

# Polarisations- und phasenschiebende Interferometrie für die simultane Vermessung der Phasenfront und der Absorption / des Dichroismus eines Objekts

S. Rothau\*, X. Rao\*\*, N. Lindlein\*

\* Institut für Optik, Information und Photonik, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

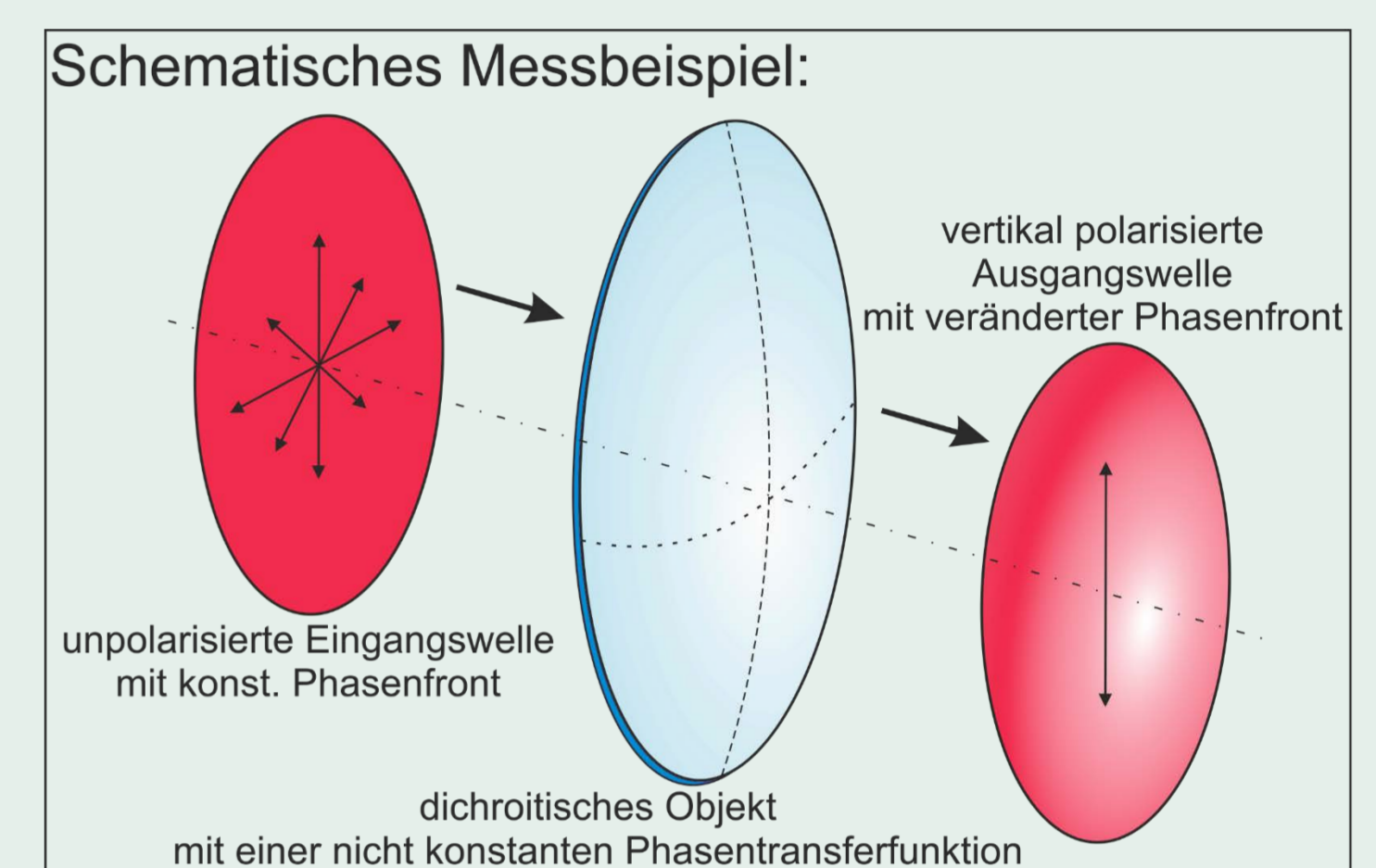
\*\* Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies

<https://www.optik.nat.fau.de/forschung/odem/>

**Motivation:** Entwicklung einer Messmethode zur simultanen und vollflächigen Vermessung der Phasentransferfunktion und der Absorption bzw. des Dichroismus eines Messobjekts.

**Idee:** Anpassung der neuartigen interferometrischen Methode der polarisations- und phasenschiebenden Interferometrie (PPSI) [1,2] an das gegebene Problem.

Die Messstrategie basiert auf der gleichzeitigen Variation der Phase und der Polarisation in der Referenzwelle und der Variation der Eingangspolarisation vor dem Objekt. Bei geeigneter Wahl der Variationsschritte lässt sich der lineare bzw. der zirkuläre Dichroismus zusammen mit der Phasentransferfunktion des Objekts in Durchlicht bestimmen.



## Theoretische Überlegungen

- Die Referenzwelle (1.) und die Eingangspolarisation (2.) vor dem Objekt sind durch die Jones-Vektoren angegeben
- Der lineare bzw. der zirkuläre Dichroismus des Objekts lässt sich durch die jeweilige Jones-Matrix (3.) bzw. (4.) beschreiben;
- Der Teilstrahl nach dem Objekt (5.) beinhaltet außerdem die Phasentransferfunktion  $\Phi$  des Objekts;
- Die detektierbare Intensität auf dem Detektor ist proportional zum Betragsquadrat der Summe der beiden Teilstrahlen (5.) und (1.)
- Die resultierende Intensitätsverteilung lässt sich als ein Skalarprodukt zweier Vektoren darstellen (6.)

$$\vec{J}_R = E_R(x, y) \begin{pmatrix} \cos \alpha' \\ \sin \alpha' e^{i\delta'} \end{pmatrix} e^{i\varphi} \quad (1.)$$

$$\vec{J}_{IN} = E_O(x, y) \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha e^{i\delta} \end{pmatrix} \quad (2.)$$

$$\vec{J}_O = \hat{J}_{P_r, P_l / P_r, P_l} \vec{J}_{IN} e^{i\Phi} \quad (5.)$$

$$\hat{J}_{P_r, P_l} = \begin{pmatrix} P_{||} \cos^2 \theta + P_{\perp} \sin^2 \theta & (P_{||} - P_{\perp}) \cos \theta \sin \theta \\ (P_{||} - P_{\perp}) \cos \theta \sin \theta & P_{||} \cos^2 \theta + P_{\perp} \sin^2 \theta \end{pmatrix} \quad (3.)$$

$$\hat{J}_{P_r, P_l} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} P_r + P_l & -i(P_r - P_l) \\ i(P_r - P_l) & P_r + P_l \end{pmatrix} \quad (4.)$$

$$I = |\vec{J}_O + \vec{J}_R|^2 = \dots = I_0(1 + V \cdot F_{int}) = \vec{X}^T \cdot \vec{Y} \quad (6.)$$

## Auswertung

- Auswertestrategie analog zu [3,4]  $\Rightarrow \hat{A} = \sum_i \vec{X}_i \cdot \vec{X}_i^T; \Rightarrow Y = \hat{A}^{-1} \sum_i \vec{X}_i \cdot I_i;$
- Wird der Vektor  $\vec{Y}$  nach der Messung ermittelt, können alle Unbekannten daraus extrahiert werden;
- Für die Ermittlung der richtungsabhängigen Transmissionskoeffizienten bedarf es einer zusätzlichen Leermessung ( $I_e / V_e / \Phi_e$ );
- Die gleiche Auswertestrategie gilt für den zirkulären Dichroismus;

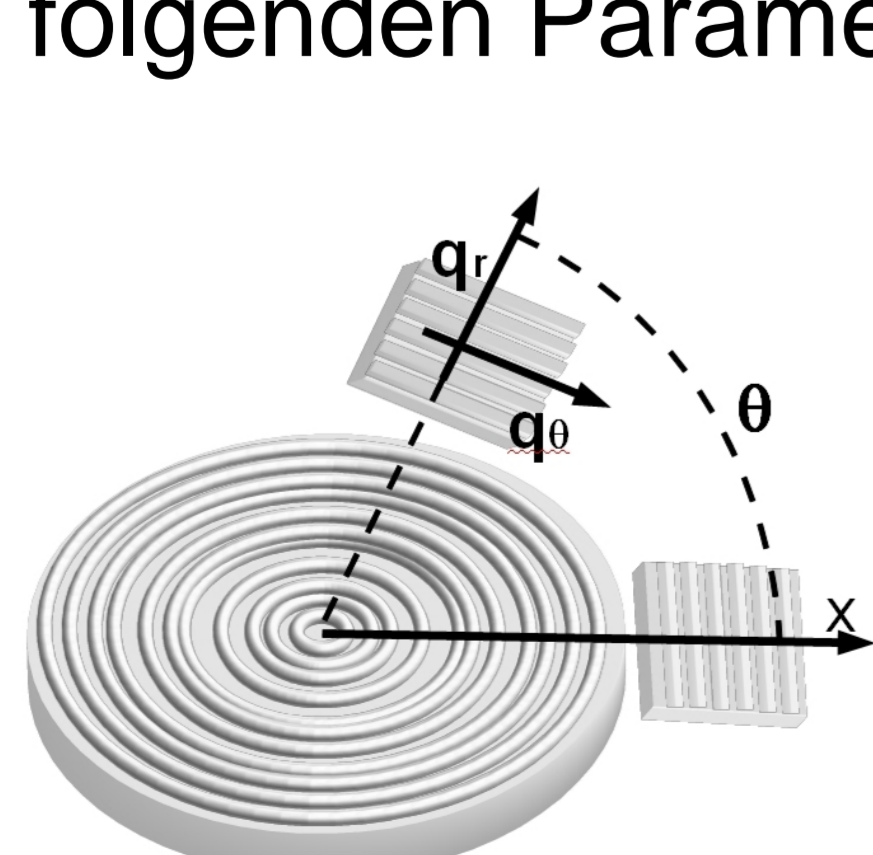
$$I_0 = Y_1; \quad \Phi = \arctan\left(\frac{Y_5}{Y_4}\right); \quad \theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{Y_3}{Y_2}\right); \quad V_{||\perp} = \frac{\sqrt{Y_4^2 + Y_5^2} \pm \sqrt{Y_6^2 + Y_7^2 + Y_8^2 + Y_9^2}}{2Y_1}; \quad P_{||\perp} = \frac{2V_{||\perp} I_0}{V^e I_0^e};$$

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} 1 \\ \cos(2\alpha) \\ \sin(2\alpha) \\ \cos \varphi \cos(\alpha - \alpha') \\ \sin \varphi \cos(\alpha - \alpha') \\ \cos \varphi \cos(\alpha + \alpha') \\ \sin \varphi \cos(\alpha + \alpha') \\ \cos \varphi \sin(\alpha + \alpha') \\ \sin \varphi \sin(\alpha + \alpha') \end{pmatrix}; \quad \vec{Y} = \begin{pmatrix} I_0 \\ 0.5(E_{||}^2 - E_{\perp}^2) \cos(2\theta) \\ 0.5(E_{||}^2 - E_{\perp}^2) \sin(2\theta) \\ E_R \cos \Phi (E_{||} + E_{\perp}) \\ E_R \sin \Phi (E_{||} + E_{\perp}) \\ E_R \cos \Phi \cos(2\theta) (E_{||} - E_{\perp}) \\ E_R \sin \Phi \cos(2\theta) (E_{||} - E_{\perp}) \\ E_R \cos \Phi \sin(2\theta) (E_{||} - E_{\perp}) \\ E_R \sin \Phi \sin(2\theta) (E_{||} - E_{\perp}) \end{pmatrix}$$

Beispiel eines möglichen Messablaufs mit insgesamt 9 Intensitätsaufnahmen: 3 Serien des Phasenschiebens  $\varphi \rightarrow (0^\circ/120^\circ/240^\circ)$  für drei Kombinationen der linear polarisierten Teilwellen mit Ausrichtungen: (Input/Ref.)  $\rightarrow (0^\circ/0^\circ), (60^\circ/60^\circ)$  und  $(120^\circ/120^\circ)$ ;

## Experimentelle Ergebnisse:

Messobjekt: radialer Polarisator aus nanostrukturierter Aluminiumschicht [5]. Die Strukturierung in der Metallschicht gleicht lokal einem Binärgitter mit folgenden Parametern:  $b=80\text{nm}; p=200\text{nm}; d=200\text{nm}; q=b/p=0.4$ ;



Das Element weist eine lokale Absorption parallel zu den Gitterstegen auf; die Ausrichtung ist ortsvariant und folgt dem Azimutwinkel;

