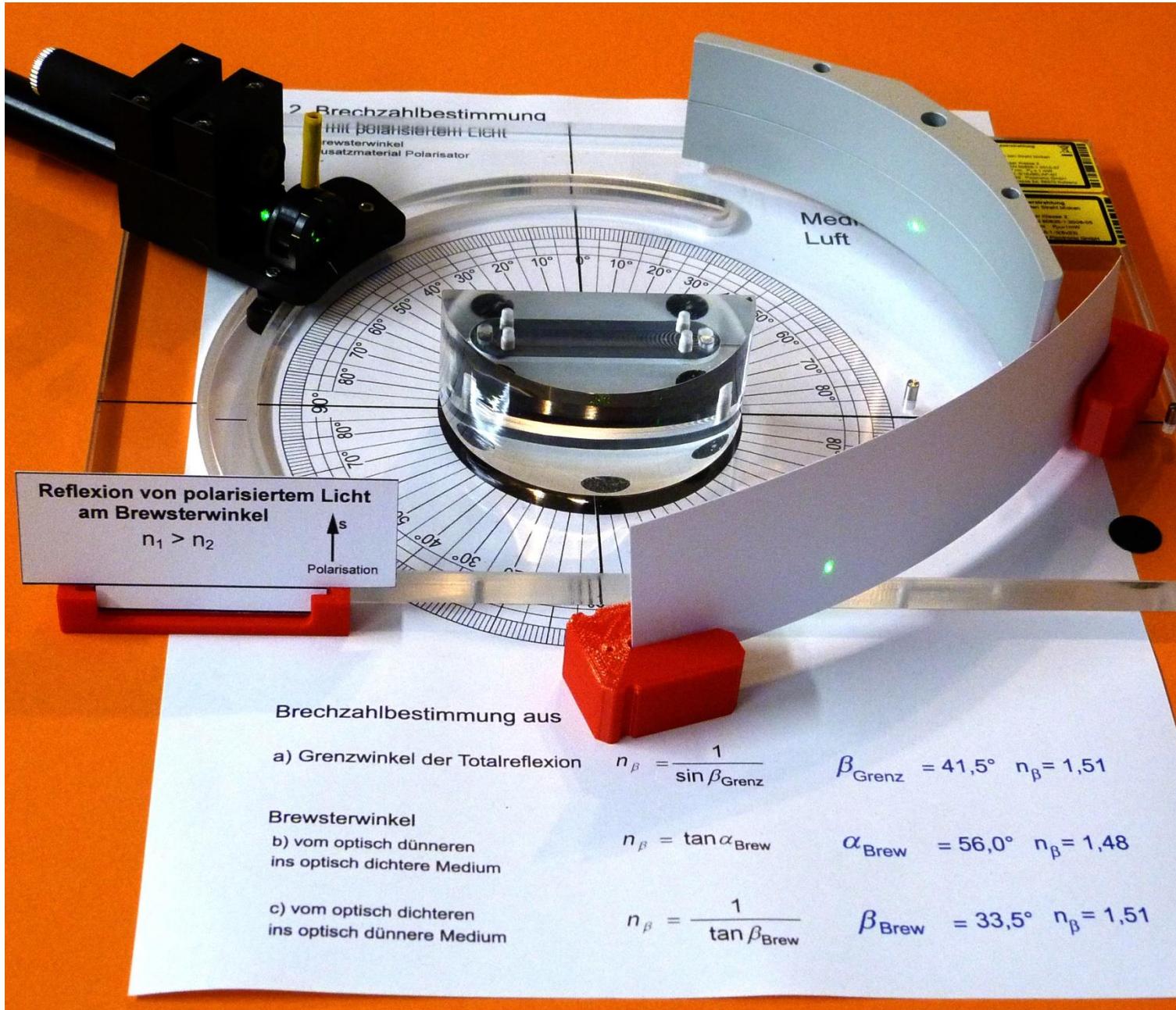
Brewsterwinkel  
b) vom optisch dünneren  
ins optisch dichtere Medium       $n_{\beta} = \tan \alpha_{\text{Brew}}$        $\alpha_{\text{Brew}} = 56,0^\circ \quad n_{\beta} = 1,48$

c) vom optisch dichteren  
ins optisch dünneren Medium       $n_{\beta} = \frac{1}{\tan \beta_{\text{Brew}}}$        $\beta_{\text{Brew}} = 33,5^\circ \quad n_{\beta} = 1,51$

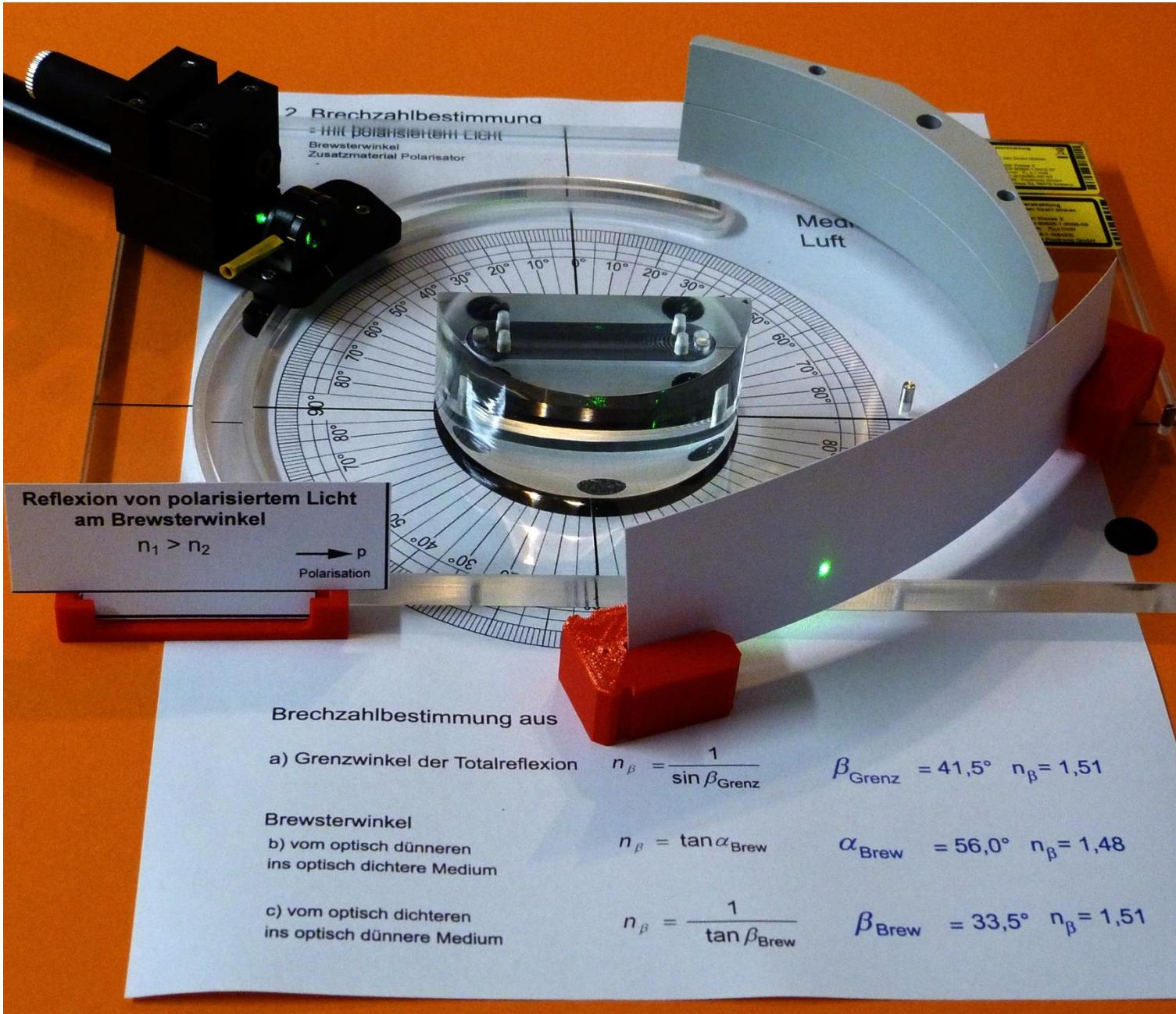
# V3.2a- Am Grenzwinkel der Totalreflexion



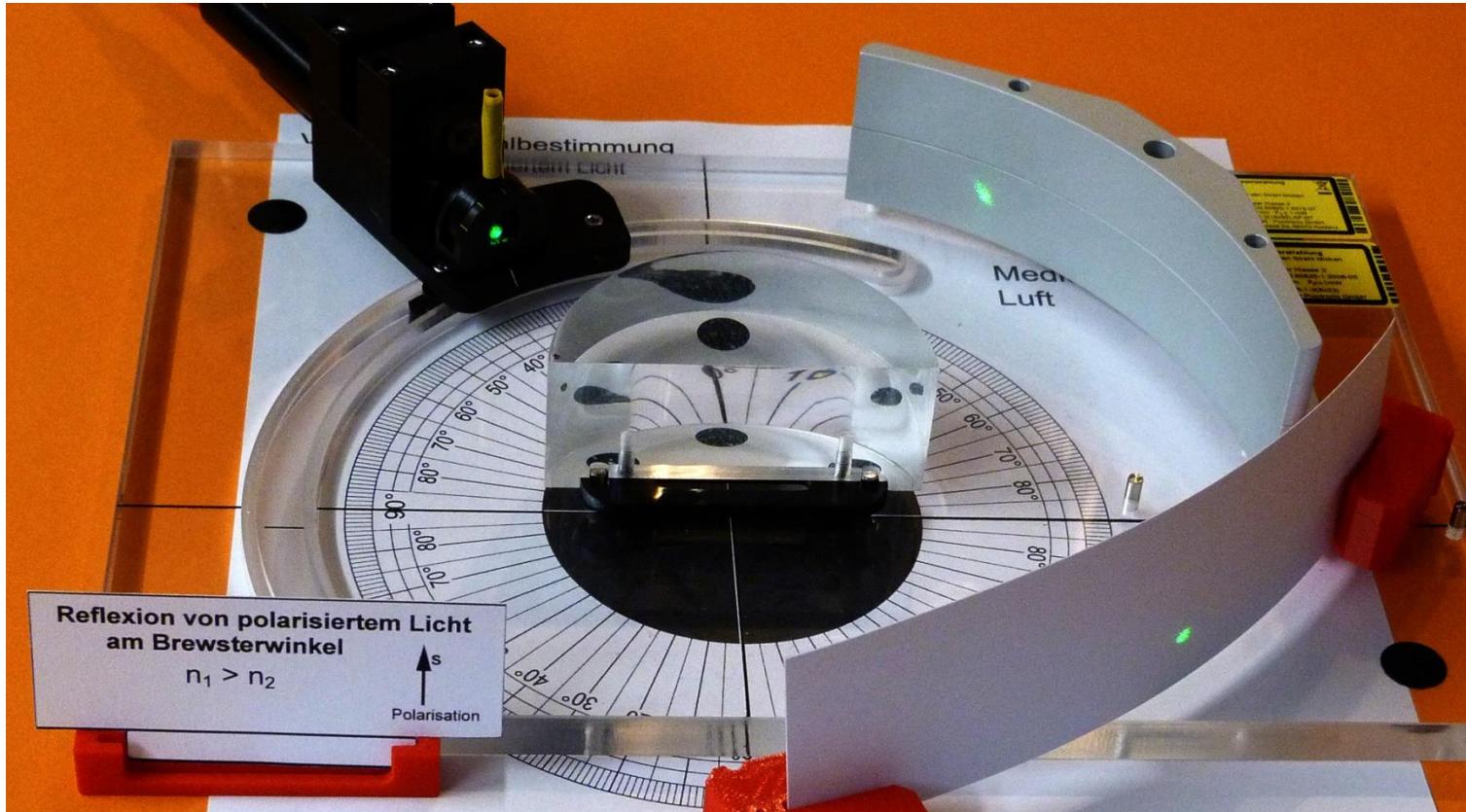
# V3.2b- Am Brewsterwinkel $n_2 > n_1$



# V3.2b- Am Brewsterwinkel $n_2 > n_1$



# V3.2c- Am Brewsterwinkel $n_1 > n_2$



Reflexion von polarisiertem Licht  
am Brewsterwinkel

$$n_1 > n_2$$

Polarisation

Brechzahlbestimmung aus

a) Grenzwinkel der Totalreflexion  $n_\beta = \frac{1}{\sin \beta_{\text{Grenz}}}$   $\beta_{\text{Grenz}} = 41,5^\circ$   $n_\beta = 1,51$

Brewsterwinkel

b) vom optisch dünneren  
ins optisch dichtere Medium

$$n_\beta = \tan \alpha_{\text{Brew}}$$

$$\alpha_{\text{Brew}} = 56,0^\circ$$

$$n_\beta = 1,48$$

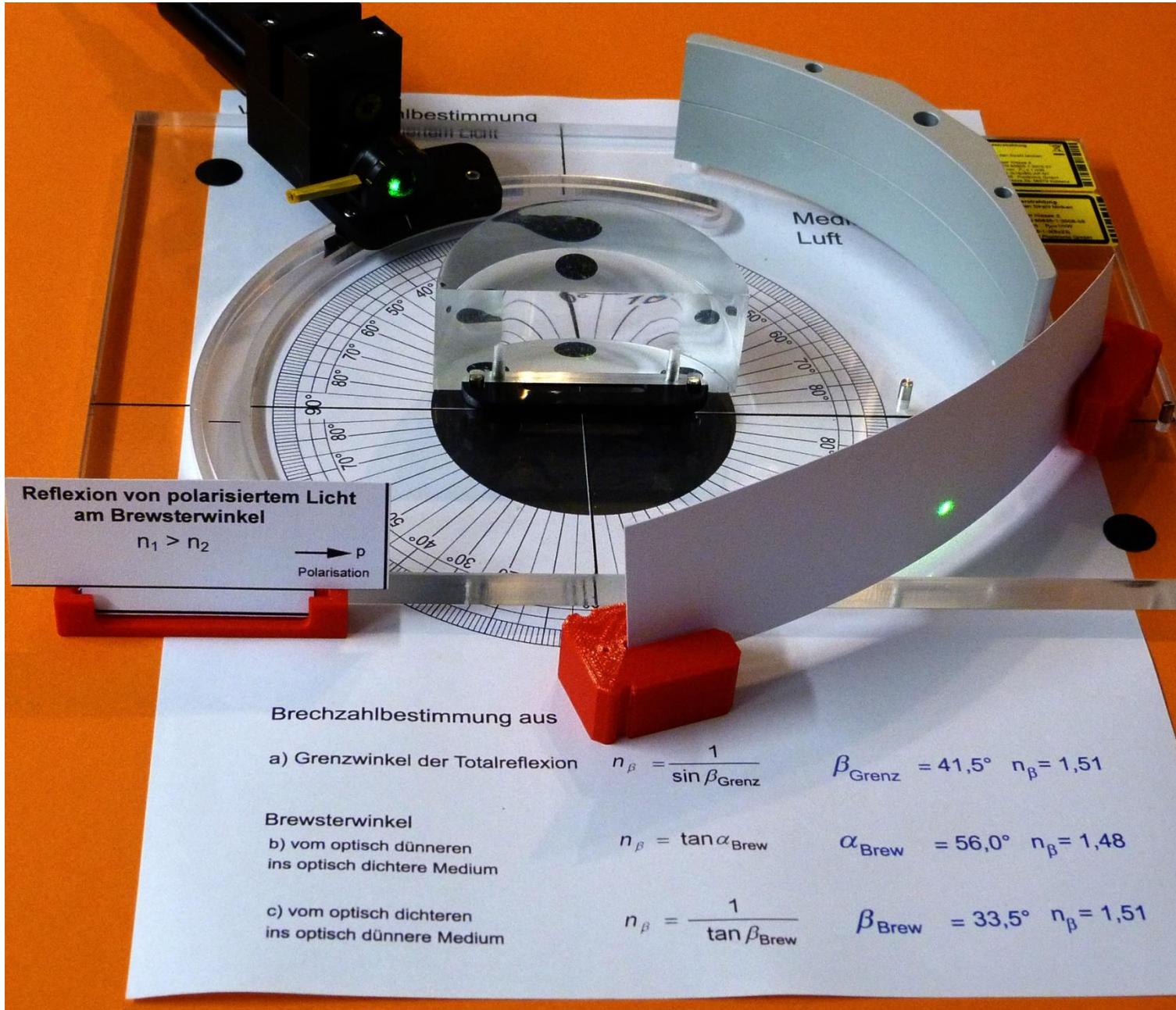
c) vom optisch dichteren  
ins optisch dünneren Medium

$$n_\beta = \frac{1}{\tan \beta_{\text{Brew}}}$$

$$\beta_{\text{Brew}} = 33,5^\circ$$

$$n_\beta = 1,51$$

# V3.2c- Am Brewsterwinkel $n_1 > n_2$



# Reflexion von polarisiertem Licht

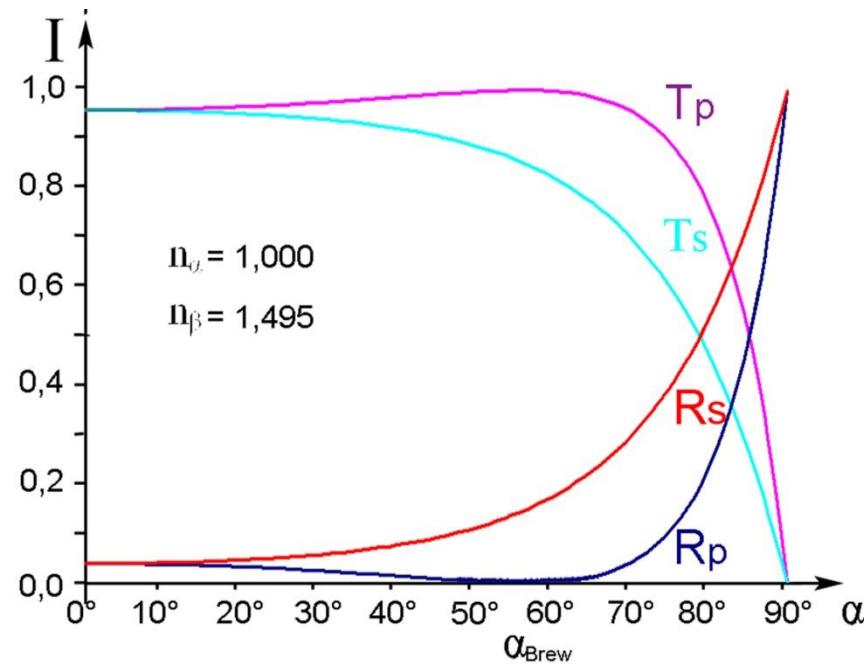
## Fresnelschen Formeln

$$R_s = r_s^2 = \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)}$$

$$T_s = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \frac{[2 \sin \beta \cos \alpha]^2}{\sin^2(\alpha + \beta)}$$

$$R_p = r_p^2 = \frac{\tan^2(\alpha - \beta)}{\tan^2(\alpha + \beta)}$$

$$T_p = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \frac{[2 \sin \beta \cos \alpha]^2}{[\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha - \beta)]^2}$$



# Starke Reflexion im Winter Sonne steht niedrig

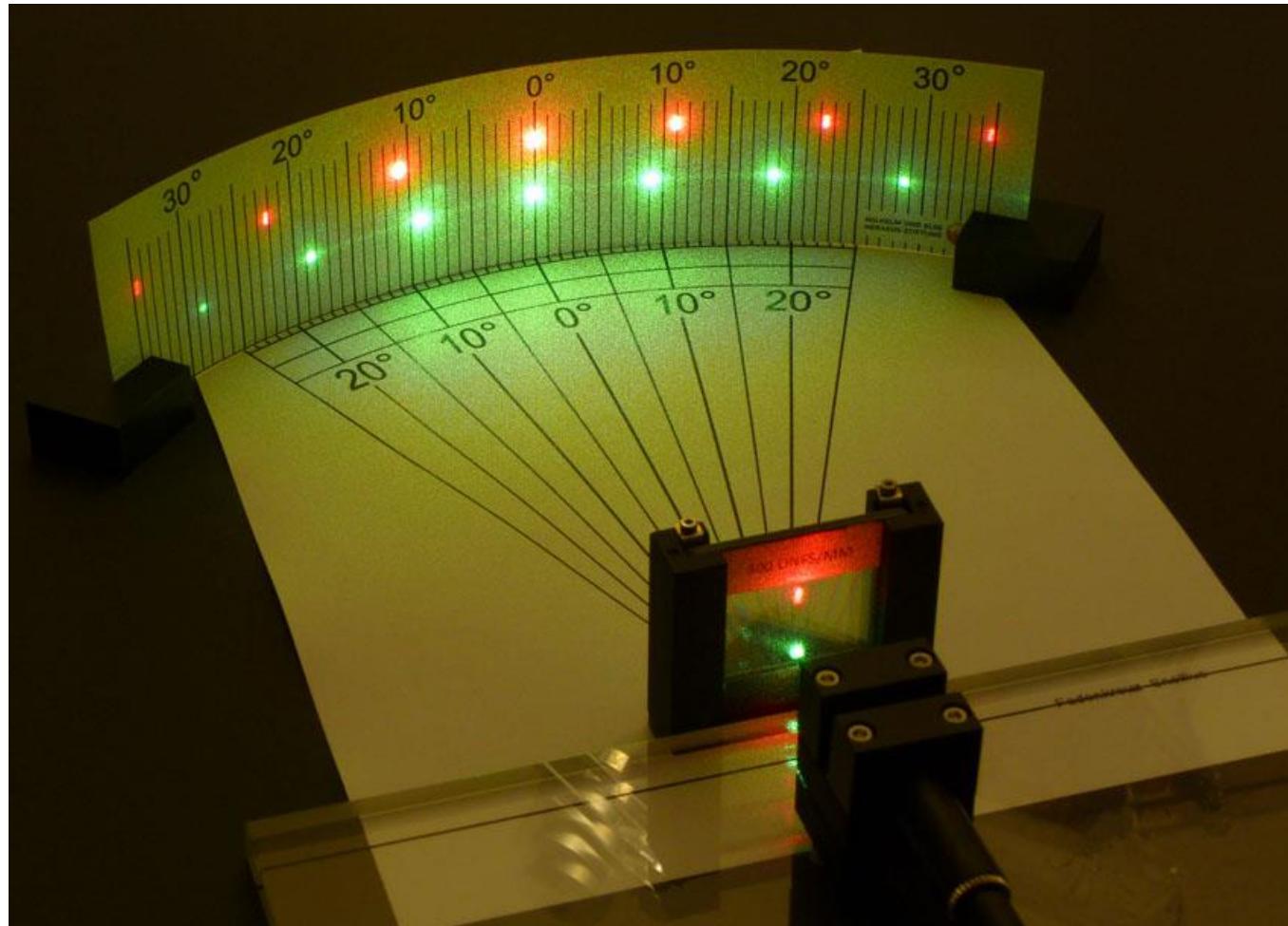


# P-Seminar im Carl-Orff Gymnasium Unterschleißheim



Frau StRin Donhauser zeigt Modell von linear polarisiertem Licht  
anlässlich des 9. Workshops im MPQ Garching am 4. Juli 2019

# V4 Wellenlängenbestimmung mittels Beugungsgittern



$$\sin \Theta = \frac{k\lambda}{d}$$

- Beugung am Gitter 300    Laserstrahl grün und rot

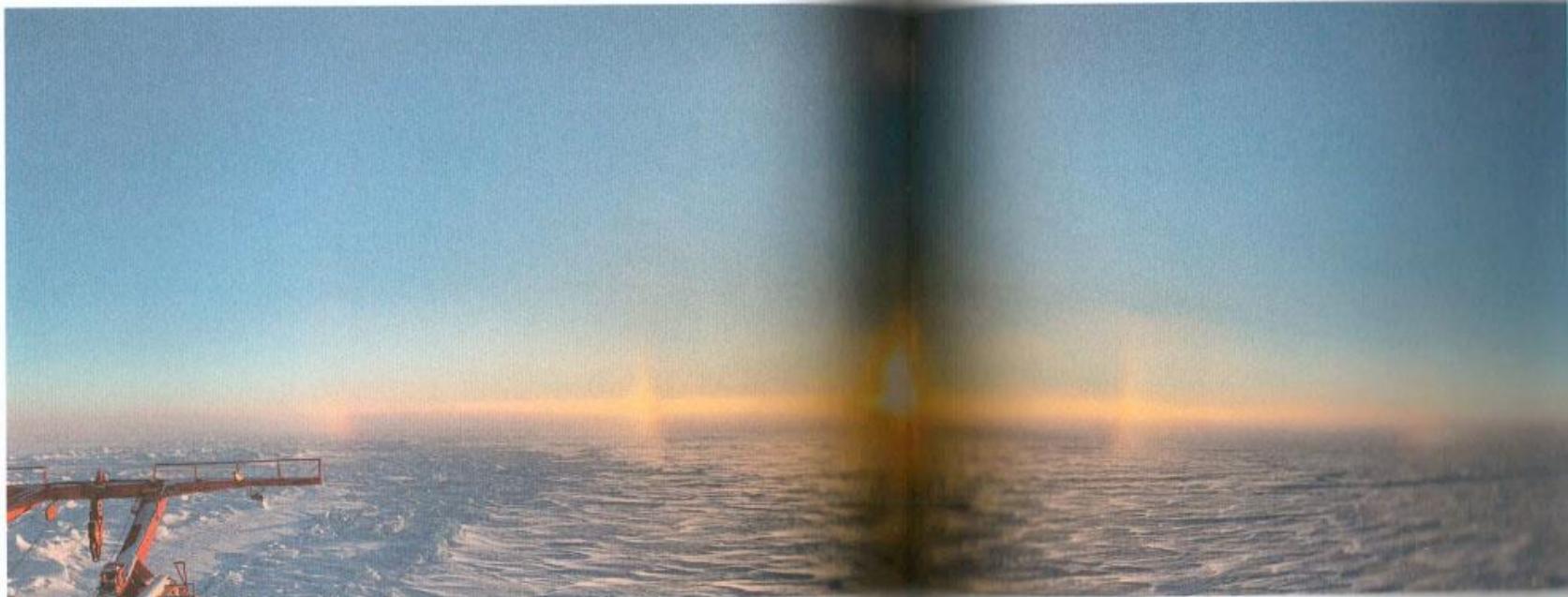
Beugung elektromagnetischer Wellen ist wellenlängenabhängig

# Tag der Physik im Simon-Marius-Gymnasium Gunzenhausen



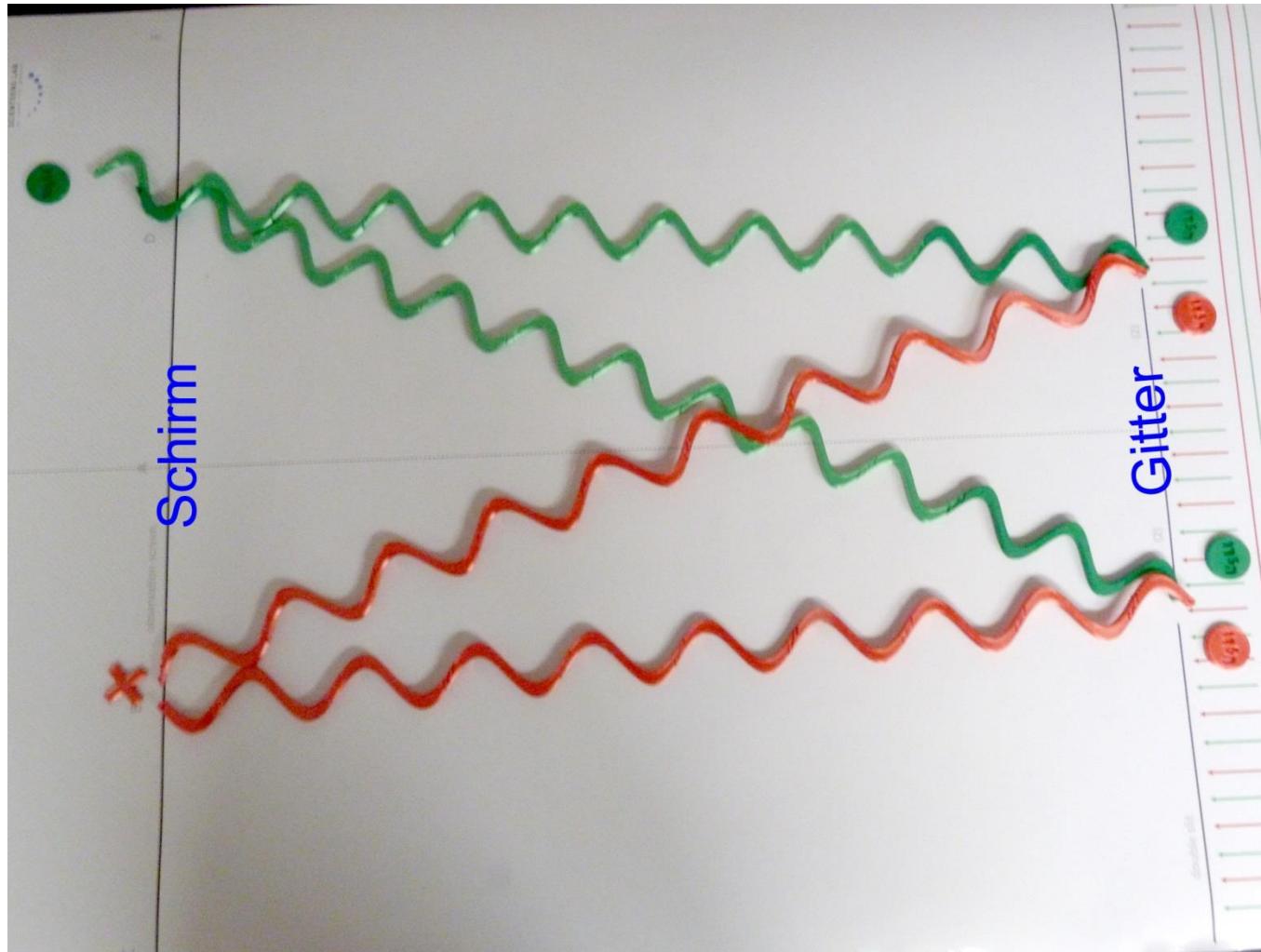
Der Gitterversuch

# Beugung an den Eiskristallen am Nordpol



Quelle: Markus Rex

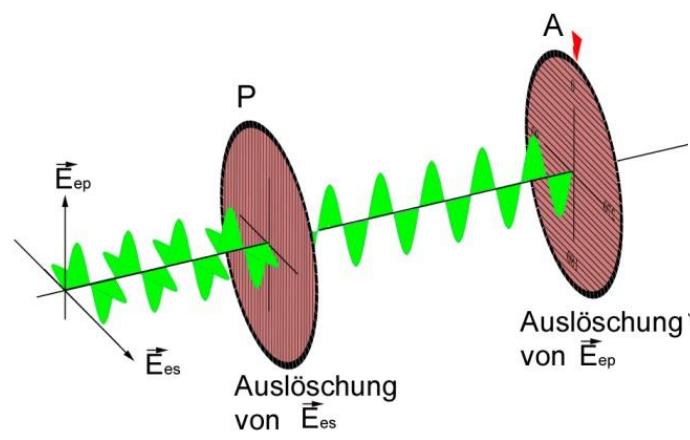
# V4 Wellenlängenbestimmung mittels Beugungsgittern



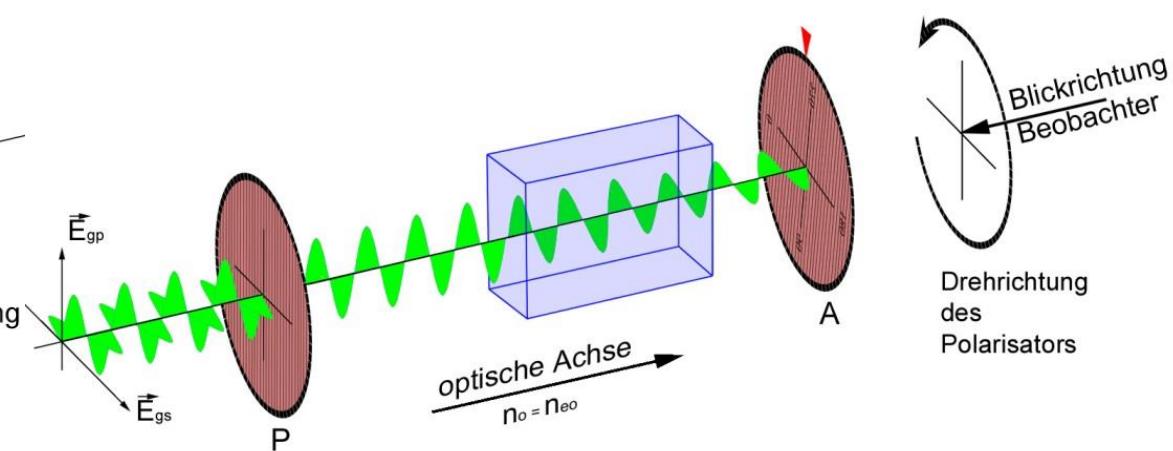
Modell für konstruktive und destruktive Interferenz  
Universität Luxembourg

# V5 Linear polarisiertes Licht - Optische Aktivität

## Gekreuzte Polarisatoren

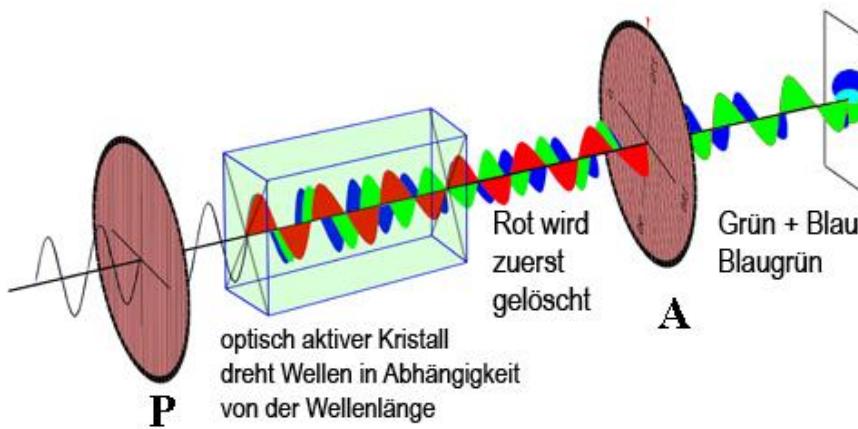


## Optische Aktivität



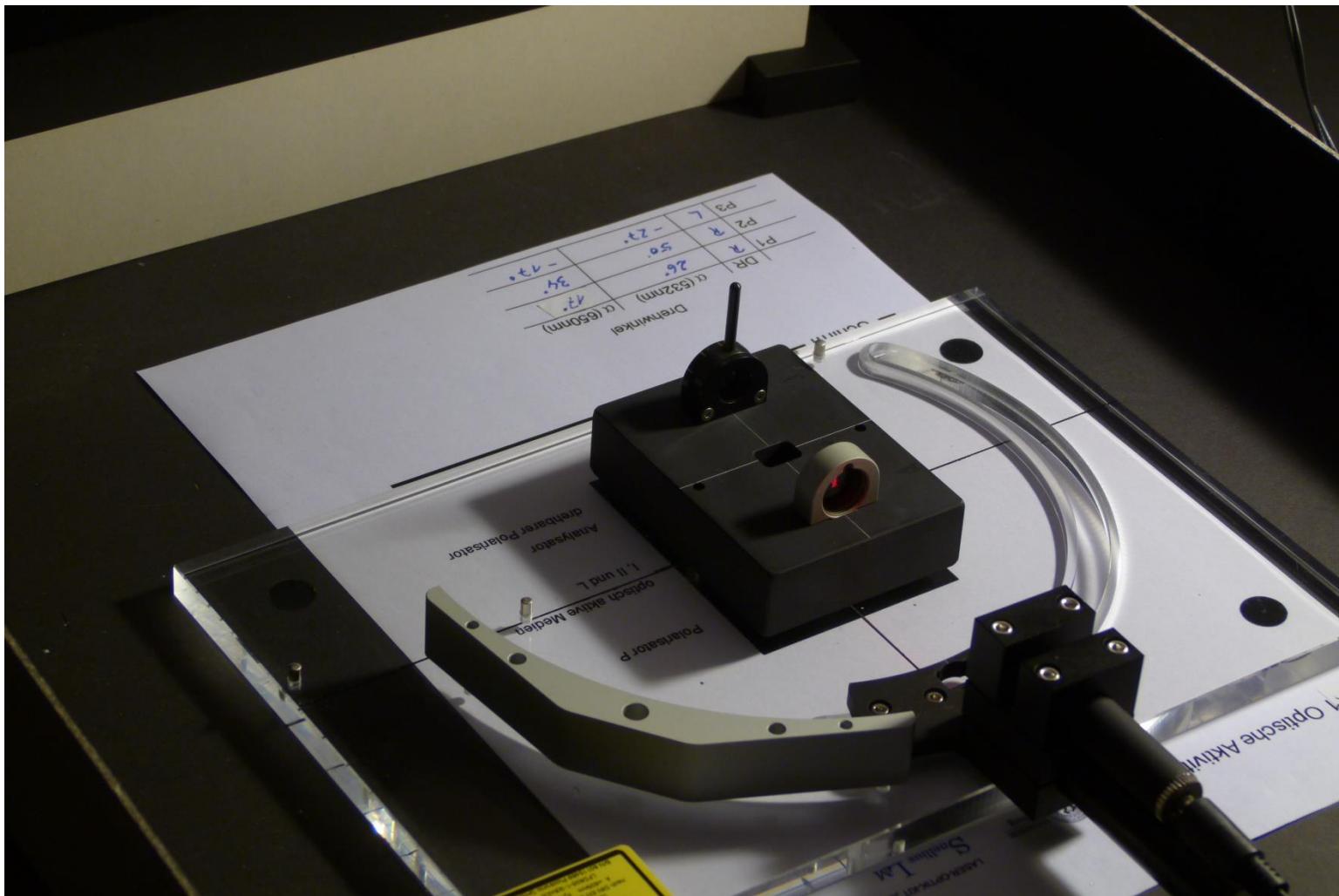
Optische Aktivität ist wellenlängenabhängig

polychromatisches Licht  
dargestellt durch:  
Rot, Grün und Blau



Rotationsdispersion

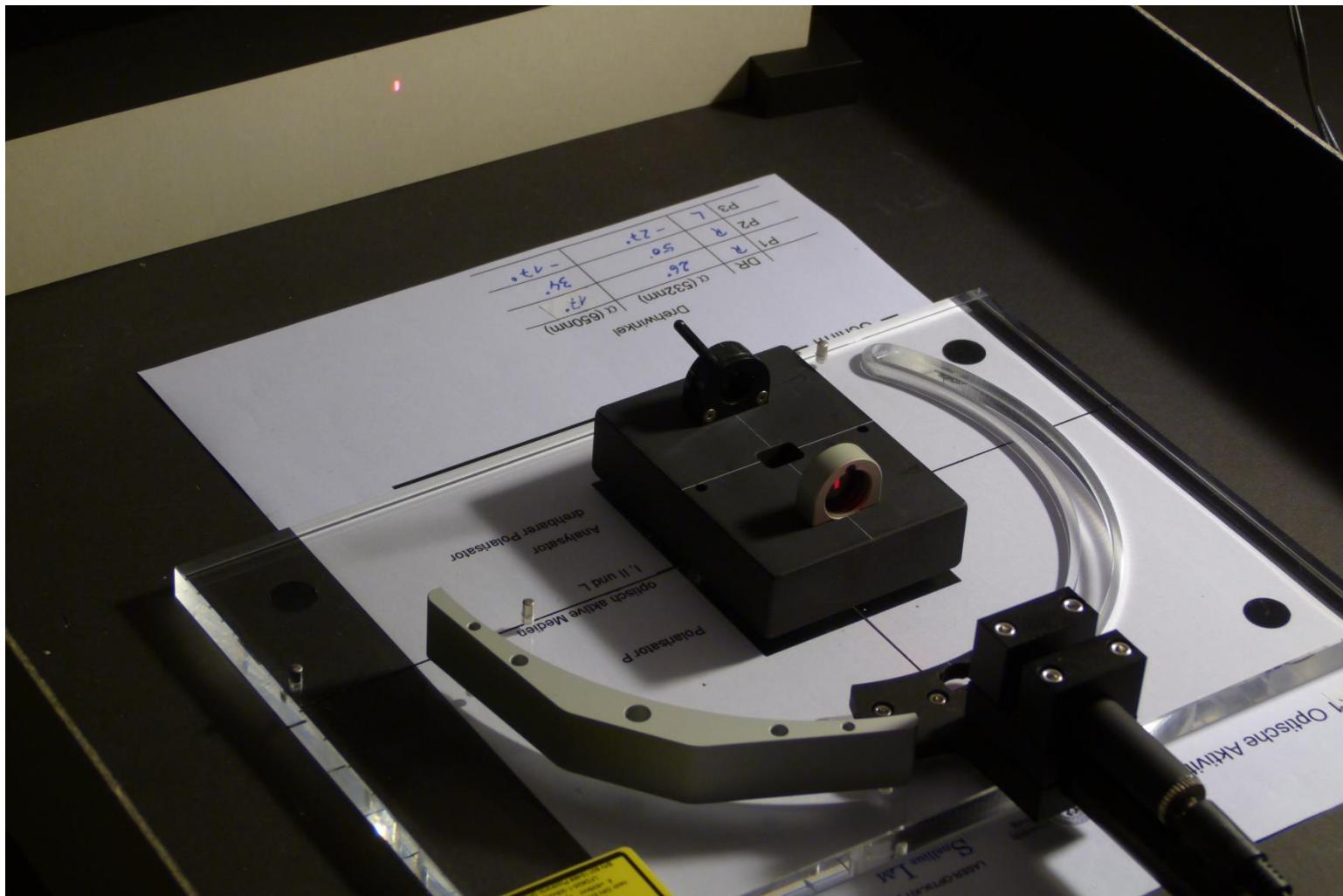
# V5 Linear polarisiertes Licht – Optische Aktivität



Gekreuzte Polarisatoren

Auslöschung der  
Wellen

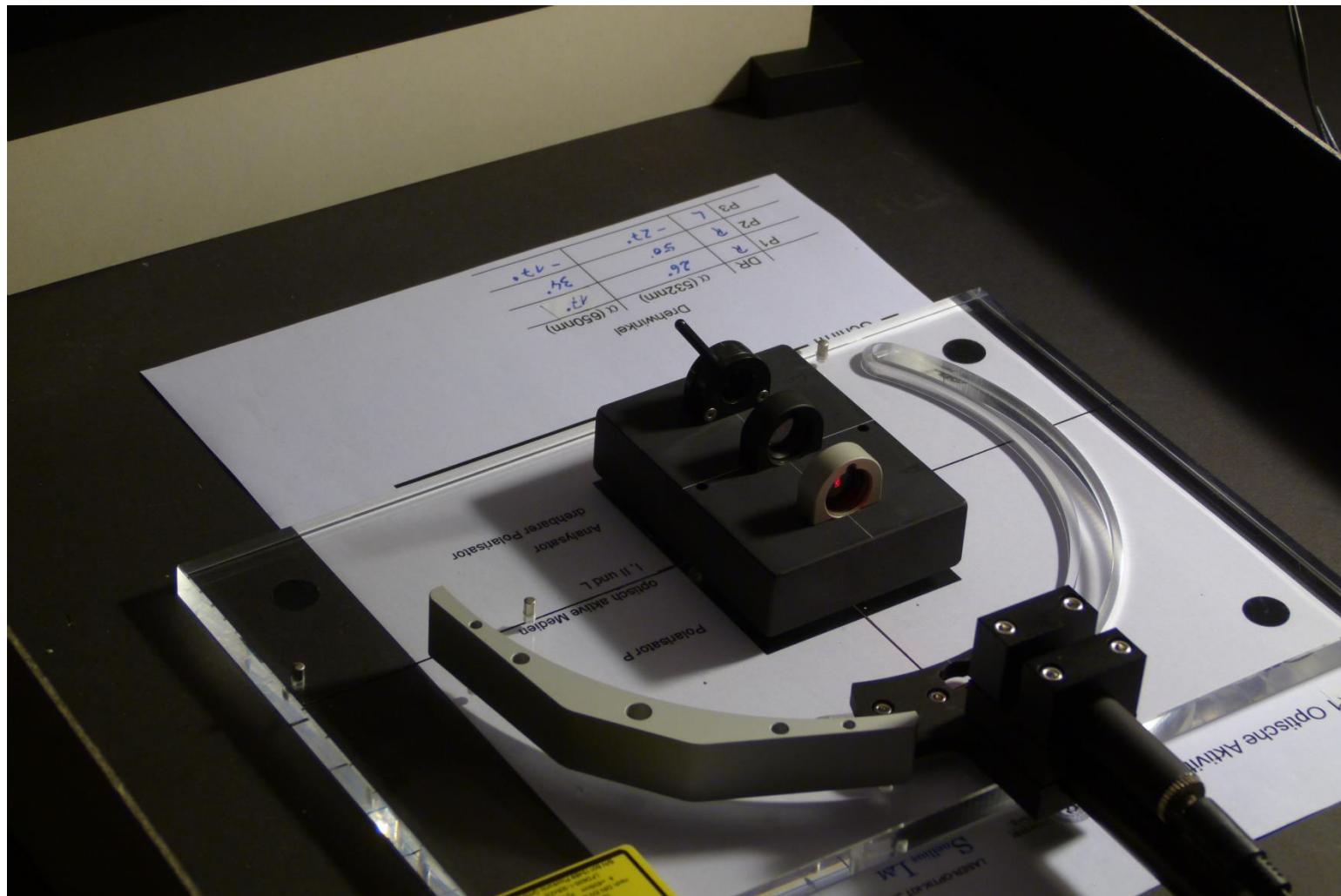
# V5 Linear polarisiertes Licht – Optische Aktivität



Analysator wird verdreht

keine Auslöschung der Wellen

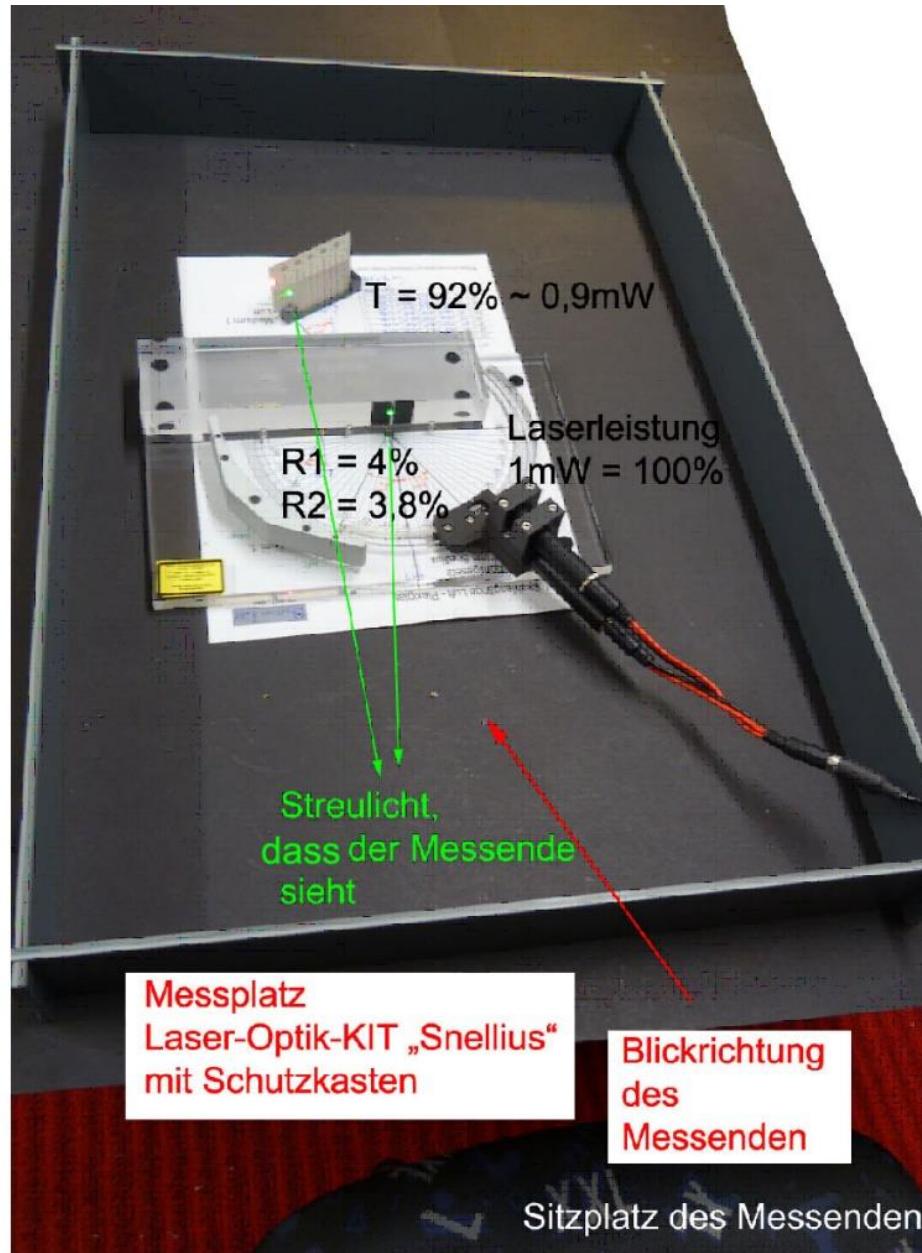
# V5 Linear polarisiertes Licht – Optische Aktivität



Optisch aktives Medium  
dreht Polarisationsebene

Auslöschung der  
Wellen

# Laserschutz



# Möglicher Ablauf für den Einsatz des Laser-Optik-KITs „Snellius“ im P-Seminar:

2. Möglicher Ablauf während der Projektphase:  
2.1 Übergabe des Klassensatzes an das Gymnasium  
vier Wochen vor Beginn der Projektphase

## Inhalt:

- Beschreibung physikalischer Grundlagen und Hintergründe
- Aufgabenstellungen für die Versuche
- ein Klassensatz LASER-OPTIK-KIT „Snellius“ (zwölf Experimentiersätze)
- Versuchs- und Protokollvorlagen für die Versuche



# Möglicher Ablauf für den Einsatz des Laser-Optik-KITs „Snellius“ im P-Seminar:

2.2 Vertraut machen der Schüler des P-Seminars mit dem Laser-Optik-Kit

2.3 Durchführung des Projektes  
(Unterstützung durch Dr. Peter Schaller)



# LASER-OPTIK-KIT "SNELLIUS"

- didaktische Reduktion aller gleichzeitig beobachtbaren Phänomene auf Einzelphänomene
  - Modulare Bauweise
  - Einheit von Versuchsaufbau und Protokollvorlage
- Messung verschiedener Einzelphänomene  
gemäß Lehrplan
  - gute Sichtbarkeit der Strahlenverläufe
  - zeitgemäßes Design erhöht Motivation
  - schnell einsetzbar, kaum Justieraufwand

**Basics für viele optische Phänomene**

**Evaluierung:** mehrheitliche Aussage,  
jetzt habe ich diese Zusammenhänge verstanden

Danke für Ihre Aufmerksamkeit