

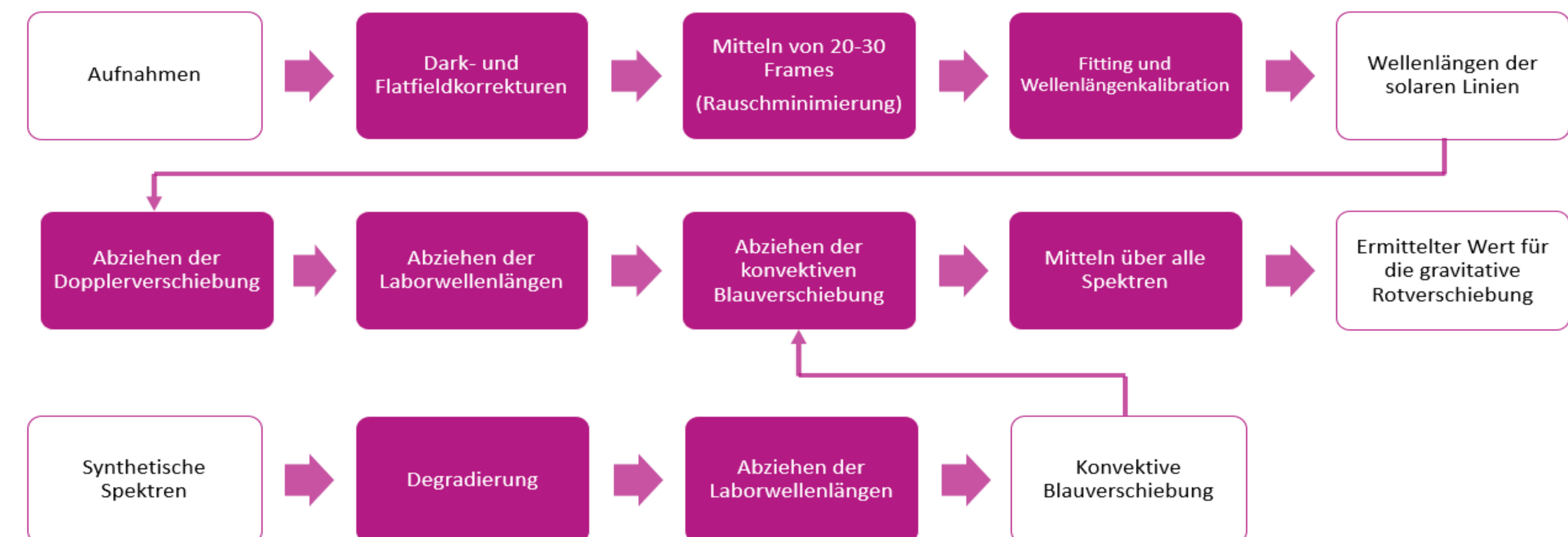
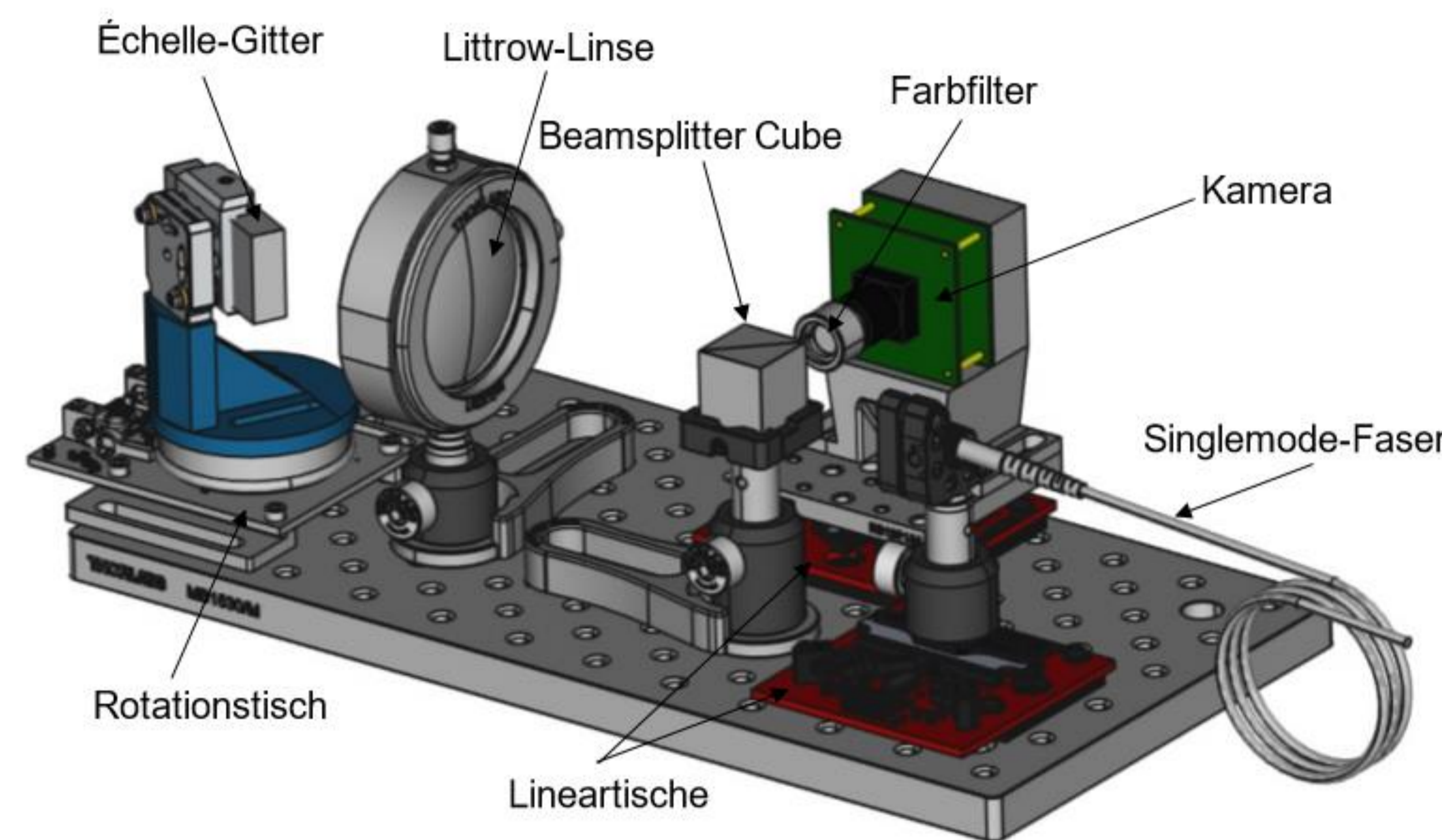
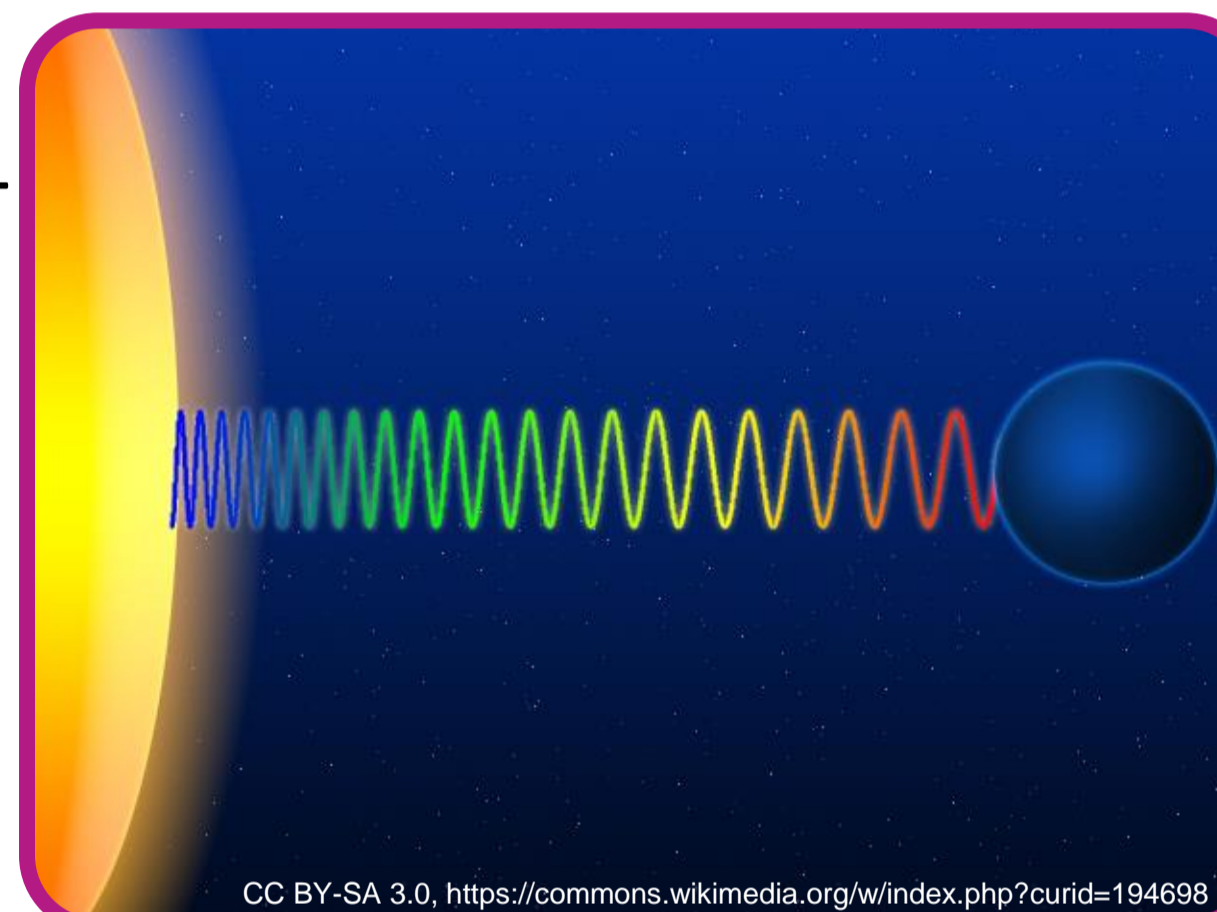
# EYES ON THE STARS – MESSUNG DER GRAVITATIVEN ROTVERSCHIEBUNG DER SONNE

Benjamin Eckhardt, Samuel Erdmann, Ruben Haag, Konrad Helms & Mathis Ludwig

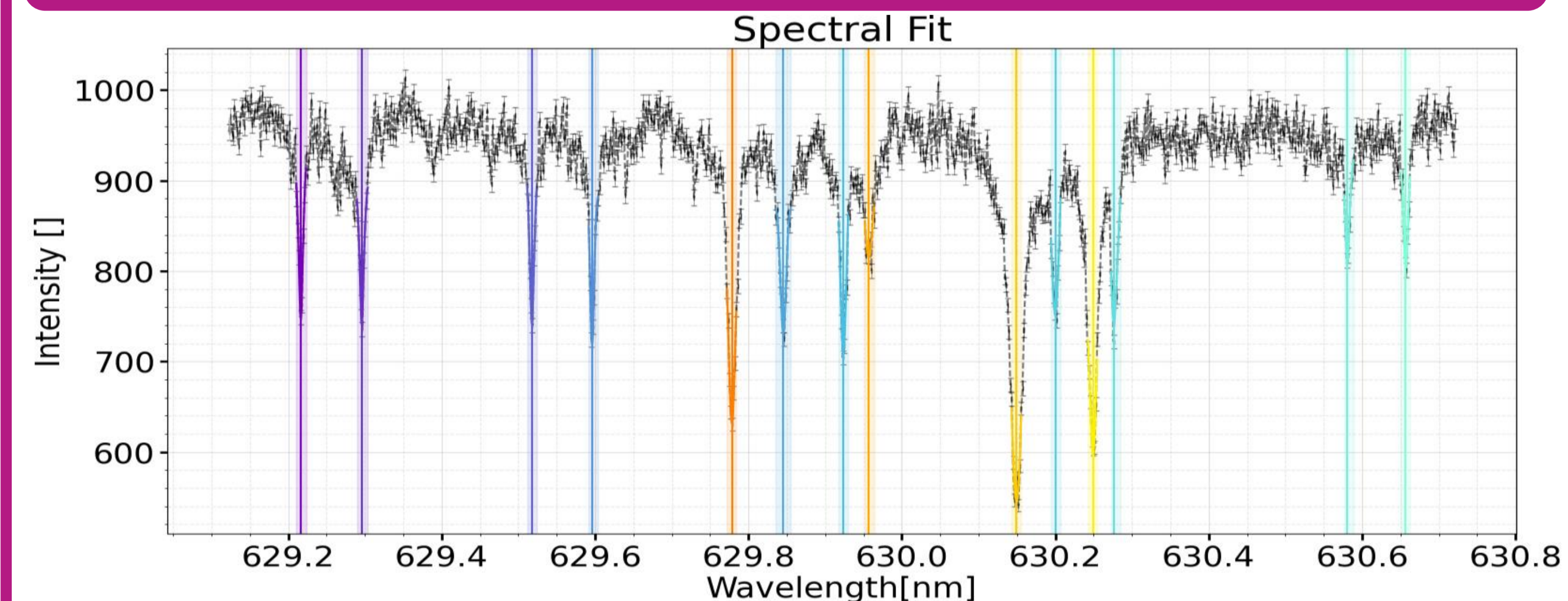
## Gravitative Rotverschiebung |

Das Sonnenspektrum weist unterschiedliche Arten von Absorptionslinien auf. Es wird zwischen den photosphärischen Linien, die in der Sonnenatmosphäre entstehen, und den tellurischen Linien, die in der Erdatmosphäre gebildet werden, unterschieden.

Von der Sonne emittierte Photonen müssen gegen die Gravitationskraft Arbeit verrichten, wodurch sie Energie verlieren. Dadurch verändert sich die Wellenlänge  $\lambda$  eines sich mit Lichtgeschwindigkeit  $c$  bewegenden Photons, bei einer Gravitationskonstanten  $G$ , Sonnenmasse  $M$  und Sonnenradius  $R$  um:  $\Delta\lambda = \lambda \cdot \frac{GM}{Rc^2}$ . Ziel dieses Projekts ist es, die gravitative Rotverschiebung mittels Spektroskopie an den photosphärischen Linien der Sonne nachzuweisen, wobei die tellurischen Linien der Kalibrations dienen.



**Auswertung |** An die in den nachbereiteten Sensorbildern vorhandenen Linienprofile werden Modellfunktionen angepasst, deren Mittelpunkte die Detektor-Positionen der respektiven Spektrallinien darstellen. Durch die bekannten spektralen Positionen der tellurischen Linien (in der Abb. bläuliche) können die der photosphärischen Linien (gelbliche) errechnet werden. Diese werden um die errechnete Dopplerverschiebung und die aus Simulationsspektren erhaltenen konvektiven Blauverschiebungen (inklusive weiterer solarer Phänomene) korrigiert. Die im Vergleich zu den Laborpositionen der Linien übrig bleibende Verschiebung muss die gravitative Rotverschiebung sein.



**Ergebnisse |** Der ermittelte Wert von  $(630 \pm 50_{\text{stat}} \pm 100_{\text{sys}})$  m/s ist mit dem theoretischen Wert von **633 m/s** kongruent. Durch vielerlei Störfaktoren, wie die Schwierigkeit der exakten Fokussierung und verschiedene Wetterlagen, wird über mehrere Messserien die statistische Unsicherheit  $\pm 50$  m/s vorgefunden. Durch die Unsicherheiten in den verwendeten irdischen und solaren Linien-Referenzen wird die systematische Unsicherheit  $\pm 100$  m/s erwartet.

## Konstruktion des Spektrographen |

Bei dem konstruierten Aufbau handelt es sich um eine *Littrow-Konfiguration*, die sich durch eine kompakte Bauart auszeichnet. Das aus dem Sonnenteleskop kommende durch die *Singlemode-Faser* in den Aufbau geleitete Lichtbündel wird zunächst durch die *Linse* kollimiert und an dem *Échelle-Gitter* gebeugt und reflektiert. Nach dem erneuten Durchgang durch die Linse wird das Licht am *Beamsplitter Cube* geteilt und auf dem *Kamerasensor* fokussiert. Dabei wird 50% des Lichts am Cube reflektiert und 50% transmittiert, wodurch insgesamt 25% des eingespeisten Lichts den Sensor erreichen. Für eine möglichst exakte Fokussierung werden *Piezotische* eingesetzt, die eine Einstellung der Abstände und Winkel zwischen den Bauteilen auf einige Mikrometer genau ermöglichen. Zusätzlich zu den zu den optischen Komponenten werden maßgefertigte 3D-Drucke entwickelt und verbaut.

**Dank |** Wir danken dem FoLL und Susanne Wimmelmann für das Möglichmachen dieses Projekts sowie Prof. Dr. Wolfram Kollatschny und besonders Dr. Hans-Peter Doerr für die große Unterstützung.

## Weitere Effekte |

- **Dopplerverschiebung |** Durch die Erdrotation und die elliptische Umlaufbahn um die Sonne bewegen sich Punkte auf der Erdoberfläche mal zu ihr hin und mal von ihr weg. Mithilfe der Gesamtrelativgeschwindigkeit  $v$  kann die Dopplerverschiebung von der tatsächlich emittierten Wellenlänge  $\lambda_S$  zur beobachteten  $\lambda_B$  berechnet werden:  $\lambda_B = \lambda_S \cdot \sqrt{\frac{1-v/c}{1+v/c}}$ .
- **Konvektion |** Das Auf- und Absteigen heißen Plasmas innerhalb der Sonnenatmosphäre (Konvektion) verursacht durch den Dopplereffekt eine Spektralverschiebung, die zusammengenommen einer Blauverschiebung entspricht. Man spricht von Konvektiver Blauverschiebung.
- **5-Minuten Oszillation |** Die Sonne führt zusätzlich zu ihrer Translation und Rotation Oszillationen aus, die zu einer weiteren Dopplerverschiebung führen. Die Bewegung hat eine Amplitude von etwa 0,5 km/s und eine Periodendauer von fünf Minuten.