

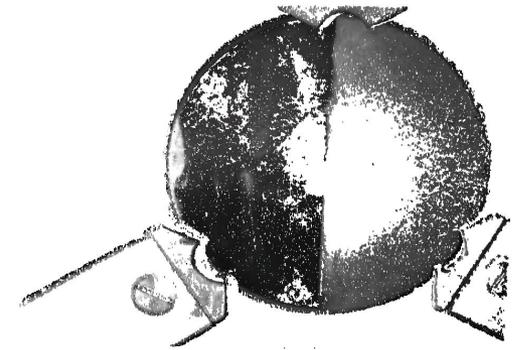
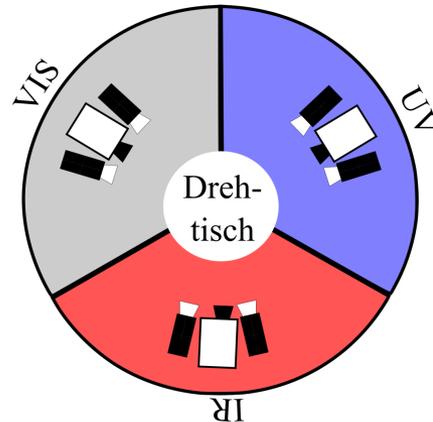
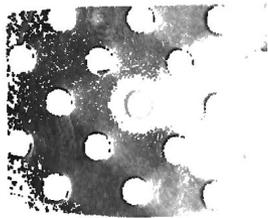
# Transparentes streuend machen: 3D-Messung durch Nahbereichsphotogrammetrie im UV-Bereich

Andreas Walter Stark<sup>1</sup>, G. J. Gentsch<sup>1</sup>, M. Guo<sup>1</sup>, R. Kowarschik<sup>1,2</sup>, C. Franke<sup>1,2,3</sup>

1 Institut für Angewandte Optik und Biophysik, Friedrich-Schiller-Universität Jena

2 Abbe Center of Photonics, Friedrich-Schiller-Universität Jena

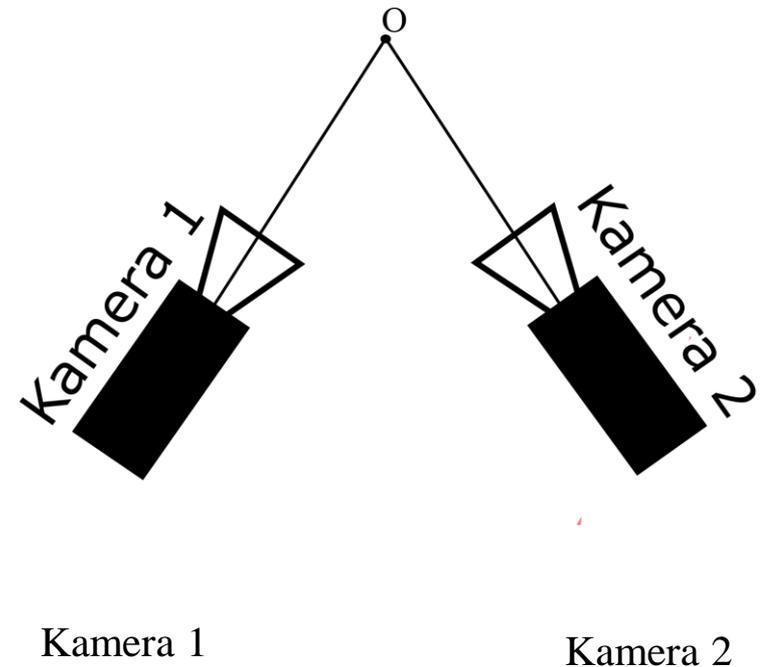
3 Jena Center for Soft Matter, Friedrich-Schiller-Universität Jena



Kontakt: [andreas.stark@uni-jena.de](mailto:andreas.stark@uni-jena.de)

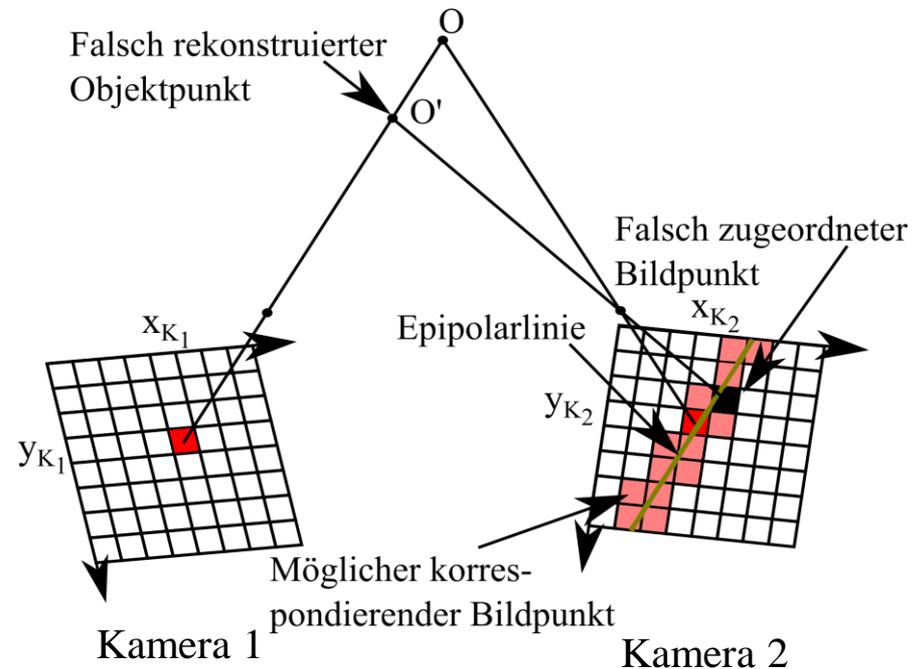
# Stereophotogrammetrie

- 3D-Punktrekonstruktion durch Triangulation mit zwei Kameras
- Beschreibung der Kameras durch Lochblendenmodell
- Bestimmung intrinsischer und extrinsischer Parameter
- Lösung des Korrespondenzproblems ermöglicht 3D-Punktfindung
- Reduzierung der Suche durch Epipolargeometrie
- Aktive, strukturierte Beleuchtung zur Punktzuordnung



# Stereophotogrammetrie

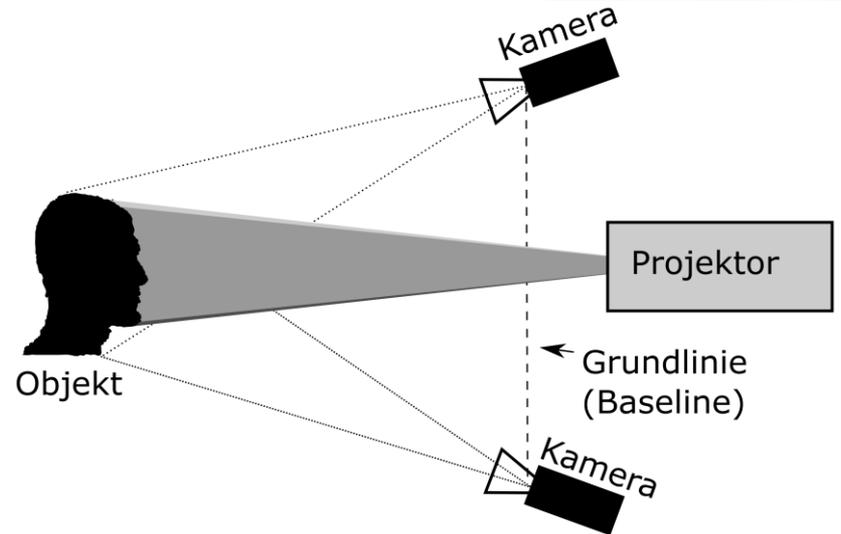
- 3D-Punktrekonstruktion durch Triangulation mit zwei Kameras
- Beschreibung der Kameras durch Lochblendenmodell
- Bestimmung intrinsischer und extrinsischer Parameter
- Lösung des Korrespondenzproblems ermöglicht 3D-Punktfindung
- Reduzierung der Suche durch Epipolargeometrie
- Aktive, strukturierte Beleuchtung zur Punktzuordnung



$$\rho(I_1, I_2) = \frac{\sum_{n=1}^N (I_{1n} - \bar{I}_1)(I_{2n} - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (I_{1n} - \bar{I}_1)^2} \sqrt{\sum_{n=1}^N (I_{2n} - \bar{I}_2)^2}}$$

# Stereophotogrammetrie

- 3D-Punktrekonstruktion durch Triangulation mit zwei Kameras
- Beschreibung der Kameras durch Lochblendenmodell
- Bestimmung intrinsischer und extrinsischer Parameter
- Lösung des Korrespondenzproblems ermöglicht 3D-Punktfindung
- Reduzierung der Suche durch Epipolargeometrie
- Aktive, strukturierte Beleuchtung zur Punktzuordnung



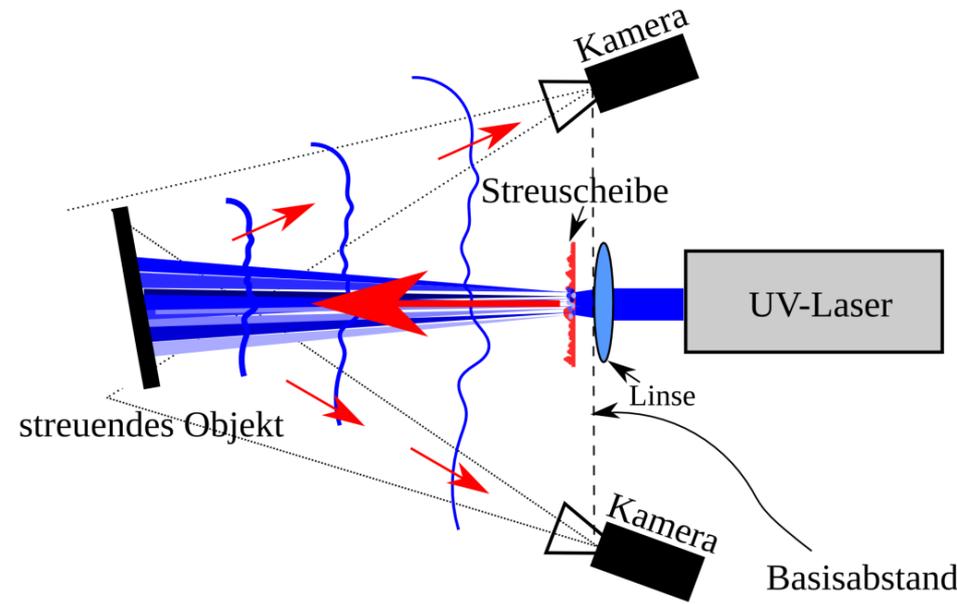
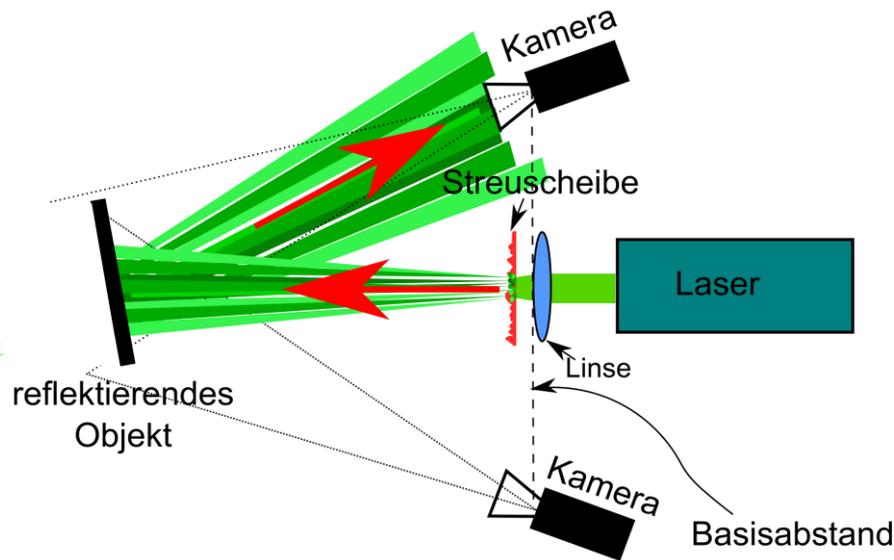
$$\rho(I_1, I_2) = \frac{\sum_{n=1}^N (I_{1n} - \bar{I}_1)(I_{2n} - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (I_{1n} - \bar{I}_1)^2} \sqrt{\sum_{n=1}^N (I_{2n} - \bar{I}_2)^2}}$$

# Stereophotogrammetrie

- 3D-Punktrekonstruktion durch Triangulation mit zwei Kameras
- Beschreibung der Kameras durch Lochblendenmodell
- Bestimmung intrinsischer und extrinsischer Parameter
- Lösung des Korrespondenzproblems ermöglicht 3D-Punktfindung
- Reduzierung der Suche durch Epipolargeometrie
- Aktive, strukturierte Beleuchtung zur Punktzuordnung



# Motivation zur Übertragung ins UV



Schematischer Aufbau zur stereophot. 3D-Messung eines (im VIS) reflektierenden Objektes mit Speckles im VIS

Schematischer Aufbau zur stereophot. 3D-Messung eines (im VIS) reflektierenden Objektes mit Speckles im UV

Patent: "Verfahren zur 3D-Vermessung von unkooperativen Oberflächen", Anmelder/Inhaber: Friedrich-Schiller-Universität Jena, Erfinder: R. Kowarschik, H. Babovsky, A. W. Stark, Anmeldedatum: 11.03.2021, Anmeldenummer: 102021001366.2.

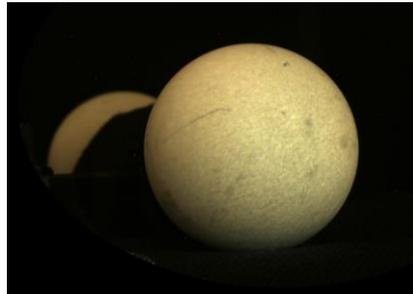
# Motivation zur Übertragung ins UV

Keramikkugel  
(streuend)

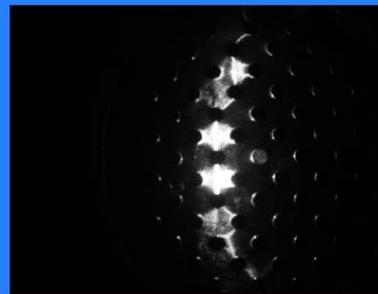
Edelstahlfreiform  
(reflektierend)

Beschichtete Linse  
(teil-transparent,  
gehaltert)

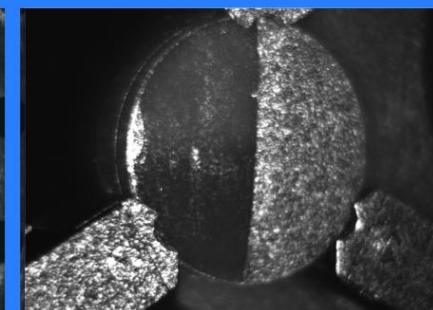
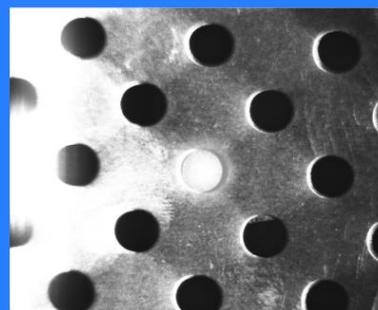
Objekt



VIS  
532 nm

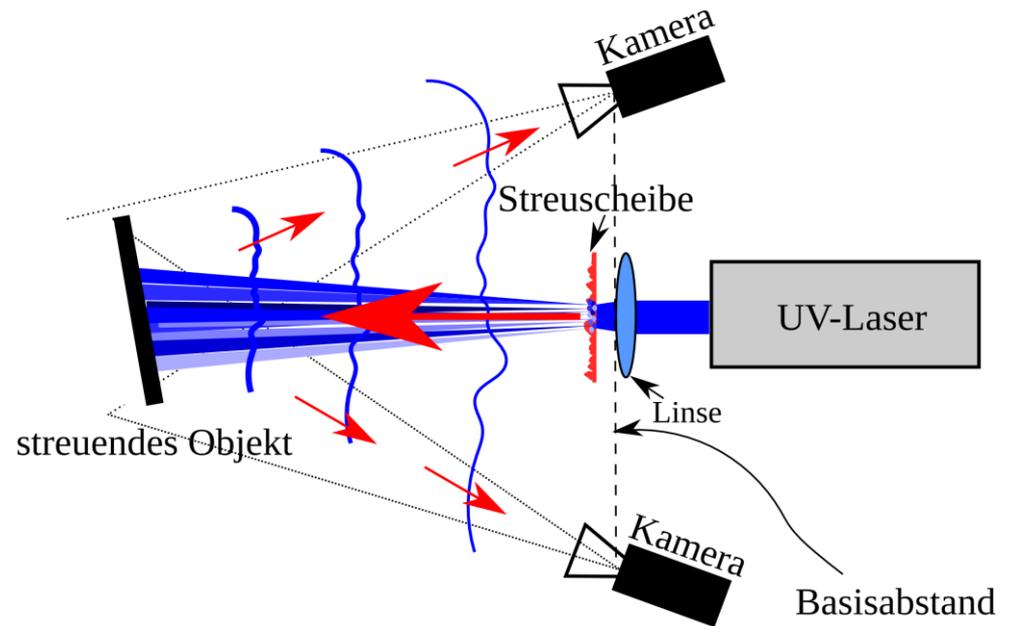


UV  
266 nm



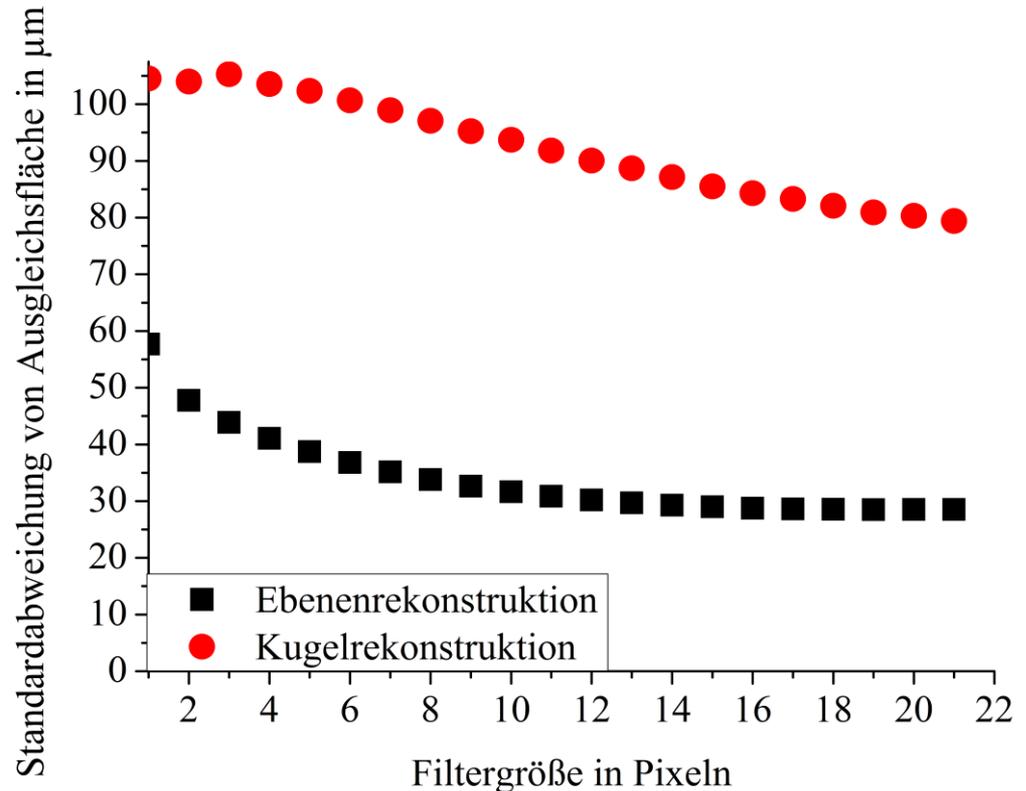
# 3D-Messung im UV

- Funktionsfähiger UV-Aufbau bei 266 nm
  - **Erstmalige Umsetzung** der Stereophotogrammetrie bei  $\lambda < 300$  nm
  - Filterung führt zur Verbesserung der Rekonstruktion
- ➔ Test mit verschiedenen „unkooperativen“ Oberflächen

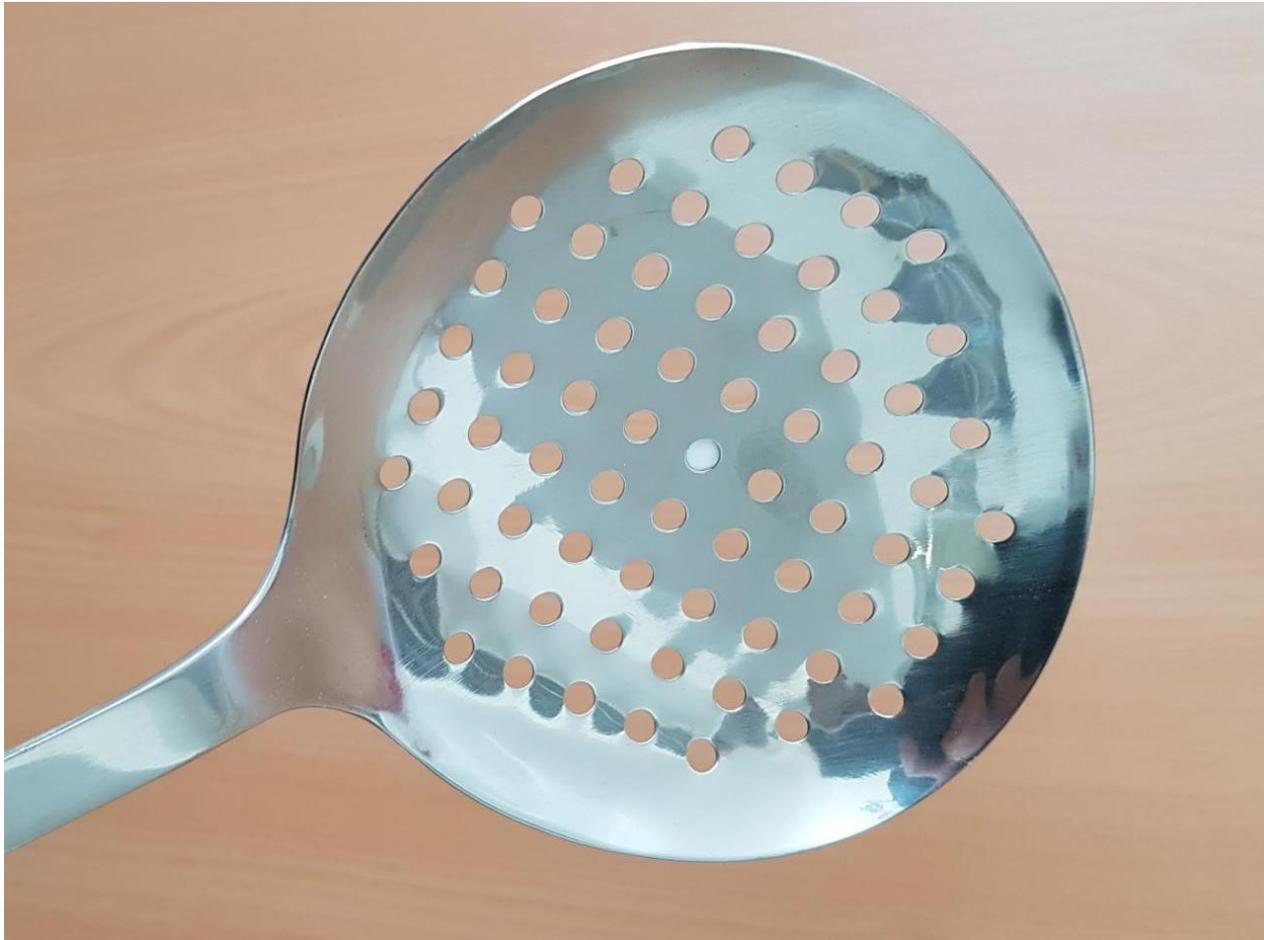


# 3D-Messung im UV

- Funktionsfähiger UV-Aufbau bei 266 nm
  - **Erstmalige Umsetzung** der Stereophotogrammetrie bei  $\lambda < 300$  nm
  - Filterung führt zur Verbesserung der Rekonstruktion
- ➔ Test mit verschiedenen „unkooperativen“ Oberflächen



# UV: Vergleichbarkeit zur Messung im VIS



Photographie des Freiformobjektes aus Edelstahl (Schaumlöffel)

# VIS: Messung eines Edelstahlobjektes

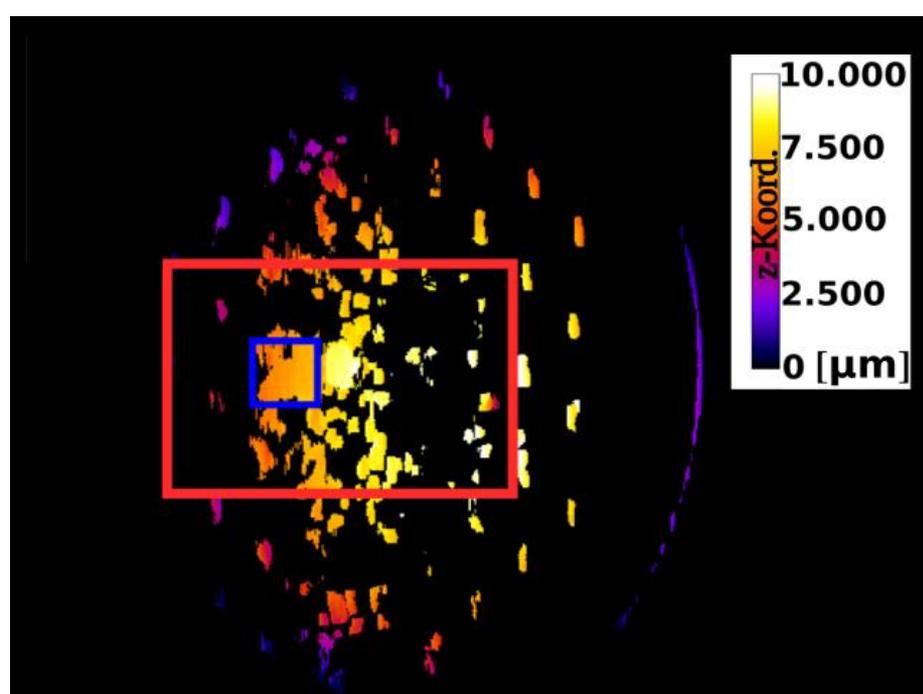
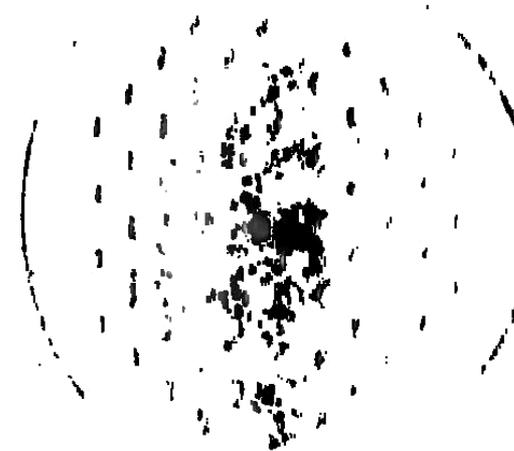


Bild der 3D-Rekonstruktion der  
Freiformfläche bei 532 nm, z-Koordinaten  
Falschfarben in  $\mu\text{m}$



Rekonstruktion im VIS (532 nm)

# UV: Messung eines Edelstahlobjektes

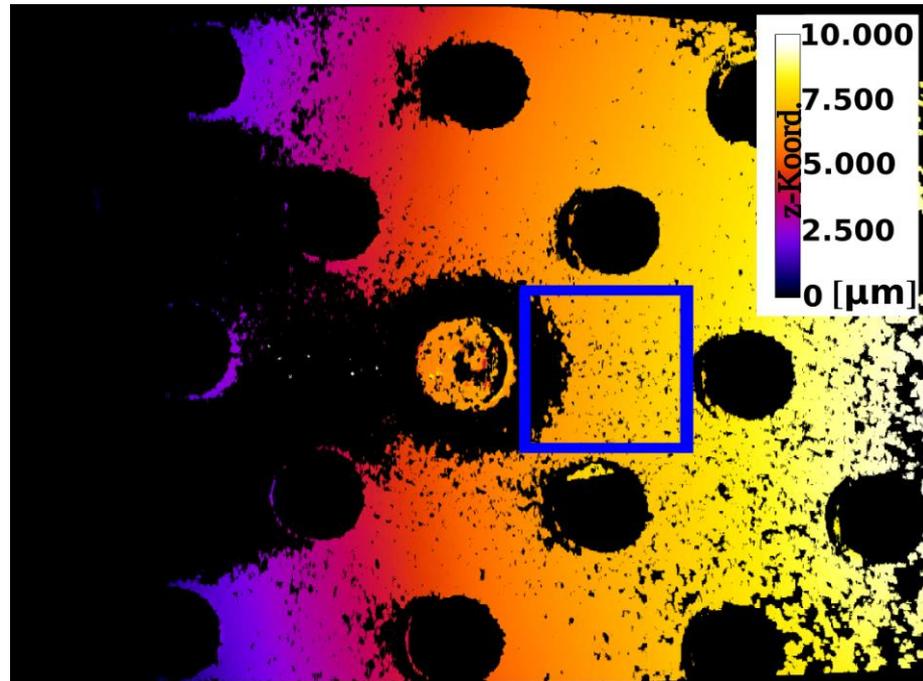
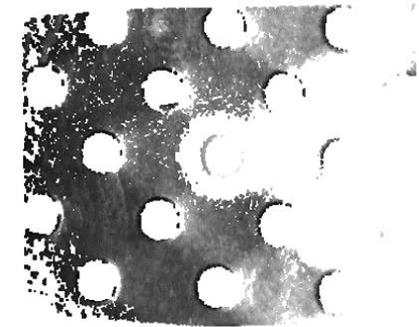


Bild der 3D-Rekonstruktion der  
Freiformfläche bei 266 nm, z-Koordinaten  
Falschfarben in  $\mu\text{m}$



Rekonstruktion im UV (266 nm)

# UV: Messung einer anti-reflex beschichteten Linse

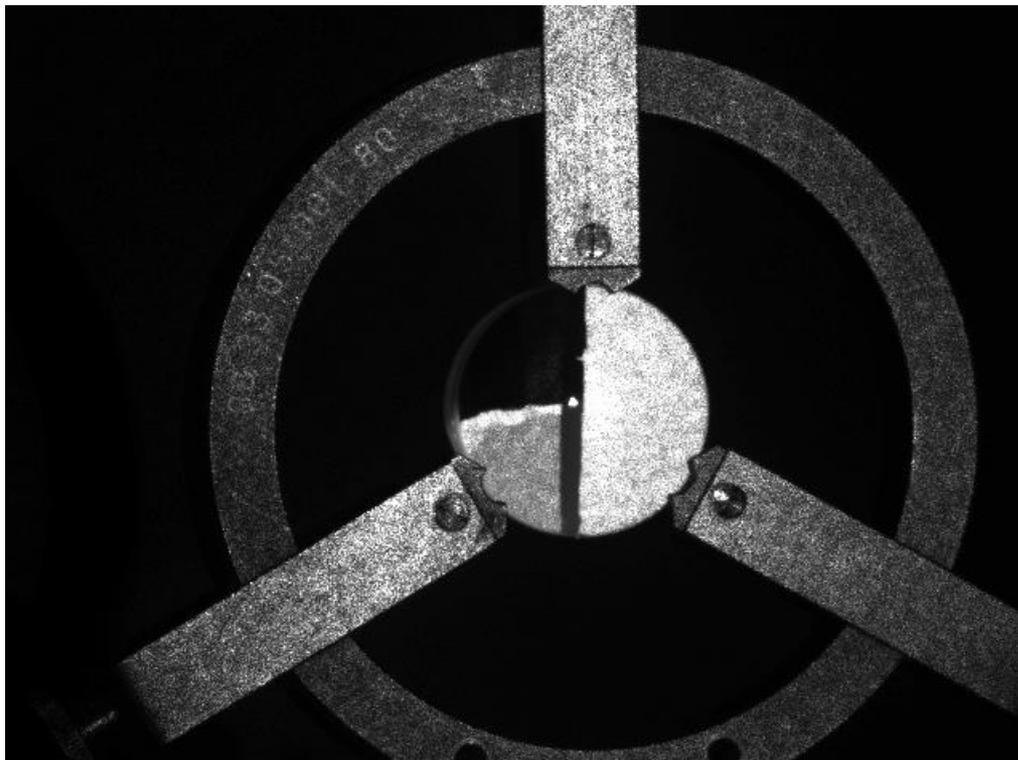
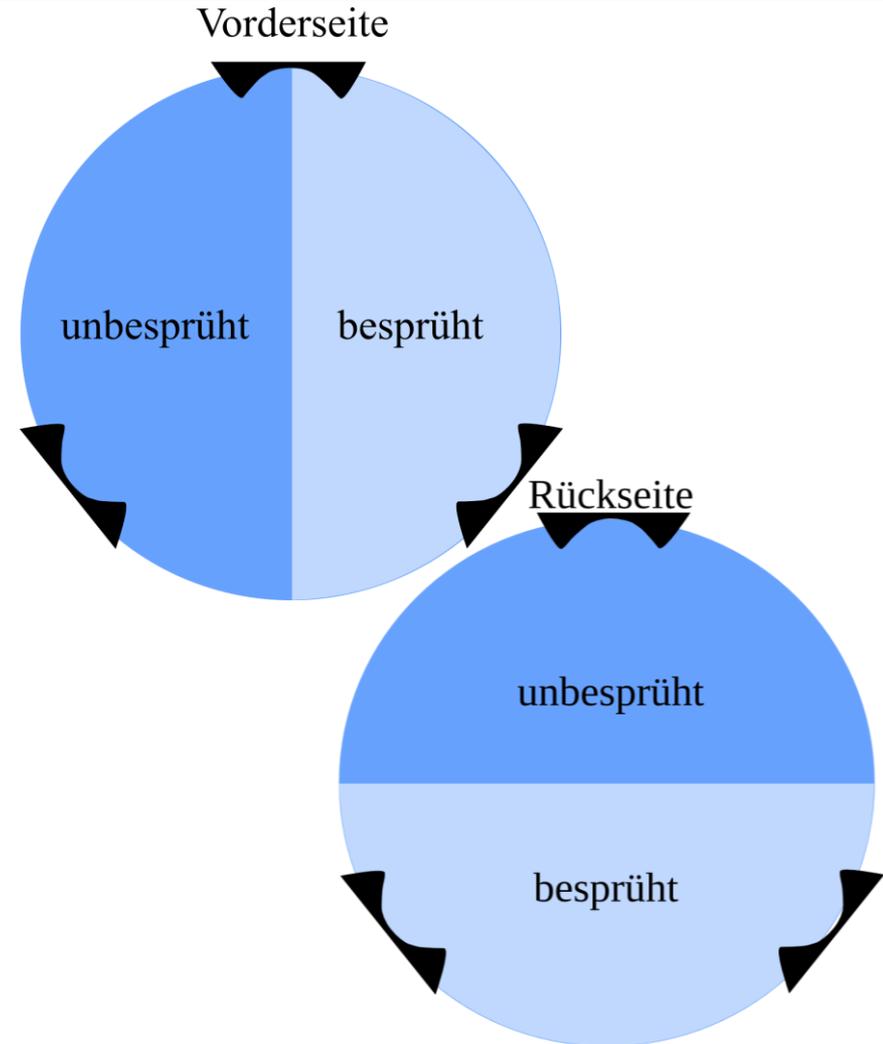


Bild der Linse in einer Dreipunkthalterung  
bei 532 nm



# VIS: Messung einer anti-reflex beschichteten Linse

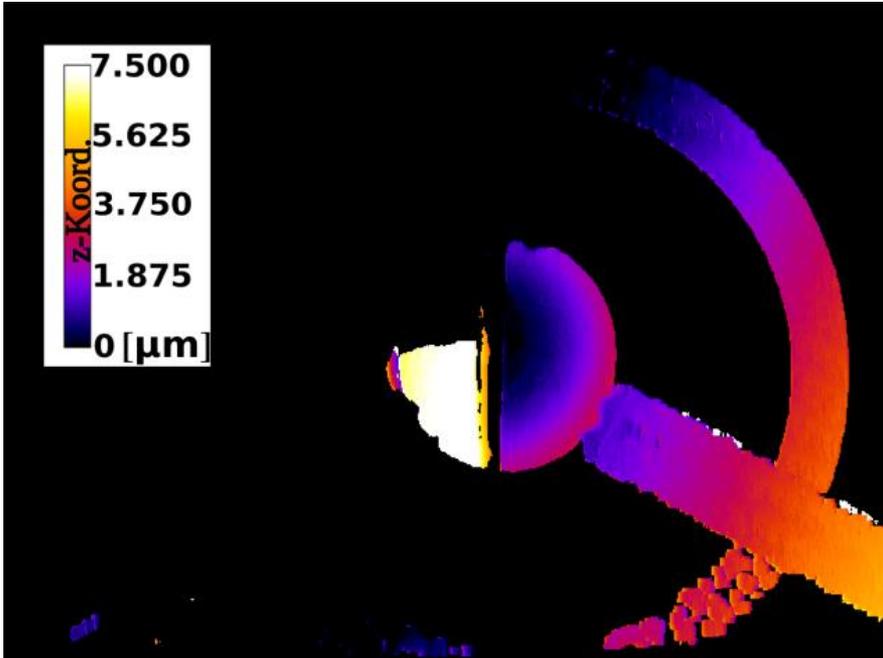


Bild der 3D-Rekonstruktion der Glaslinse in einer Halterung bei 532 nm, z-Koordinaten Falschfarben in  $\mu\text{m}$



Rekonstruktion im VIS (532 nm)

# UV: Messung einer anti-reflex beschichteten Linse

Unbesprühtes  
Glas

Besprühtes  
Glas

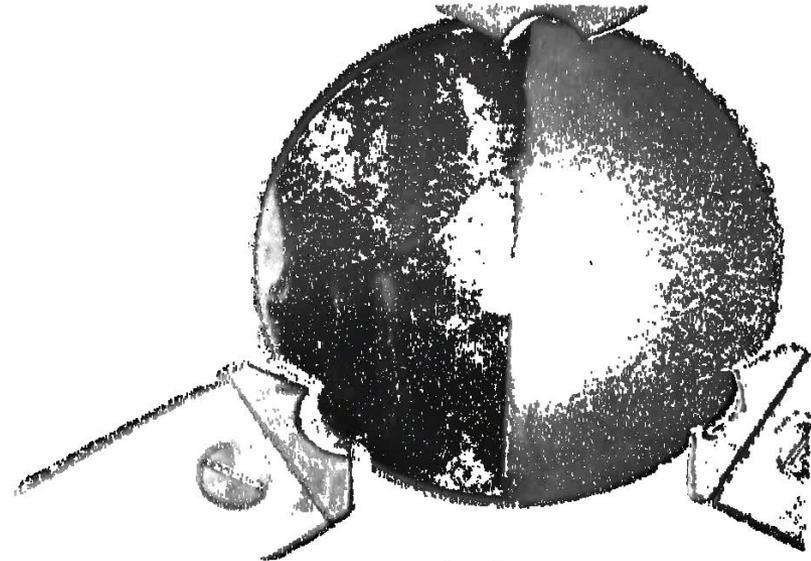
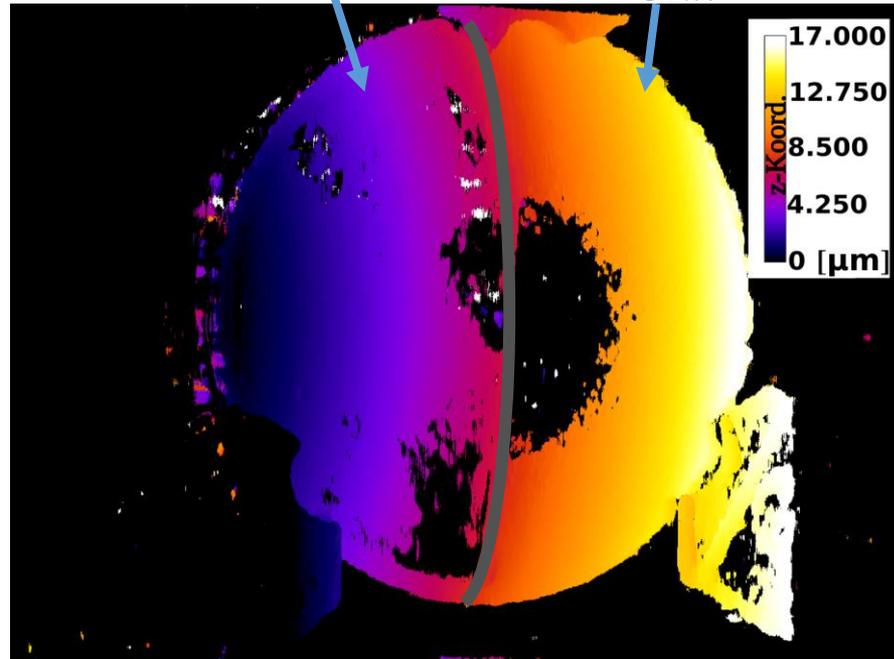
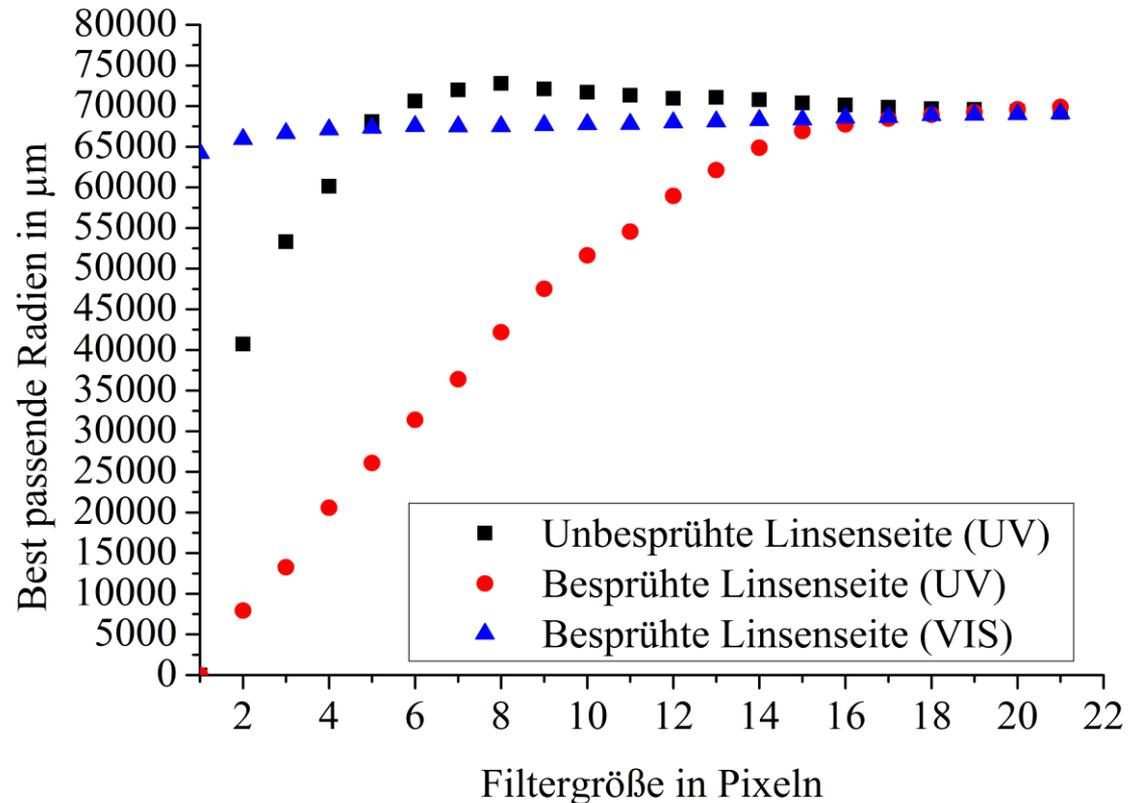


Bild der 3D-Rekonstruktion der Glaslinse in einer Halterung bei 266 nm, z-Koordinaten Falschfarben in  $\mu\text{m}$

Rekonstruktion im UV (266 nm)

# UV: Bestimmung des Krümmungsradius

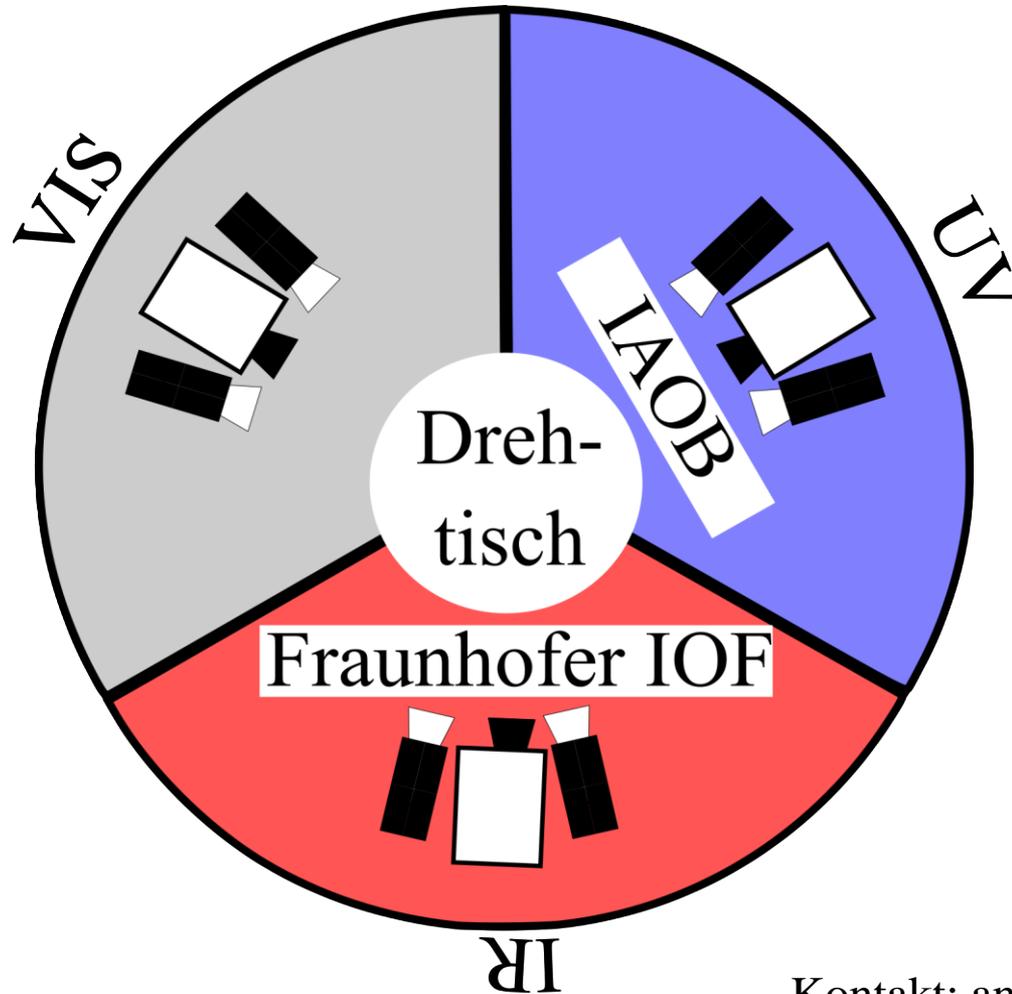
- Keine 3D-Punkte von unbesprühter Seite im VIS
- Mechanische Bestimmung des Radius ergab  $r = 67 \text{ mm}$
- Numerische Filterung ermöglicht die Bestimmung des Radius auch im UV
- **Stereophot. 3D-Messung von Objekten aus Glas erstmals (im UV) möglich**



# Zusammenfassung: Stereophoto. im UV

- Erstmalige erfolgreiche Übertragung der Stereophotogrammetrie in einem Wellenlängenbereich unter 300 nm
- Vollständigere und präzisere Rekonstruktion einer Freiformedelstahloberfläche durch num. Nachbearbeitung (Unterdrückung subjektiver Speckles)
- Rekonstruktion von Glasoberflächen durch Stereophoto. und num. Nachbearbeitung -> **Machbarkeitsnachweis erbracht**
- **Aber: Die Technik ist noch nicht ausentwickelt**

# Ausblick: „3D über 3 Oktaven“



Kontakt: [andreas.stark@uni-jena.de](mailto:andreas.stark@uni-jena.de)

# Ausblick: Suche nach Projektpartnern

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Forschungsvorhabens (IGF 22462 BR) der Arbeitsgemeinschaft Forschung Feinmechanik, Optik und Medizintechnik (F.O.M.) unter der Schirmherrschaft der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AiF).

Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Forschungsallianz „3dsensation“ und dessen Forschungsvorhabens „UVLAS“ (03ZZ0452).

Kontakt: [andreas.stark@uni-jena.de](mailto:andreas.stark@uni-jena.de)

# Ausblick: Suche nach Projektpartnern

Gerätespezifikation	
Gerät/Parameter	Spezifikation
<b>Kameras:</b>	
- Kamerateyp	JAI CM-140 GE-UV
- Auflösung	1392x1040
- Pixelpitch	4,65 $\mu\text{m}$
- Abbildungsmaßstab	$\approx 0,097$
- maximale Aufnahmezeit	16,14 Bilder/s
<b>Objektive</b>	
- Objektivtyp	UV2528B
- Brennweite	25 mm
- $F\#$	1,8
<b>Laser</b>	
Lasertyp	MPL-N-266-100mW
Zentralwellenlänge	266 nm
Maximalintensität	100mW
Betriebsart	quasi-kontinuierlich
Beugungsmaßzahl ( $M^2$ )	$< 1,2$
<b>Geometrische Abmessungen</b>	
Basis	12,9 cm
Messvolumen (MV)	5 · 5 · 5 $\text{cm}^3$
Abstand des MV von der Basis	22 cm
Winkel der zentralen Sichtstrahlen	32,4°
Maximaler Winkel der Epipolarlinien zur Horizontalen	4,7°

Spezifikation des Aufbaus für den  
UV-Bereich

Gerätespezifikation	
Gerät/Parameter	Spezifikation
<b>Kameras:</b>	
- Kamerateyp	AVT-Pike F-032b
- Auflösung	640x480
- Pixelpitch	7,4 $\mu\text{m}$
- maximale Aufnahmezeit	204 Bilder/s
<b>Objektive</b>	
- Objektivtyp	Cosmicar Television Lens
- Brennweite	50 mm
- $F\#$	1,8
<b>Laser</b>	
Lasertyp	MGL-F-532-2W
Zentralwellenlänge	532 nm
Maximalintensität	2W
Betriebsart	kontinuierlich
Beugungsmaßzahl ( $M^2$ )	$< 1,2$
<b>Geometrische Abmessungen</b>	
Basis	79,2 cm
Messvolumen (MV)	10 · 10 · 10 $\text{cm}^3$
Abstand des MV von der Basis	128 cm
Winkel der zentralen Sichtstrahlen	30,5°
Maximaler Winkel der Epipolarlinien zur Horizontalen	3,1°

Spezifikation des Aufbaus für den  
VIS-Bereich

