

# Diffraktive Optik mit einer CD und weitere einfache Versuche

Ilja Rückmann

Universität Bremen

Bad Honnef 2011



# Gliederung

- 1 Diffraktive Optik mit CD
- 2 Gitterspektrometer mit CD
- 3 Bestimmung des Erdmagnetfelds
- 4 Reibung am Poller
- 5 Zusammenfassung

# Gliederung

- 1 Diffraktive Optik mit CD
- 2 Gitterspektrometer mit CD
- 3 Bestimmung des Erdmagnetfelds
- 4 Reibung am Poller
- 5 Zusammenfassung

# Diffraktive optische Elemente (DOE)

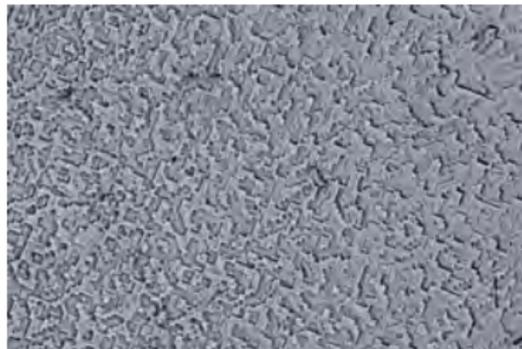
- im einfachsten Fall binäre Hologramme
- nutzen Beugungs- und Interferenzerscheinungen aus
- sehr klein und leicht; in Nanotechnologie integrierbar
- ersetzen z. B. klassische Linsen, Prismen, Strahlteiler
- Einsatz für Strahlprofilformung, Korrektur von Abbildungsfehlern
- sehr hohe Transparenz (Phasenhologramme)
- dynamisches DOE (LC-Display, Mikrospiegelarray)

# Ein einfaches DOE-Beispiel

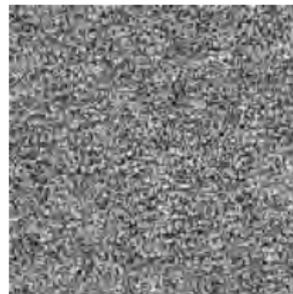
Vorsätze für Laserpointer, Beugung und Interferenz erzeugen reelles Bild im Fernfeld (Pfeil, Herz, ...)



Mikroskopische Aufnahme einer DOE-Struktur



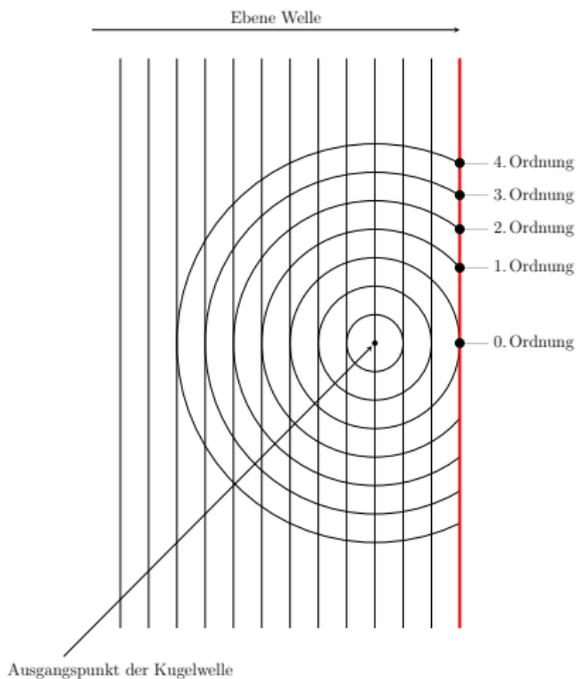
# Aus Logo berechnet



- binäres DOE wird aus sog. Primitiven berechnet
- Primitive sind Beugungsbilder von Strichen und Punkten

# Fresnelsche Zonenplatte

## Hologramm eines Punktes



## Binäre Zonenplatte



# Abbildung mit der Fresnelschen Zonenplatte

Bei konstruktiver Interferenz in einem Fokus gilt für die Radien der abwechselnd transparenten und absorbierenden Zonen:

$$r_n = \sqrt{n\lambda f} = \sqrt{n\lambda \frac{bg}{b+g}} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

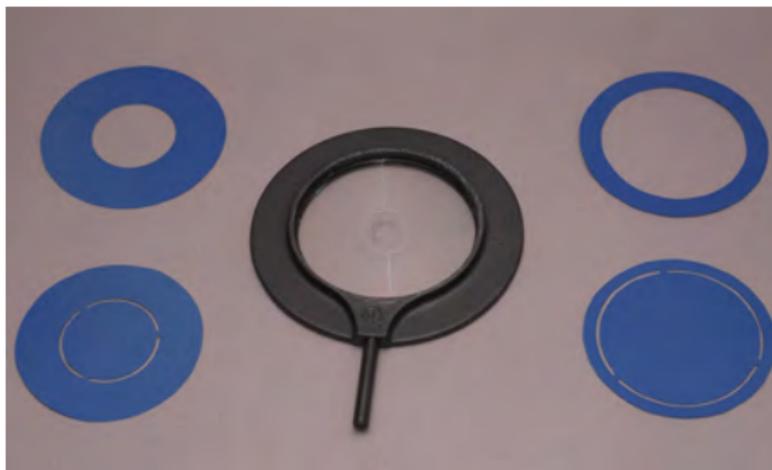
Brennweite  $f$  für die 1. Beugungsordnung, Gegenstandsweite  $g$  und Bildweite  $b$

(für  $g \gg b$  (ebene Wellenfront) wird  $b = f$ )

# Experiment

- Entfernung der Beschichtung einer CD
- transparente CD hat äquidistante Spuren
- Auswahl von schmalen äußeren Bereichen notwendig (kreisförmige Schlitzblenden, Schlitzbreite ca. 2 mm)
- näherungsweise Realisierung des Außenbereichs einer Fresnelschen Zonenplatte
- Erzeugung von Abbildungen
- Bestimmung der Brennweite der diffraktiven Linse (1. Ordnung) für unterschiedliche Wellenlängen nach der Linsenformel
- Berechnung Zonenzahl und Spurabstand der CD

# CD und Blenden

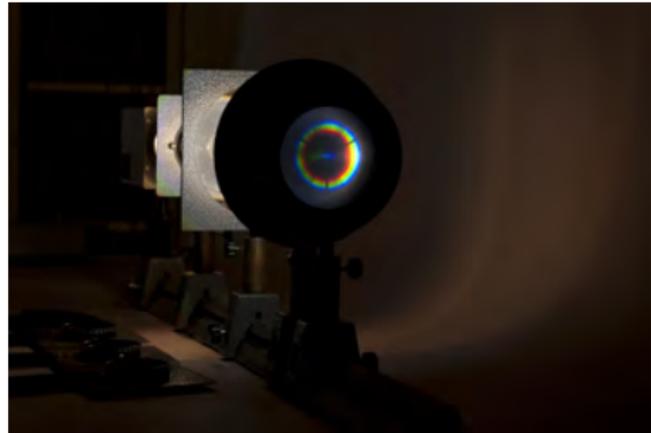


- Kreisförmige Schlitzblende mit Radius 30 bis 32 mm
- Kreisförmige Schlitzblende mit Radius 50 bis 52 mm
- Ringblende zur Unterdrückung der nullten Beugungsordnung

# Einfacher Aufbau

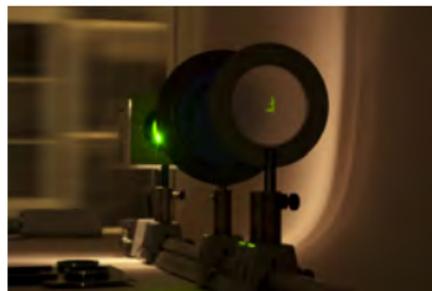
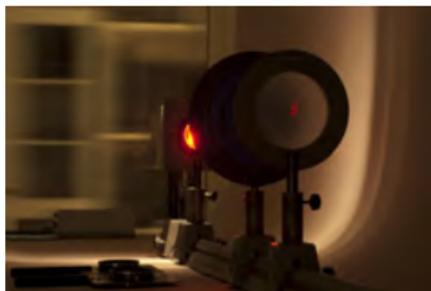


# Parallel einfallendes Licht



Mit der Ringblende werden andere Beugungsordnungen unterdrückt

# Optische Abbildung bei verschiedenen Wellenlängen



Scharfe Bilder ergeben sich jeweils bei verschiedenen Bildweiten

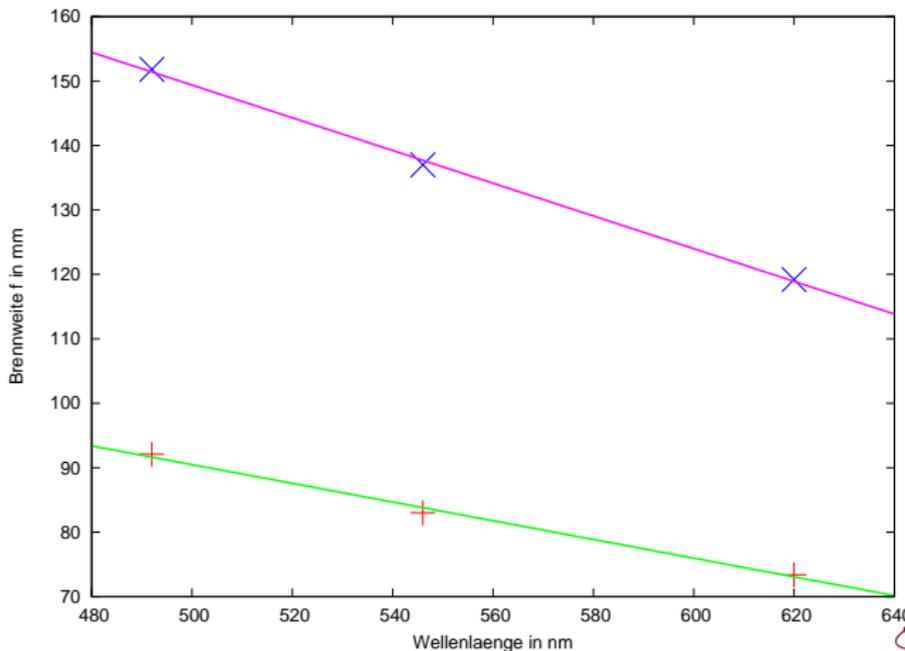
# Brennweitenbestimmung nach Linsengleichung

durchstrahlter Radius der CD $31 \pm 1 \text{ mm}$				$51 \pm 1 \text{ mm}$			
Wellenlänge / nm	492	546	620		492	546	620
Gegenstandsweite / mm	Bildweite / mm			Gegenstandsweite / mm	Bildweite / mm		
200	172	142	116	250	380	303	228
250	145	124	104	300	310	250	198
300	133	115	97	350	268	225	181
350	125	110	93	400	244	209	168
Brennweite							
Wellenlänge / nm	492	546	620		492	546	620
Gegenstandsweite / mm	Brennweite / mm			Gegenstandsweite / mm	Brennweite / mm		
200	92,5	83,0	73,4	250	150,8	137,0	119,2
250	91,8	82,9	73,4	300	152,5	136,4	119,3
300	92,1	83,1	73,3	350	151,8	137,0	119,3
350	92,1	83,7	73,5	400	151,6	137,3	118,3

# Grafische Auswertung

Ringblende 50-52 mm

Ringblende 30-32 mm



Berechnung der Zonenzahl  $n$  und des CD-Rillenabstands  $\Delta r$ 

$$r_n = \sqrt{n\lambda f} \quad (1. \text{ Ordnung})$$

Ringblende 30 bis 32 mm  
 $n = 21110 \pm 30$

Ringblende 50 bis 52 mm  
 $n = 35250 \pm 100$

Breite der schmalsten äußeren Zone

$$\Delta r = r_{n+1} - r_n$$

$dr_n = (1,46 \pm 0,01) \mu\text{m}$

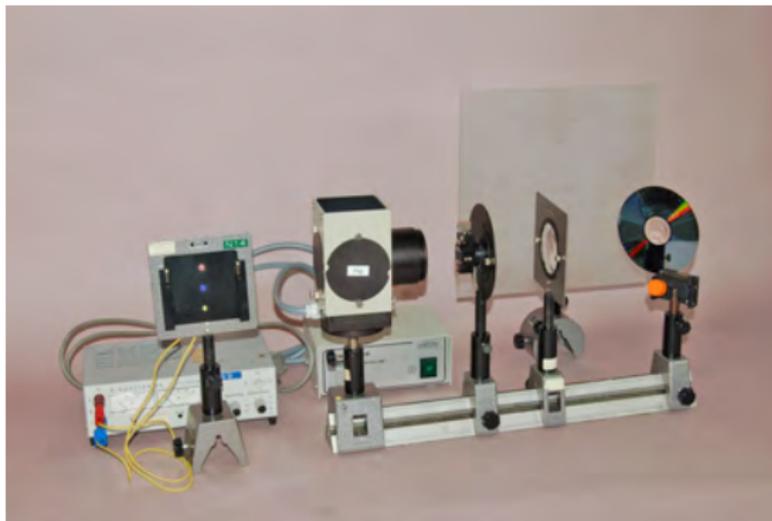
$dr_n = (1,46 \pm 0,02) \mu\text{m}$

# Gliederung

- 1 Diffraktive Optik mit CD
- 2 Gitterspektrometer mit CD
- 3 Bestimmung des Erdmagnetfelds
- 4 Reibung am Poller
- 5 Zusammenfassung

# Gitterspektrometer mit CD

- CD-Spektrometer – Bestimmung der Lumineszenzmaxima von drei Leuchtdioden



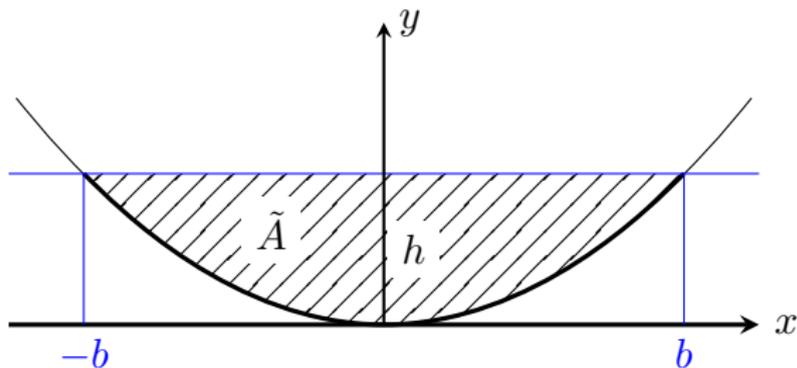
CD-Gitter in Reflexionsanordnung

# Gliederung

- 1 Diffraktive Optik mit CD
- 2 Gitterspektrometer mit CD
- 3 Bestimmung des Erdmagnetfelds**
- 4 Reibung am Poller
- 5 Zusammenfassung

## Bestimmung des Erdmagnetfelds

- Rotation eines 2 bis 3 m langes Kabels
- Aufnahme der induzierten Spannung mit CASSY ( $\mu\text{V}$ -Box)



$$f(x) = \frac{h}{b^2}x^2$$

$$\tilde{A} = \frac{4}{3}bh$$

- bei Rotation eingeschlossene Fläche  $A = 2\tilde{A}$

## Auswertung

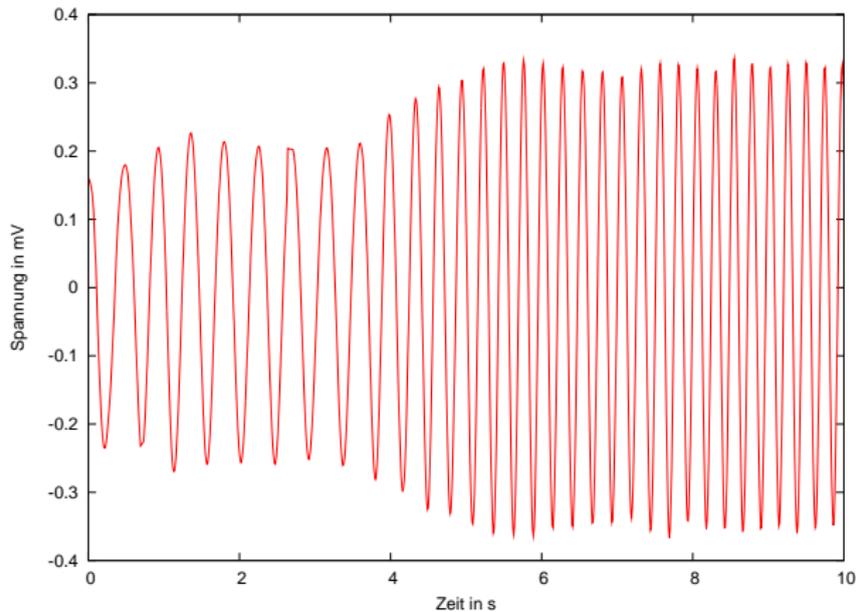
$$U_{\text{ind}} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \vec{B} \frac{d\vec{A}}{dt} = -NBA \frac{d}{dt} \cos \theta(t)$$

$$U_{\text{ind}} = NBA \omega \sin(\omega t) \quad ; \quad N = 1$$

$$U_{\text{ind}}^{\text{max}} = 2\pi fBA$$

- O-W-Richtung  $\rightarrow$  Gesamtfeldstärke ( $\approx 48 \mu\text{T}$ )
- N-S-Richtung  $\rightarrow$  Vertikalkomponente ( $\approx 44 \mu\text{T}$ )

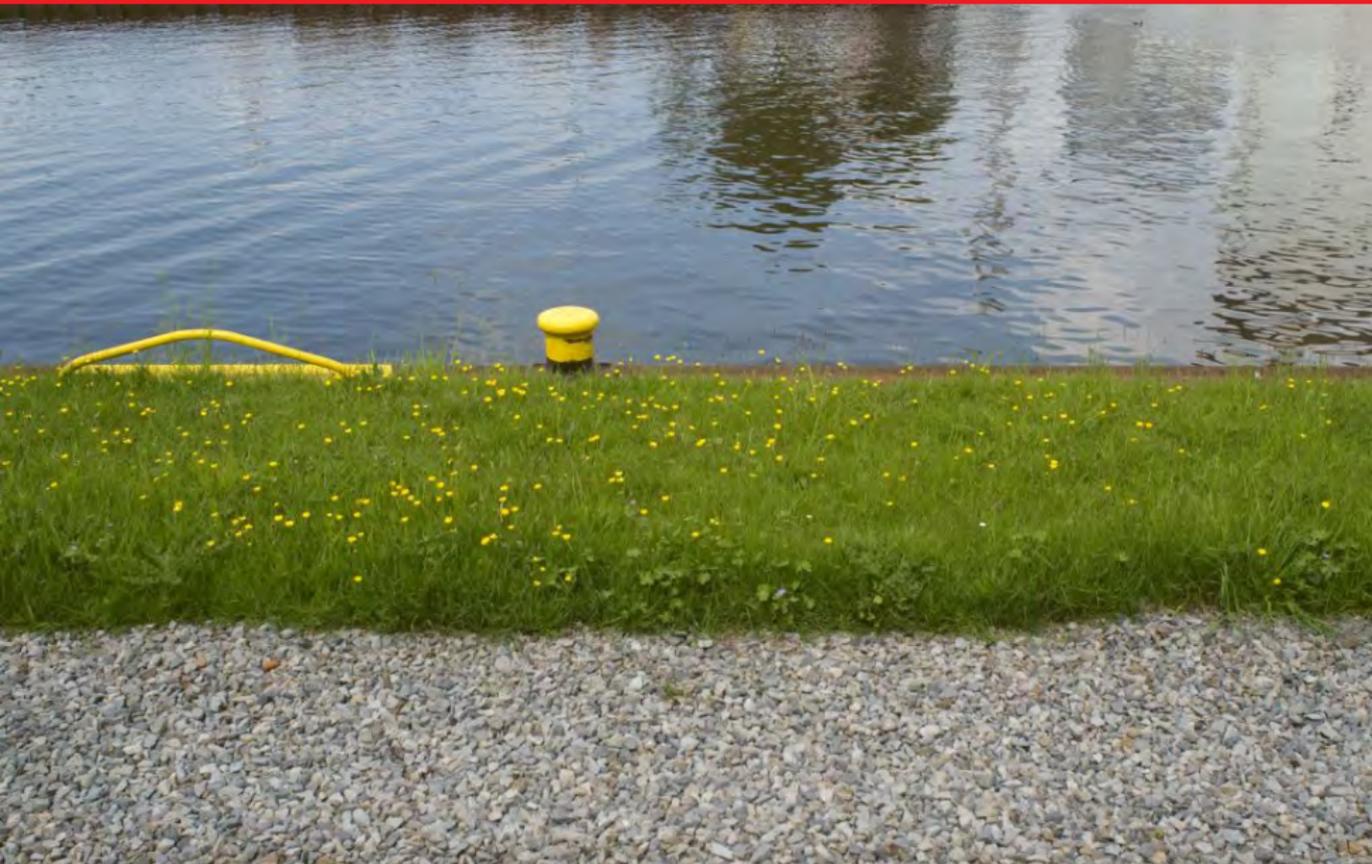
## Messkurve



# Gliederung

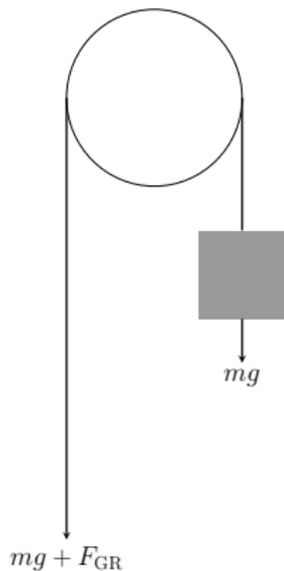
- 1 Diffraktive Optik mit CD
- 2 Gitterspektrometer mit CD
- 3 Bestimmung des Erdmagnetfelds
- 4 Reibung am Poller**
- 5 Zusammenfassung

# Ein Reibungsversuch in einer Hafenstadt

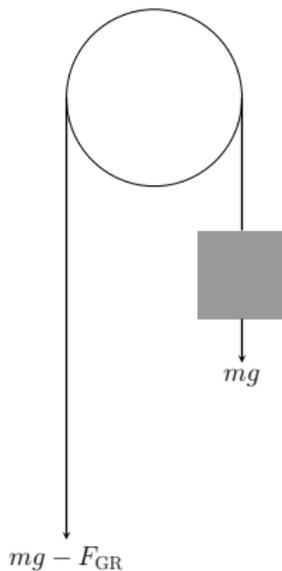


# Gleitreibung und Haftreibung

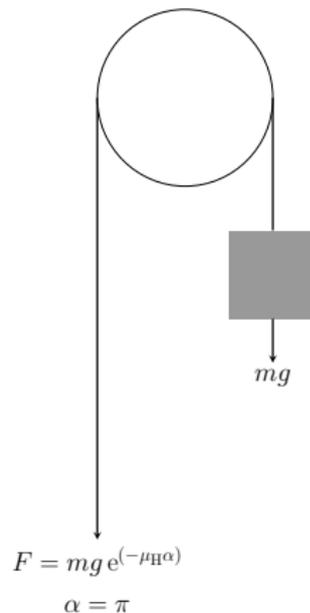
Hochziehen



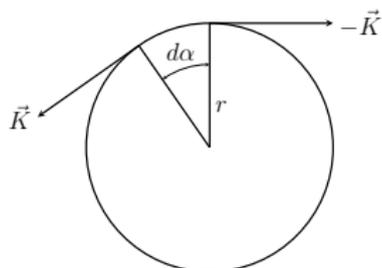
Herablassen



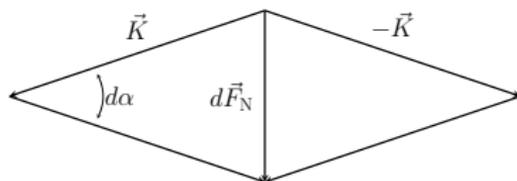
Festhalten



# Flächenabhängigkeit



$$d\alpha = \frac{1}{r} ds$$



$$dF_N = K d\alpha = \frac{K}{r} ds$$

Jeder Seilabschnitt auf dem Poller trägt einen Teil der Last

Integration über die Seilabschnitte

$$dK = -\mu_H dF_N = -\mu_H \frac{K}{r} ds$$

$$\int_{F_0}^F \frac{dK}{K} = -\frac{\mu_H}{r} \int_0^l ds = -\mu_H \frac{l}{r} = -\mu_H \alpha$$

$$F = mg e^{(-\mu_H \alpha)}$$

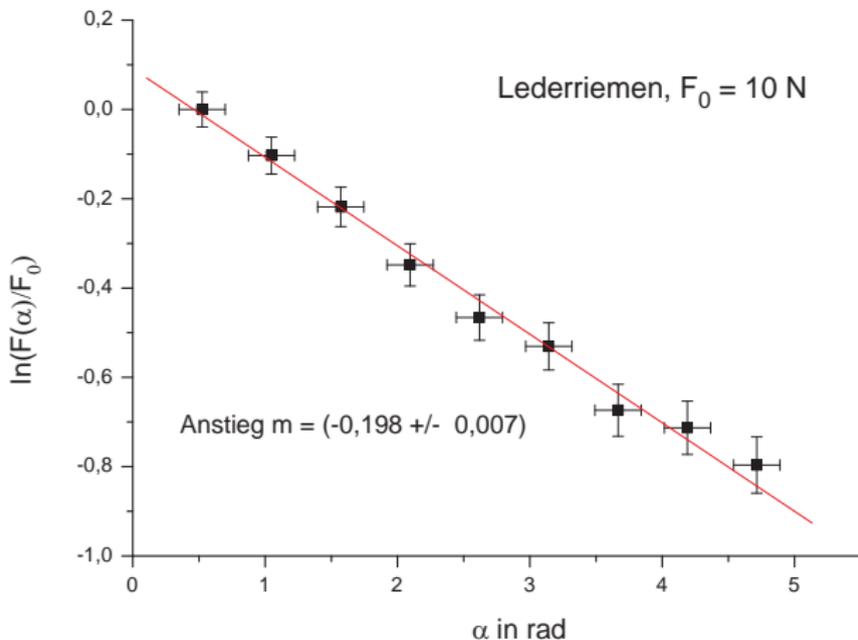
## Haftreibung am Poller



$$F = F_0 e^{-\mu_H \alpha}$$

Materialien:

- Hanfseil, Jalousieband, Ledergurt, Nylonseil
- Winkelvariation:  $30^\circ$  bis  $270^\circ$
- Linearisierte (logarithmische) Darstellung
- Ermittlung des Haftreibungskoeffizienten aus Anstieg

Ermittlung von  $\mu_H$  aus linearisierter Auftragung

# Gliederung

- 1 Diffraktive Optik mit CD
- 2 Gitterspektrometer mit CD
- 3 Bestimmung des Erdmagnetfelds
- 4 Reibung am Poller
- 5 Zusammenfassung**

# Zusammenfassung

- vier einfache Versuche
- mit „Hausmitteln“ und vorhandenem Material auch in der Schule realisierbar
- Nutzung auch im Praktikum als Ergänzungs- bzw. Prüfungsversuch

# Danksagung

An das Praktikumsteam:

Waltraud Hoffmann, Silke Glüge, Peter Kruse, Christoph Windzio

Und an die mechanische Werkstatt



Fotos, Grafiken und Präsentationslayout: Christoph Windzio