Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

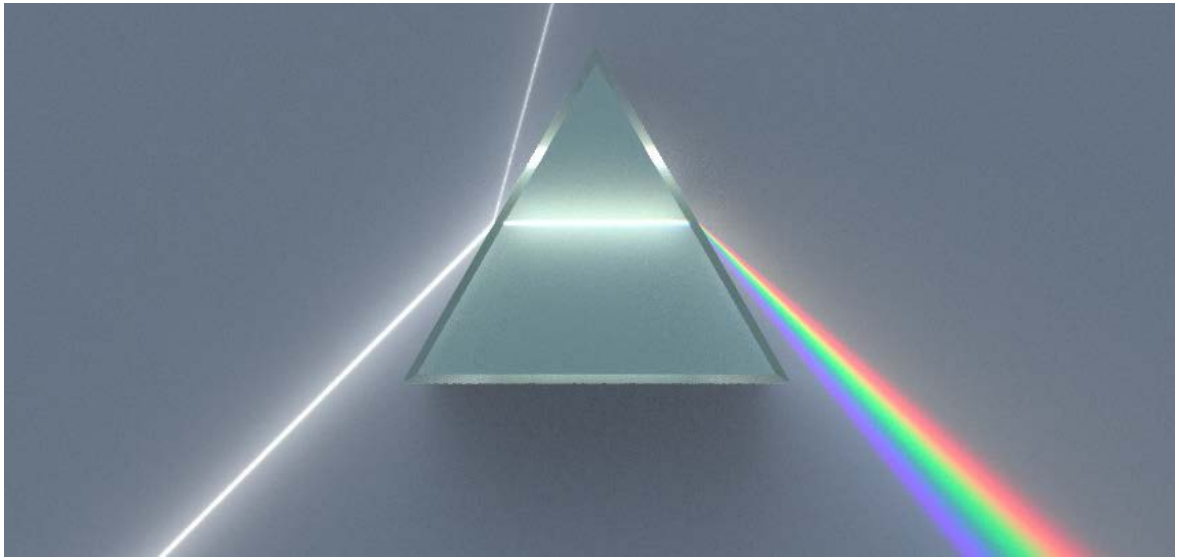
UV-Spektrometrie in Simulation und Anwendung

Resultate aus dem Forschungssemester im Frühling 2020

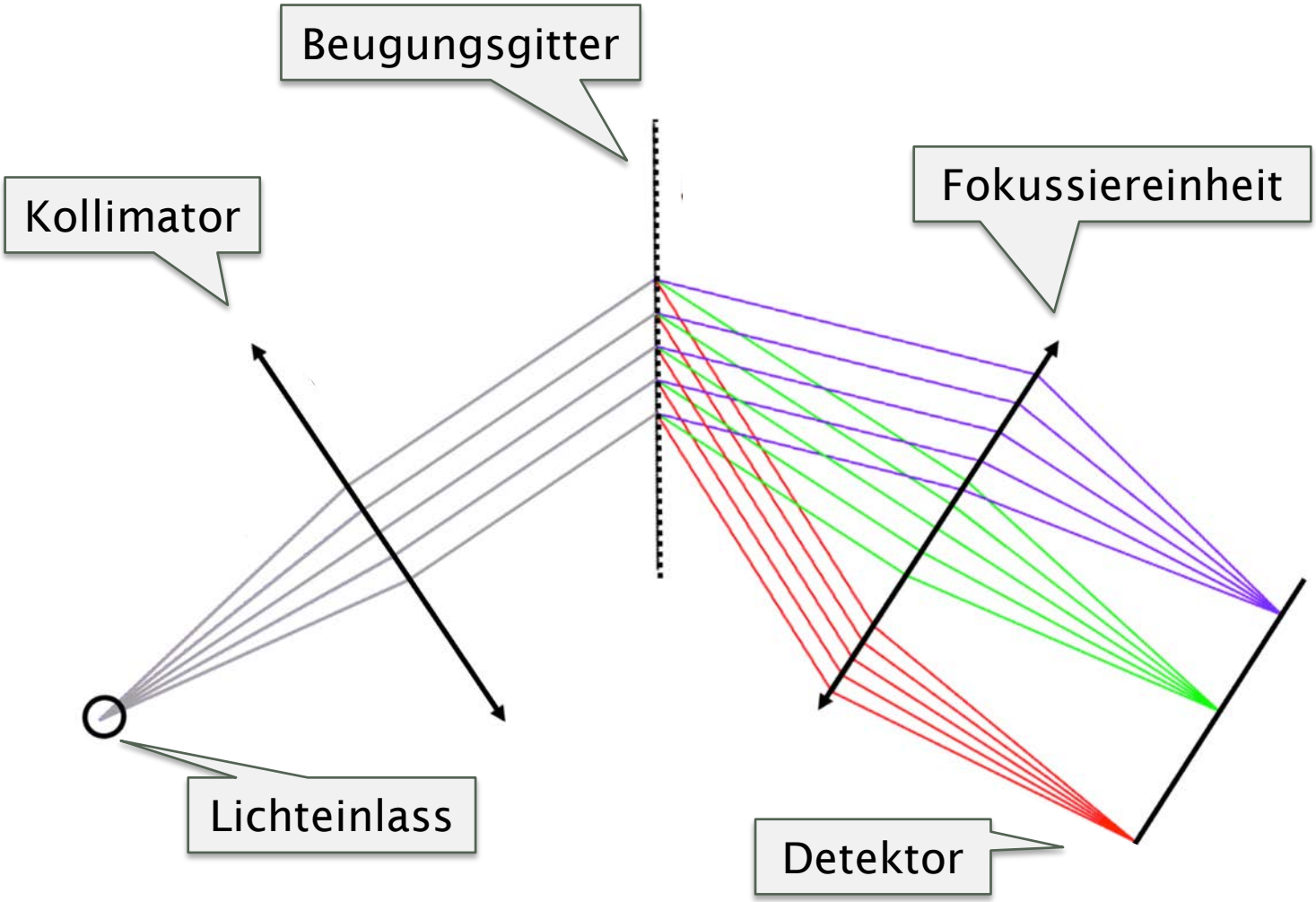
Lorenz Martin, 21. Mai 2021

Spektrometer ...

- werden verwendet, um Licht (elektromagnetische Strahlung) in seine Farben (Wellenlängen) zu zerlegen und deren Intensitäten zu messen.
- sind viel verwendete Analysegeräte, z.B. zur Bestimmung von Atomensorten, Molekülen und Kristallen, in der Astronomie oder in der Medizin.
- wurden durch Isaac Newton im 17. Jh. eingeführt.

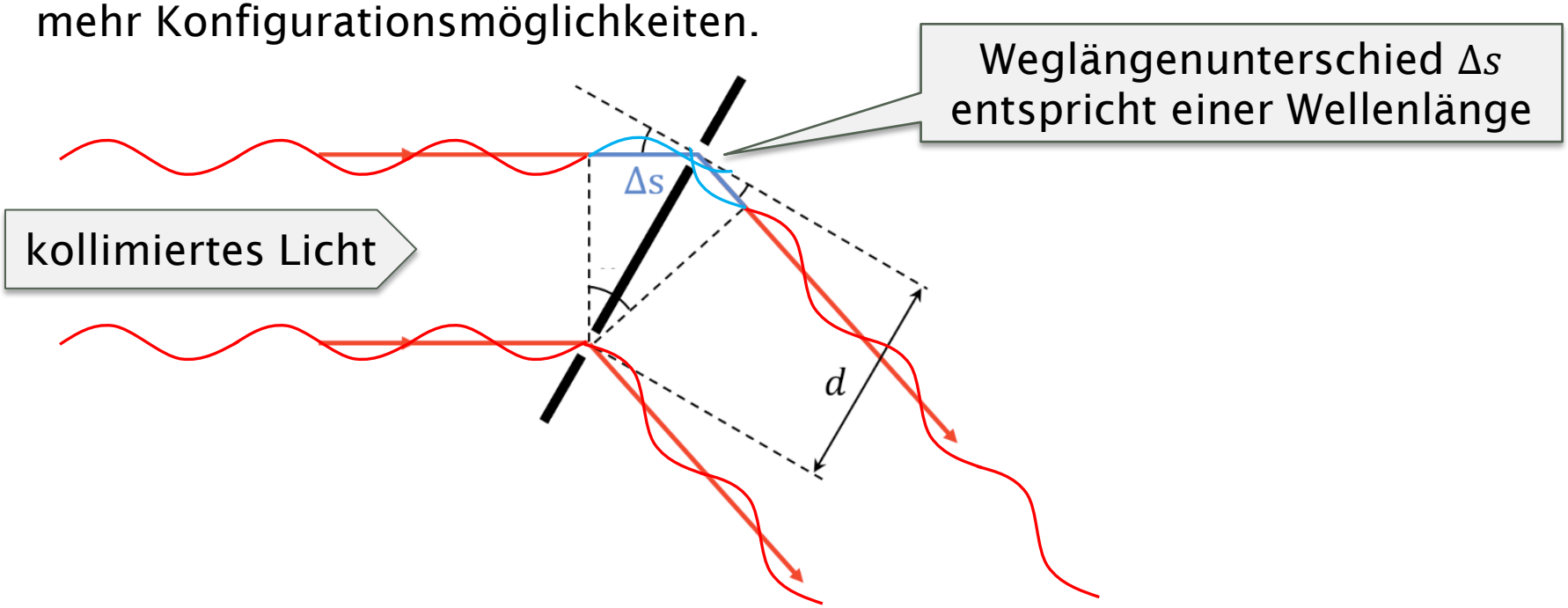


Die drei Grundbausteine des Spektrometers



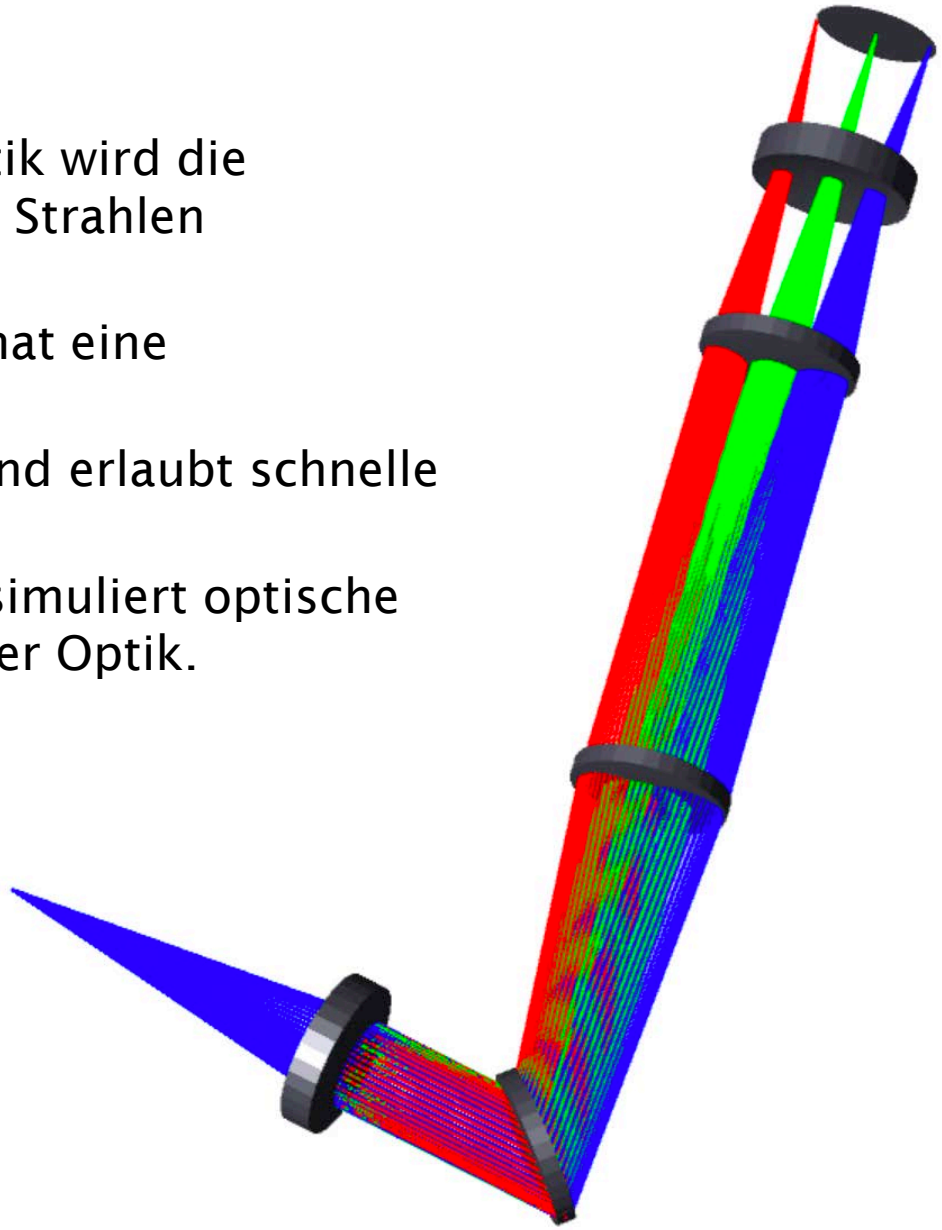
Das Beugungsgitter als dispergierendes Element

- Das dispergierende Element bündelt das Licht einer Wellenlänge in eine bestimmte Richtung.
- Traditionelle Spektrometer verwenden Prismen als dispergierendes Element.
- Heute sind Beugungsgitter üblich. Sie sind platzsparend und haben mehr Konfigurationsmöglichkeiten.

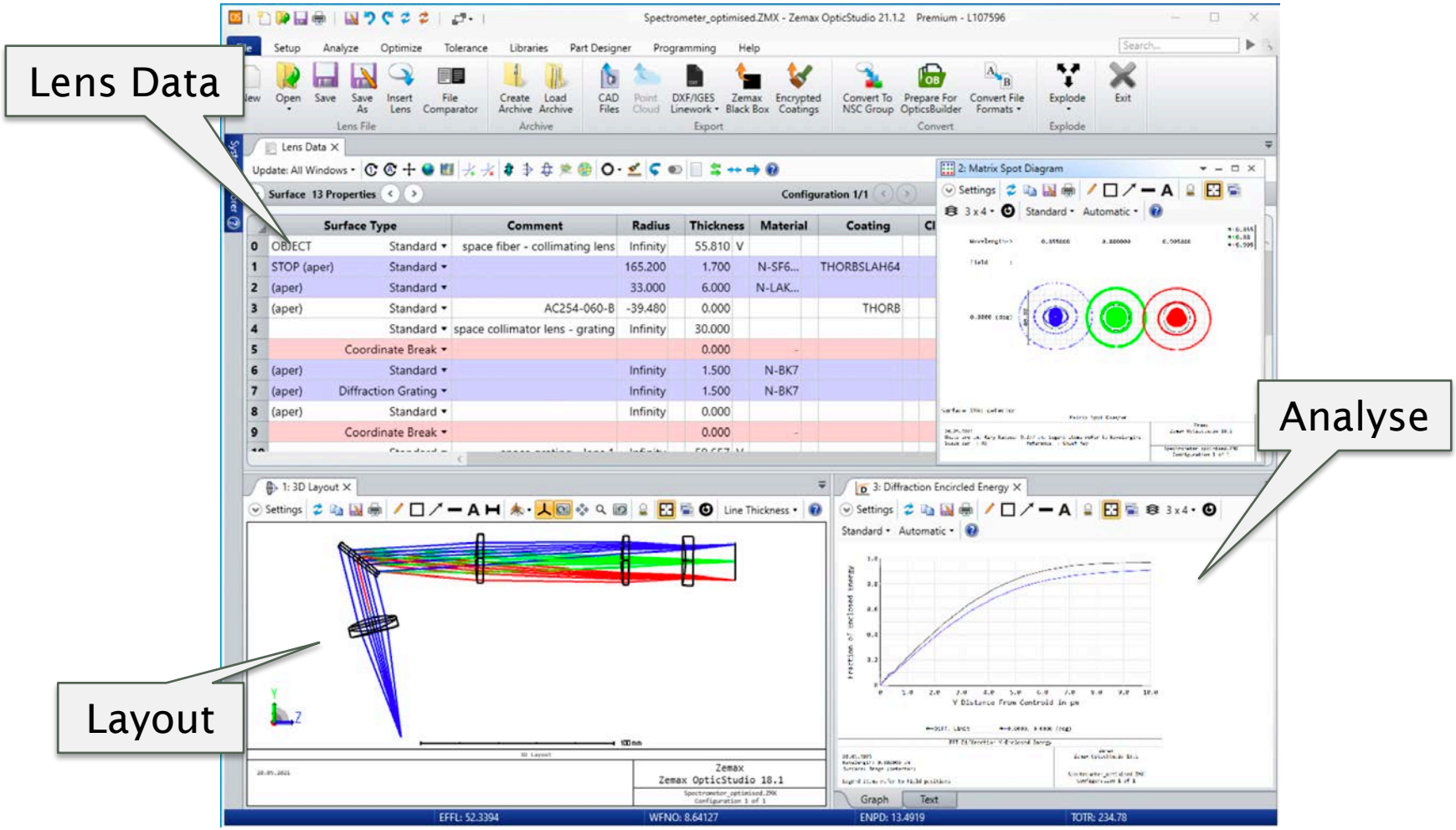


Wie kann man ein optisches System simulieren?

- In der geometrischen Optik wird die Ausbreitung von Licht als Strahlen dargestellt.
- Dieses Modell der Optik hat eine beschränkte Gültigkeit.
- Es ist aber sehr einfach und erlaubt schnelle Berechnungen.
- **OpticStudio** von Zemax simuliert optische Systeme mit geometrischer Optik.



OpticStudio von Zemax

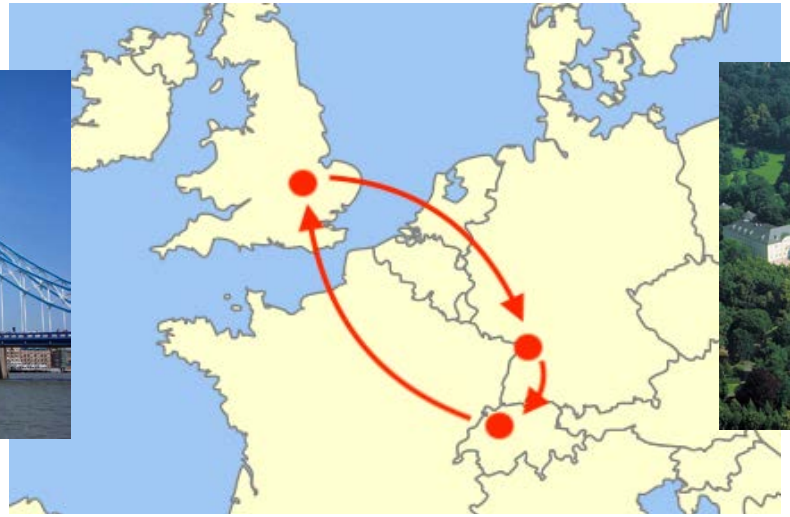


Ziele und Ablauf des Forschungssemesters

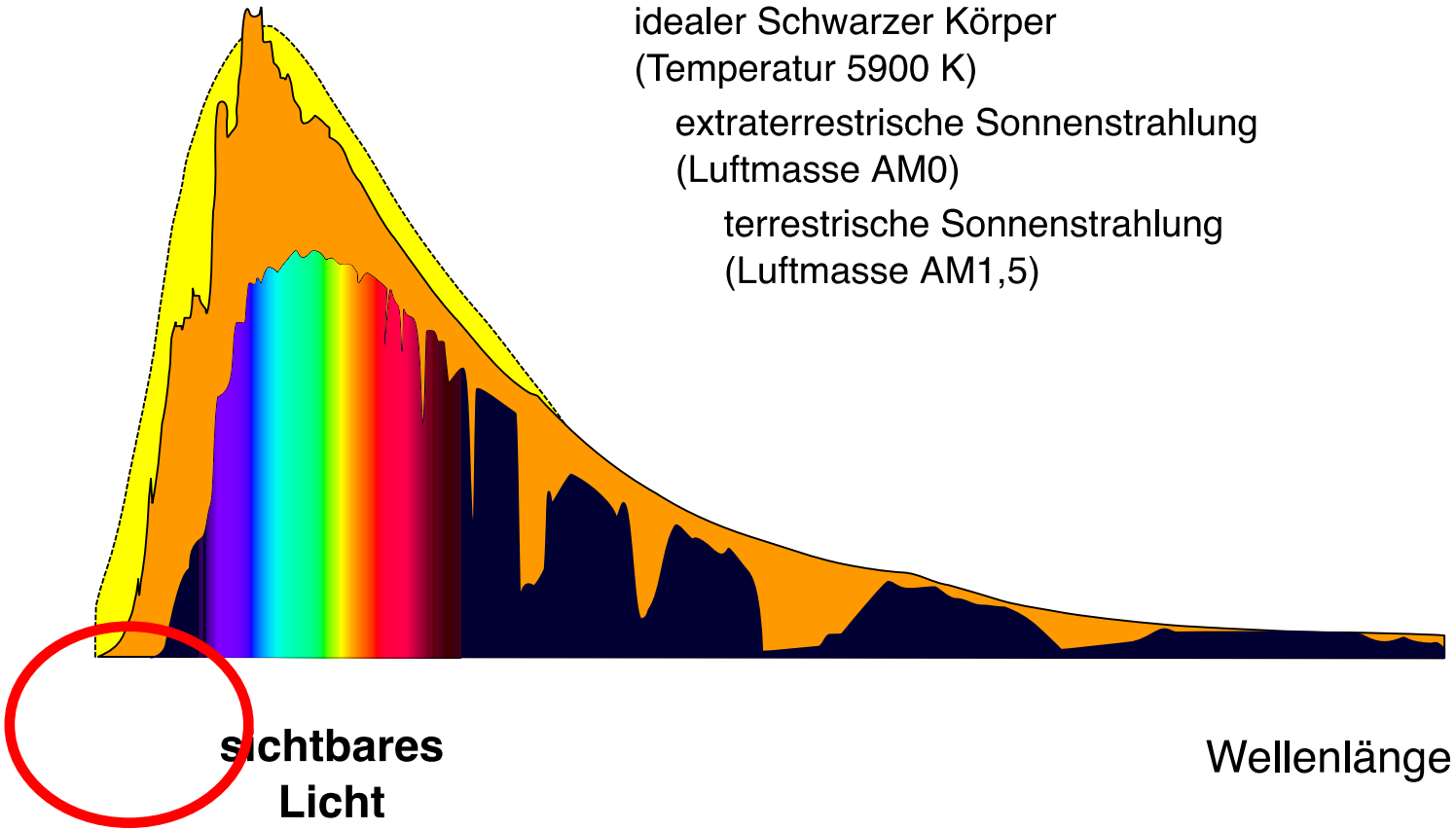
- Kenntnisse in Spektrometrie vertiefen, Theorie und Praxis verbinden
- Forschung und Entwicklung in einem industriellen Umfeld kennenlernen

- 15. Jan. bis 15. April 2020:
  Zemax Inc. in London, UK
- Simulation von optischen Systemen

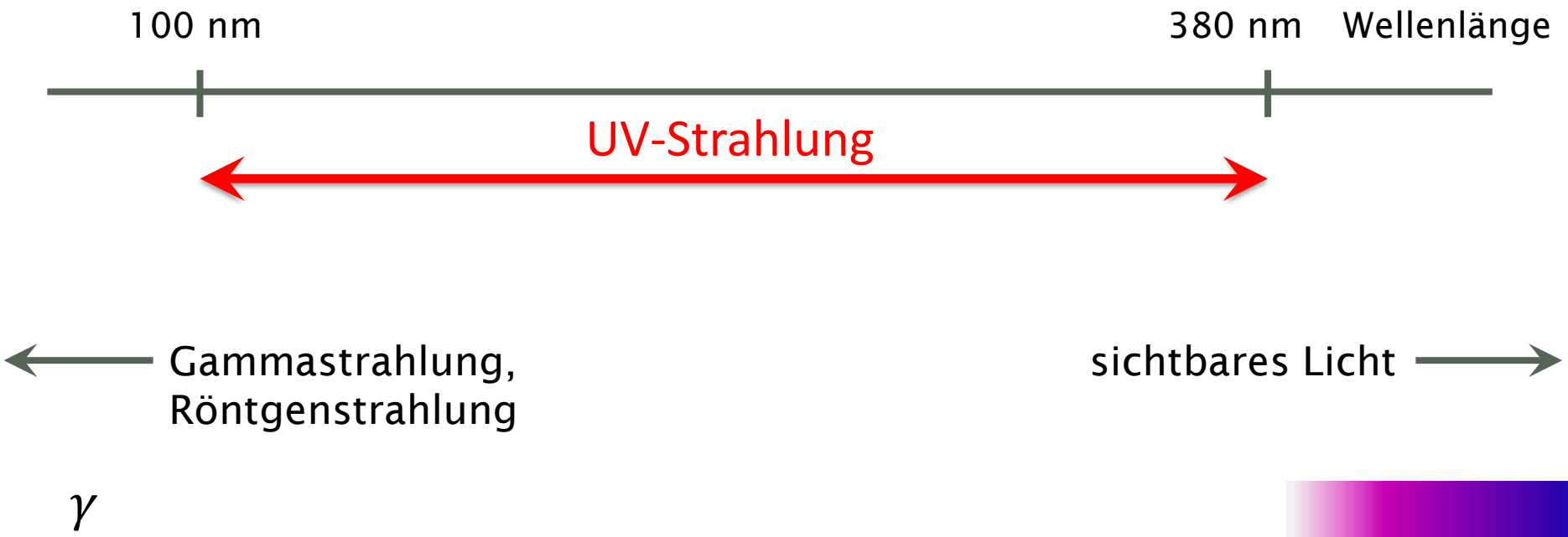
- 15. April bis 15. Juli 2020:
  Opsytec Dr. Gröbel in Karlsruhe, D
- UV-Quellen und Sensoren



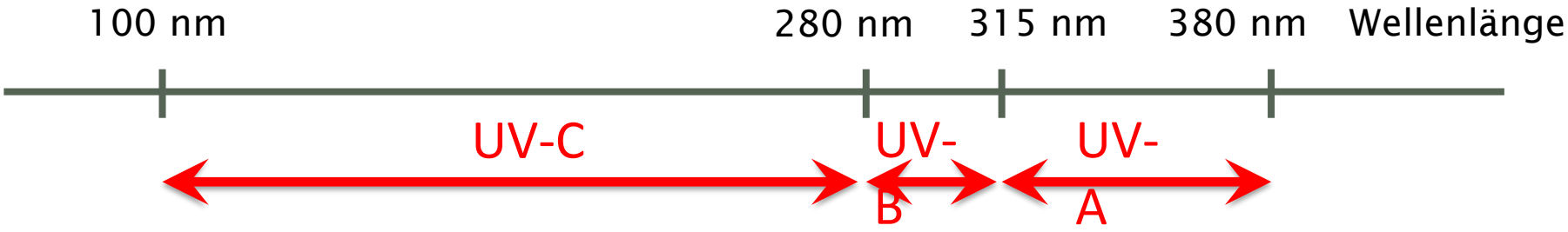
Das Spektrum des Sonnenlichts



Ultraviolette Strahlung: Abgrenzung



Ultraviolette Strahlung: UV-A, UV-B und UV-C



UV-C: 100 nm – 280 nm

- wird in der Atmosphäre vollständig absorbiert
- sehr energiereich, schädigt DNA
- geringe Eindringtiefe in Haut
- tötet Viren und Bakterien ab

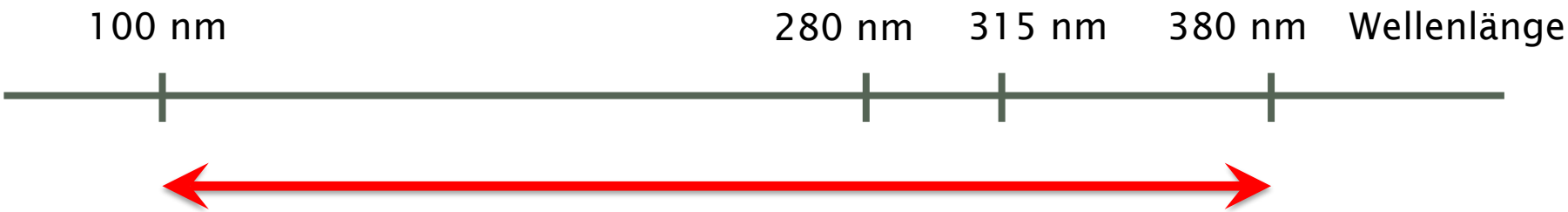
UV-A: 315 nm – 380 nm

- dringt zur Erdoberfläche durch
- wenig energiereich
- grosse Eindringtiefe in Haut
- kaum Hautbräunung, jedoch Hautalterung, Katarakt

UV-B: 280 nm – 315 nm

- wird durch obere Atmosphäre (Ozonschicht) stark absorbiert
- mittlere Eindringtiefe in Haut
- Verursacht Hautbräunung, Sonnenbrand und Hautkrebs

Ultraviolettes Strahlung: Quellen



Gasentladung

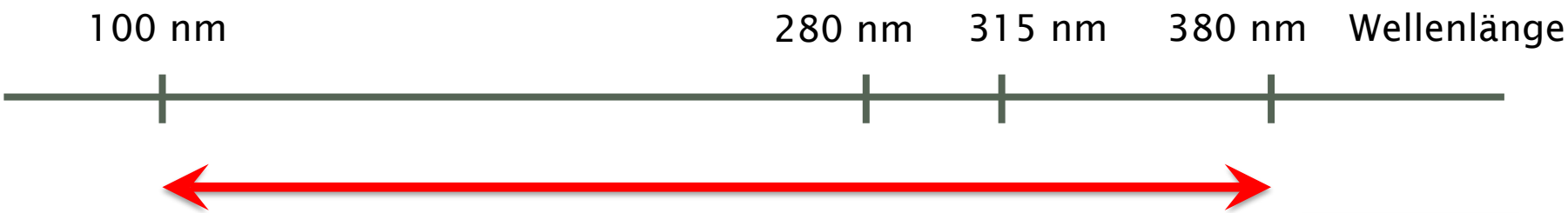
Halogenstrahler

Sonne

Excimerlaser

Leuchtdioden

Ultraviolettes Strahlung: Anwendungen



Desinfektion (UV-C)

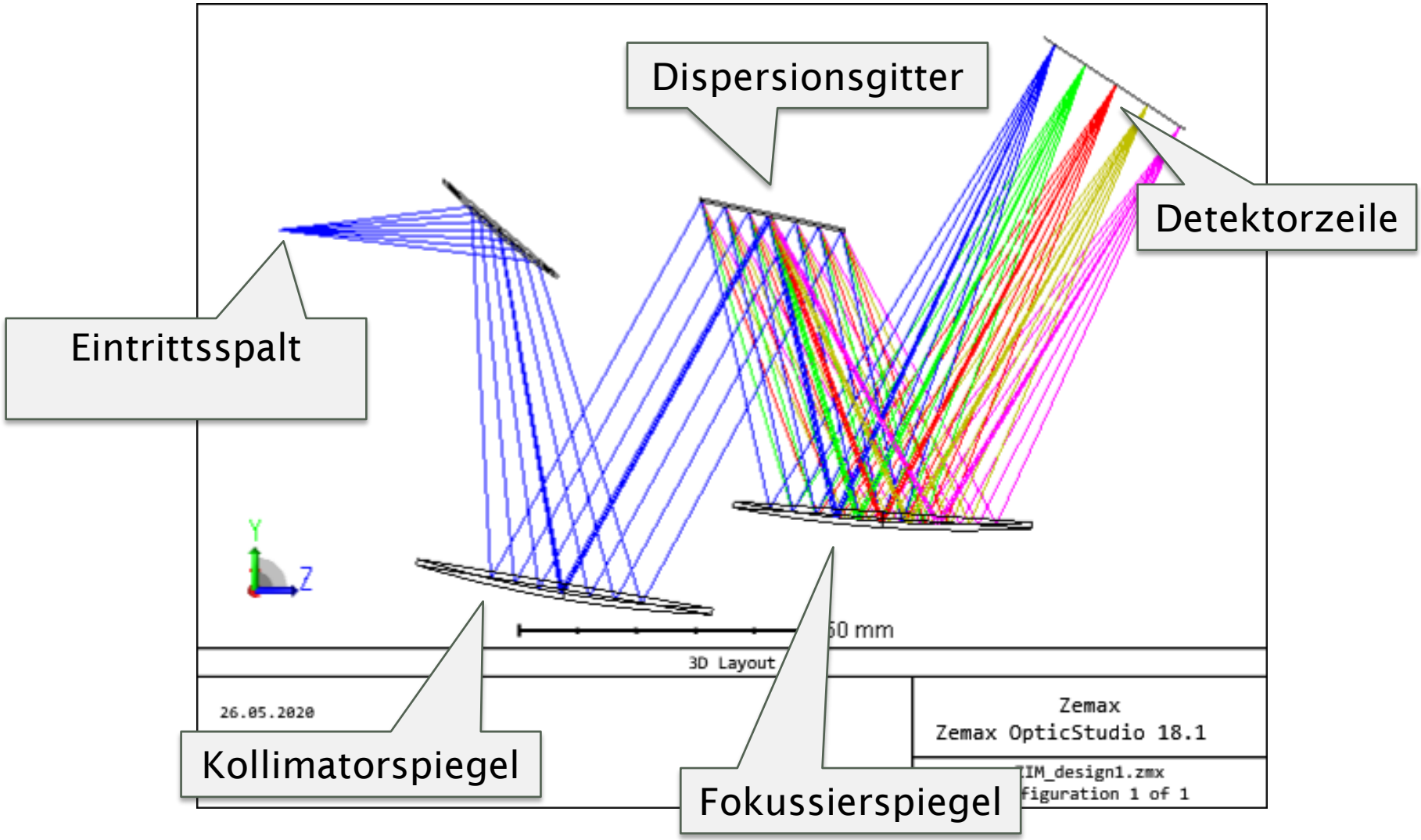
UV-Klebstoffe

Materialprüfung

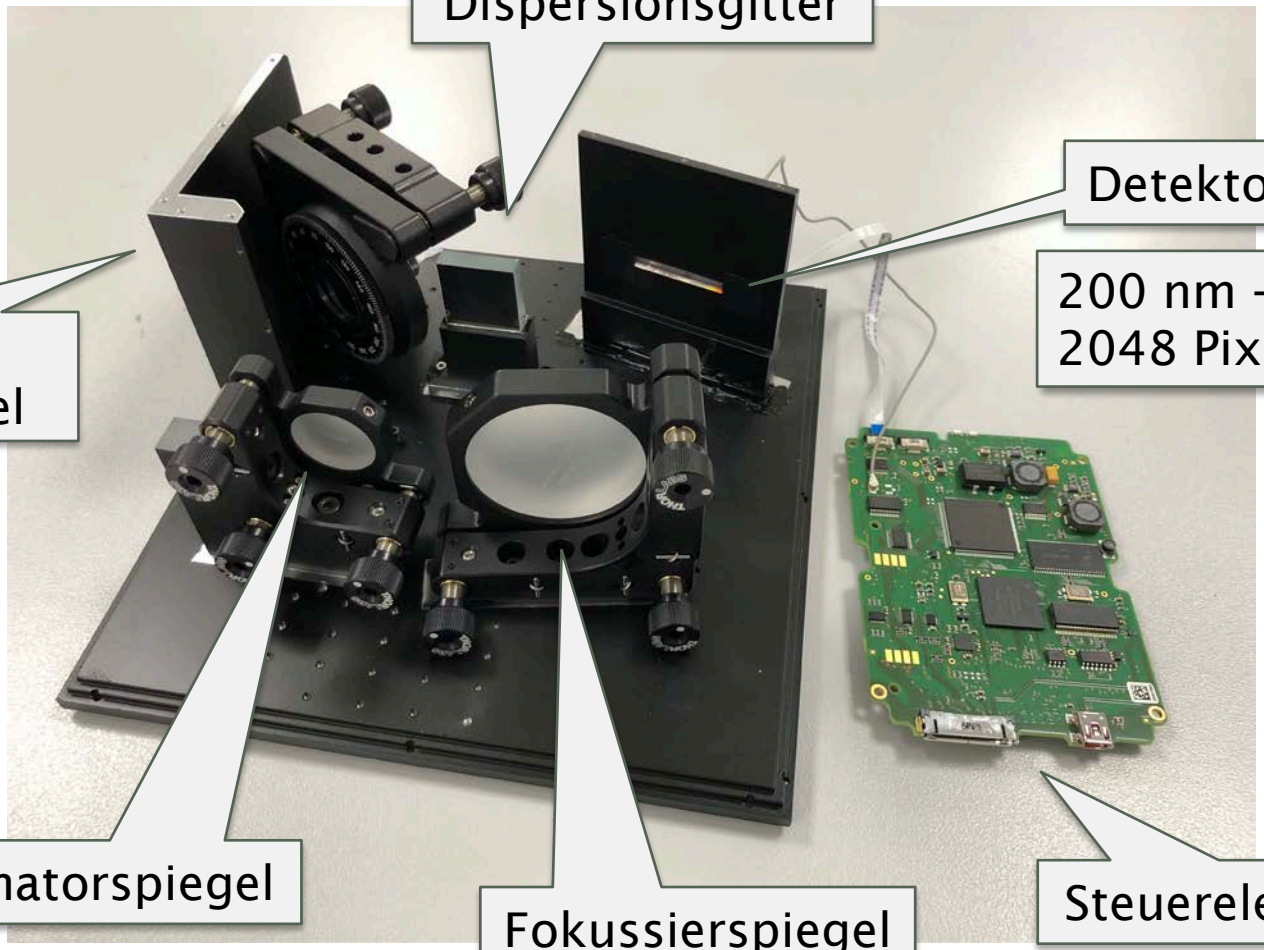
Solarien

- UV-Strahlung führt zu Alterung von fast allen Materialien
- UV-Strahlung wird von fast allen Materialien und den meisten Gläsern absorbiert. -> In der Optik Spiegel statt Linsen

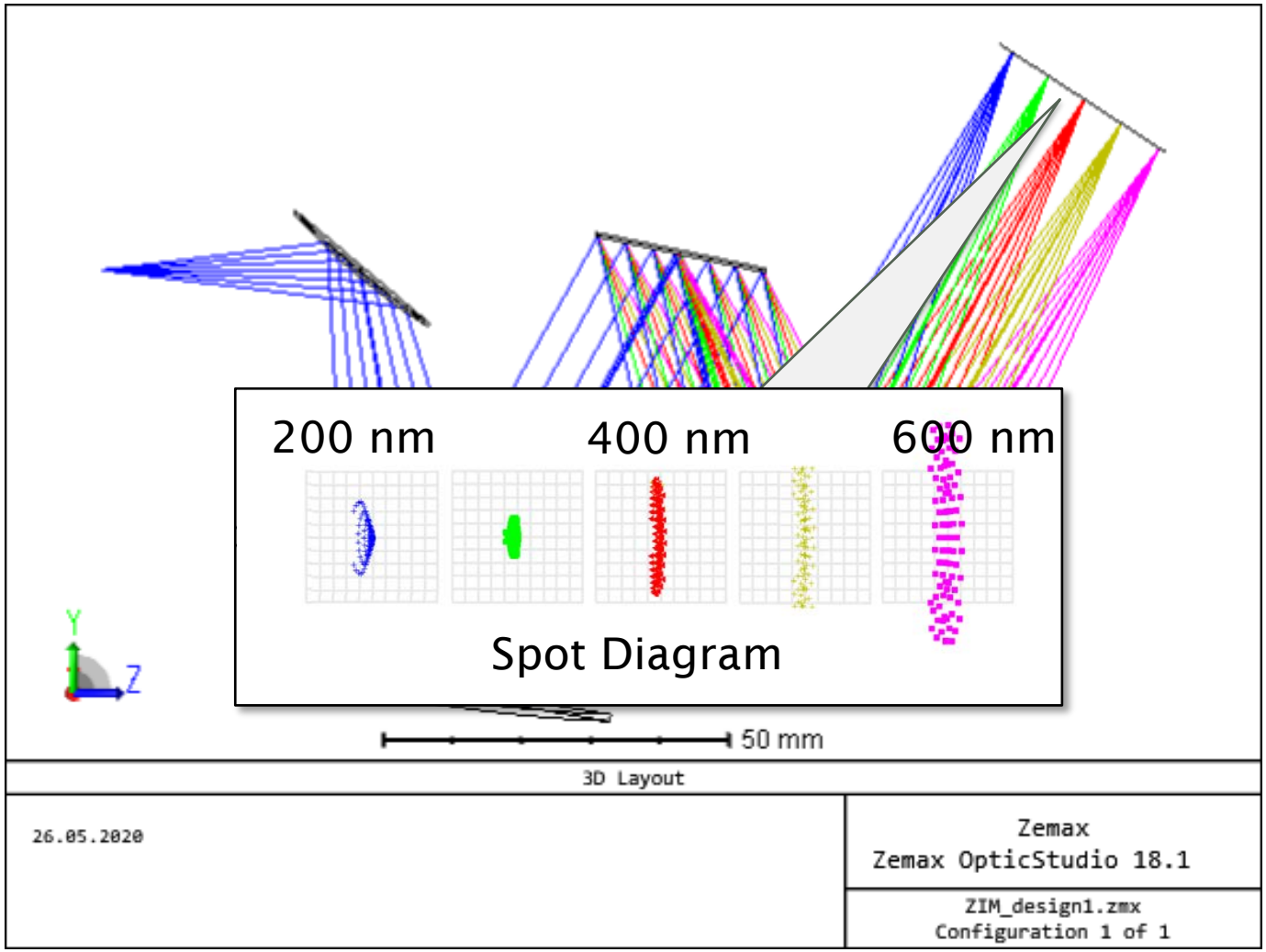
UV-Spektrometer: Czerny-Turner-Aufbau



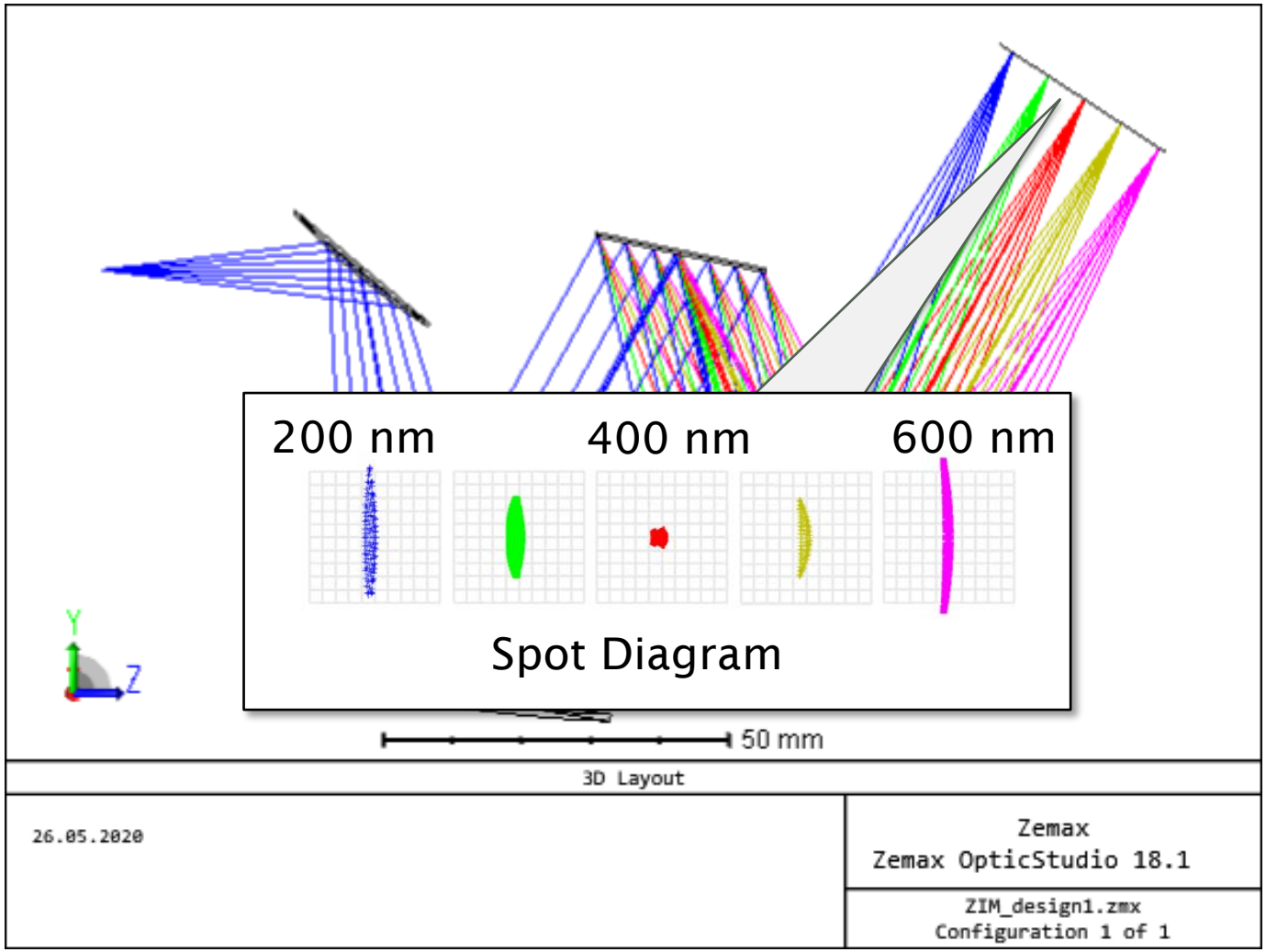
UV-Spektrometer, Czerny-Turner-Aufbau



UV-Spektrometer: Simulation und Optimierung

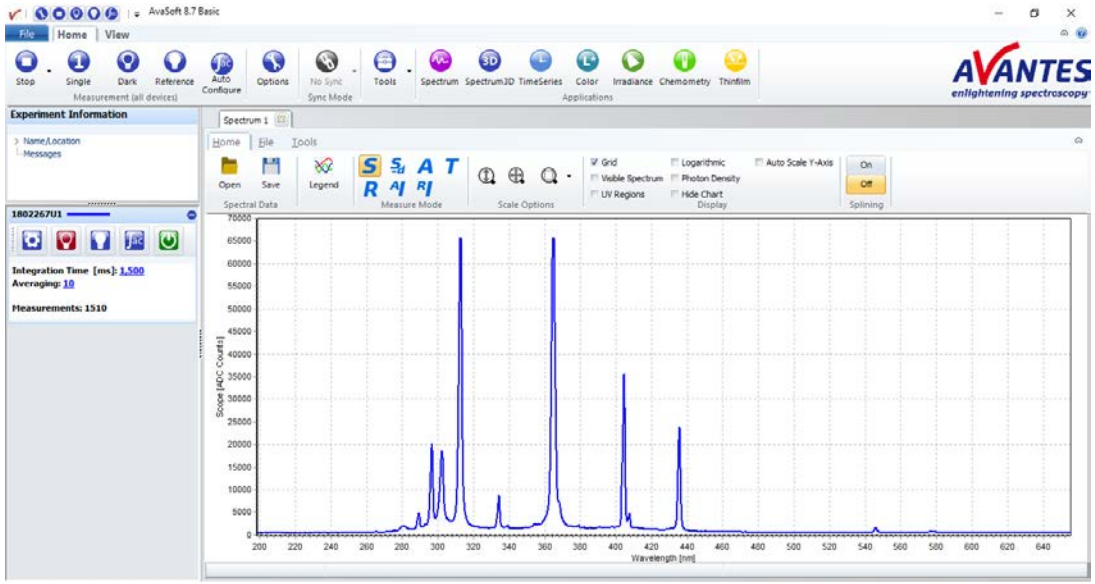


UV-Spektrometer: Simulation und Optimierung



UV-Spektrometer: Kalibrierung

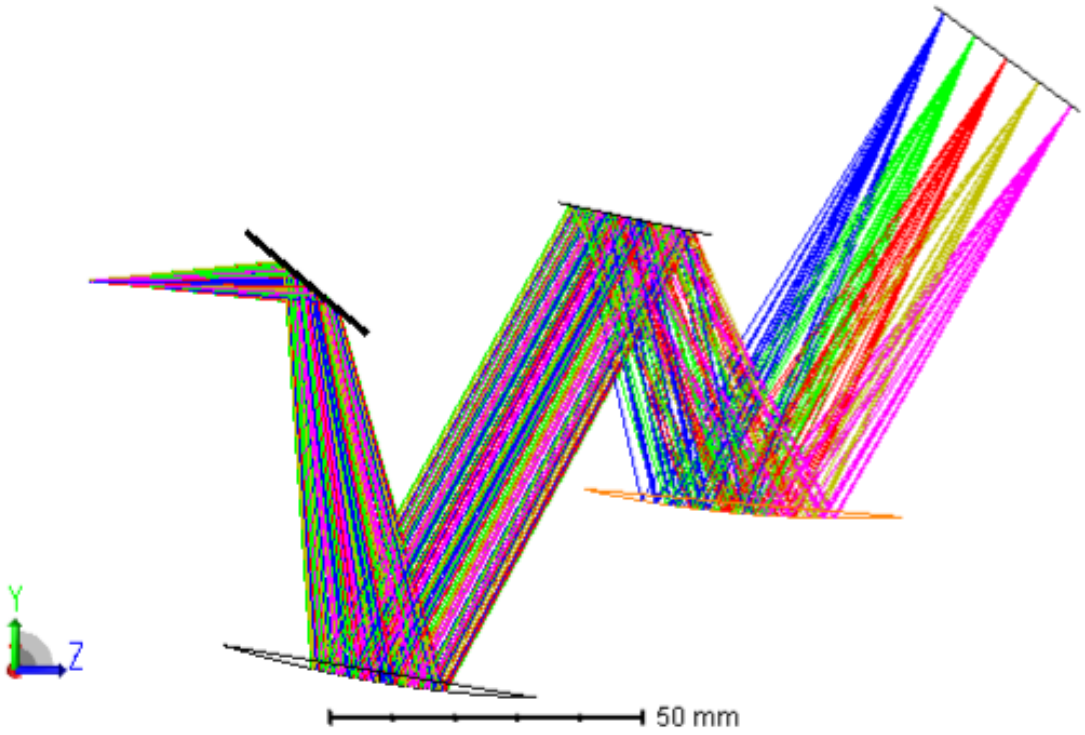
- Wellenlängenkalibration mit Linien einer Gasentladungslampe



Alle Werte in nm		
Soll	Ist	Diff.
253,65	253,35	-0,3
313,18	312,89	-0,29
365,02	365,15	0,13
404,66	404,4	-0,26
435,84	435,49	-0,35
546,08	545,83	-0,25

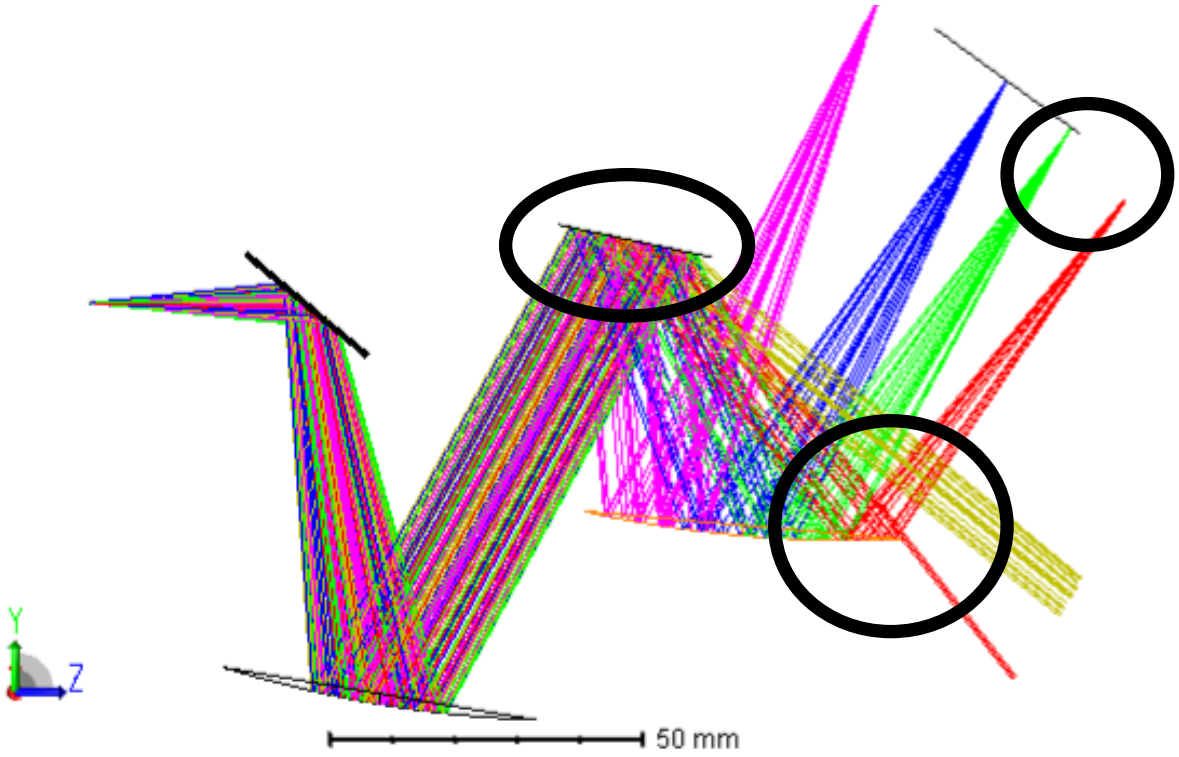
- Wellenlängenbereich: 198.5 nm bis 655.5 nm
- Mittlere Auflösung: 4.5 px/nm oder 0.22 nm/px
- 7 Pixel mit $\lambda < 200$ nm als Streulichtdetektoren

UV-Spektrometer: Streulicht

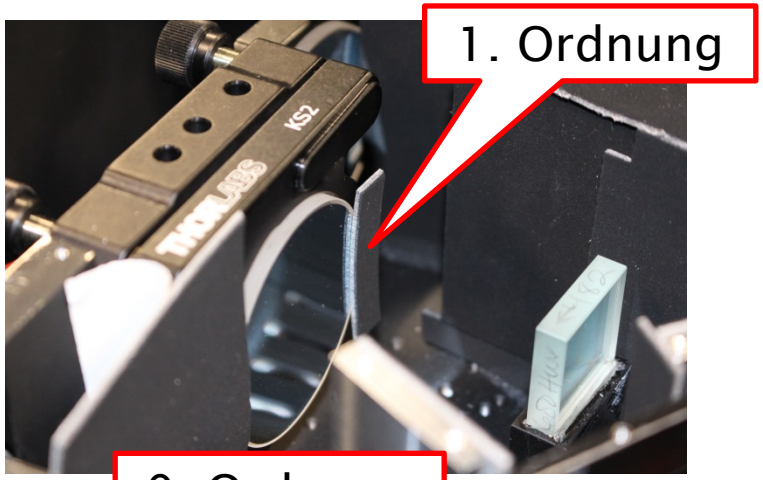


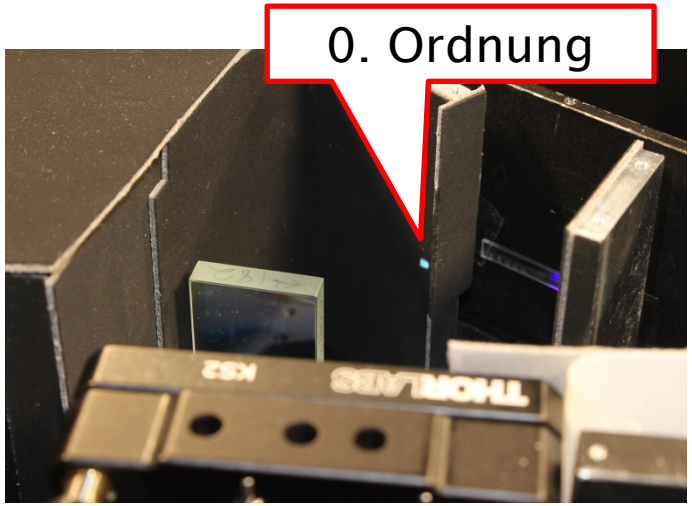
UV-Spektrometer: Streulicht

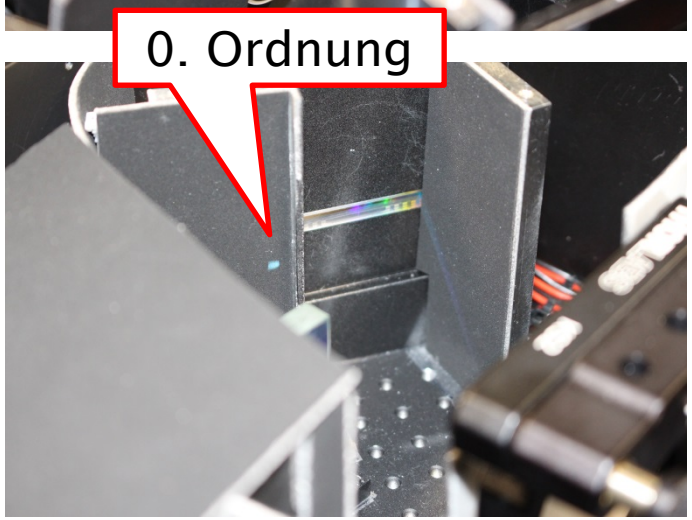
- Streulicht entsteht vor allem am Dispersionsgitter (höhere Ordnungen).
- Durch Mehrfachreflexion gelangt das Streulicht auf den Detektor und verfälscht die Messung.

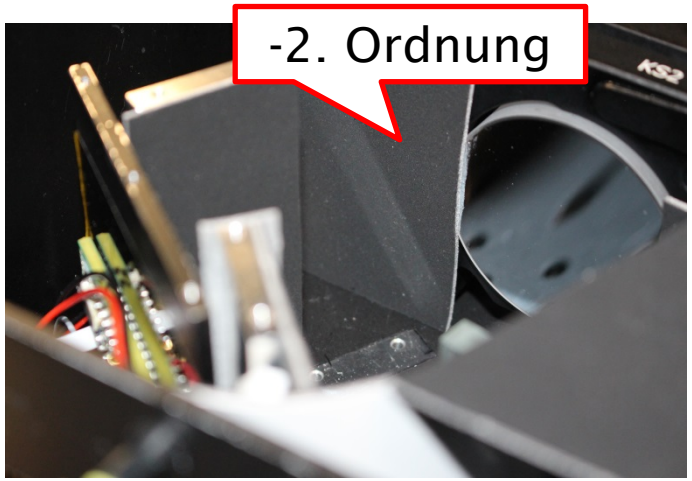


UV-Spektrometer: Streulicht

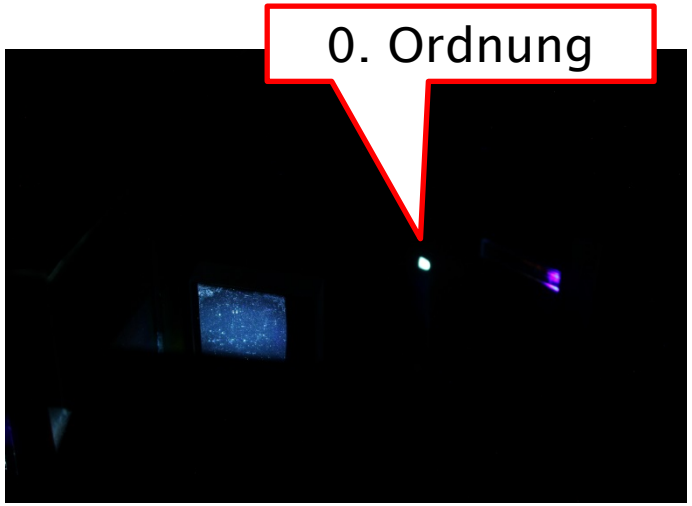


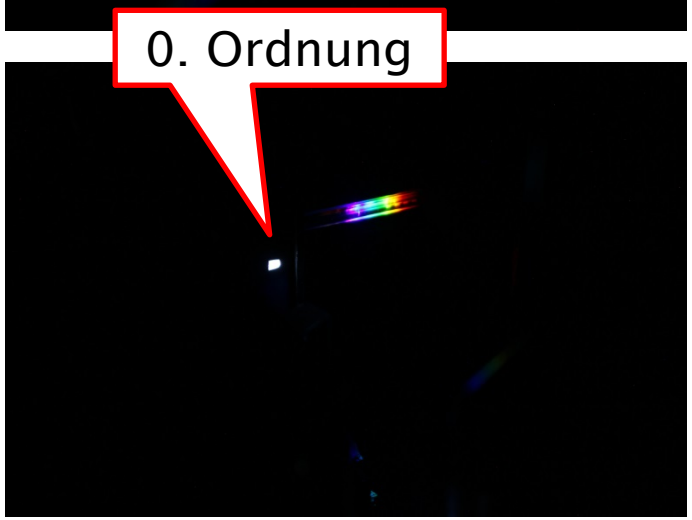


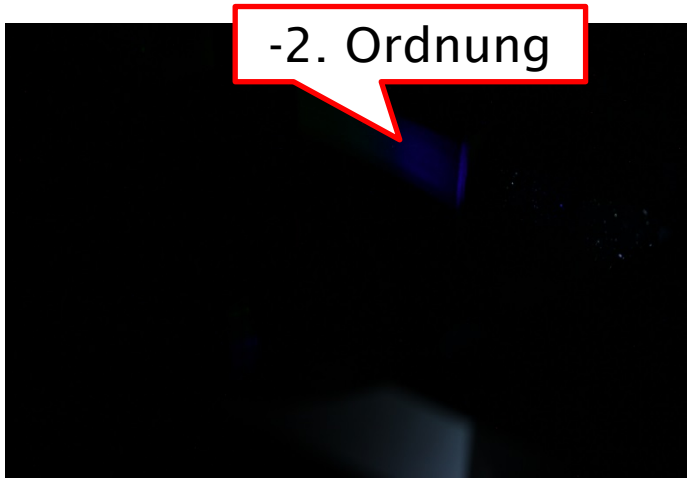




UV-Spektrometer: Streulicht

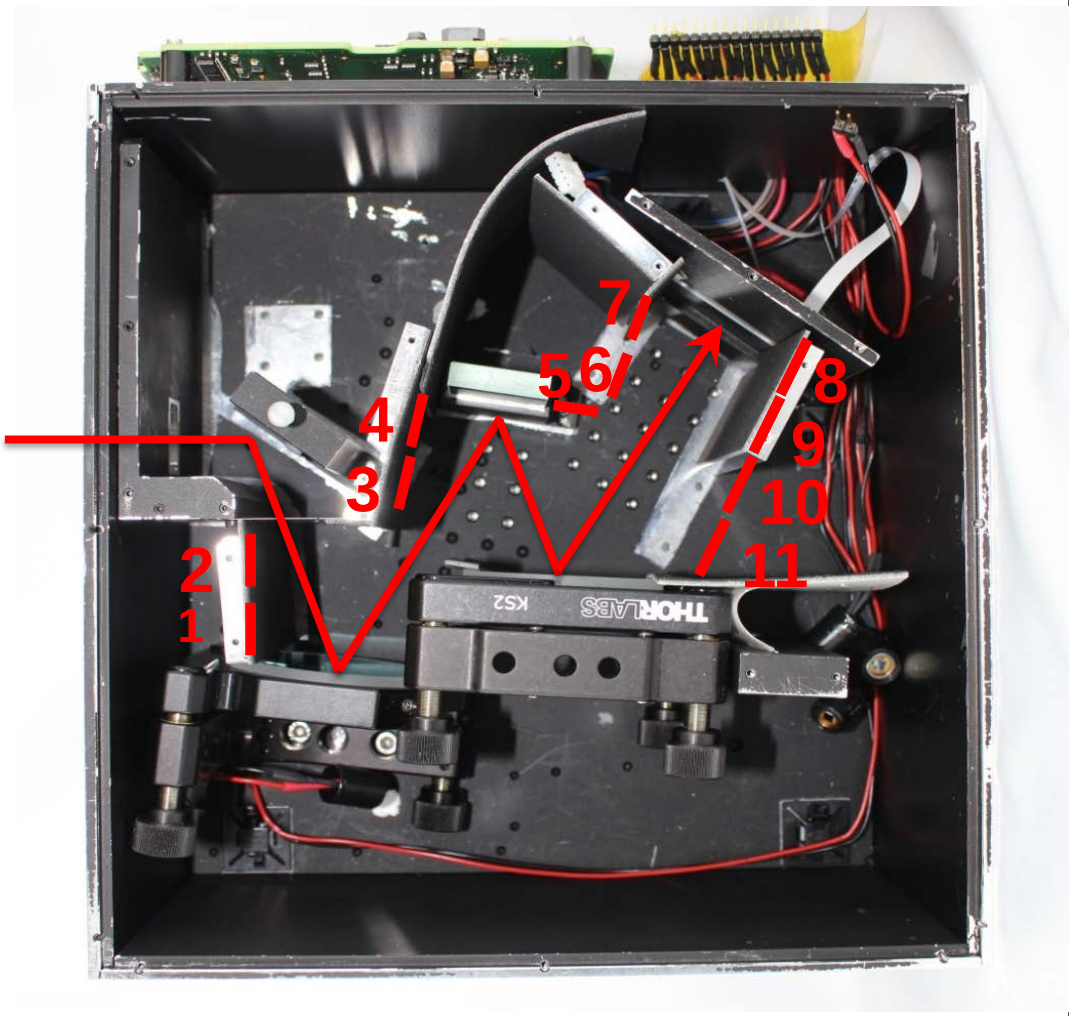




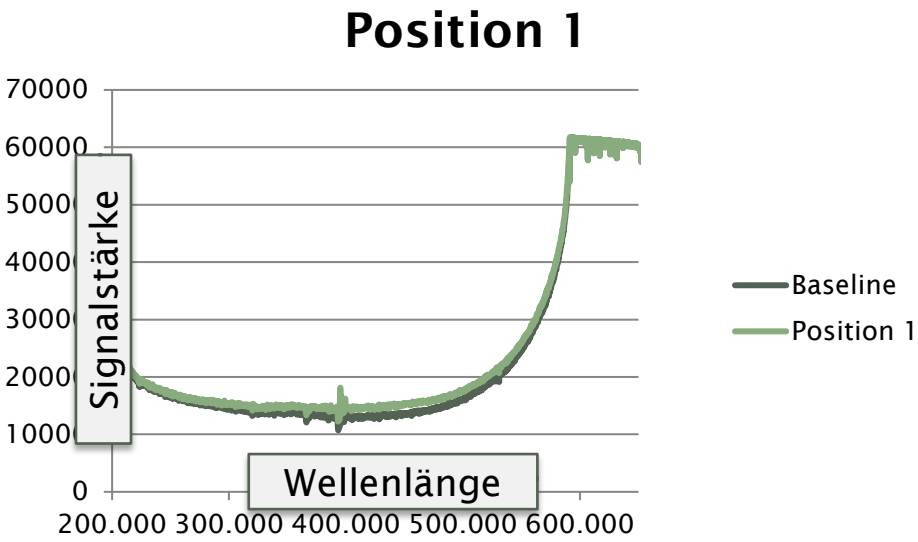


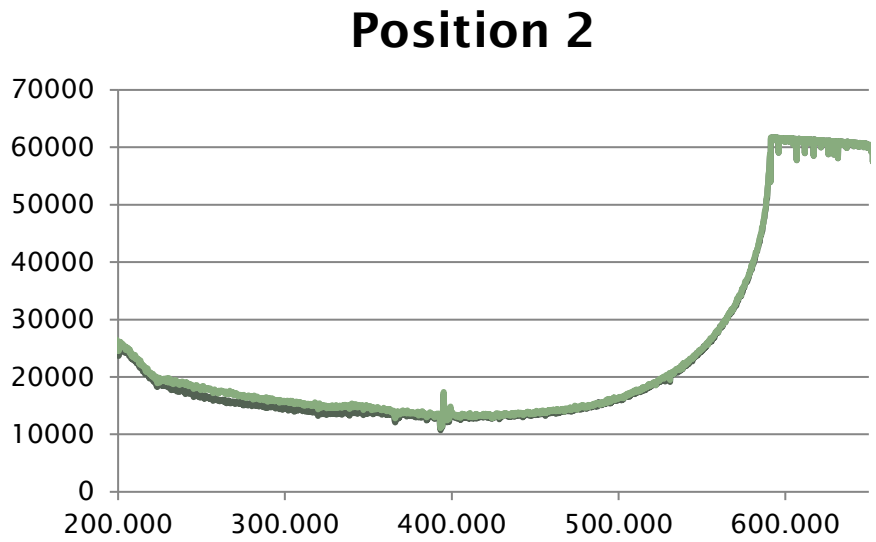
UV-Spektrometer: Messung des Streulichts

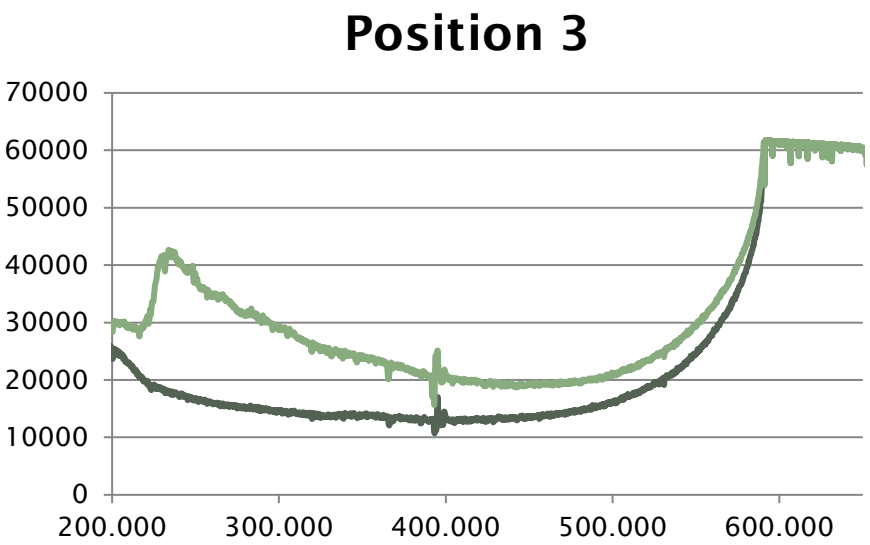
- Spektrometer wurde mit Absorber ausgekleidet (minimales Streulicht)
- Danach wurde an ausgewählten Stellen (rote Zahlen) nacheinander Papier als diffuser Reflektor angebracht.
- So konnten Orte mit hoher Reflexion identifiziert werden.

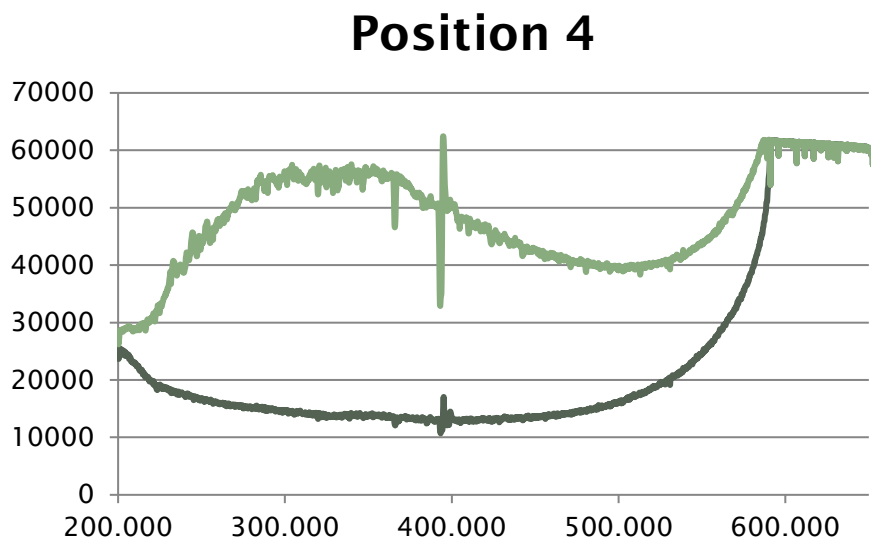


UV-Spektrometer: Messung des Streulichts







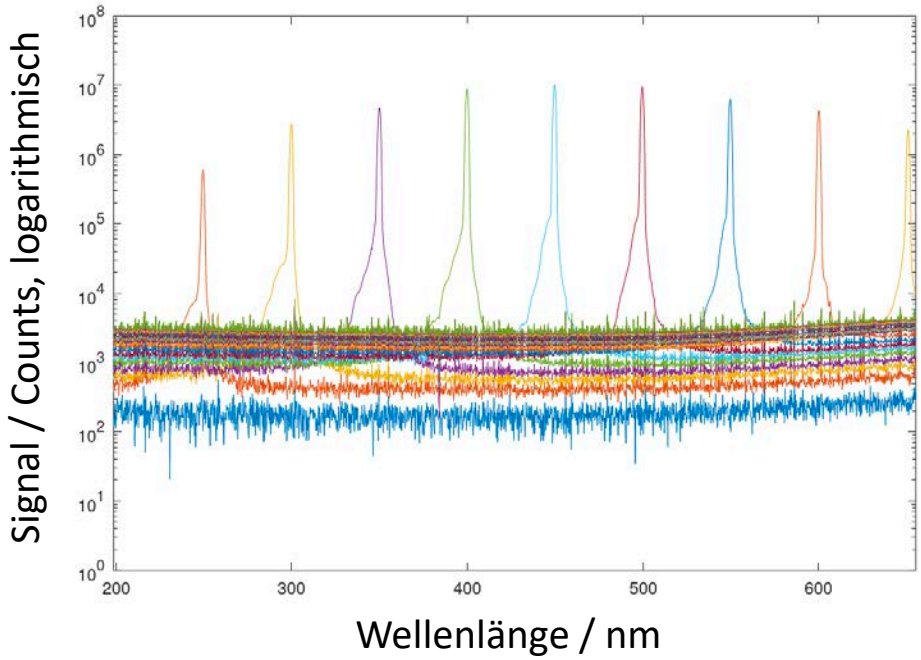


UV-Spektrometer: Lösung des Streulichtproblems

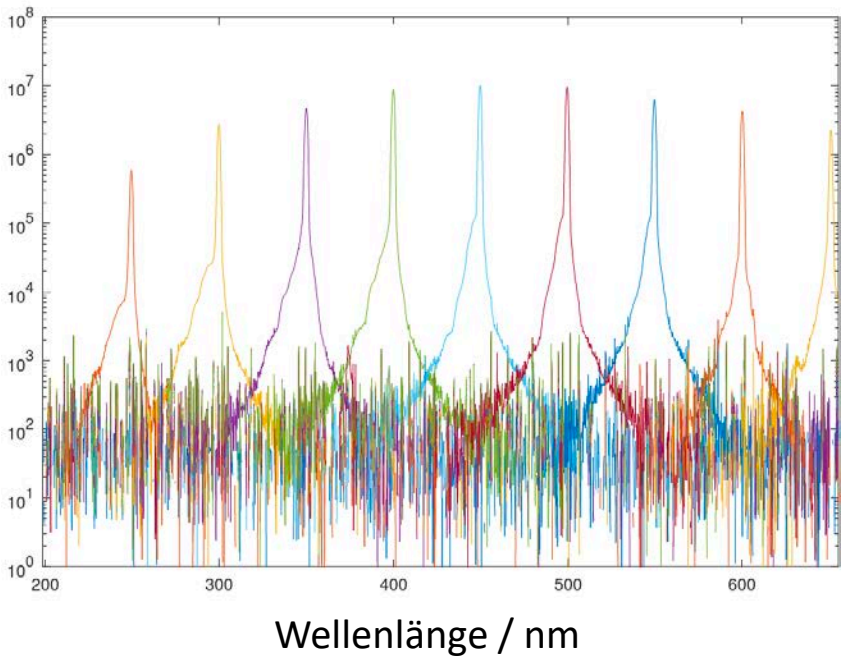
- Optimieren des Spektrometer-Aufbaus, d.h. Lenken des Streulichts.
- Absorbieren des Streulichts an den kritischen Punkten (Strahlfallen).
- Absorbermaterialien mit diffuser Rückstreuung verwenden, d.h. Streulicht ist gleichmässig auf Detektorzeile verteilt (aselektives Signal).
- Signal bei 195 nm entspricht dem Streulichtanteil.

UV-Spektrometer: Lösung des Streulichtproblems

- Testmessung mit Xenon-Lampe und Doppelmonochromator
- Signal-Rausch-Verhältnis wird mit Korrektur von 10^3 auf 10^4 gesteigert.

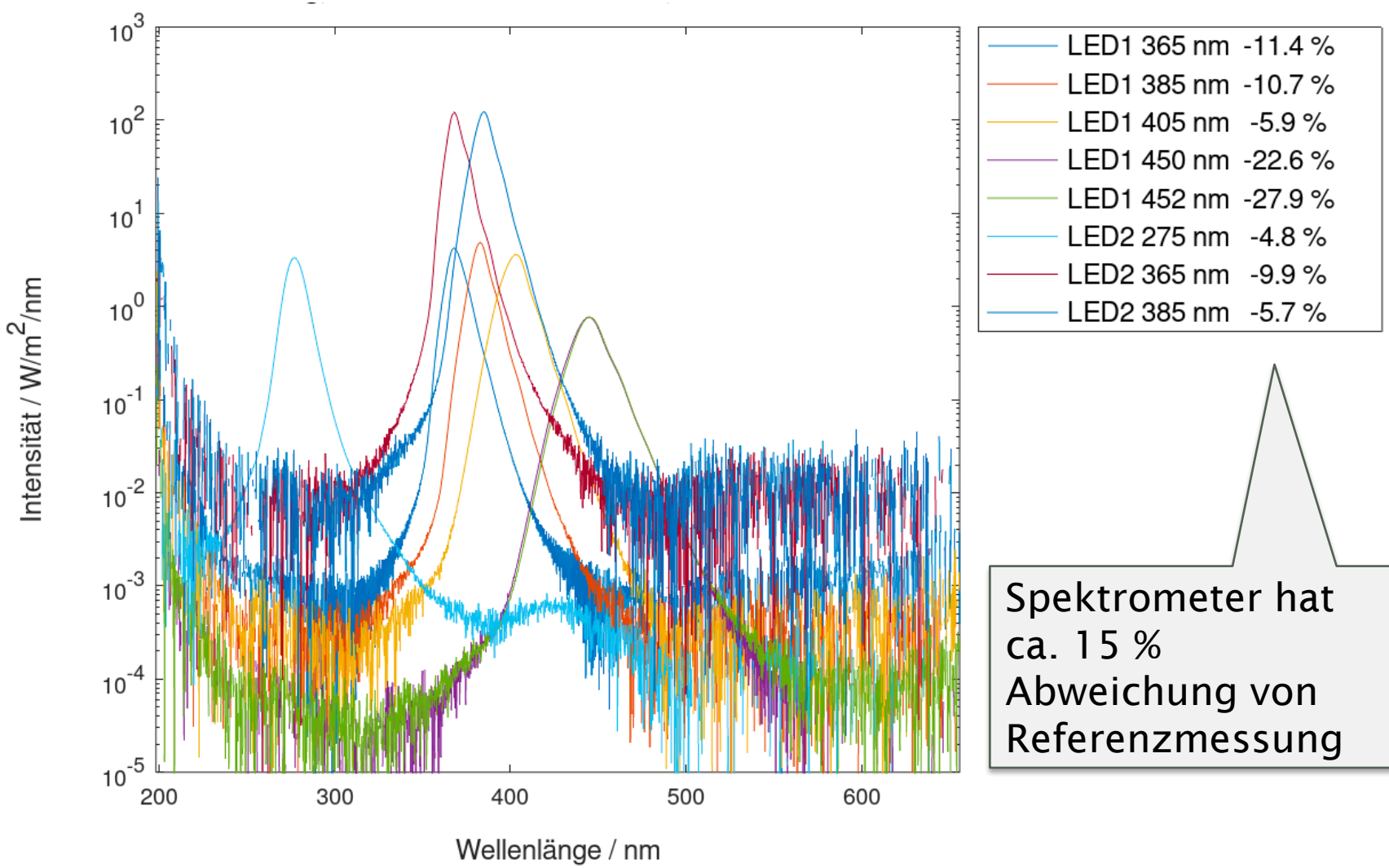


vor Streulichtkorrektur

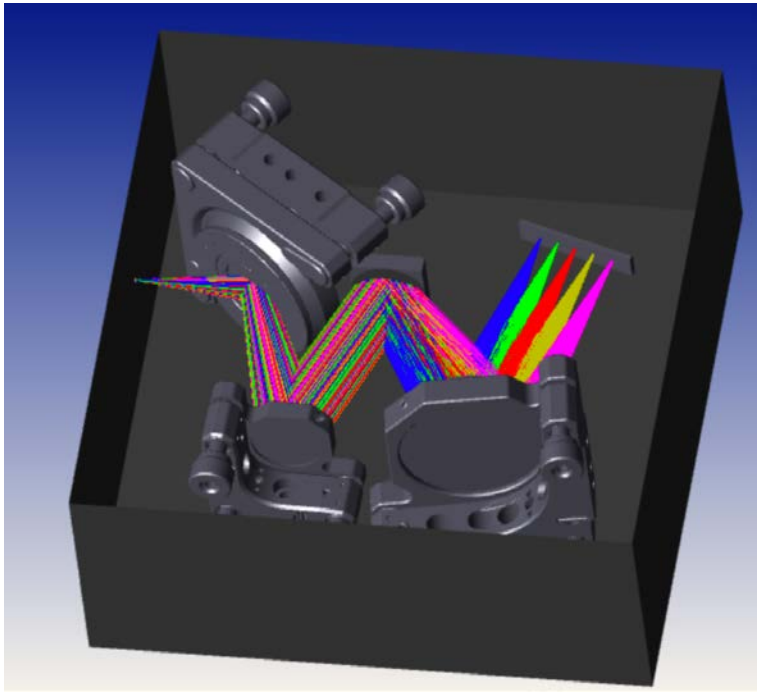


nach Streulichtkorrektur

UV-Spektrometer: Messung von UV-LEDs



Spektrometer hat ca. 15 % Abweichung von Referenzmessung

Farben sind das Lächeln der Natur (J. Hunt)

... und der Technik!