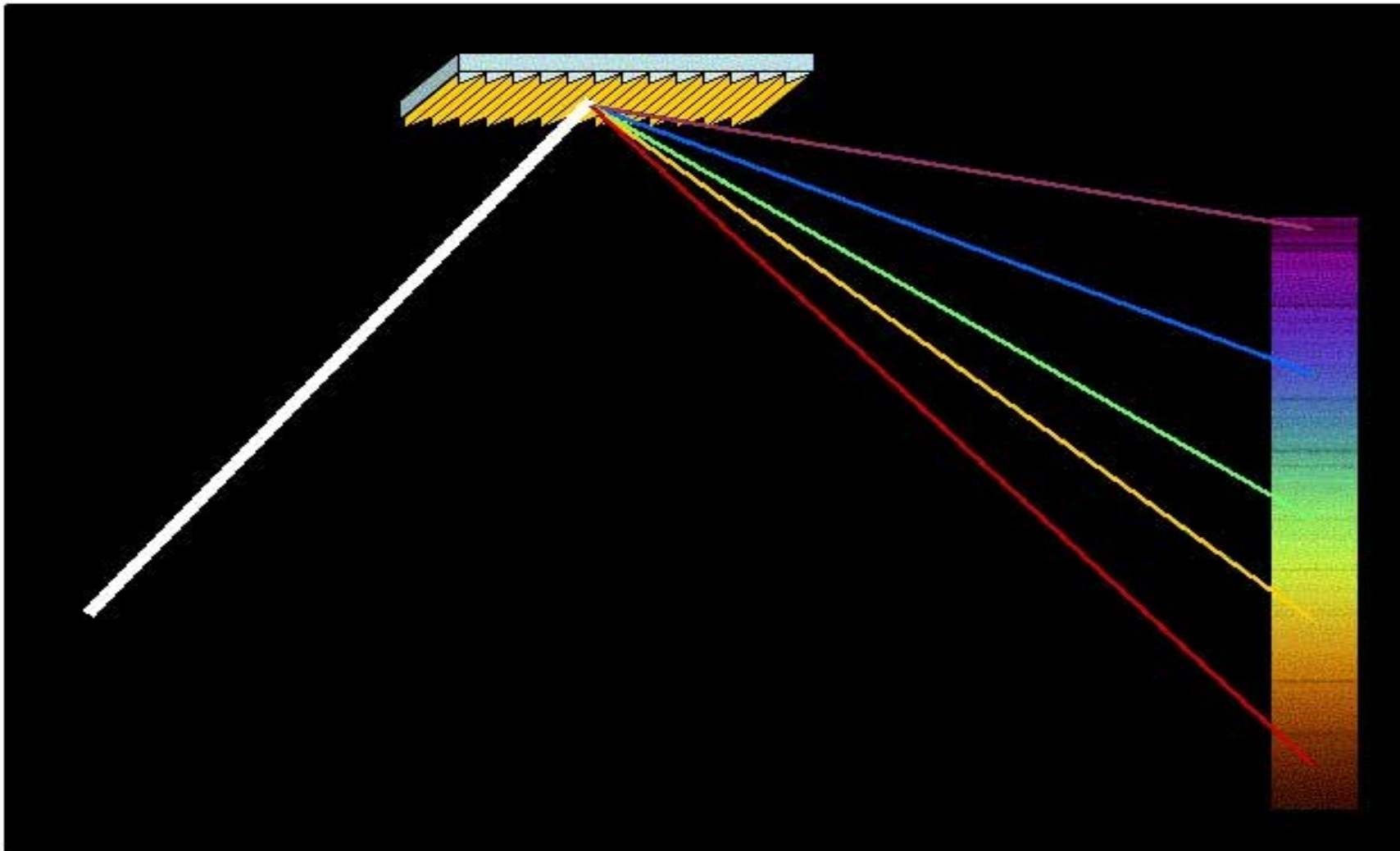


Gitterspektrograph



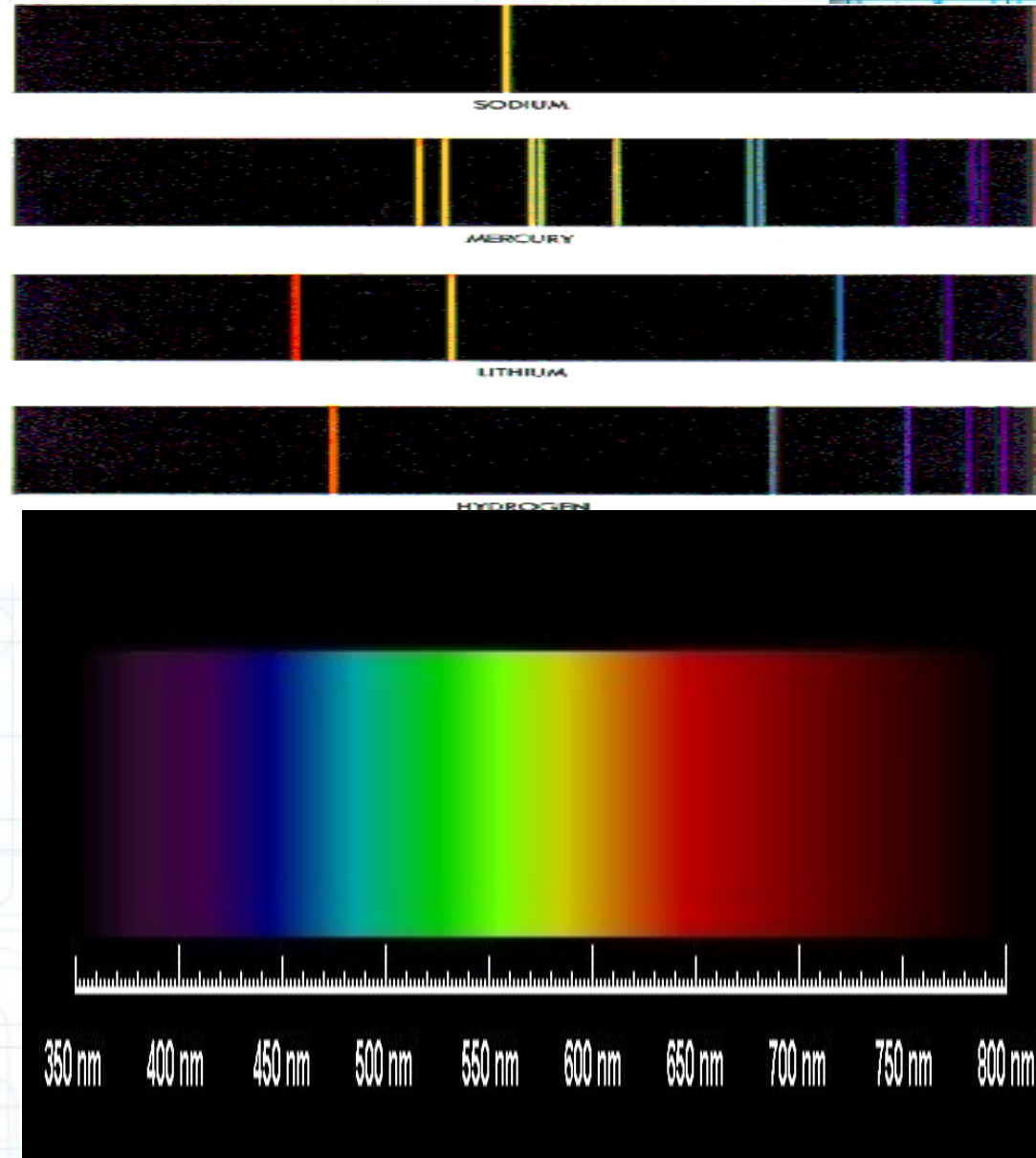
Gitterspektrograph

- Einleitung
 - Grundlagen der Spektralanalyse
 - Emission & Absorption
 - Auflösungsvermögen
 - Einsatzfelder
- Theorie
 - Beugung am Einzelspalt
 - Intensität für das Gitter
 - Reflexionsgitter
- Konstruktion
 - Vorüberlegungen
 - Strahlengang
 - Leistungsvermögen
- Umsetzung
 - Aufbau auf der optischen Bank
 - Die Messung
 - Sternsimulation
 - Weitere Planungen

Einleitung

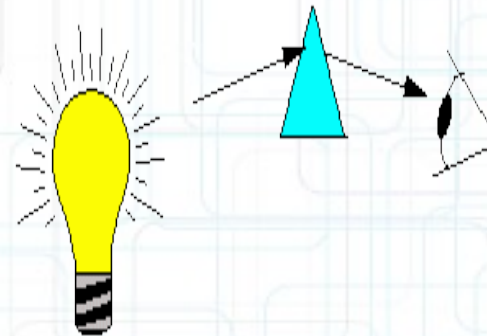
Grundlagen der Spektralanalyse

- Dispersion des Lichts als Grundlage der Spektralanalyse
- Elemente senden charakteristisches Spektrum aus
=> Aus dem Spektrum eines Körpers kann auf die chem. Zusammensetzung zurückgeschlossen werden
- Spektrum eines glühenden Festkörpers, Flüssigkeit kontinuierlich
- Spektrum von Gasen und Dämpfen diskret
- Unterscheidung zwischen **Emissions-** und **Absorptionsspektrum**

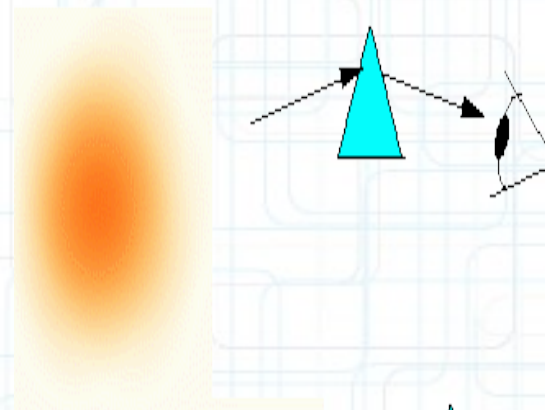


Emission und Absorption

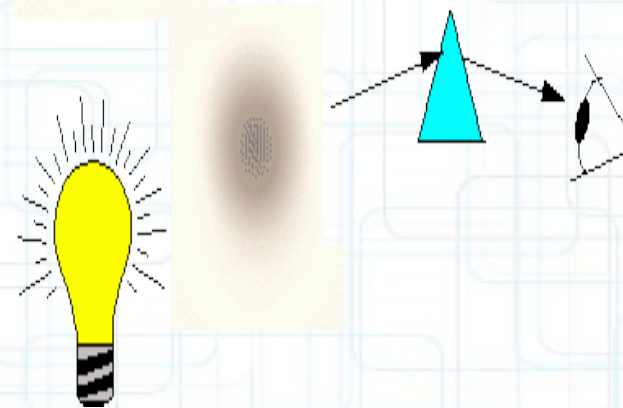
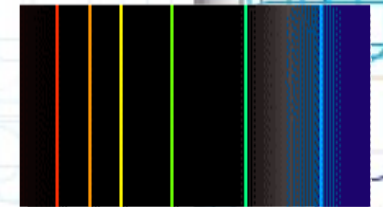
- **Emissionsspektrum:** Spektrum, das von **Atomen** und **Molekülen** oder Materialien ausgestrahlt wird, ohne dass es Strahlung gleicher Frequenz eingestrahlt wird
- Beispiel: Atomspektren aus der Astronomie. Diese sind wie erklärt diskret.
- **Molekülspektrum:** Im Prinzip das gleiche wie Atomspektren. Die Linien liegen allerdings im Infraroten Bereich
- **Absorptionsspektrum:** Im kont. Spektrum wird ein Stoff eingebracht, der bestimmte Wellenlängen absorbiert
- Beispiel: Sonnenspektrum



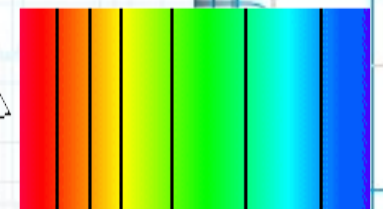
kontinuierliches Emissionsspektrum



diskretes Emissionsspektrum

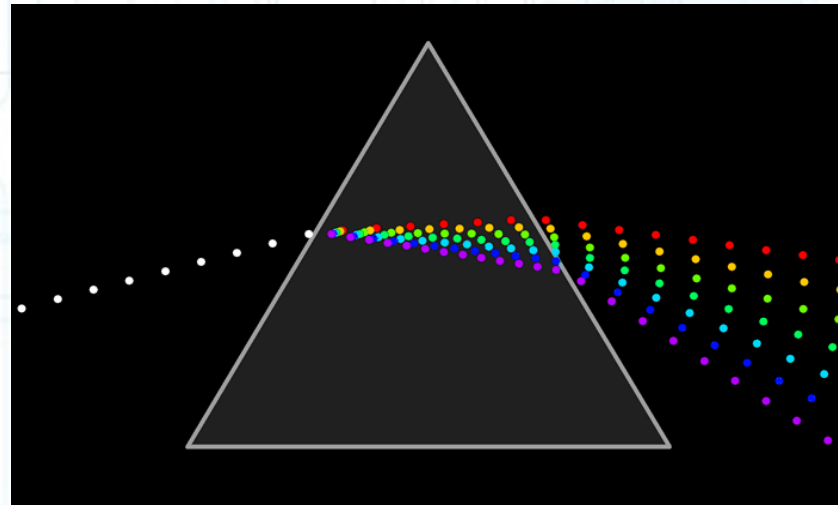


diskretes Absorptionsspektrum



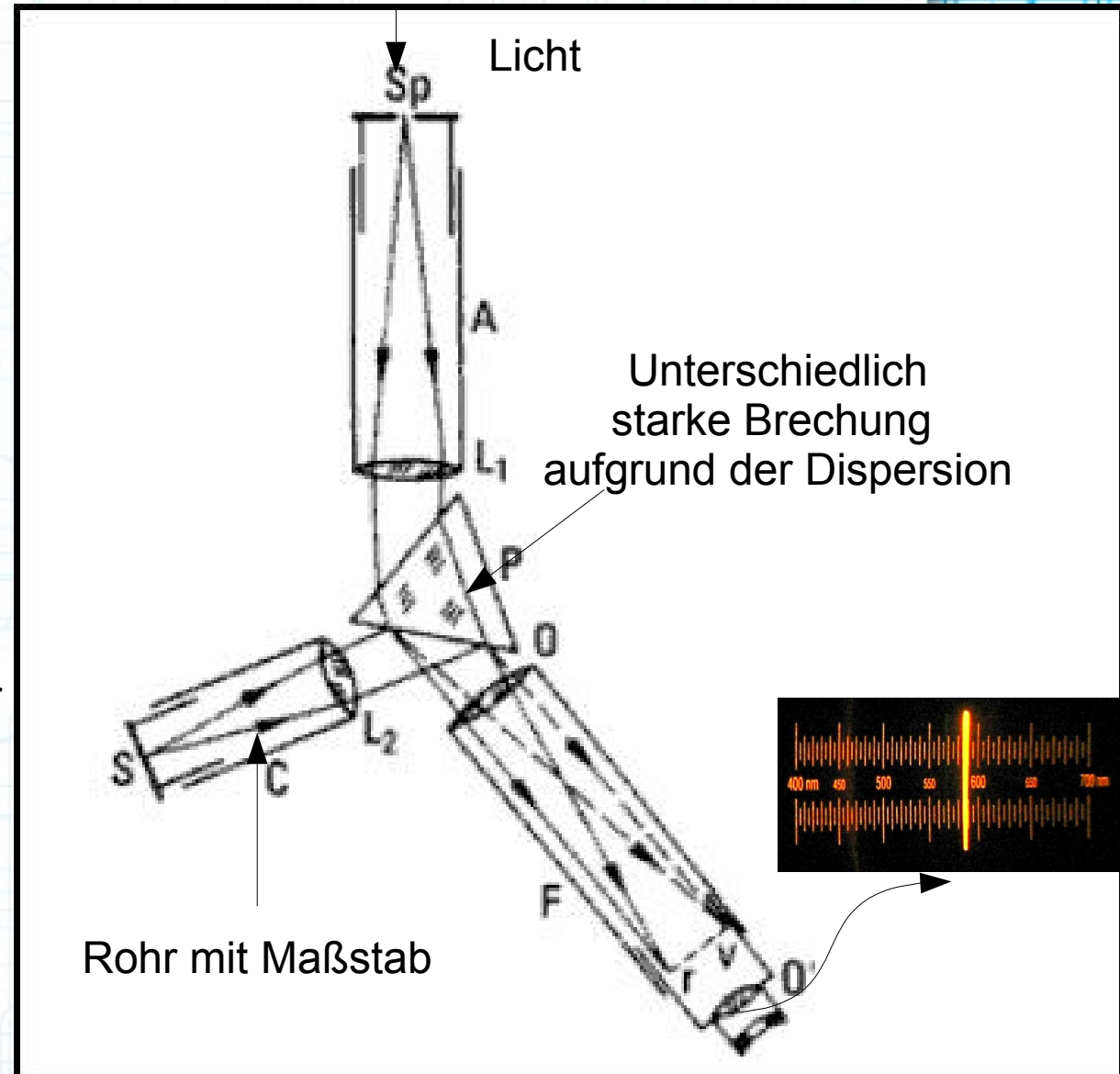
Spektralapparate

- Dispersives Element ist ein Prisma
- Besitzt eine Winkeldispersion
- $n(\lambda)$ ist nicht linear
- Ersten Geräte zur Erforschung des Lichts
- Prisma durch Gitter ersetzen=> Gitterspektrograph
- Preiswerter als Prismen
- $n(\lambda)$ ist eine lineare Funktion=> leichter zu justieren
- Auflösungsvermögen höher als bei Prismen



Spektralapparate

- Untersuchung des Spektrum mittels Spektralapparat
- Licht tritt durch Spalt und wird mittels Kollimator parallelisiert
- Das parallele Licht trifft auf Prisma P
- Das Licht gelangt in das Fernrohr F und kann mit dem Objektiv beobachtet werden
- Um das Spektrum analysieren zu können wird ein drittes Rohr befestigt
- Rohr dient zur Messung der Abstände der Linien voneinander
- Beschäftigung ab jetzt mit Gitterapparaten, da wir ein Gitter verwenden



Auflösungsvermögen

- Auflösungsvermögen bezeichnet die Unterscheidbarkeit feiner Strukturen, wie z.B. zwei eng benachbarte Linien

- Für Prisma gilt : $\frac{\lambda}{\delta\lambda} = L \cdot \frac{dn}{d\lambda}$

Mit L= Basislänge des Prismas;

- Für Gitter gilt : $\frac{\lambda}{\delta\lambda} = k \cdot p$

k= Ordnung; p=Anzahl der beleuchteten Spalte

Wieso Gitterspektrograph?

- Besitzen eine höhere Auflösung (siehe Tabelle)
- Um gleiches Auflösungsvermögen zu leisten, Prismen hintereinander anbringen => Mehr Masse, ungünstig für ein Spektrograph
- Einfacher zu kalibrieren

Anordnung	Ordnungszahl k	Zahl p der interferierenden Strahlen	Auflösungsvermögen
Flintglasprisma, $\frac{dn}{d\lambda} = 1730 \text{ cm}^{-1}$, Basis $t = 10 \text{ cm}$, $n_D = 1.7594$	-	-	17300
Strichgitter, 16.5 cm breit, 600 Linien pro mm	3	99000	297000
Lummer-Gehreke-Platte, 20 cm lang, 1 cm dick, $n = 1.5$	80000	11	880000
Fabry-Perot-Platte, 1 cm dick $\rho = 95\%$ 10 cm dick	40000 400000	60 60	2400000 24000000

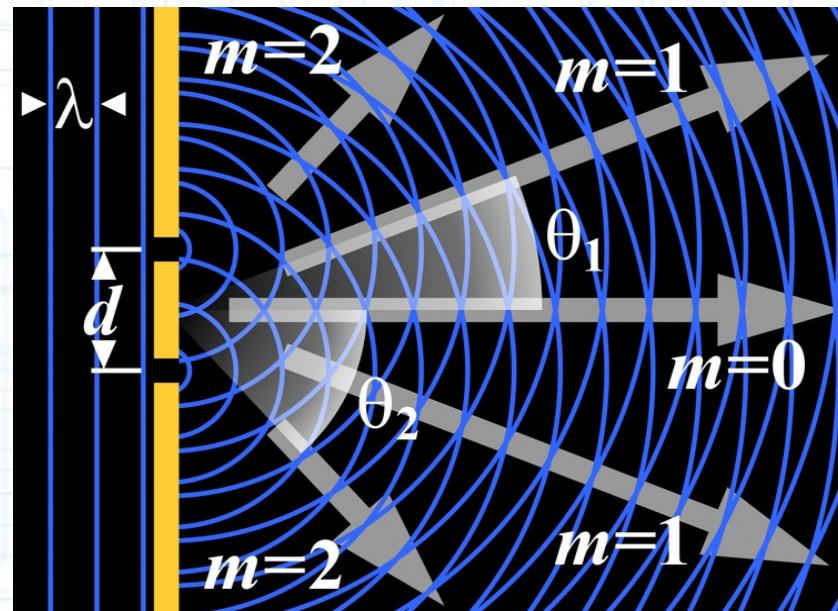
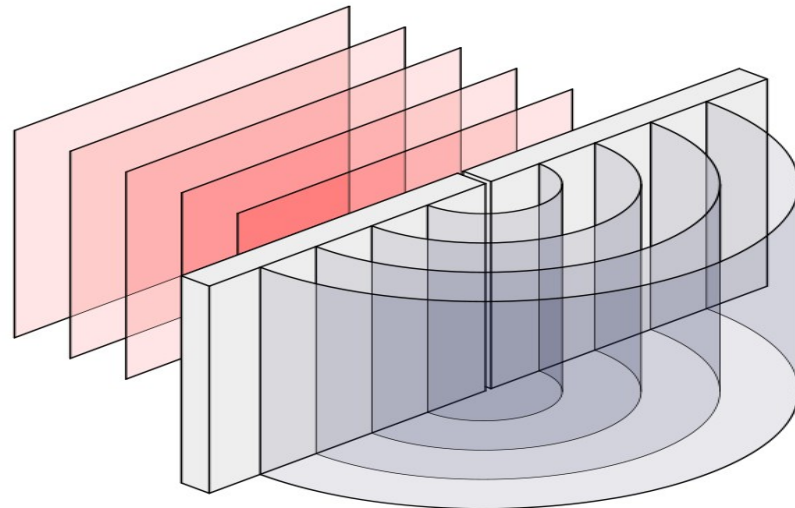
Einsatzfelder

- **Metallkunde**: Durch die Spektralanalyse kann die chemische Zusammensetzung von Metallen bestimmt werden.
- Mittels Analyse kann die Zusammensetzung von historischen Funden bestimmt werden
- **Biologie**: Durch die Analyse kann der Sauerstoffgehalt im Blut bestimmt werden. Auch Giftstoffe, wie Kohlenstoffmonoxid (CO) können detektiert werden.
- **Astronomie**: Durch die Analyse kann die Zusammensetzung der Sternhüllen erforscht werden
- Durch den *Dopplereffekt* (Verbreiterung der Linien) kann die Geschwindigkeit der Sterne gemessen werden.
- Durch periodische Verbreiterung können Doppelsterne detektiert werden.

Theorie zum Gitter

Interferenz und Beugung

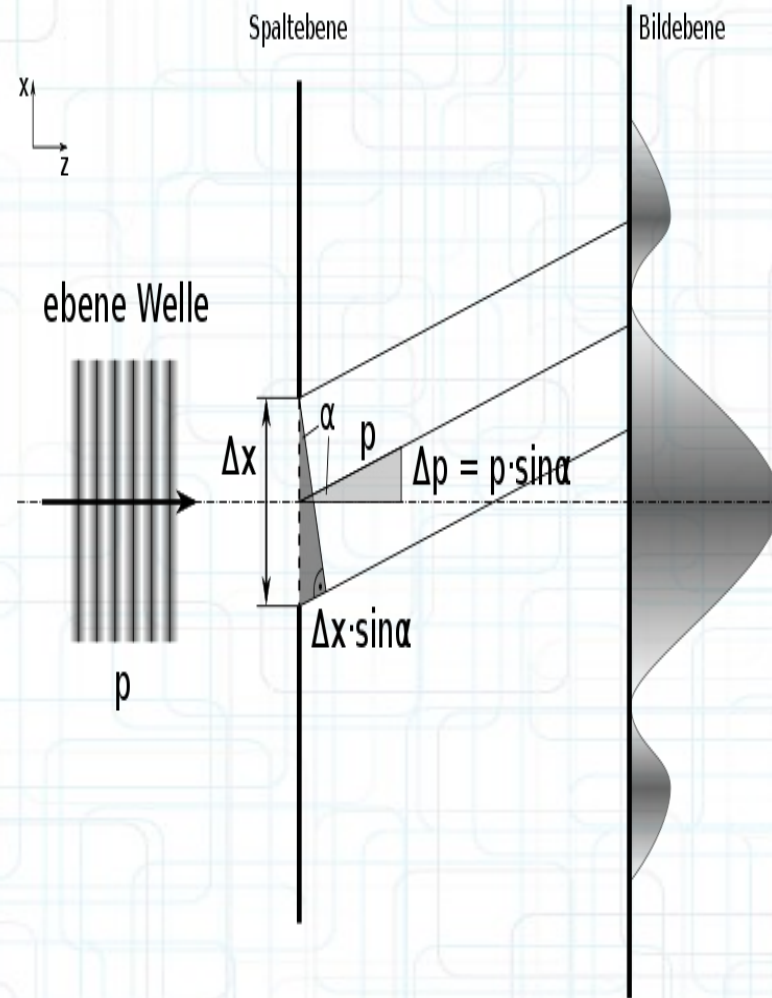
- Beugung und Interferenz
Unterscheidung für ein und dasselbe Phänomen:
Überlagerung von Licht, das sich wellenförmig ausbreitet
- Betrachtung einer einzelnen Öffnung: Man spricht bevorzugt von der Beugung
- Zusammenwirken mehrerer Öffnungen: Man spricht von Interferenzerscheinung
- Prinzip: Zur Beugung kommt es durch Entstehung neuer Wellen entlang einer Wellenfront gemäß Huygens-Prinzip. Überlagerung führen zu Interferenzerscheinungen



Beugung am Einzelspalt

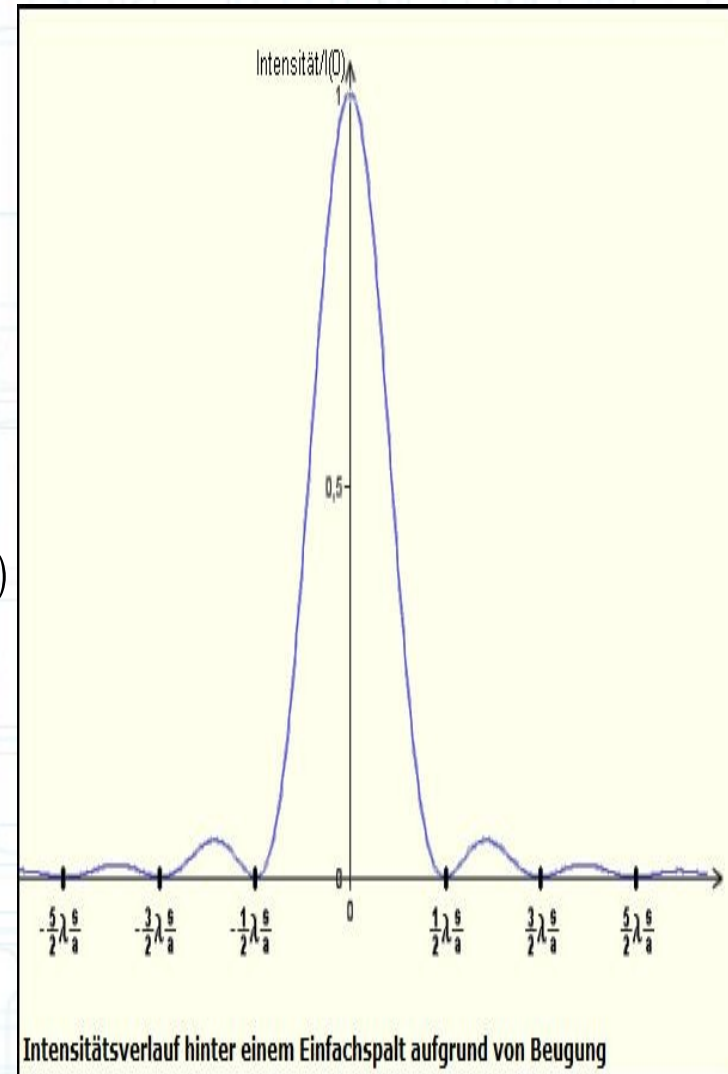
- Hinter dem Spalt wird das Licht gebeugt
- Gangunterschied zwischen linke & rechte Seite der Öffnung $s = \Delta x \sin(\alpha)$
- Rechnung für die Intensitätsverteilung liefert:

$$I_{\alpha} \propto \Delta x^2 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi \Delta x}{\lambda} \sin(\alpha)\right)}{\left(\frac{\pi \Delta x}{\lambda} \sin(\alpha)\right)^2}$$

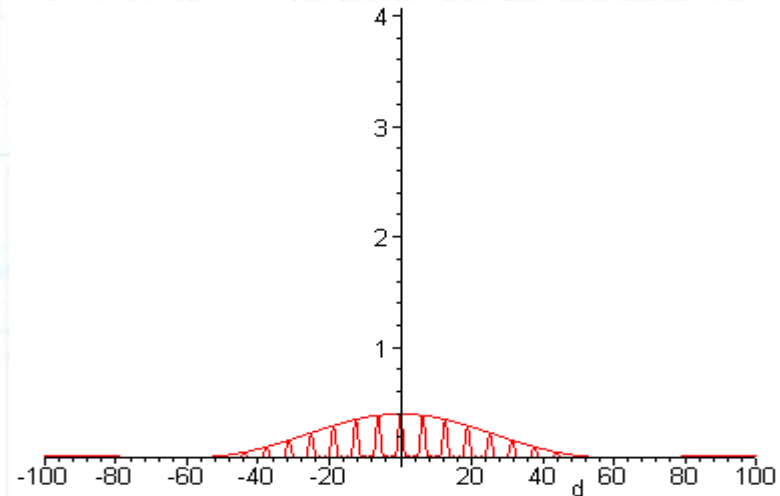
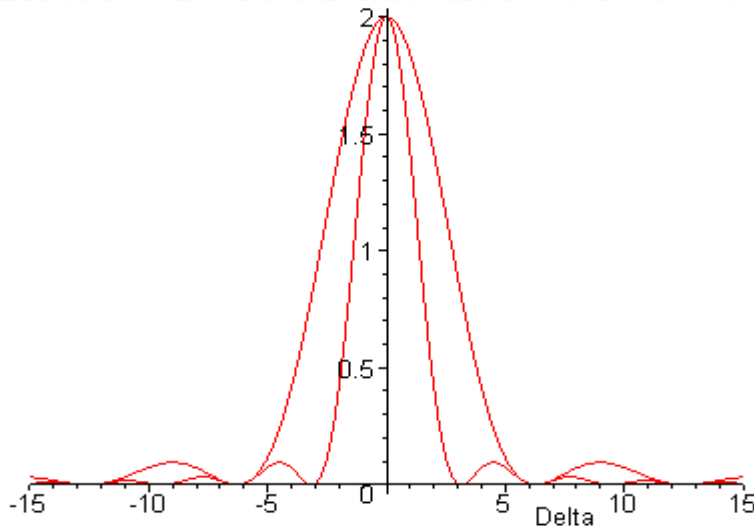


Interpretation der Gleichung

- 1) $\sin(\alpha)=0$ (unabgelenkte Strahlen): $I_{\alpha} \sim \Delta x^2$, größte Intensität
- 2) Minima: $\sin(\alpha_k) = \frac{k \lambda}{\Delta x}$ ($k=1,2,3\dots$)
- 3) Maxima: $\sin(\alpha_k) = \frac{2k+1}{2} \frac{\lambda}{\Delta x}$ ($k=1,2,3\dots$)
- 4) Für $k=0$ zentrales Maximum



Intensität für das Gitter

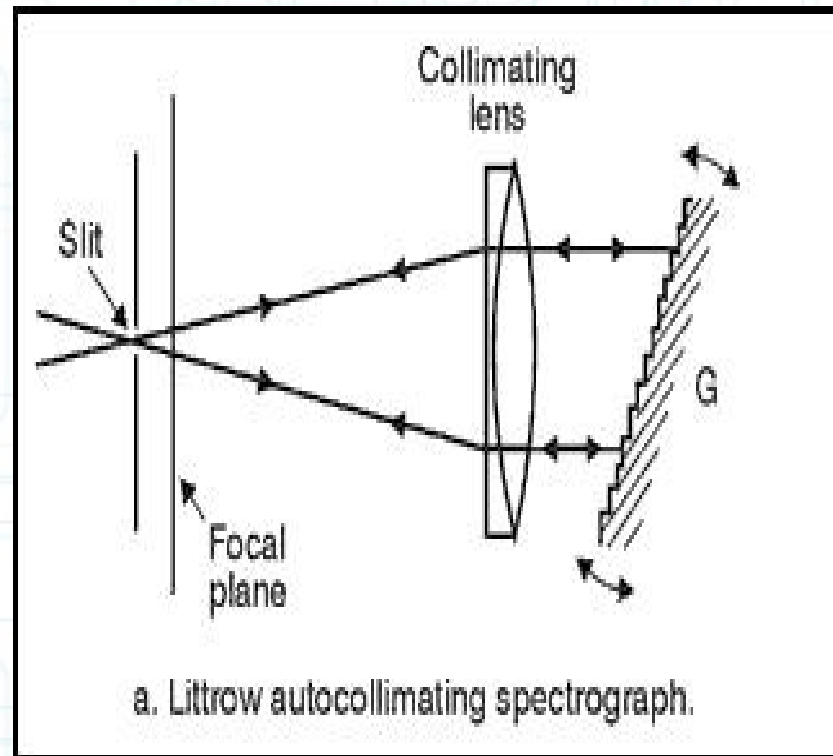


- Intensität für ein Gitter:
$$I_{\alpha} \propto \frac{\sin^2\left(\frac{\pi \Delta x}{\lambda} \sin(\alpha)\right) \sin^2\left(\frac{p \pi}{\lambda} s \sin(\alpha)\right)}{\left(\frac{\pi \Delta x}{\lambda} \sin(\alpha)\right)^2 \sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} s \sin(\alpha)\right)}$$

- p =Anzahl der Spalten, s =Gitterperiode
- Der erste Faktor: Intensität am Einzelspalt, der zweite Faktor Resultat der p -Spalten
- Links: Doppelspalt: Einhüllende ist der Einzelspalt. Abstand der Löcher wird vergrößert => Maxima nehmen zu
- Rechts: $p=4$. Bei Vergrößerung der Spaltbreite => Einhüllende ändert sich während Lage der Maxima konstant bleibt

Reflexionsgitter

- Bestehen aus z.B. aus gefurchten metallisierten Oberflächen
- Effizienter als Transmissionsgitter, da Beugungswirkungsgrad nahezu 100%
- Besonders Interessant: Littrowanordnung
- Einfallende Strahlen senkrecht zur Furchenoberfläche => Licht wird zurück zur Quelle gebeugt
- Wirkt wie ein wellenlängenselektiver Spiegel
- Konstruktive Interferenz: Wenn Furchenhöhe in Einfallrichtung = $m(\lambda/2)$; $m=1,2,3,\dots$



Konstruktion

Konstruktion

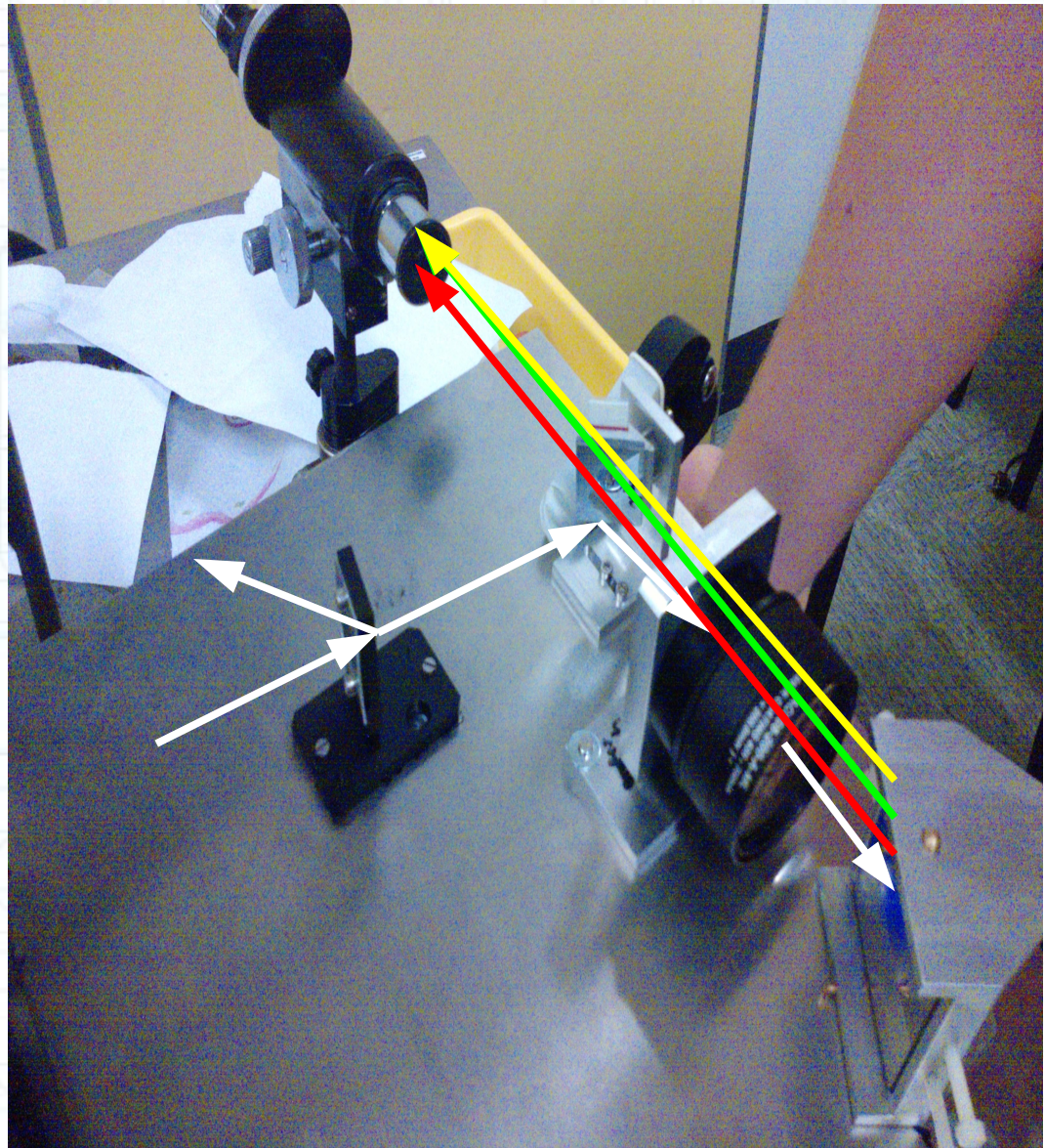
- Lineare Dispersion, um eine einfache Zuordnung der Raumkomponente zur Wellenlänge zu ermöglichen
 - Verwendung eines optischen Gitters.
 - Höheres Auflösungsvermögen, besser als $0,5 \text{ \AA}$
 - Das Gitter muss eine große Gitterkonstante besitzen, bestensfalls größer als 2000 Linien/mm.
 - Trotz der hohen Auflösung soll der gesamte Spektralbereich von 400nm bis 700nm abgedeckt werden.
 - Das Gitter muss um eine Drehachse einstellbar sein
 - Kompakter und leichter Aufbau, um die Hebel am Teleskop gering zu halten.
 - Das Licht durchläuft den Kollimator zweifach; der Kollimator wird somit auch als abbildende Optik für das Spektralbild
- Littrowsspektrograph.**

Konstruktion

- Der Spektrograph soll flächige Objekte untersuchen können
→ Verwendung eines Spalts.
- Das Auflösungsvermögen soll sich variieren lassen.
→ Die Spaltbreite wird Variabel konstruiert.
- Das Teleskop soll während der Sternspektroskopie die Abbildung eines Sterns punktgenau auf den Spalt nachführen können.
→ Konstruktion eines zweiten Strahlengangs und Anschluss einer „Guiding-Kamera“, um mittels Software korrekturbefehle an die Teleskop-Montierung leiten zu können.
- Alle Komponenten müssen exakt justiert sein, um die optimale Leistungsfähigkeit des Instruments zu ermöglichen.
→ Alle wesentlichen Komponenten werden justierbar konstruiert.

Strahlengang

- Das Licht verlässt das Teleskop als $f/10$ Strahlenbündel. Abbildung auf den Spalt und Beugung an diesem.
- Teilweise Auslenkung des Bündels zur Guidingzwecken.
- Umlenkung an justierbarem Spiegel
- Licht parallel durch Kollimator
- Beugung und Reflektion am Gitter
- Abbildung durch Kollimator



Leistungsvermögen

- Mit Hilfe der physikalischen Gesetze, haben wir folgende Parameter für die optischen Komponenten festgelegt
- Strahlenbündel: $f/10$
- Kollimator-/Objektivbrennweite: 200 mm
- Gitterkonstante: 2400/mm

Theoretisches Leistungsvermögen bei der H α -Wellenlänge

Teleskop-Parameter

Objektiv-Durchmesser (D) :	400 mm
Brennw eite (f) :	4000 mm
F/D (F#) :	10
Obstruktion bei Spiegelteleskopen (e) :	37%
Transmission des Teleskopes (To) :	92%

Beobachtungsbedingungen

Seeing (ϕ) :	4"
Seeingscheibchen :	77,6 μ m
Transmission der Atmosphäre (Ta) :	80%
Himmels hintergrund in Magnituden (ms) :	18
Gesamtbelichtungszeit in Sekunden (t) :	900
Anzahl der Elementaraufnahmen (n) :	1

Objekt-Parameter

Magnitude (m) :	8,23 V1769 Cyg
Effektivtemperatur (Te) :	60000 Kelvin
Bolometrische Korrektur (BC) :	-4 ?

Ergebnisse

Minimaler Durchmesser des Kollimators (d1) :	20 mm
Minimales F/D des Kollimators (Fc) :	10
Einfallswinkel (α) :	51,96 °
Beugungswinkel (β) :	52,0 °
Minimale Gittergröße (W) :	32,5 mm
Anamorphose-Faktor (r) :	1,00
Durchmesser der "Kamera" bei λ_0 (d2) :	20,0 mm
Minimaler Durchmesser der "Kamera" (d'2) :	23,1 mm
Minimales F/D der "Kamera" (Fo) :	8,65
Dispersion (ρ) :	0,12 A/pixel
Lambda min. (λ_1) :	6474 A
Lambda max. (λ_2) :	6652 A
FWHMd :	6,56 μ m
FWHMt :	42,4 μ m
Abtast-Faktor :	2,36
Auflösungsvermögen (R) :	12057
Spektrale Auflösung ($\Delta\lambda$) :	0,54 A

Parameter des Spektrographen

Kollimatorbrennw eite (f1) :	200 mm
Kamerabrennw eite (f2) :	200 mm
Gitterkonstante in Linien / mm (m) :	2400
Ordnung (k) :	1
Totaler Winkel (γ) :	0 °
Wellenlänge (λ_0) :	6563 A
Abstand Gitter - "Kamera" (T) :	45 mm
Transmission des Spektrometers (Ts) :	80%
Spaltbreite (w) :	35 μ m
Auflösung Kollimator im Fokus (FWHM _c) :	16,0 μ m
Auflösung "Kamera" im Fokus (FWHM _o) :	13,9 μ m

CCD-Binning

Fraction intégrée axe trans. (k) :	1
Binning in Dispersionsrichtung (fl) :	1
Binning senkrecht (fy) :	1
Binning numérique transverse (q) :	1

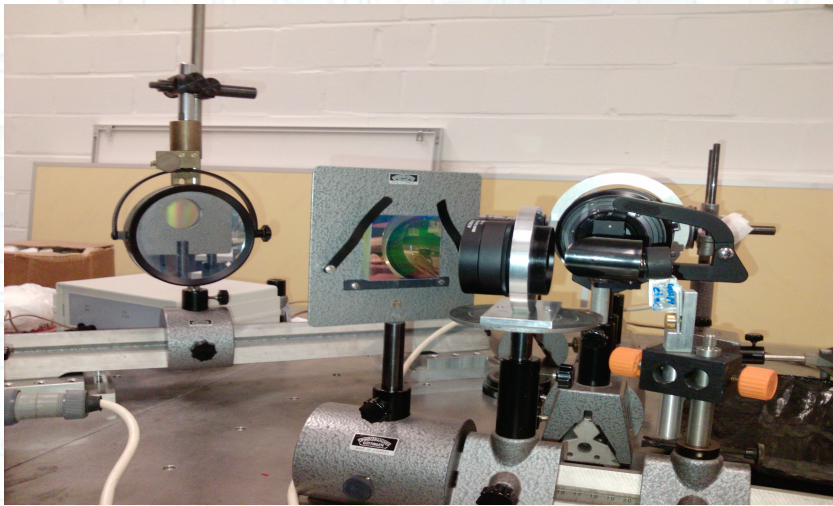
Parameter der CCD-Kamera

Pixelabmessung (p) :	9 microns
Pixelanzahl (Nx) :	1536
Relative Quanten Effizienz (η) :	85 %
Rauschsignal (RON) :	16 e-/pixel
Thermisches Signal (Nd) :	1,2 e-/s/pixel

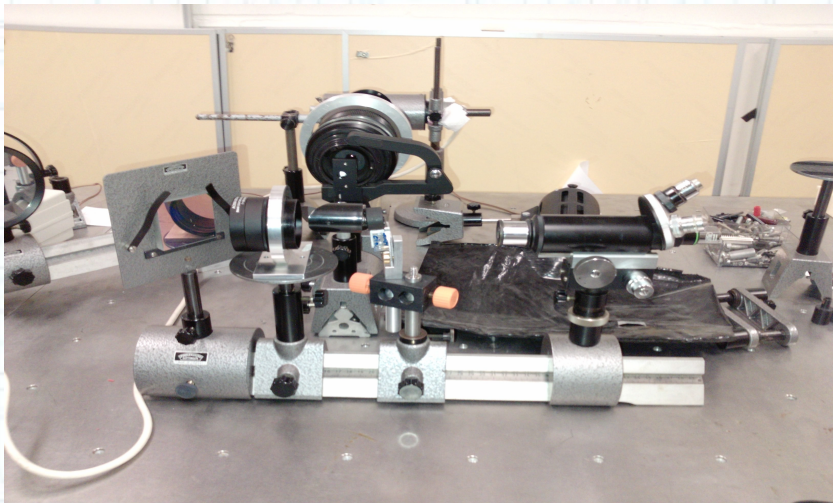
Photonfluß Objekt (E) :	0,162348 photons/cm ² /s/A
Photonfluß Himmels hintergrund (Ed) :	0,000006 photons/cm ² /s/A/arcsec
Gesamteffizienz (R) :	43%
Signal (Nm) :	9.164,3 e-/pixel
Signal Himmels hintergrund (Ns) :	298,1 e-/pixel
Rauschen (σ) :	103,9 e-
Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR) :	88,2

Der Aufbau

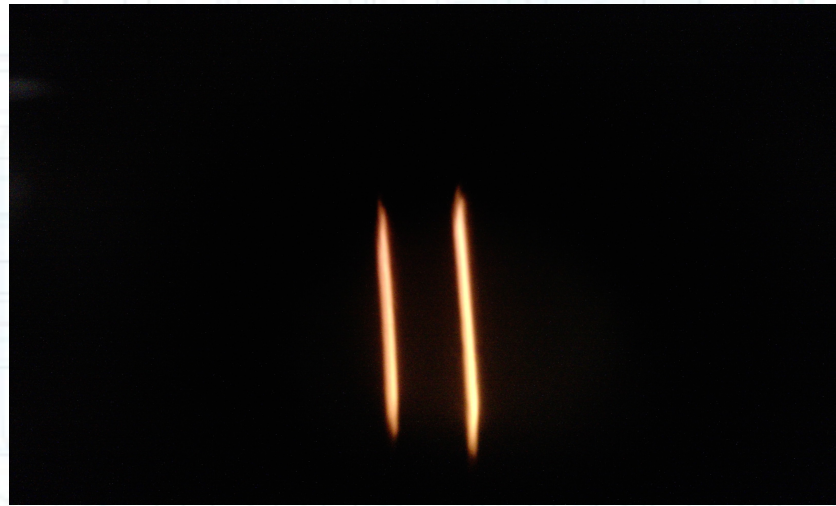
Die Umsetzung



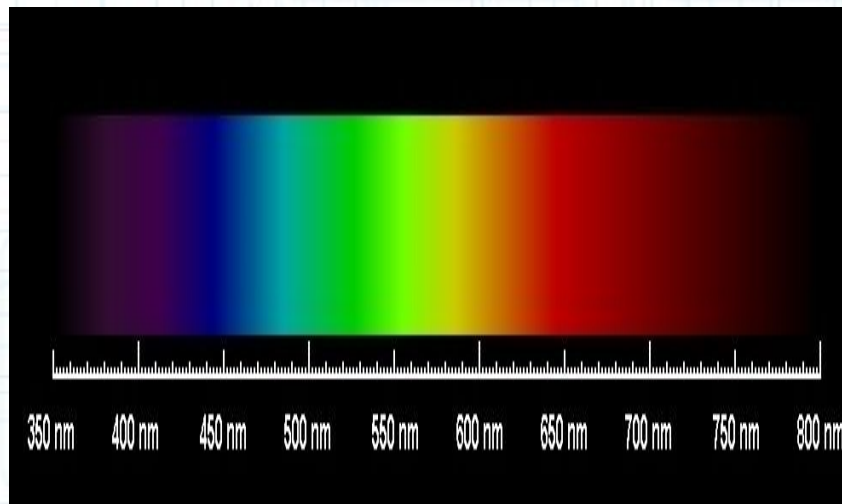
- Benötigten Geräte auf optische Bank justieren
- Laser verwenden, um Teile zueinander auszurichten
- Gitter durch Spiegel ersetzen, um mittels Autokollimation die richtigen Abstände zu bestimmen
- Foto-objektiv auf $f/10$ stellen um das Teleskop zu simulieren
- Nach der Justage Spiegel durch Gitter ersetzen
- Das Spektrum einer Glühbirne und einer Natriumlampe beobachten



Beobachtete Spektren



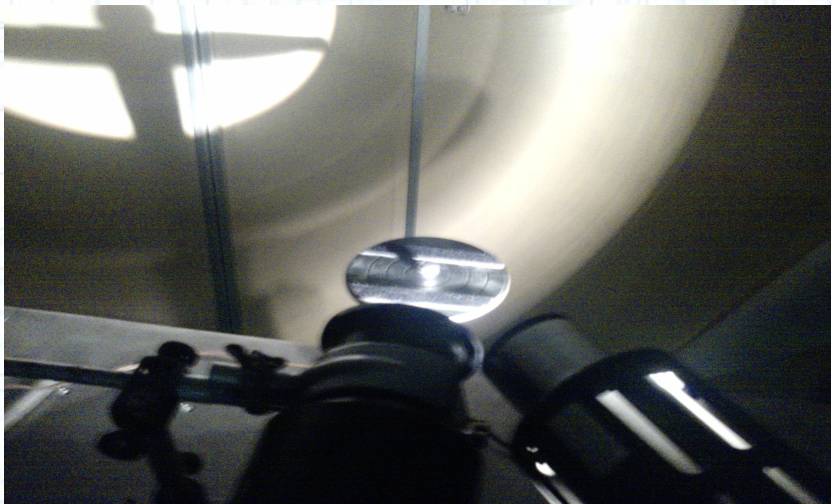
- Sowohl das kontinuierliche als auch das diskrete Spektrum sehr gut beobachtbar
- Auflösungsvermögen des Gitters bei $0,1 \text{ \AA}$
- Beobachtungen liefern sehr gute Resultate



Simulation eines Sterns

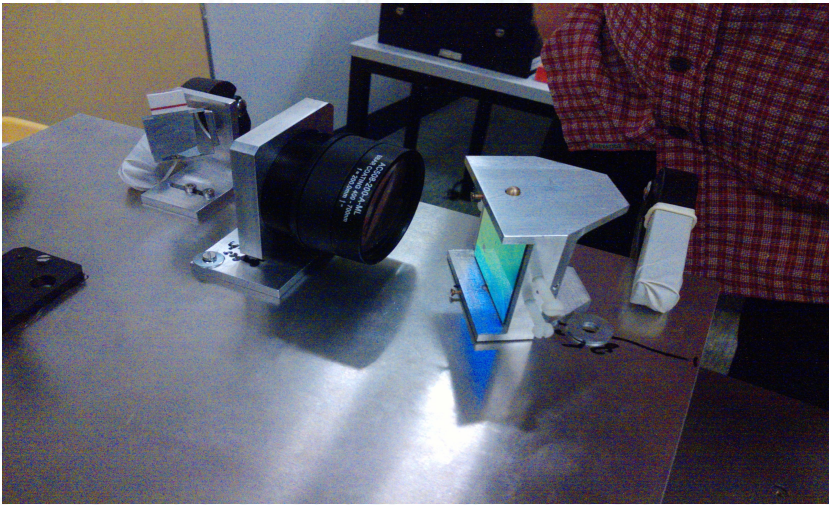


- Um Stern im Labor zu spektroskopieren, wird ein Stern simuliert
- Als Stern dient eine Metallkugel
- Beleuchteter Stern wird auf Spalt abgebildet
- Spektrum zu schwach für das Auge
- Muss mittels CCD- Kamera gemessen werden

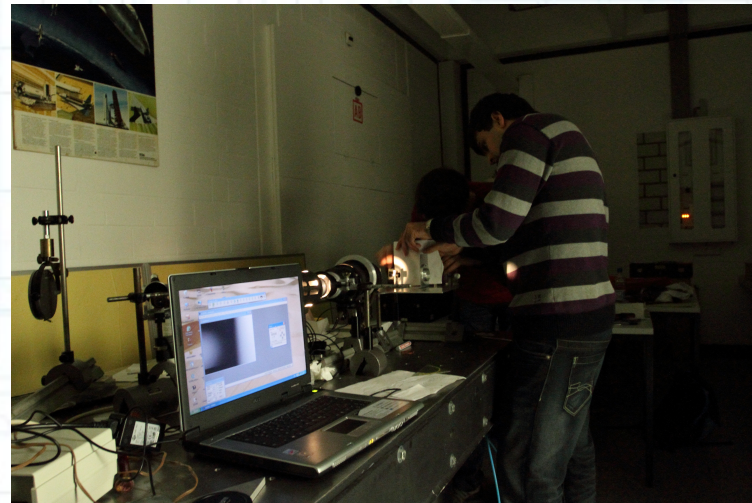
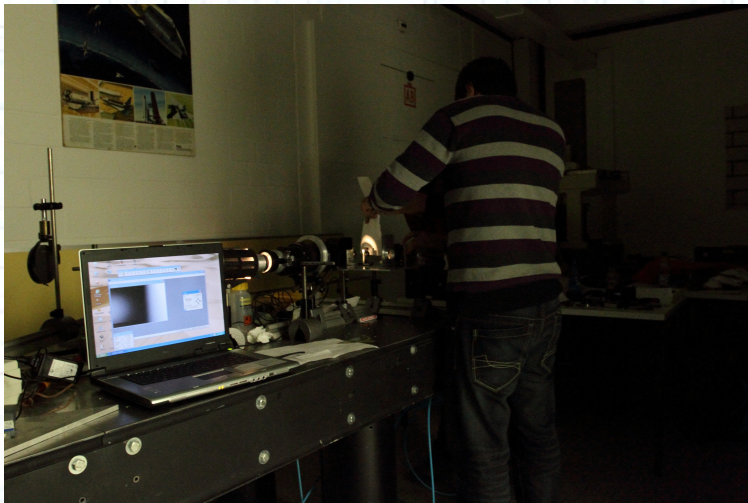
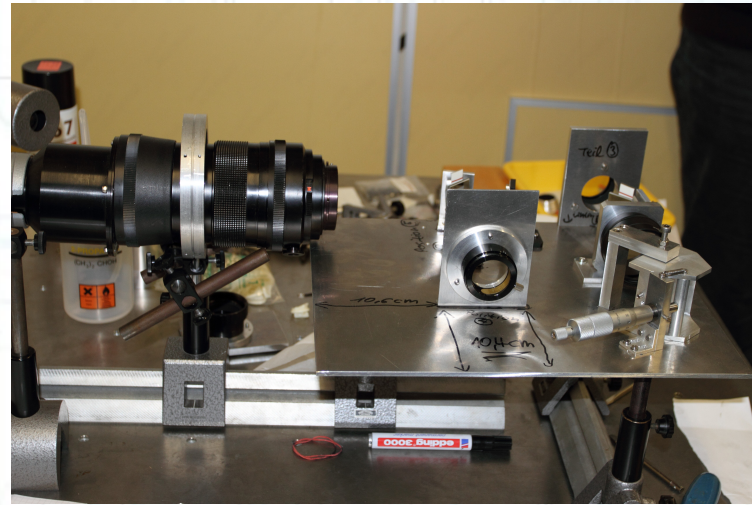
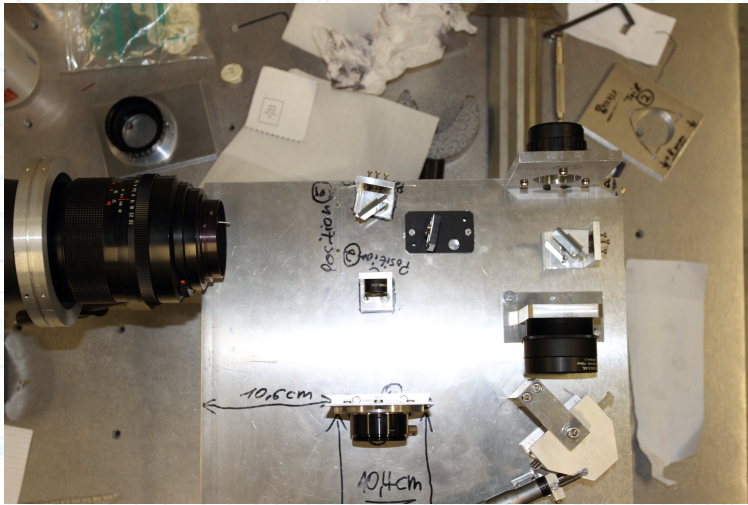


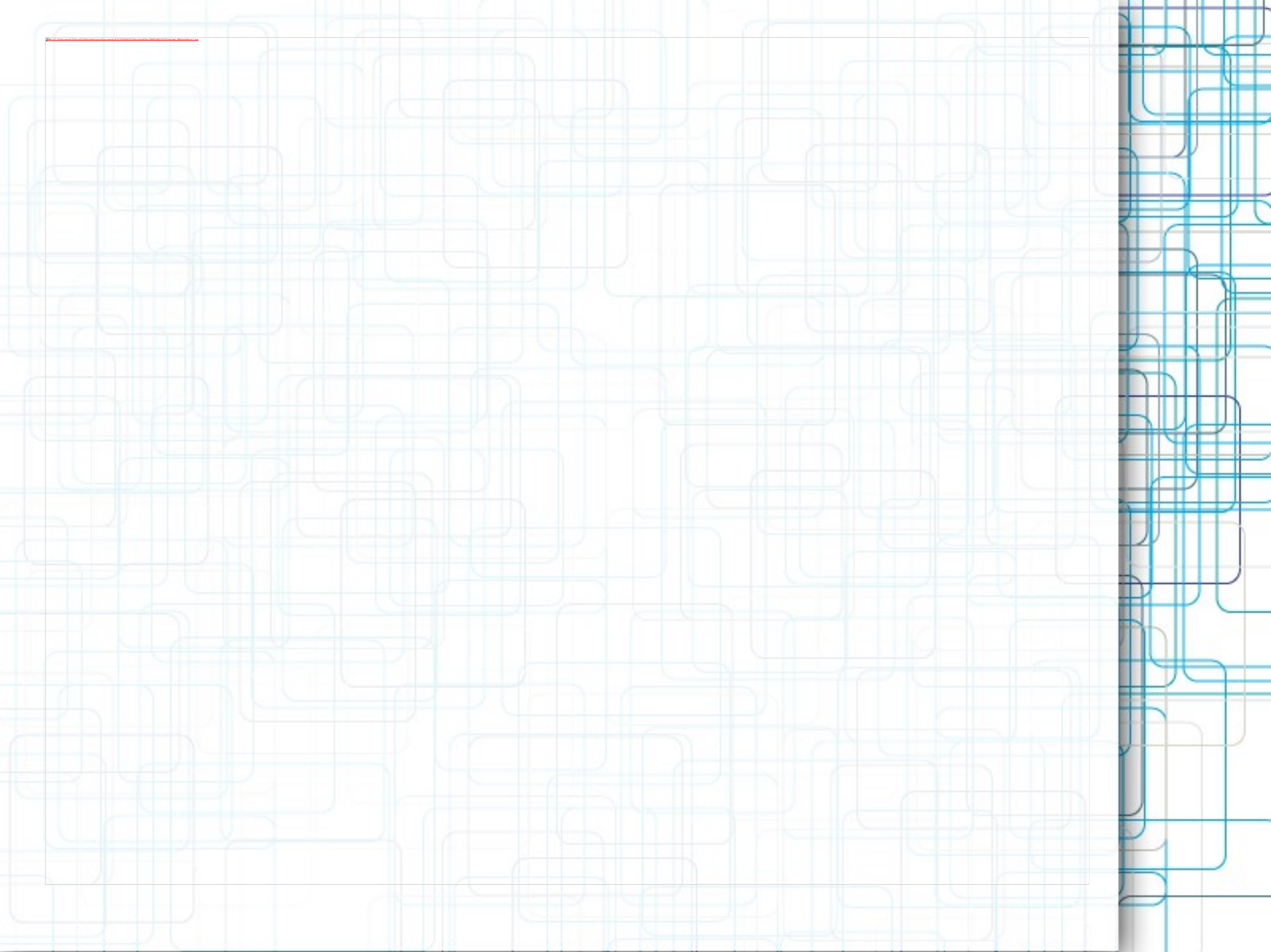
Aufbau auf der Platte

- Für das Gitter wird eine Halterung angefertigt
- Auf einer Aluminiumplatte wurden Löcher gebohrt
- Befestigung der Geräte auf der Platte

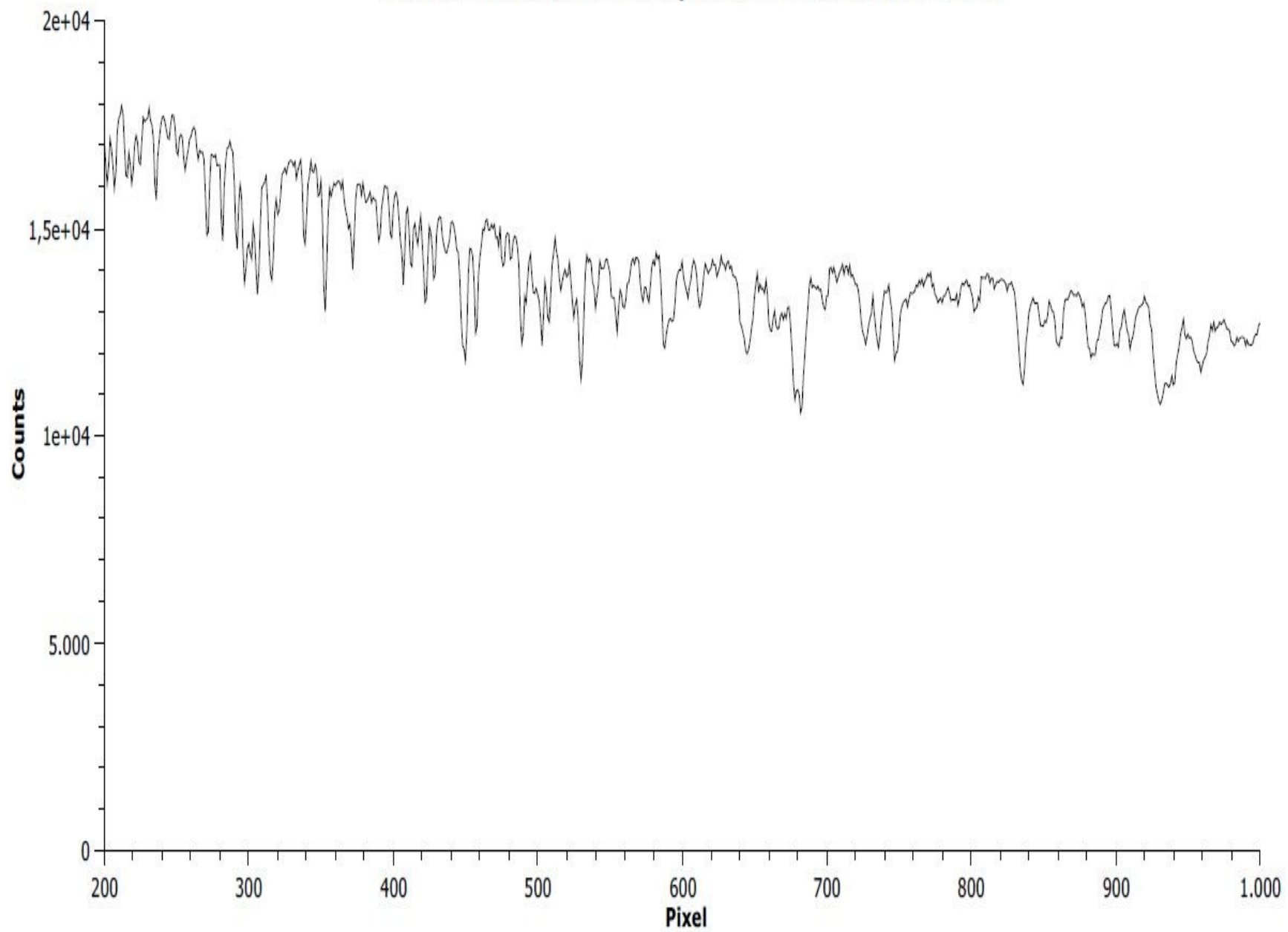


Einige Bilder





Ausschnitt aus dem Sonnenspektrum mit tellurischen Linien



Planung

- Fertigung eines Gehäuses
- Messung des Sonnenspektrums
- Endgültige Fertigstellung
- Umfangreichere Messungen