

# Miniaturisiertes Raman- Spektrometer zur Flüssigkeitsanalyse

Beitrag zur 14. Tagung „Feinwerktechnische  
Konstruktion“

**Spektroskopie: Licht wird in spektrale Anteile (Spektrum) aufgeteilt und analysiert**

## Vielfältige Analysebereiche:

- Biomarker im Urin
- Nicht-invasive Glukosemessung
- Identifikation von Krebszellen im Blutserum
- Analyse von Wasser auf Nitrate und Bakterien
- Lebensmittelindustrie (Haltbarkeit, Nährstoffzusammensetzungen)
- Materialanalysen
- ...



© LI-COR



© AMOS



© HACH



© OceanInsight

Abbildung 1: Beispiele spektroskopischer Analyse von Flüssigkeiten und Festkörpern.

## Generelle Herausforderungen:

- Kompromiss aus Größe und Auflösung
- Präzisionsgeräte = Hohe Empfindlichkeit des Systems gegenüber Umgebungsbedingungen (Temperatur, Vibrationen, Luftfeuchte, wechselnde Lichtverhältnisse, usw.)
- Enorme Kosten durch Präzisionsoptiken, optische Filter, Präzisionsjustagesysteme uvm.

## Analyse von Flüssigkeiten:

- Spezielle Anforderungen an Vor-Ort-Analyse → Bedarf der Dezentralisierung und Robustheit
- Wunsch nach starker Miniaturisierung mit gleichzeitigem Bedarf einer hohen Auflösung
- Oft sehr kleine Konzentrationen von Interesse

## Miniaturisiertes Raman-Spektrometer S1:

- Spektralbereich: 785-1050 nm
- Rechnerische Auflösung: 0,45 nm

## Fertigung durch UP-Zerspanung:

- Gitterperiode:  $\leq 1\mu\text{m}$
- Beugungseffizienz:  $\geq 95\%$
- NA: 0,08

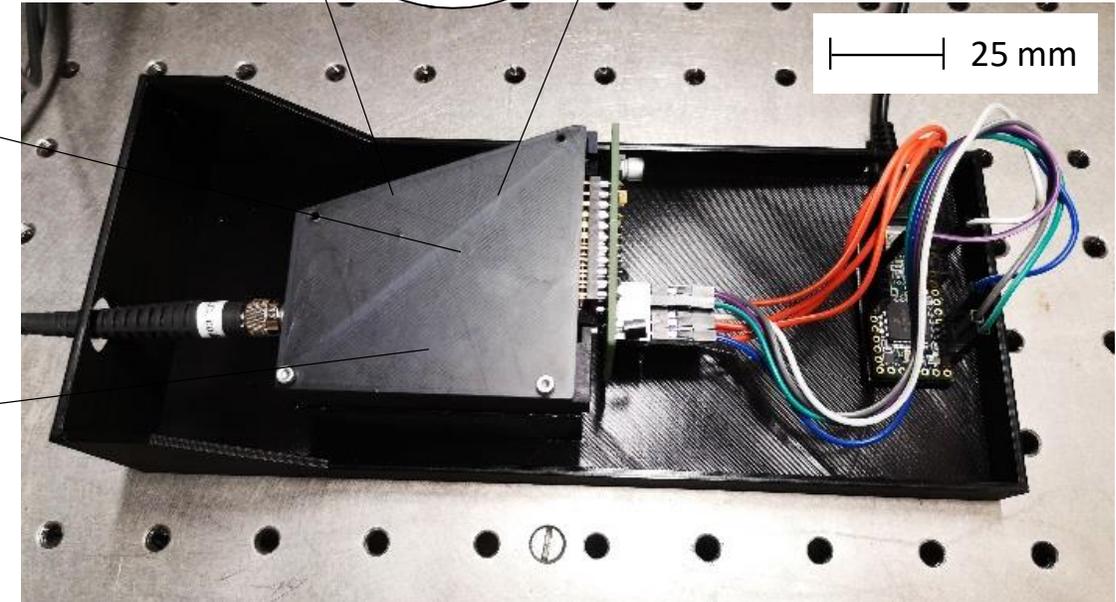
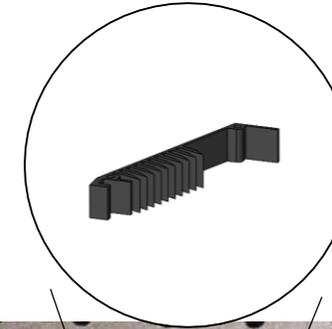
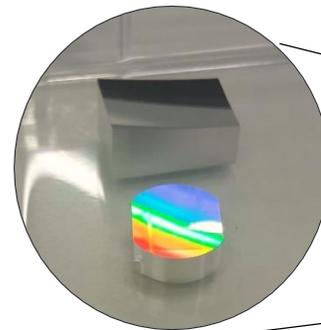


Abbildung 2: Miniaturisiertes Raman-Spektrometer mit einem „modifizierten Rowland-Design“.

## Raman-Spektrometer inklusive faserloser Raman-Sonde S2:

- Anregungswellenlänge: 532 nm
- Anregungsleistung: 20 mW
- Spektralbereich: 530-630 nm
- NA: 0,1
- Rechnerische Auflösung: 0,375 nm
- Temperaturstabilität: 21-23°C

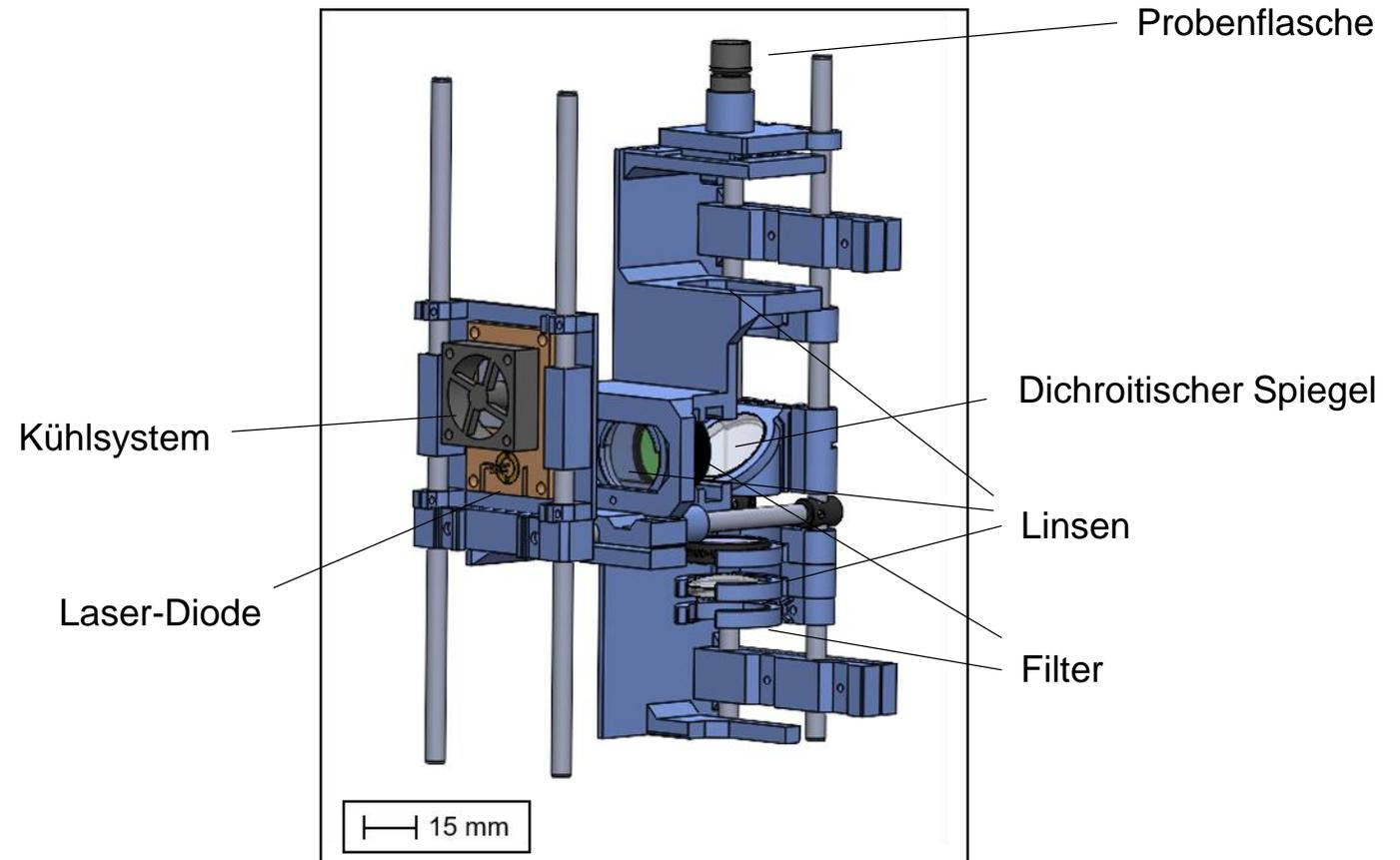


Abbildung 3: Raman-Sonde als Teilsystem 1 eines am Fachgebiet entwickelten Gesamtsystems.

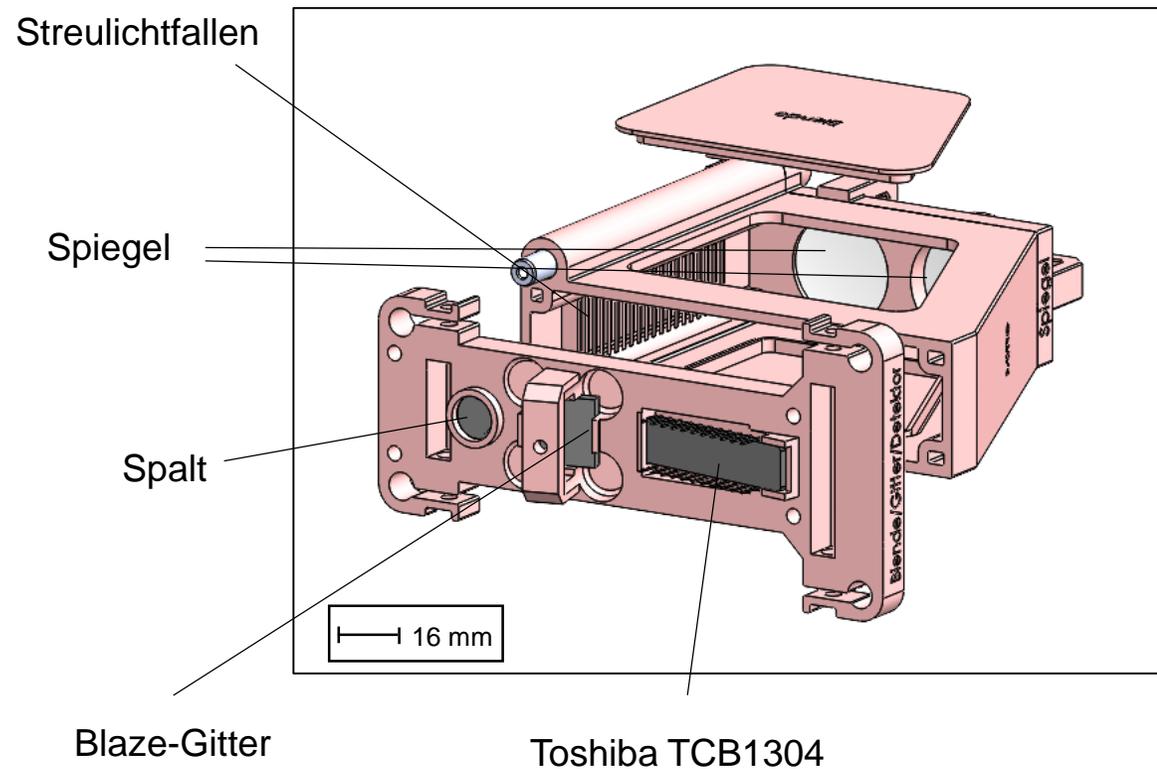


Abbildung 4: Raman-Spektrometer als Teilsystem 2 des Gesamtsystems.

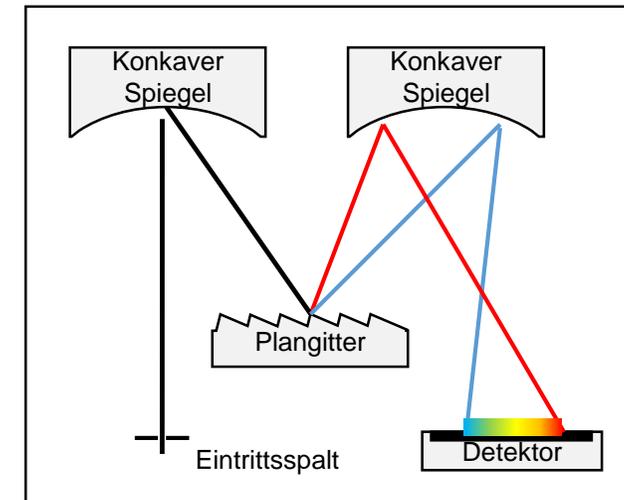


Abbildung 5: Für den Prototypen gewähltes Czerny-Turner-Design.

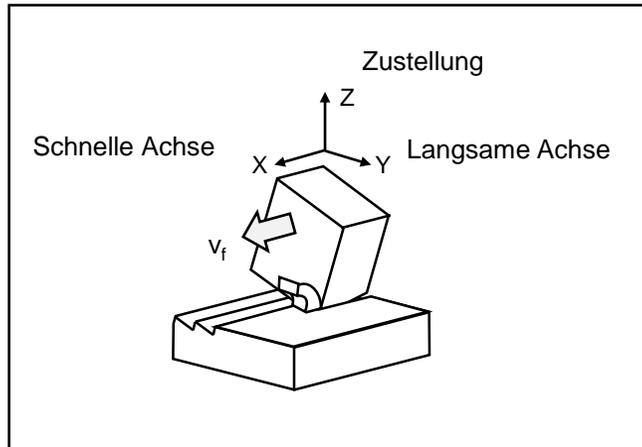


Abbildung 6: Prozess der UP-Zerspanung planer Blaze-Gitter.

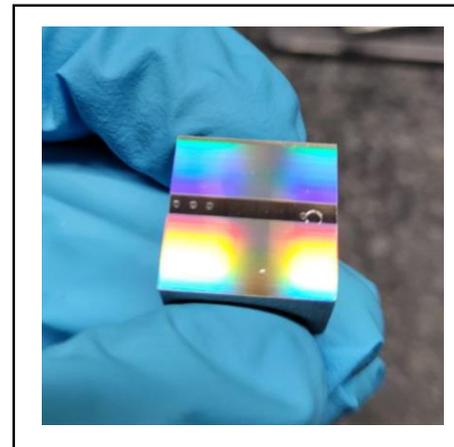


Abbildung 7: Gitter-Master aus RSA 501.

## UP-Zerspanung:

- Typ: Planes Blaze-Gitter
- Material: Aluminium (RSA 501)
- Schnittgeschwindigkeit:  $v_c = 1000$  nm/min
- Werkzeug: Diamant
- Gitterperiode:  $3 \mu\text{m}$

## Lithographische Replikation gekrümmter Optiken

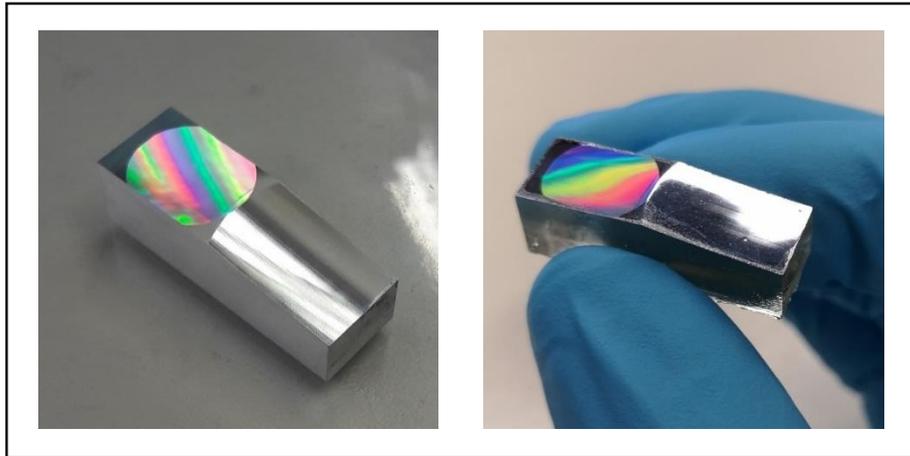


Abbildung 8: Master aus RSA 501 (links), beschichtetes Replikat aus OrmoComp® (rechts).

## Heißprägen („Jenoptik HEX03“) planer Optiken

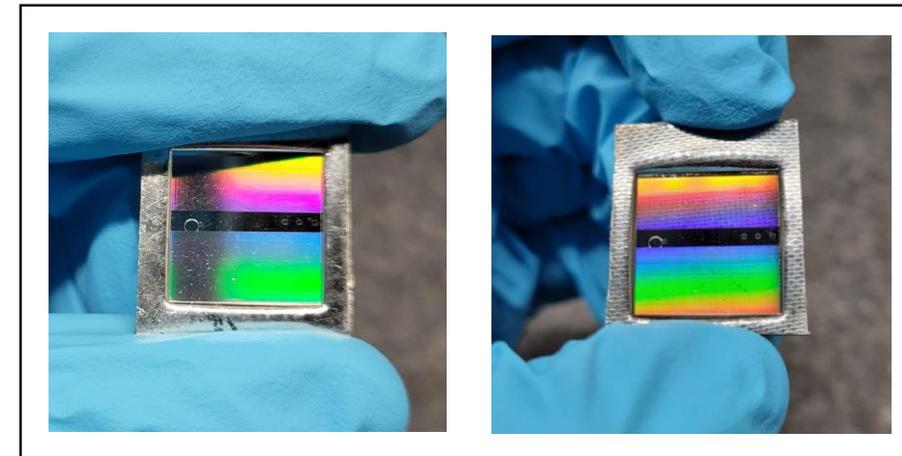


Abbildung 9: Replikat aus COC (links), Replikat aus PMMA (rechts).

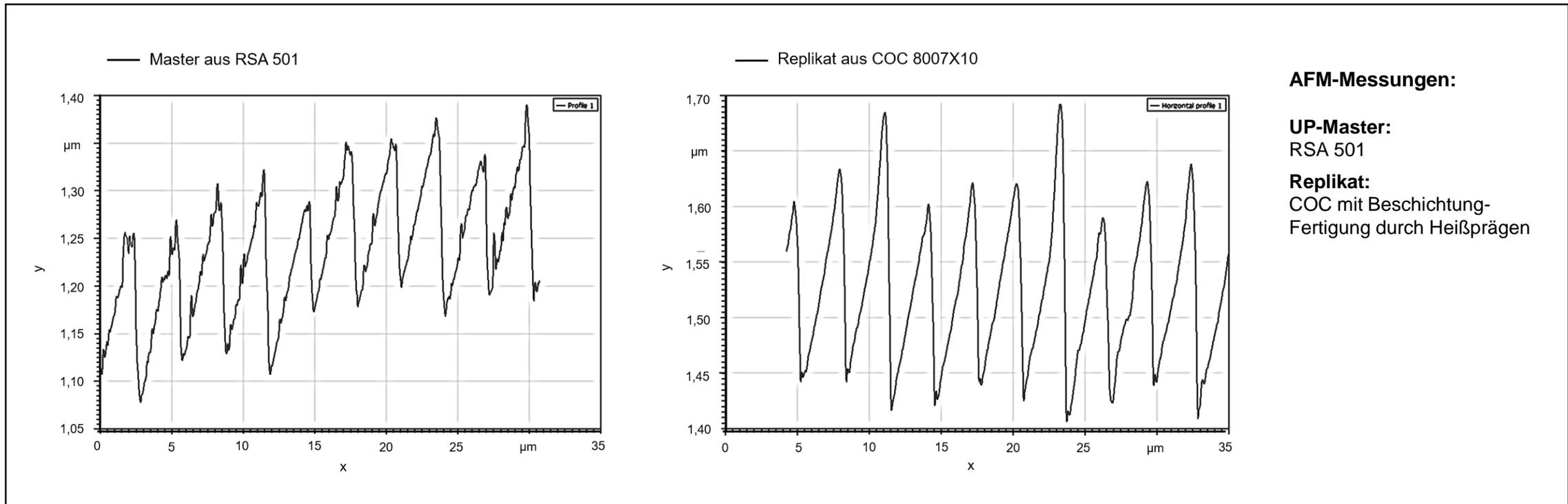


Abbildung 10: AFM Untersuchungen der Blaze-Strukturen für den Gitter-Master und ein geprägtes Replikat aus COC.

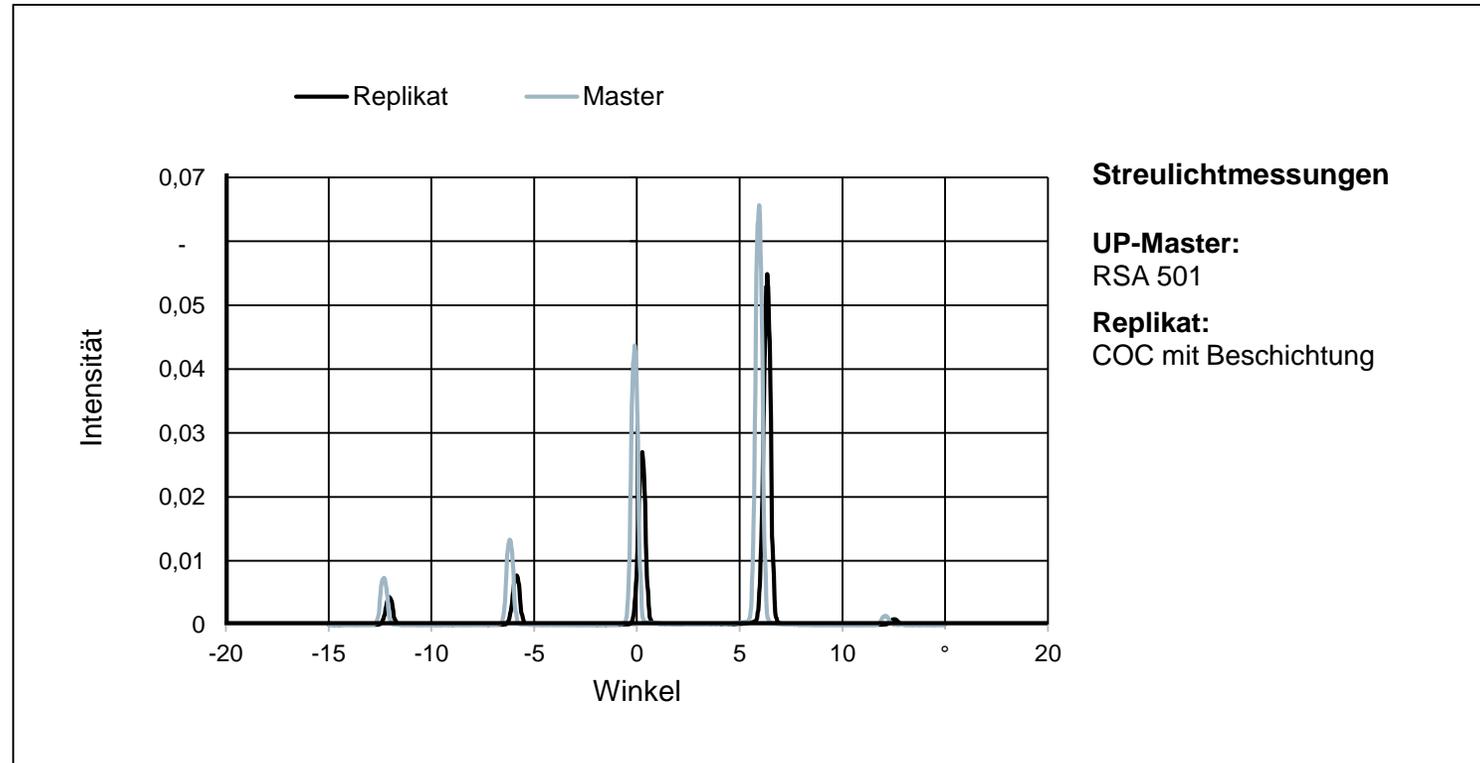
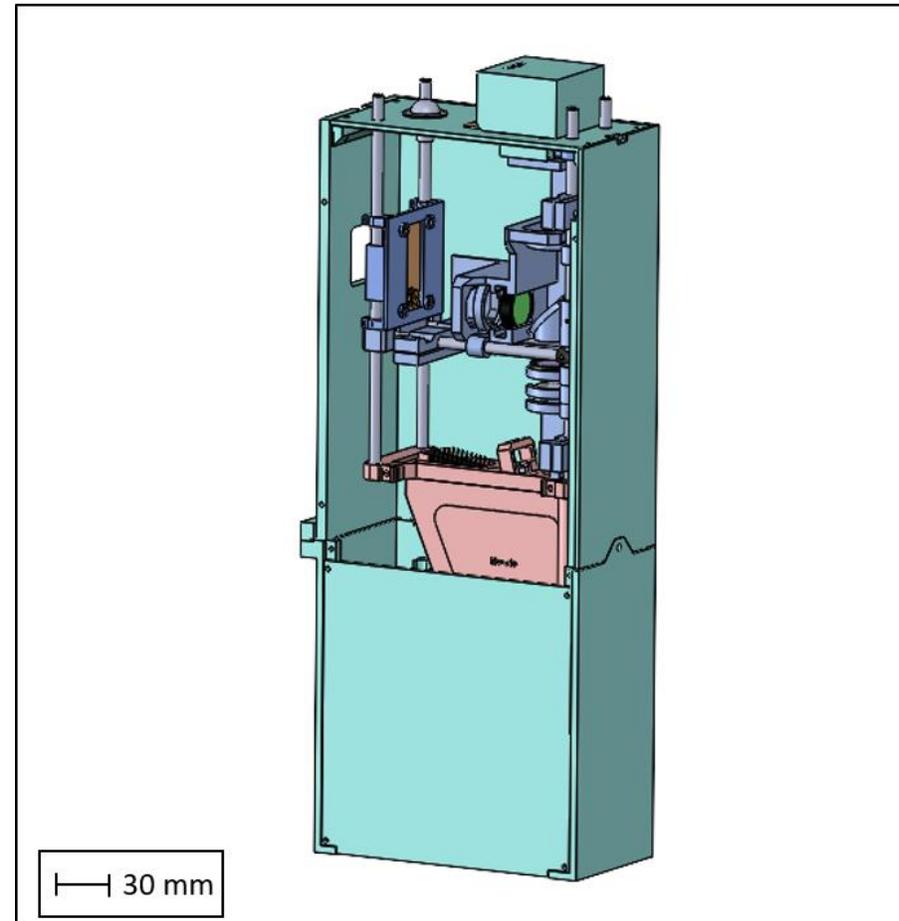


Abbildung 11: Streulichtmessungen zur qualitativen Untersuchung der Replikatstrukturen.



Video: Montage des Gesamtsystems.

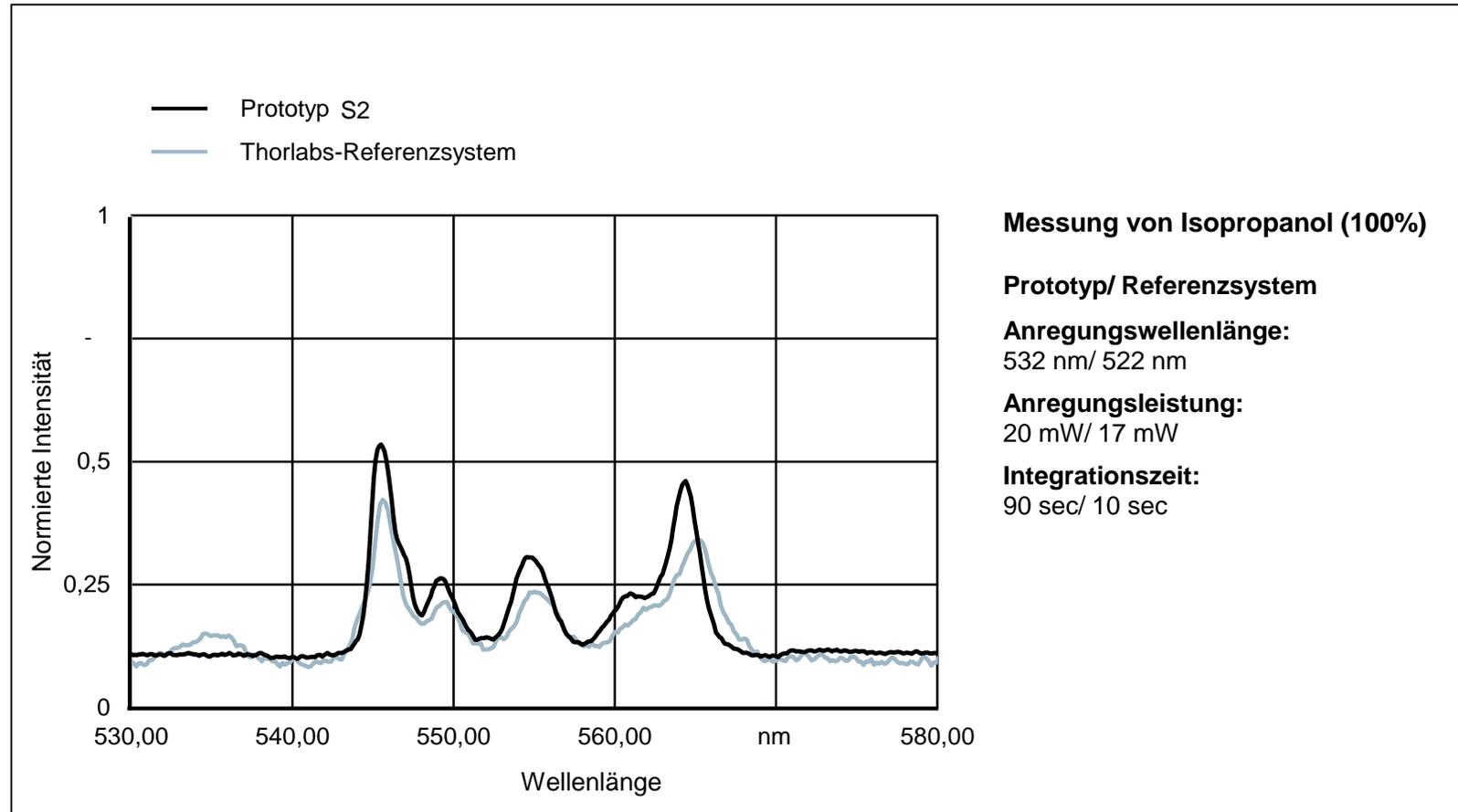


Abbildung 12: Vergleich des prototypischen Gesamtsystems S2 mit einem Referenzspektrometer.

- Harnstoff:
  - Biomarker im menschlichen Urin
  - Indikator für Übertrainings-Syndrom, Niereninsuffizienz, uvm.
- Markante Raman-Peaks von Urea in destilliertem Wasser<sup>1</sup>:
  - P1: 527  $\text{cm}^{-1}$
  - P2: 1002-1014  $\text{cm}^{-1}$
  - P3: 1124-1173  $\text{cm}^{-1}$
  - P4: 1570-1602  $\text{cm}^{-1}$

→ **Starke Übereinstimmung mit Prototypen S2**

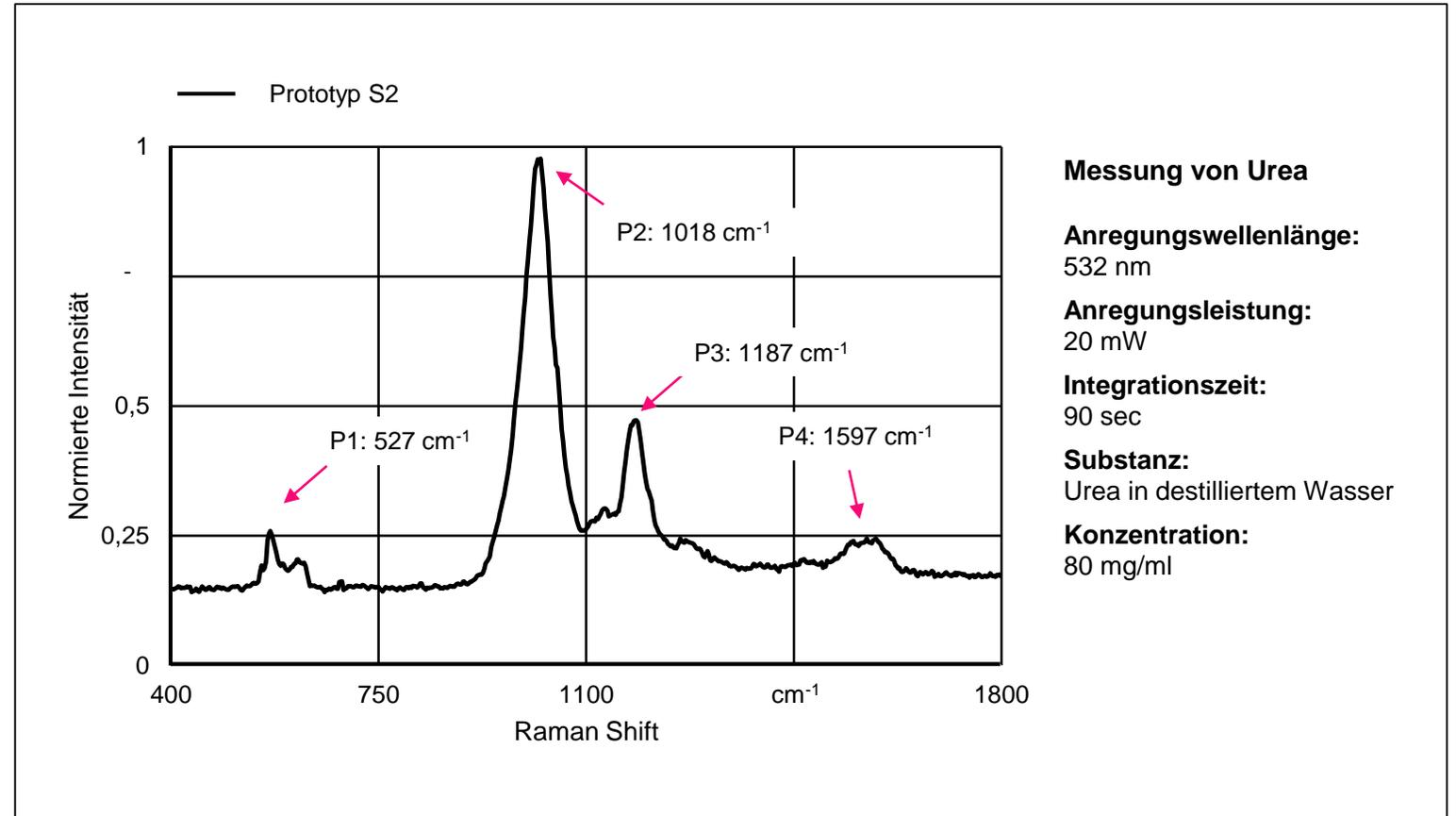


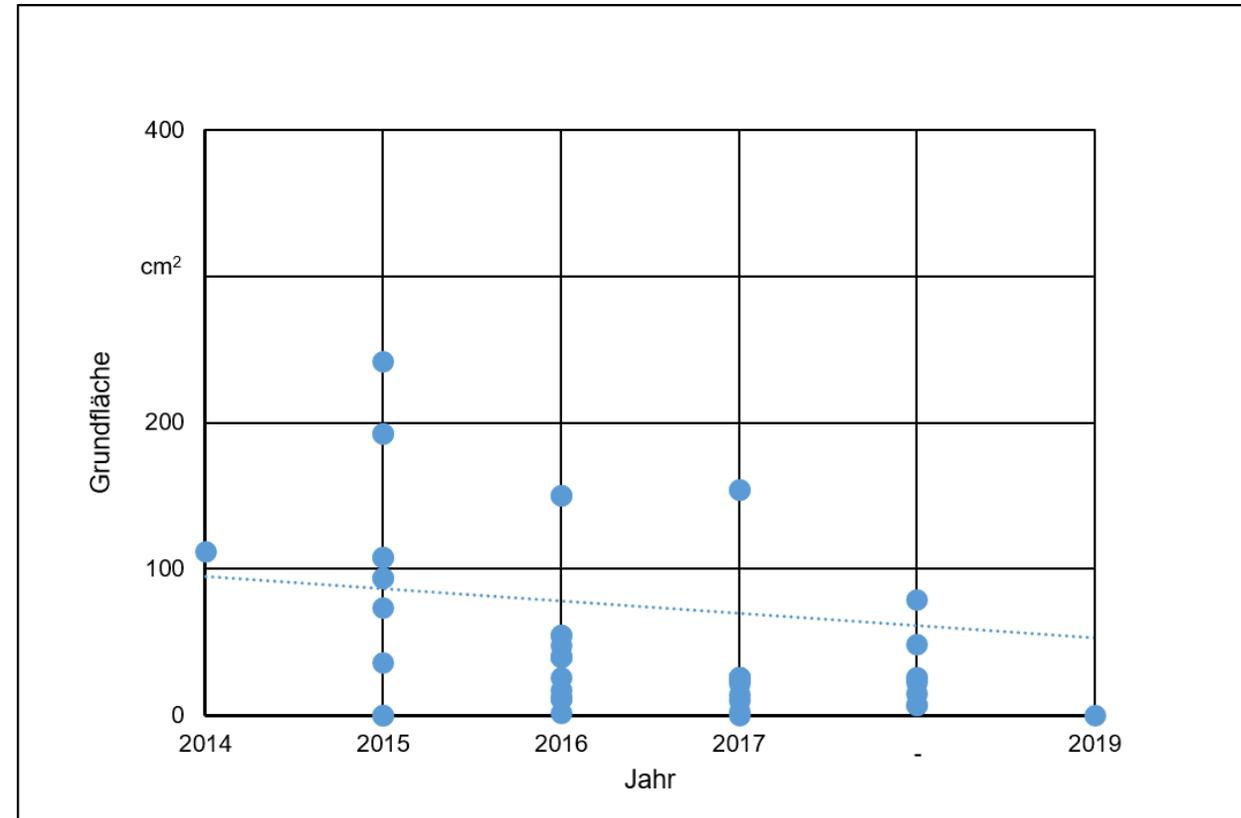
Abbildung 13: Messungen von Harnstoff mit dem Prototypen S2.

<sup>1</sup> Entnommen aus Literatur- und Referenzwerten

- Fertigung hochpräziser Optiken
- Fertigung von Replikaten planer Gitterstrukturen mit hoher Güte
- Systemminiaturisierung mit Gewährleistung einer optischen Auflösung  $< 1 \text{ nm}$
- Schaffung kostengünstiger, nutzerfreundlicher Gesamtsysteme zur Raman-Spektroskopie in Flüssigkeiten

## Trend:

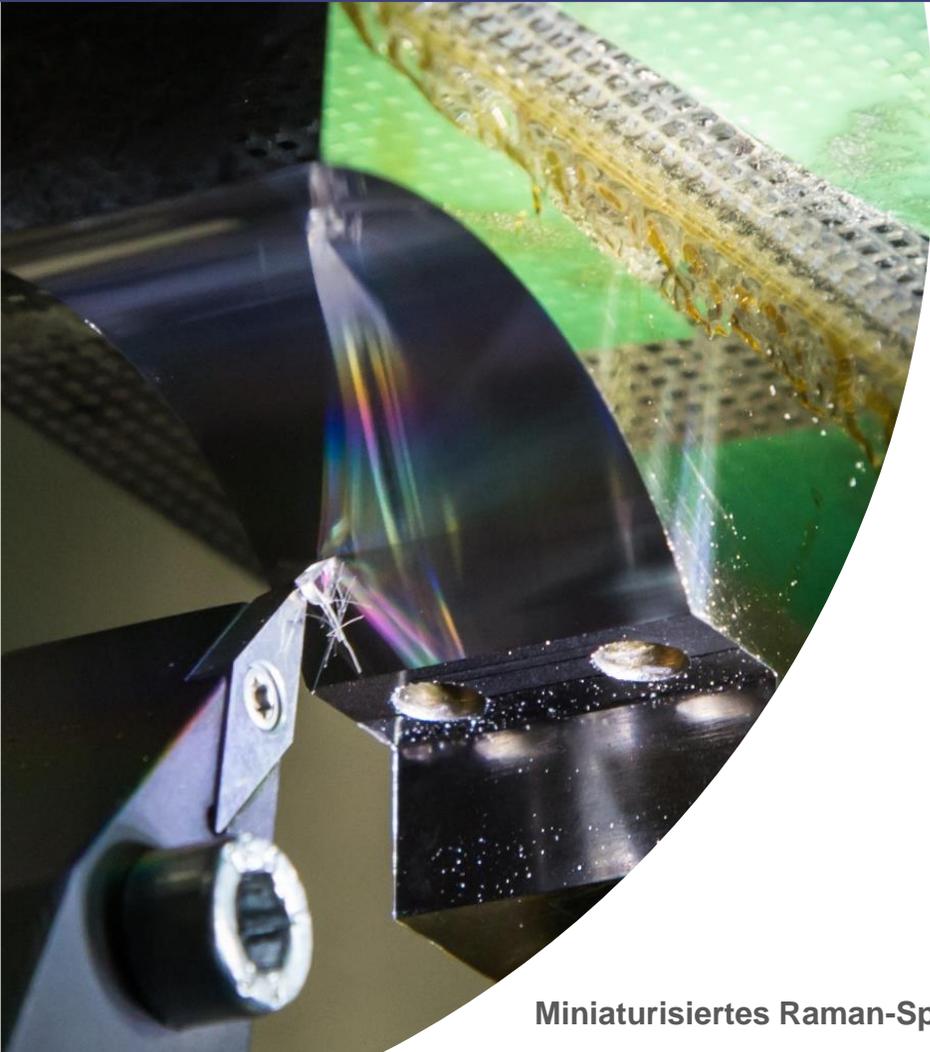
→ Miniaturisierung, Kostensenkung, breitere Analysebereiche, Untersuchung kleinerer Konzentrationen



© Dr.-Ing. Stefan Kühne

Abbildung 13: Weltweite Entwicklungen in der Auslegung von spektrometrischen Systemen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



## Kontakt:

**Frau Anja Marckwardt, M.Sc., M.Sc.**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb

Technische Universität Berlin

Fachgebiet Mikro- und Feingeräte

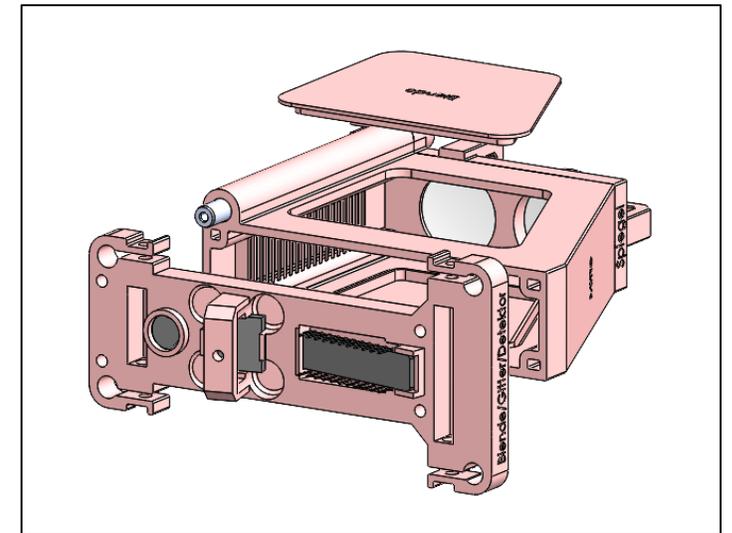
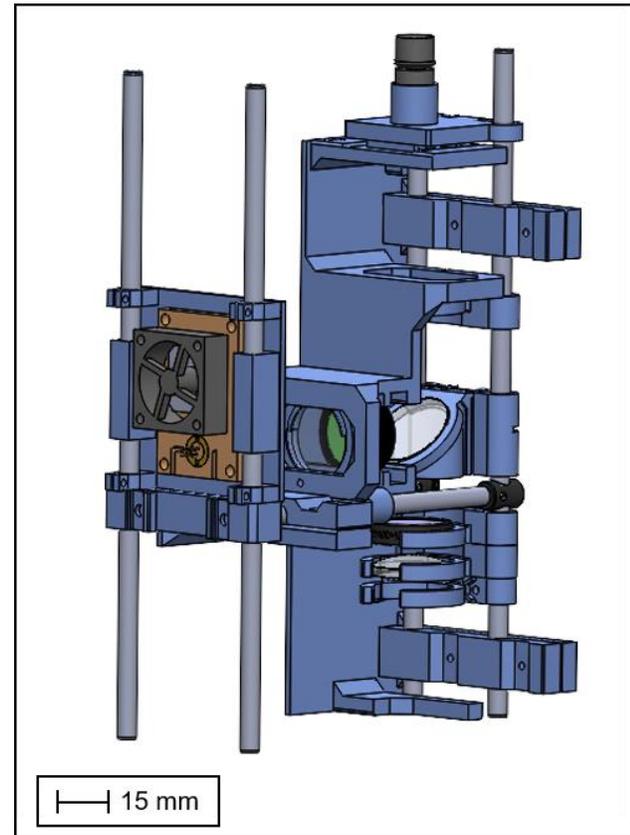
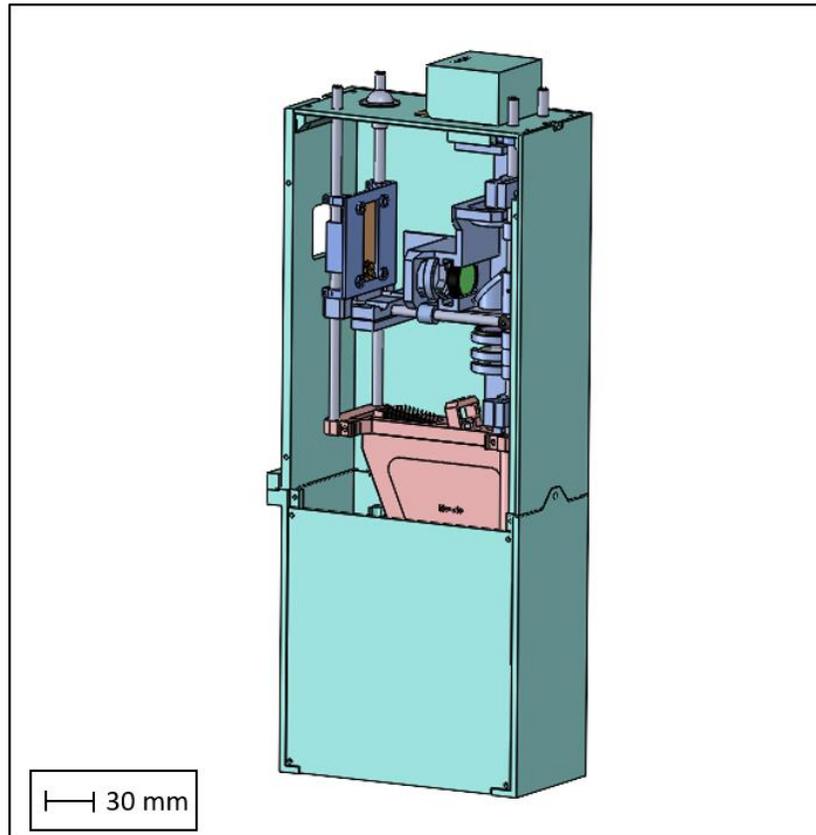
Prof. Dr.-Ing. Dirk Oberschmidt

Pascalstr. 8-9 D-10587 Berlin

Tel.: +49 30 314 23498

Mail: [marckwardt@mfg.tu-berlin.de](mailto:marckwardt@mfg.tu-berlin.de)

## Gesamtsystem P2



## Fertigung gekrümmter Optiken

