

# Neuartiges System für die Fundusdiagnostik unter Anwendung von Mikrodisplays

Dietmar Link\*, Bernd-Ulrich Seifert\*\*, Walthard Vilser\*\*

\**Institut für Biomedizinische Technik und Informatik, Technische Universität Ilmenau*

\*\**Imedos GmbH, Jena*

<mailto:dietmar.link@tu-ilmenau.de>

Im vorliegenden Beitrag wird ein neuer Ansatz für ein adaptives Gerät für die Augendiagnostik vorgestellt. Dabei wird mittels räumlicher Lichtmodulatoren ein programmierbarer Strahlengang realisiert. Als konkrete Beispielanwendung werden neue Möglichkeiten und Verbesserungen für die retinale Mikrozirkulationsdiagnostik aufgezeigt.

## 1 Einführung

Hinter dem neuartigen System steht die Motivation, unterschiedliche Mess- und Untersuchungsmethoden am Auge, vorrangig am hinteren Augenabschnitt (Fundus), gleichzeitig bzw. quasi-parallel mit ein und demselben ophthalmologischen Gerät durchzuführen. Beispielhaft sind folgende Verfahren kombinierbar: Bestimmung der Sehschärfe, Messung der Bulbuslänge, Untersuchung von Refraktions- und Streueigenschaften der Augenmedien, Applikation komplexer Untersuchungsparadigmen aus den Bereichen der Mikrozirkulations- und Elektrodiagnostik.

Als technologische Schlüsselkomponenten sollen räumliche Lichtmodulatoren, so genannte SLMs (Spatial Light Modulator), eingesetzt werden. Diese ermöglichen die Realisierung eines flexiblen programmierbaren Strahlengangs.

Im vorliegenden Beitrag wird anhand der retinalen Gefäßanalyse eine konkrete Lösung obigen Ansatzes als Experimentalaufbau vorgestellt. Für die Funktionsweise ist wesentlich, dass zwei anatomische Ebenen im Auge grundsätzlich unabhängig voneinander spatio-temporal intensitätsmoduliert werden können. Zur Veranschaulichung wird ein Simulationsbeispiel mit ZEMAX gegeben.

## 2 Materialien und Methoden

Bei der Fundusabbildung ist die Vermeidung von Lichtreflexen essentiell. Darunter fallen sowohl Reflexe, die direkt am Auge, primär an der Kornea, aber auch an jeder einzelnen Komponente im optischen System auftreten. Hier ist vor allem die Ophthalmoskoplinsen zu nennen. In einer Funduskamera als etabliertes Diagnosegerät sind diese Probleme gelöst, weshalb ein derartiges System zunächst als Basis eingesetzt wird. Eine Funduskamera besteht im Wesentlichen aus den beiden Strahlengängen zur Beleuchtung und zur Beobachtung. Ein Lochspiegel im System stellt die Schnittstelle beider dar. Im Bereich des vorderen Augenabschnitts, insbesondere der Kornea, findet

eine geometrische Trennung der Strahlengänge statt. Die Lösung ist eine ringförmige Beleuchtung mit der Beobachtung des Fundus durch den inneren Bereich des Rings.

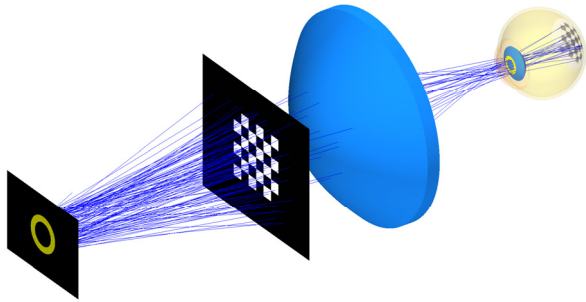
Im Bereich der okulären Mikrozirkulationsdiagnostik als nicht-invasive Untersuchungsmethode ist vor allem die dynamische Gefäßanalyse von Bedeutung. Dabei ist in hohem Maße das zeitliche Verhalten von Gefäßdurchmessern von Interesse. Je nach medizinischer / pathologischer Fragestellung kommen verschiedene Stimulationsmethoden zum Einsatz. Entsprechend werden unterschiedliche Regelmechanismen angesprochen deren Wirkung auf den Gefäßdurchmesser beobachtet werden kann.

Bei der Fundusdiagnostik im Allgemeinen und der retinalen Gefäßanalyse im Speziellen sind in praxi eine Reihe von Randbedingungen gegeben, die mit Standardgeräten nur teilweise oder überhaupt nicht zu lösen sind. Der Grund hierfür ist die starre Anordnung des optischen Systems insbesondere der Blenden für die Beleuchtungsstruktur in der anatomischen Pupillenebene und die Feldbegrenzung am Fundus. Der programmierbare Strahlengang bietet diesbezüglich eine adaptive Lösung, so dass, beispielhaft aufgeführt, folgende Bedingungen handhabbar werden:

1. Mess- und Stimulationsparameter (primär am Fundus wirkend): Position, Größe, Form, Modus (Voll-, Teilfeld), Kontrast, Wellenlängenspektrum
2. Beleuchtungsanpassung (primär Vorderauge): Pupillengröße, Katarakt, Lid, Wimpern

Im hier vorgestellten Experimentalaufbau dient eine Funduskamera (Visucam lite, Carl Zeiss Meditec AG) als optische Basis. Die notwendigen physikalischen Ebenen wurden zugänglich gemacht. Für die Pupillenmodulation (anatomische Pupille) wurde ein DMD (Digital Micromirror Device) als SLM eingesetzt. Konjugiert zur Fundusebene ersetzt ein transmissives LCD die ursprünglich starre Blende. Die Bilderfassung im Beobachtungsstrahlengang erfolgt mit einer CCD-Kamera Kappa CF 8/4.

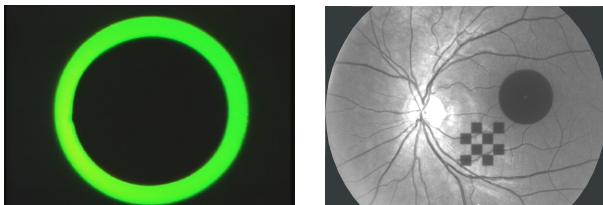
Für theoretische Betrachtungen, die Dimensionierung und zur Veranschaulichung prinzipieller Parametervariationen wird ZEMAX benutzt. In der reduzierten Anordnung (Abb. 1) sind beide SLMs als Ebenen dargestellt. Als Ophthalmoskoplinsen agiert eine optimierte asphärische Linse. Das Auge wurde als unakkommodiertes Gullstrandsches Normalauge berücksichtigt.



**Abb. 1** Simulationssetup zur Zwei-Ebenen-Modulation in ZEMAX mit Ringbeleuchtung und retinalem Schachbrett

### 3 Ergebnisse

Für den experimentellen Aufbau kann die simulierte Zwei-Ebenen-Modulation ebenfalls nachgewiesen werden. Abb. 2 zeigt links eine ringförmige Pupillenbeleuchtung (CCD-Kamera: Hitachi HV-C20 im grüngefilterten Beleuchtungslicht). Rechts ist eine In-vivo-Aufnahme eines Fundus mit Schachbrett und unbeleuchteter Makula zu sehen (CCD-Kamera: Kappa CF 8/4).



**Abb. 2** Statische Muster der Zwei-Ebenen-Modulation: Pupille (links) und In-vivo-Fundus (rechts)

Im Folgenden wird ein Beispiel zum Zusammenwirken der beiden anatomischen Ebenen Pupille und Fundus erläutert. Linsentrübungen (Katarakte) stellen bei der Augenuntersuchung ein Problem dar. Als Effekt zeigt sich ein kontrastvermindertes Fundusbild, verursacht durch induziertes Streulicht. Für präzise Messaufgaben wie der Gefäßdurchmesserbestimmung können nach Überschreiten definierter Grenzwerte derartige Aufnahmen nicht mehr verwendet werden. Mittels programmierbarem Strahlengang sind lokal ausgeprägte Trübungen (Idealfall) als Streuzentren auszusparen. Veranschaulicht ist dies in Tab. 1. Simuliert ist eine lokale Katarakt in der oberen Linsenhälfte. Die Streuwirkung der Katarakt ist mittels *bulk scattering* in ZEMAX nachgebildet. In Zeile eins sind die Ergebnisse für eine konventionelle Beleuchtung dargestellt. Neben der Beleuchtung

mit einer Ringstruktur ist das Fundusmuster links ohne und rechts mit Katarakt zu sehen. Zeile zwei zeigt den Fall, dass der obere Bereich der Linse nicht beleuchtet wird. Im Ergebnis entsteht ein Fundusmuster etwa halbiertes Intensität. Zeile drei zeigt bei Intensitätsverdopplung eine ähnlich scharfe Musterkontur wie im kataraktfreien Fall.

	Fundusebene		Pupillenebene
	ohne Katarakt	mit Katarakt	
Konventionell			
Kompensation1			
Kompensation2			

**Tab. 1** Kataraktsimulation bei konventioneller Beleuchtung und mit programmierbarem Strahlengang

### 4 Diskussion

Für den experimentellen Aufbau kann die zuvor simulierte adaptive Zwei-Ebenen-Modulation ebenfalls gezeigt werden. Die Implementation räumlicher Lichtmodulatoren weist in ersten In-vivo-Ergebnissen die reale Applikationsfähigkeit nach. Zunächst beschränken sich die Tests auf den statischen Fall mit fixen Strukturen und Mustern. Dabei wird auf die reflexfreie Architektur einer Standardfunduskamera zurückgegriffen. Allerdings sind dabei die System internen Randbedingungen zu berücksichtigen. Besonders gilt dies für den Fall asymmetrischer Lichtverteilungen senkrecht zur optischen Achse. Für derartige Fälle werden die speziellen Antireflexionsmaßnahmen außer Kraft gesetzt. Für den simulierten Kataraktfall ist dies allerdings nicht berücksichtigt. Die negativen Effekte zeigen sich erst im Beobachtungsstrahlengang, der hier nicht dargestellt ist. Für ein neues System ist dies zu berücksichtigen bzw. zu kompensieren. Ferner ist für die Kataraktsimulation ein biologischer Bezug anhand publizierter Modelle herzustellen, wobei letztendlich ein In-vivo-Vergleich der Ergebnisse stattfinden sollte. Es gilt festzuhalten, dass mit dem präsentierten Applikationsbeispiel weitere Möglichkeiten gezeigt werden, das Auge als diagnostisches Fenster zu nutzen um etablierte Diagnoseverfahren zu verbessern und neue Parameter und Zusammenhänge im medizinisch-wissenschaftlichen Umfeld zu untersuchen.

### 5 Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen des BMBF geförderten InnoProfile-Projekts MIntEye (03IP605).