

Holografischer Hyperspektraldetektor – Vergleich von Simulation und Experiment



Elisa Köthe^{1,2}, Petr Vojtíšek¹, Stefan Sinzinger²

¹ ZEISS Microoptics, Carl Zeiss Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena

² Fachgebiet Technische Optik, Technische Universität Ilmenau, Ehrenbergstraße 29, 98693 Ilmenau

1. Motivation

Hyperspektrale Bildgebung:

- bildaufgelöste Spektralanalyse
- wichtiges Werkzeug in der Landwirtschaft, Medizin, Lebensmitteltechnik uvm.
- meist voluminöse und hochpreisige Systeme

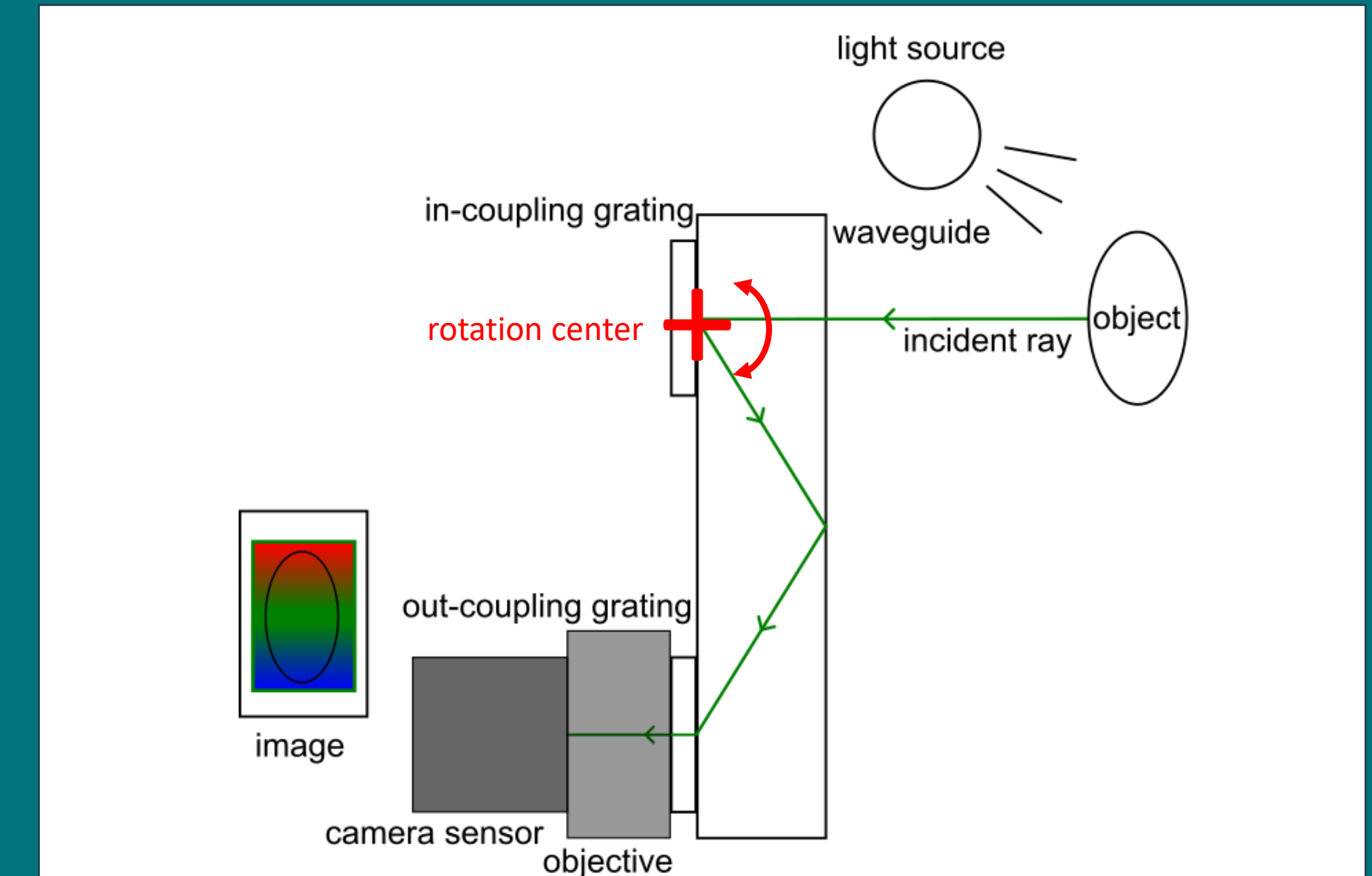
Ziel:

- kompakter, kostengünstiger Hyperspektraldetektor
- Nutzung von holografischen optischen Elementen (HOEs)
- dünnes, transparentes System, z.B. als Add-on für Standardkameras

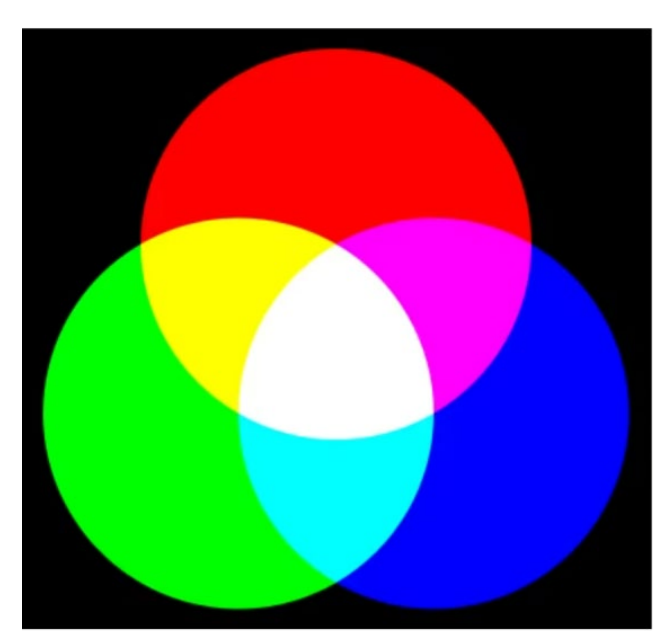
Kernidee:

- Glassubstrat als Wellenleiter
- Lichtein- und -auskopplung mittels HOEs
- Ausnutzung der Winkel-/Wellenlängen-selektivität der HOEs
- Räumlich-spektrales Scannen → hyperspektraler Datenwürfel

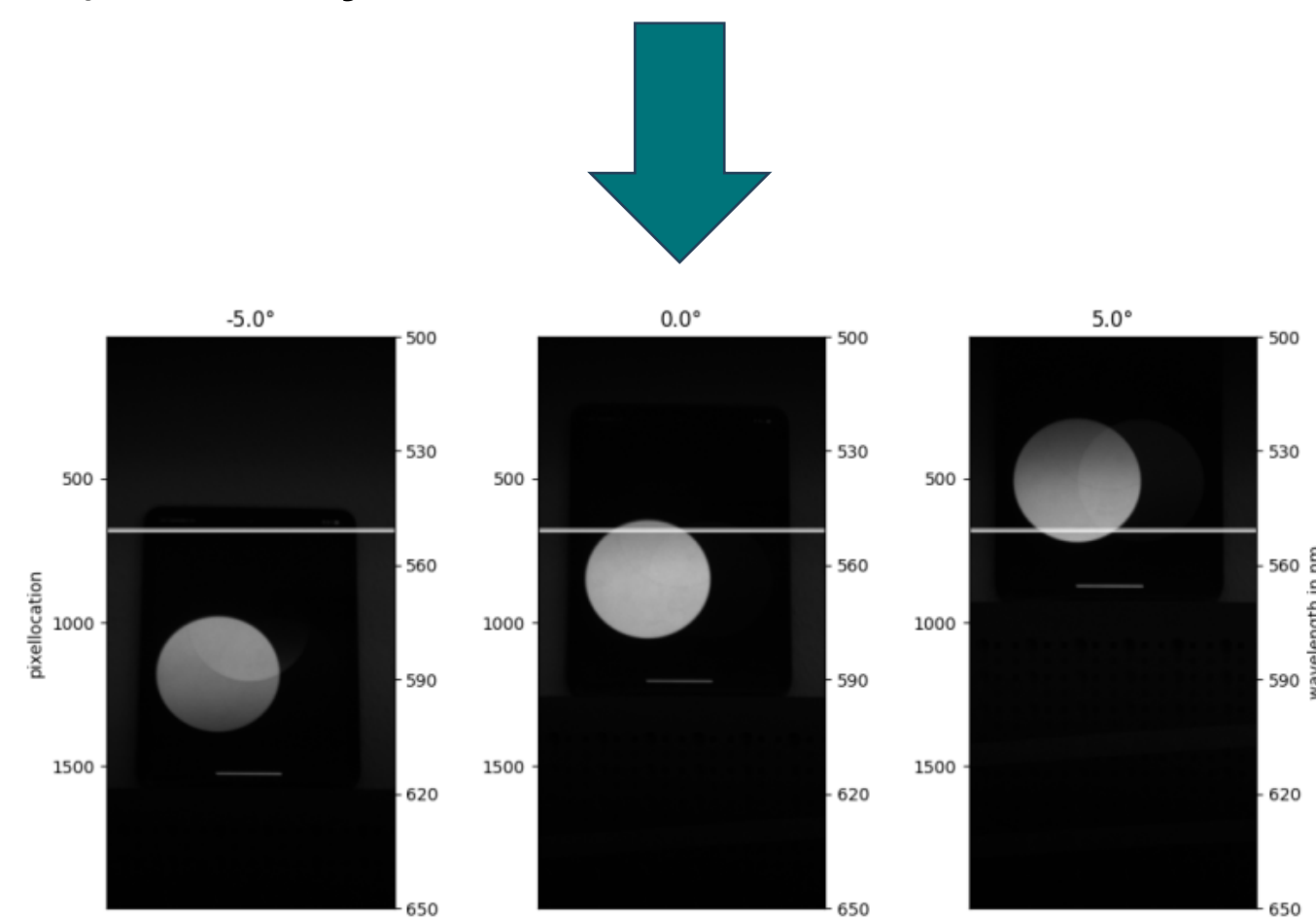
System Skizze



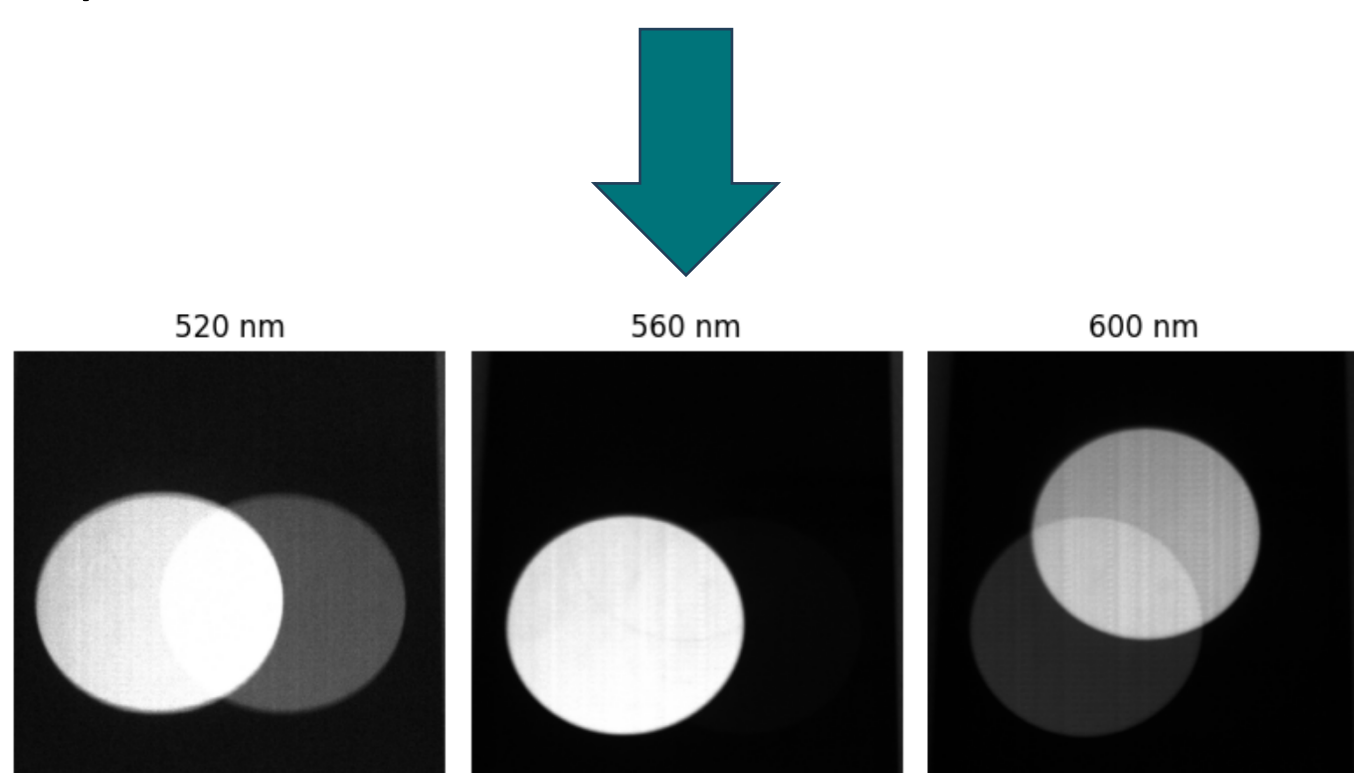
Vom Testobjekt über Datenaufnahme zum Spektrogramm



A) Testobjekt RGB-Kreise



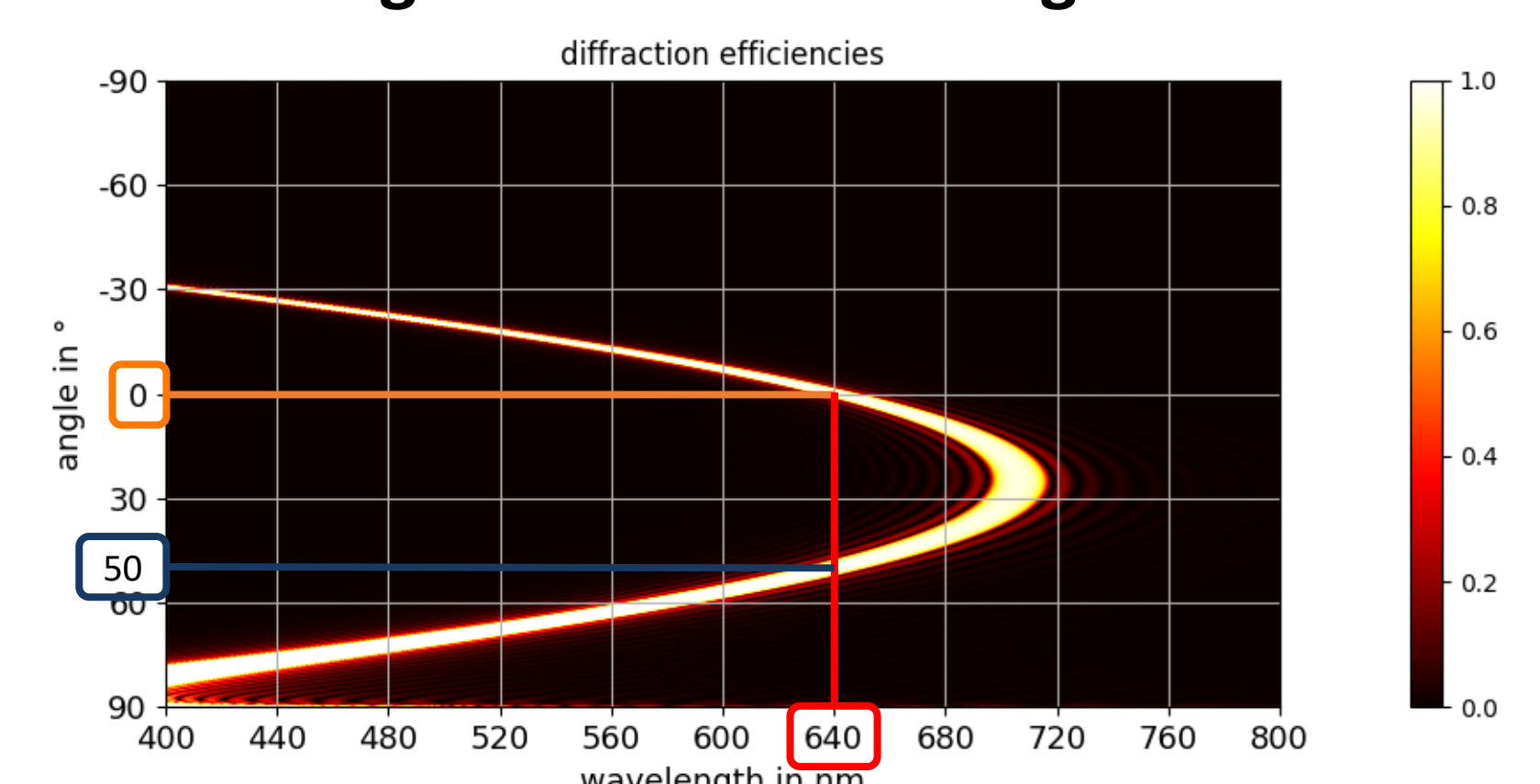
B) Rohdatenbilder versch. Sichtwinkel



C) Errechnete monochrome Bilder

2. Methoden und experimentelle Umsetzung

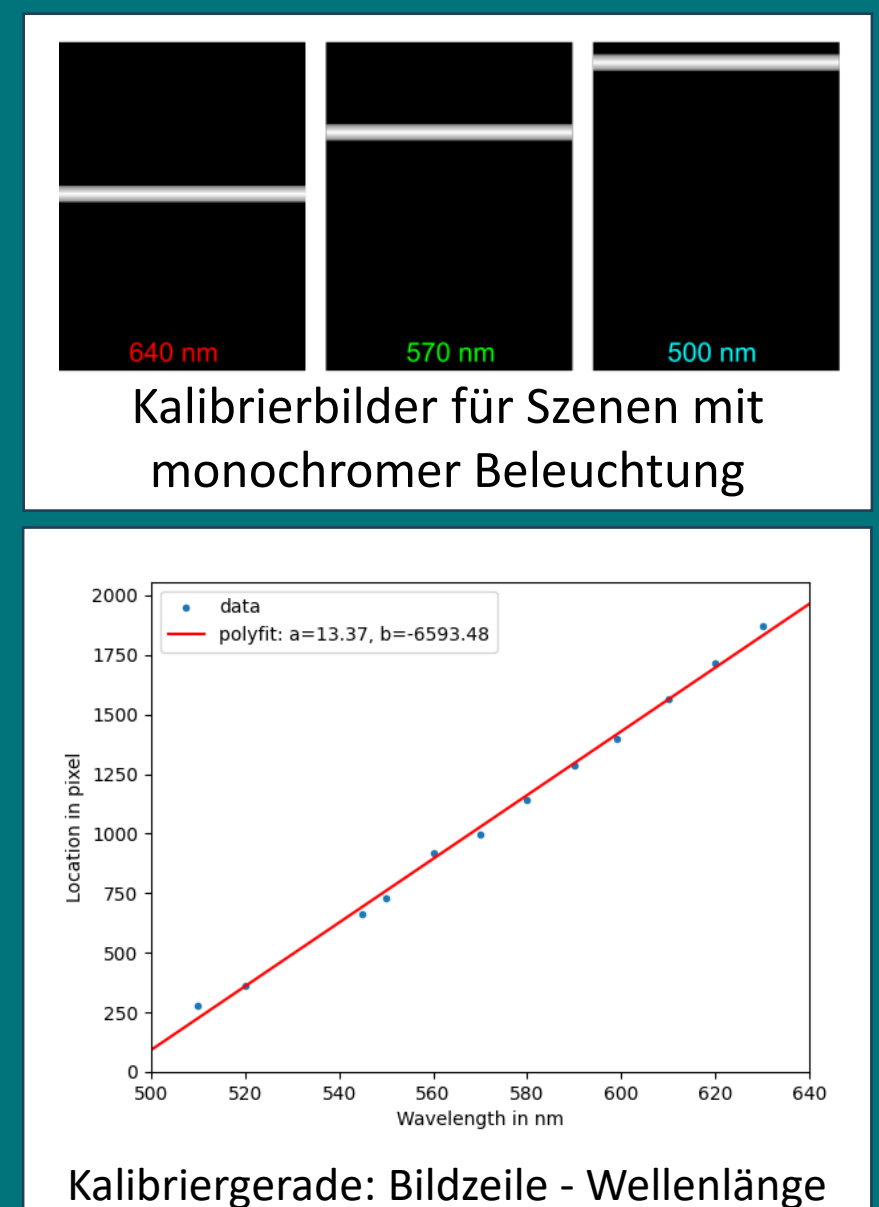
Design der Volumenhologramme



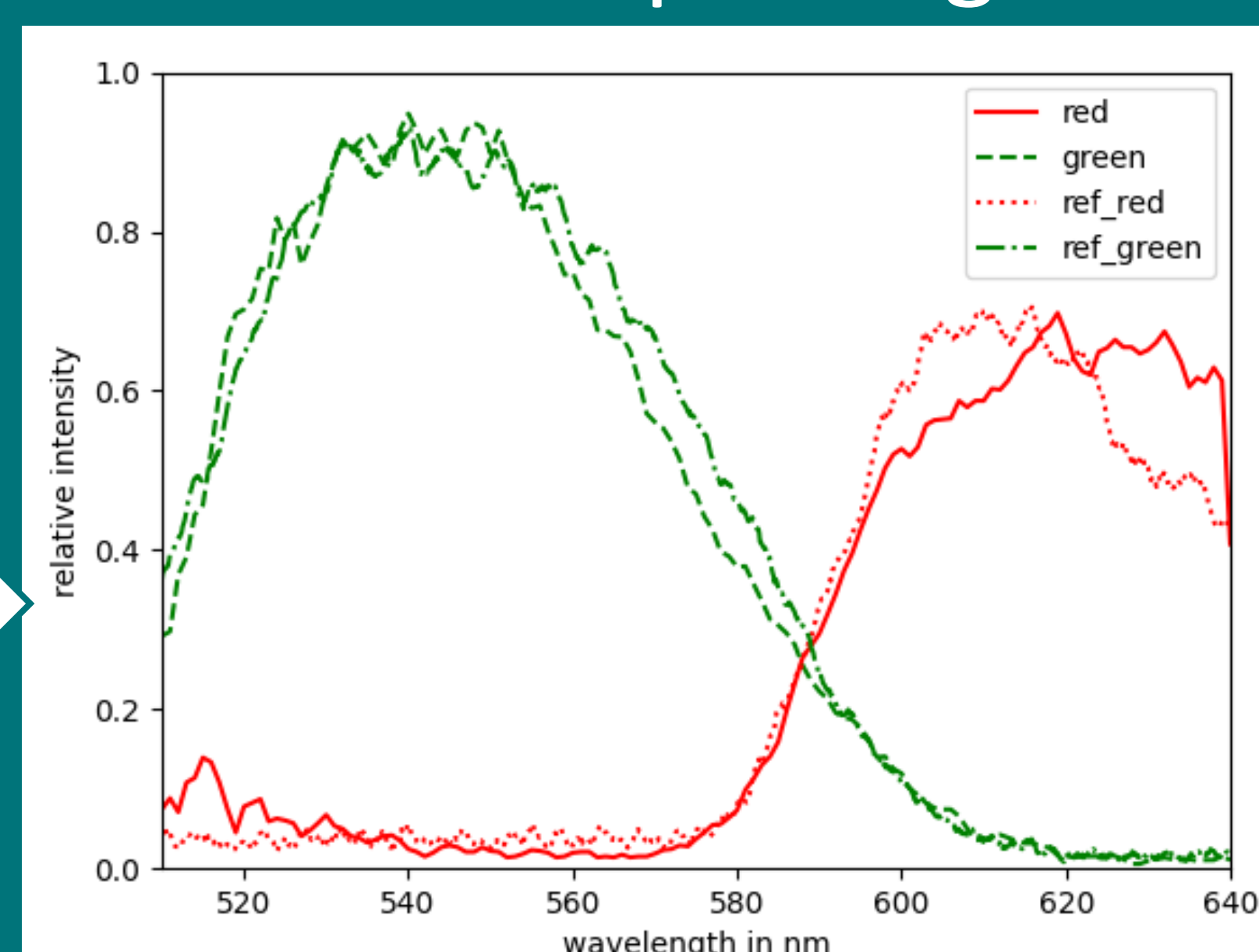
Einfallswinkel → Wellenlänge + Beugungswinkel

Systemaufbau und Kalibrierung

- Einzelne Kamerabilder sind Wellenlängencodiert
- Rotationsbewegung für räumlich-spektrales Scannen
- System wird rotierbar gelagert
- Kalibrierung für den Zusammenhang von Bildzeile und Wellenlänge notwendig → linearer Zusammenhang

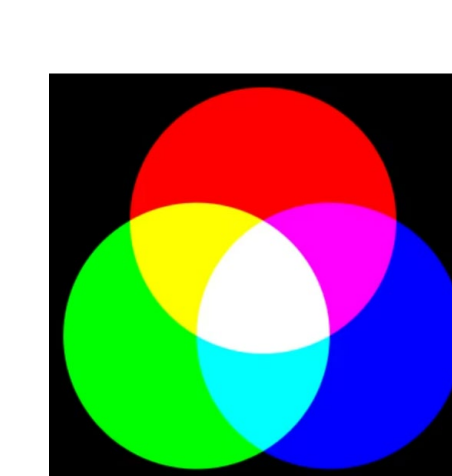


Spektrogramm



3. Ergebnisse

- Hyperspektraler Datenwürfel (x, y, λ)

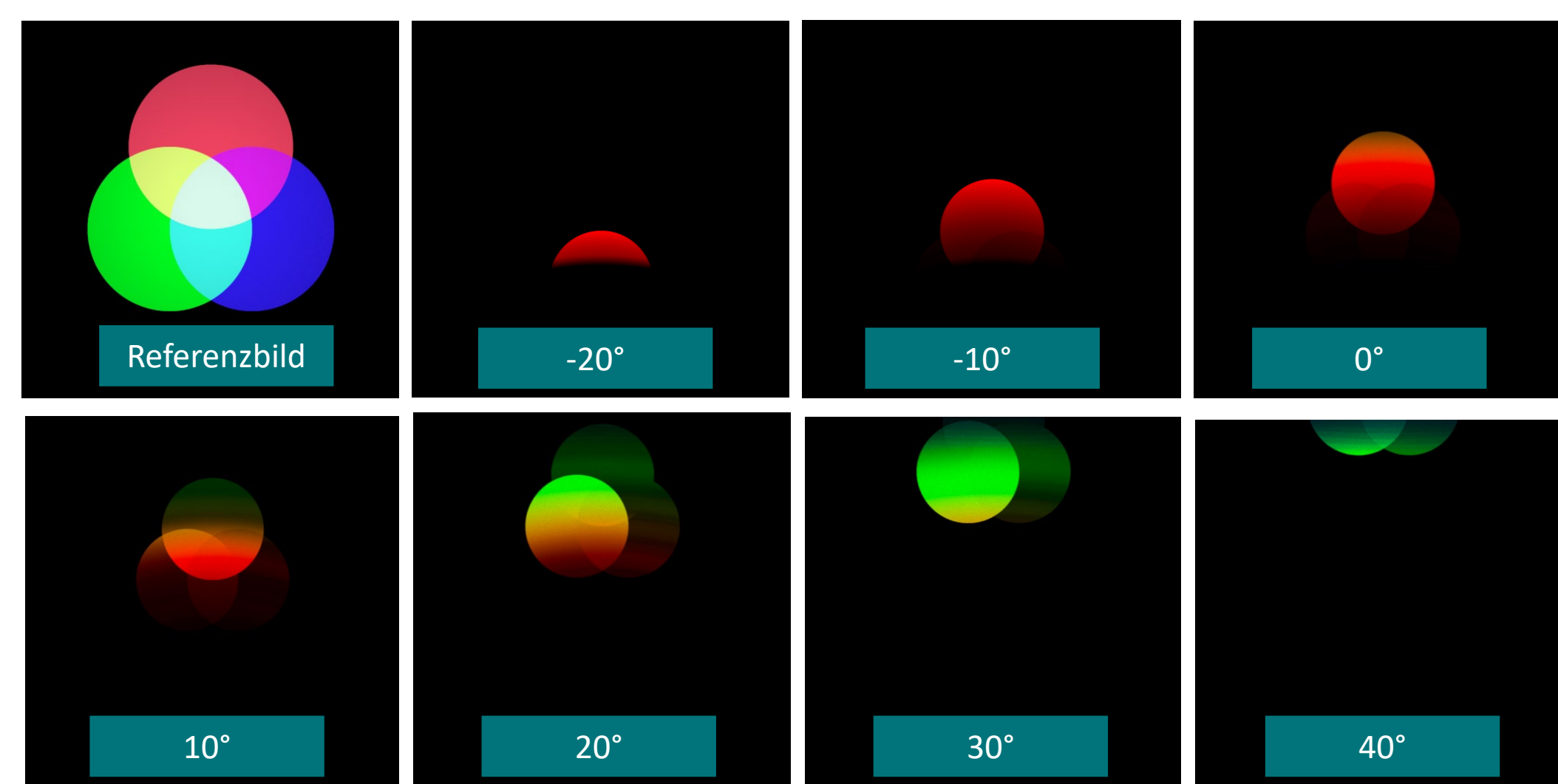


- Wellenlängenbereich: 510 ... 640 nm (VIS)
- Spektrogramme für einzelne Testpunkte entsprechen Referenz-Spektrogramm, aufgenommen mit einfachem Spektrometer



4. Vergleich mit Simulation

- Systemsimulation mit Backwards Raytracing
- Kamerasensor & -optik
- Wellenleiter mit HOEs
- Objekt mit spektralen Eigenschaften
- Simulation von Einzelbildern
- Farbbilder für verschiedene Winkel
- starke Ähnlichkeit mit Messbildern



Ausblick

Erweiterung der Simulation

Automatisierte Simulation für große Anzahl von Bildern

Daraus Errechnung monochromer Bilder

Darstellung von Spektrogrammen

References

- [1] Elisa Köthe et al., "Hyperspectral imaging using a custom-designed holographic optical element with two volume Bragg gratings," J. Optical Microsystems 5(4) 044501 (25 October 2025) <https://doi.org/10.1117/1.JOM.5.4.044501>
- [2] Hervig Kogelnik, "Coupled wave theory for thick hologram gratings", The Bell System Technical Journal 48(9) (November 1969) <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1969.tb01198.x>
- [3] Juerg Schmidt et al. "Holographic optical elements for interconnects and sensors", Proc. SPIE 1732, Holographics International '92, (2 March 1993); <https://doi.org/10.1117/12.140406>

Danksagung

Wir möchten unserem Kollegen Ehtesham Imaad Mohammed unseren aufrichtigen Dank für die Entwicklung und Umsetzung des in dieser Arbeit verwendeten Simulationstools aussprechen.

