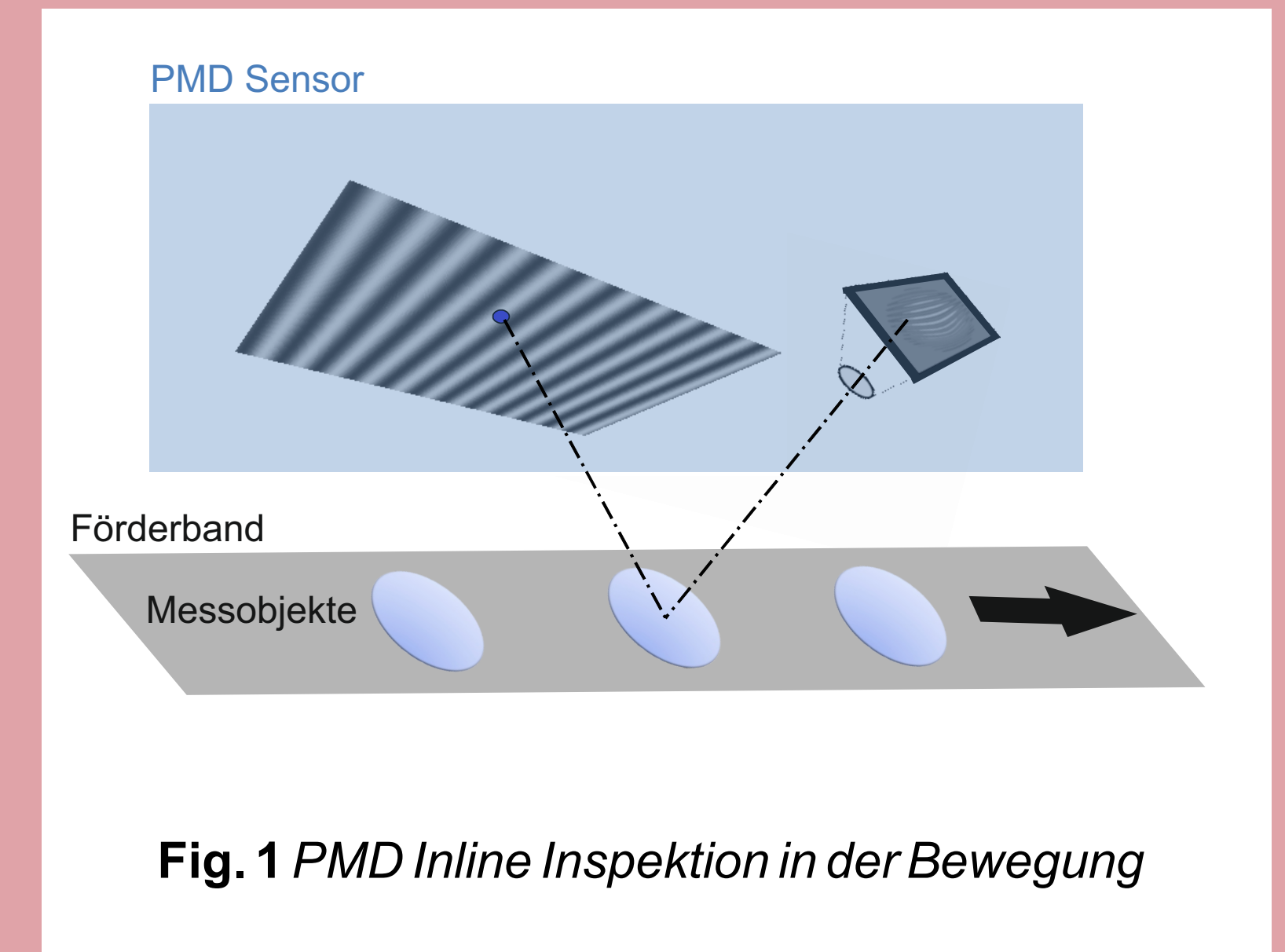


MOTIVATION

Phasenmessende Deflektometrie (PMD, [1]) ist ein etabliertes Verfahren zur Topographievermessung spiegelnder Oberflächen. Hierfür wird jedoch eine zeitliche Sequenz mehrerer Kameraaufnahmen benötigt. Für Messobjekte auf einem Förderband in Bewegung ist das Verfahren daher nicht geeignet. Single-Shot PMD (SSP, [2]) ist eine mögliche Lösung. Allerdings verringert sich dabei die Robustheit beim Phase-Unwrapping. In diesem Beitrag wird eine Möglichkeit aufgezeigt, die Robustheit der SSP zu erhöhen und diese dadurch auch für unkooperative Objekte einsetzbar zu machen.



MESSPRINZIP DER KLASSISCHEN PMD

Das Prinzip der PMD ist in Fig.1 aufgezeigt. Ein sinusförmiges Streifenmuster wird auf eine Mattscheibe projiziert. Das vom Objekt reflektierte verformte Muster wird von der Kamera aufgenommen. Für die Phasenauswertung wird ein geeignetes Phasenschiebungsverfahren in zwei Richtungen durchgeführt (Fig.2). Zur Beseitigung der Phasensprünge ("Unwrap") kann z.B. das Phasenschiebungsverfahren in einer anderen teilerfremden Streifenperiode wiederholt werden (Fig.3). Sowohl die Phasenauswertung als auch das Phase-Unwrapping erfolgen bei der klassischen PMD durch die zeitliche Bildsequenz.

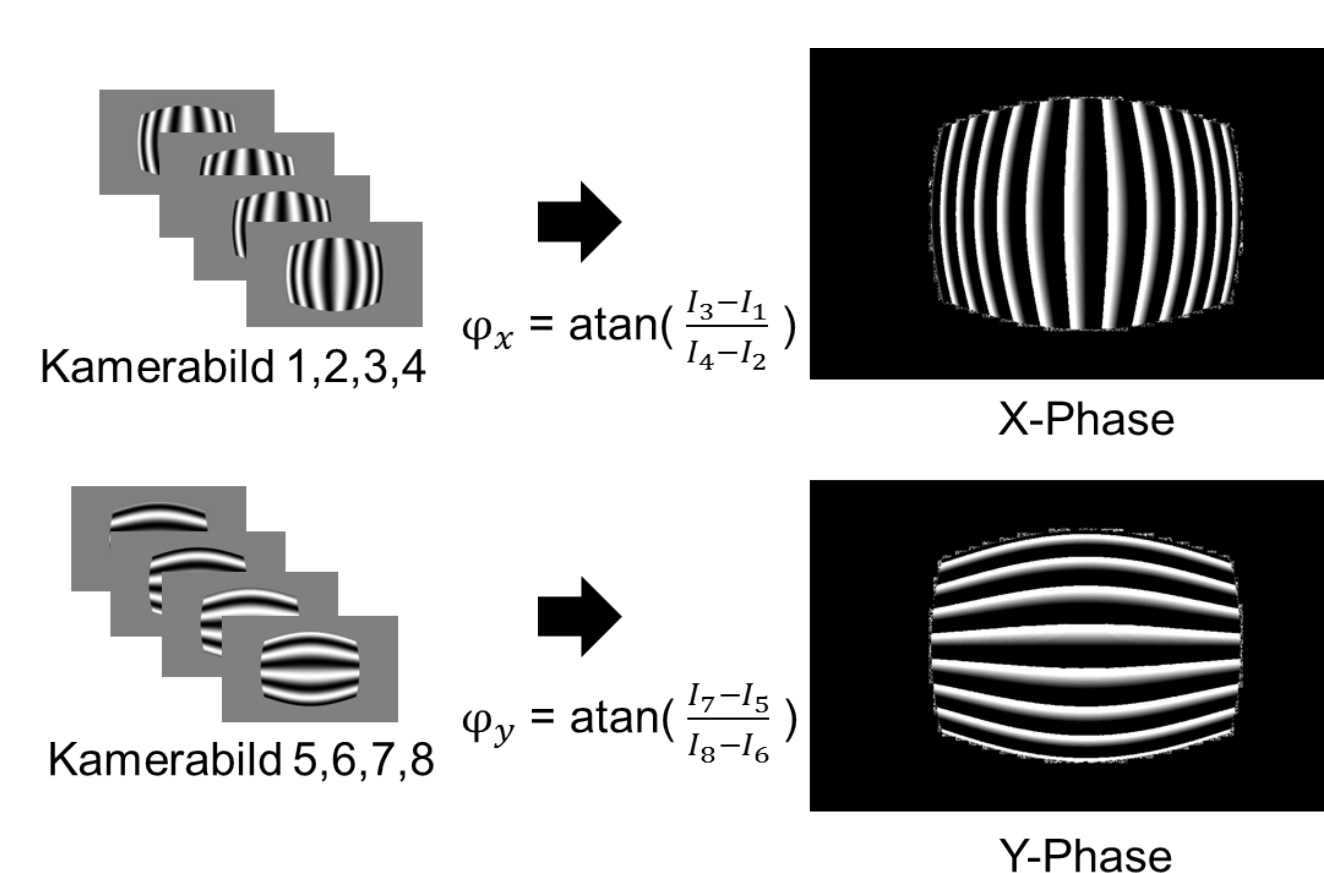


Fig. 2 Phasenauswertung bei PMD

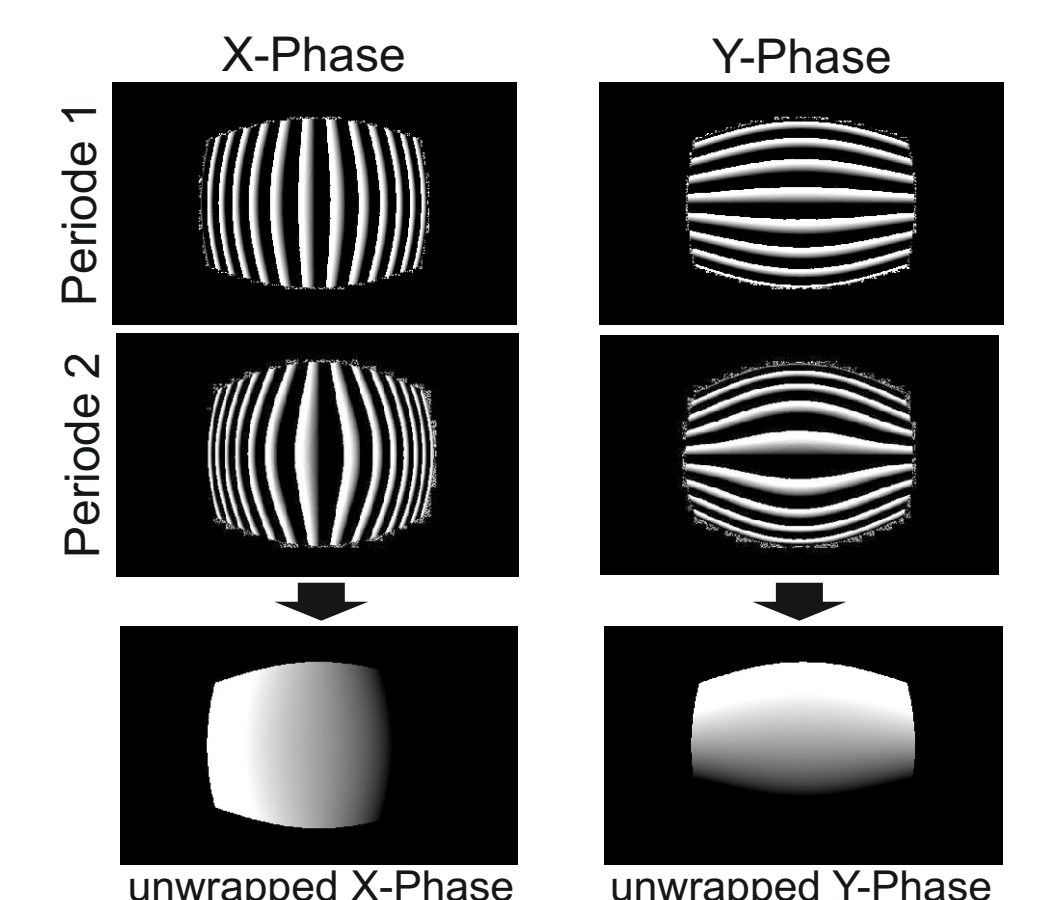


Fig. 3 Phase-Unwrapping bei PMD

SINGLE-SHOT PMD

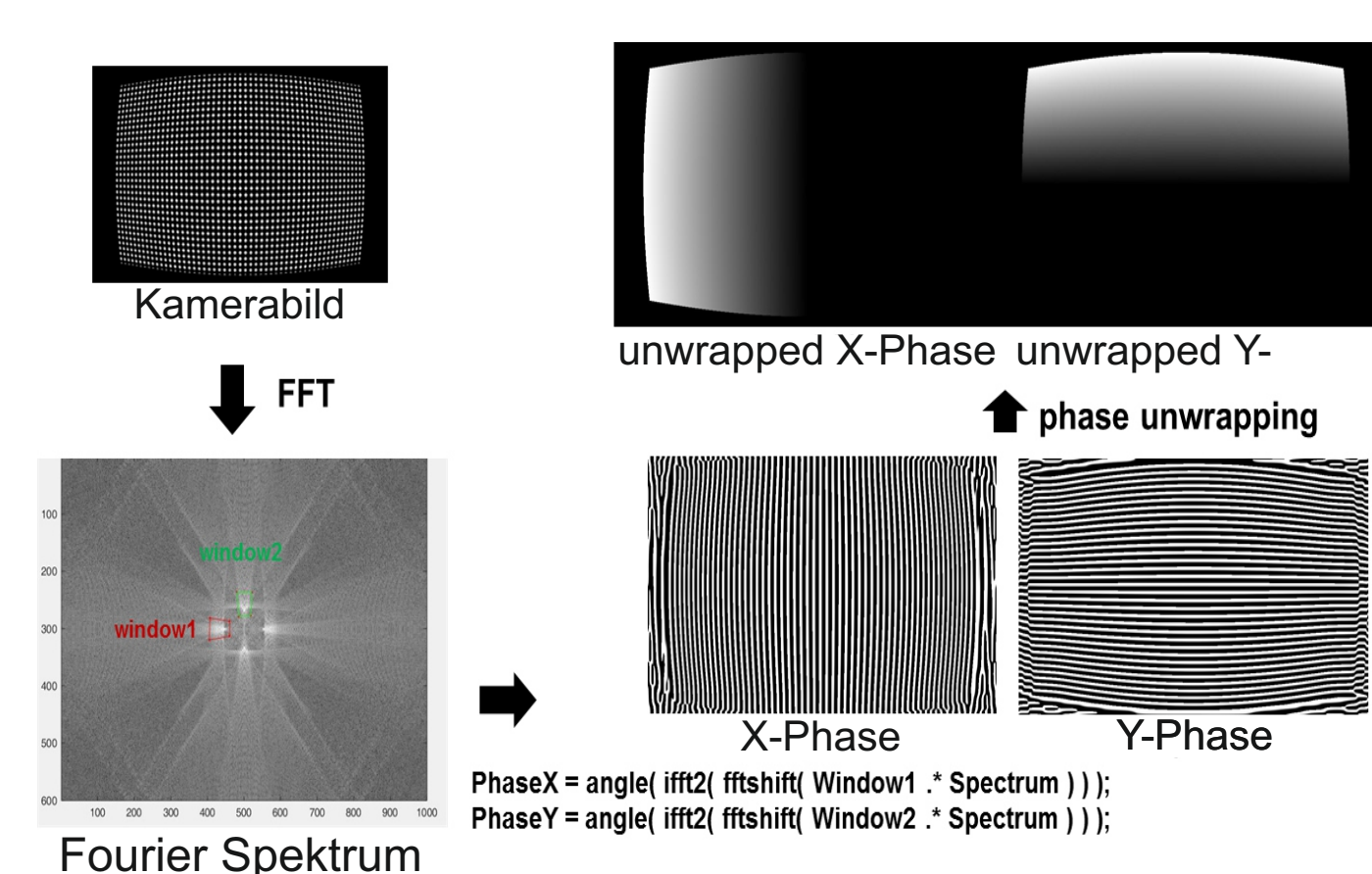


Fig. 4 Auswertungsprinzip der Single-Shot Deflektometrie

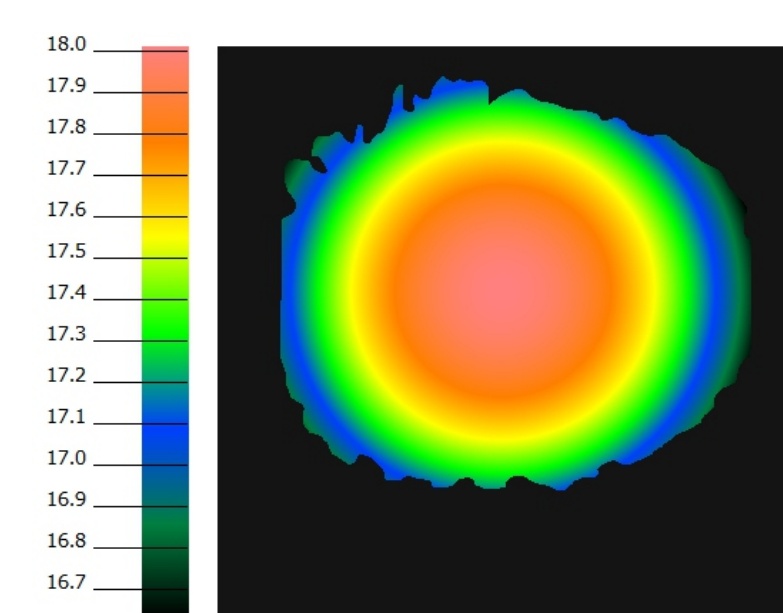


Fig. 5 Single-Shot Topographievermessung einer Hornhaut in vivo [3]

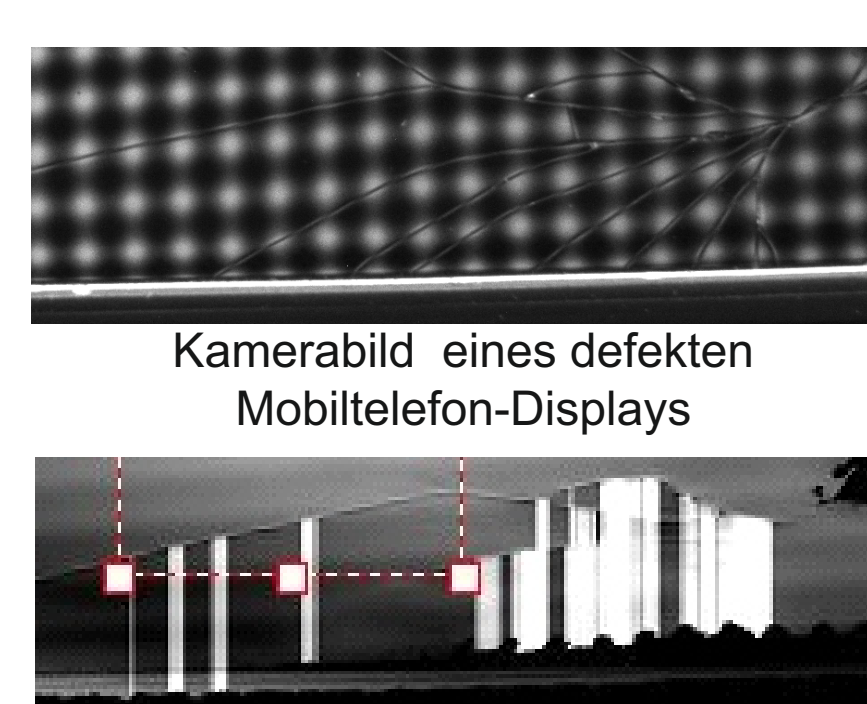


Fig. 6 Störeffekte beim SSD Phase-Unwrap an Diskontinuitäten

Es ist möglich, die Phasenverschiebung bei der deflektometrischen Messung zu vermeiden [2][3]: der Bildschirm wird mit einem Kreuzgittermuster in zwei Richtungen kodiert; die Phasen werden durch Einseitenbanddemodulation (SSD) im Fourierraum (Fig. 4) ausgewertet.

Das Phase-Unwrapping erfolgt durch die laterale Prüfung der Phasendifferenz zwischen benachbarten Pixeln. Nach jedem Phasensprung wird die Periodenordnung entsprechend angepasst.

Single-Shot PMD wurde bei der Vermessung der menschlichen Cornea in vivo (Fig.5, [3]) mit hoher Messgenauigkeit erfolgreich implementiert. Das Verfahren eignet sich gut zur Vermessung glatter Oberfläche ohne Diskontinuitäten. Beim Phase-Unwrap eines Objekts mit Kanten und Sprüngen ergeben sich jedoch starke Artefakte. Ein Phase-Unwrap rein auf der Basis von Kontextinformationen (ohne zweite Periode oder Gray-Code) ist nicht robust und somit für den industriellen Einsatz ungeeignet.

DUALES MUSTER FÜR SINGLE-SHOT PMD

Um eine robuste Single-Shot Phasenauswertung durchzuführen, wird ein duales Muster vorgeschlagen [4]. Dieses besteht aus einer additiven Überlagerung eines sinusförmigen Kreuzgittermusters für die Single-Shot Phasenauswertung (periodisch) mit einem Zufallsmuster für die globale Zuordnung (Phaseunwrapping). X-Phase, Y-Phase und der Zufallshintergrund werden im Fourierraum getrennt. Die globale Zuordnung erfolgt durch Template Matching der Struktur des Zufallsmusters.

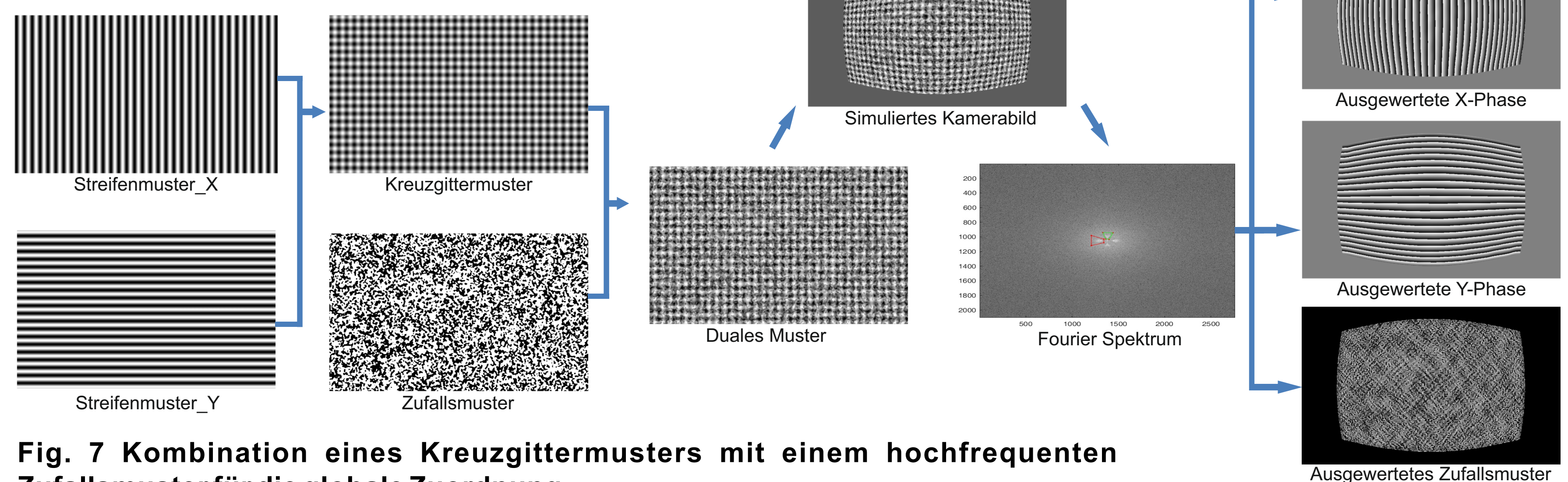


Fig. 7 Kombination eines Kreuzgittermusters mit einem hochfrequenten Zufallsmuster für die globale Zuordnung.

ZUSAMMENFASSUNG

Mittels Kreuzgittermuster und Einseitenbanddemodulation ist es möglich, spielende Oberflächen mit einer einzelnen Aufnahme deflektometrisch während der Bewegung zu vermessen. Ohne Zusatzinformation (weitere Phasenauswertung / Graycode) ist das Phase-Unwrapping jedoch bei unkooperativen Objekten nicht stabil. Mit einem dualen Muster kann die Robustheit für eine Inline-Inspektion deutlich erhöht werden.

[1] G. Häusler, "Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung der Form oder Abbildungseigenschaften von spiegelnden oder transparenten Objekten", Patent DE 19944354, 1999
 [2] Y. Liu, E. Olesch, Z. Yang and G. Häusler, "Fast and accurate deflectometry with crossed fringes", Adv. Opt. Techn. 3 (4), 2014, 441-445
 [3] H. Liang, E. Olesch, Z. Yang, G. Häusle, "Single-Shot Phase Measuring Deflectometry for Cornea Measurement". Adv. Opt. Techn. 5(5-6), 2016, S.433-438
 [4] W. Lohry, V. Chen and S. Zhang, "Absolute three-dimensional shape measurement using coded fringe patterns without phase unwrapping or projector calibration", Opt. Express 22, 2014, 1287-1301