

SOWAS-Projekt

Xenon-Lampen-Spektroskopie

Steffen Krakau, Oliver Kreiter

Themen des Vortrags

- Zielsetzung des Projekts
- Physikalische Grundlagen
- Experiment
 - Vorbereitungen
 - Durchführung
- Ergebnisse

Zielsetzungen

- Bau eines Spektrometers
- Kalibrierung des Spektrometers anhand bekannter Gase
- Untersuchung von Xenon-Hochdrucklampen

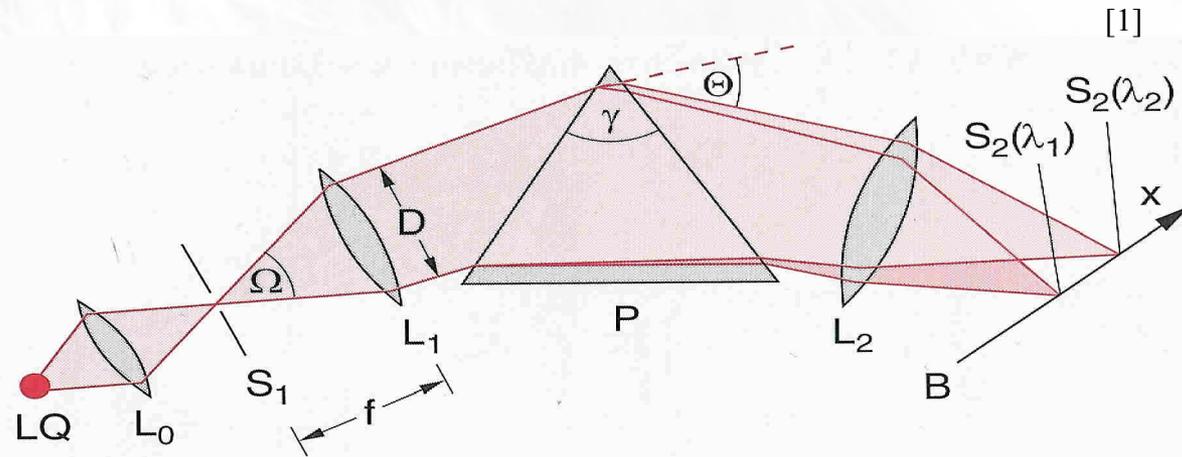
Physikalische Grundlagen

- Spektrometrie:
 - Prisma oder Gitter
 - CCD
- Lampentypen

Prisma oder Gitter

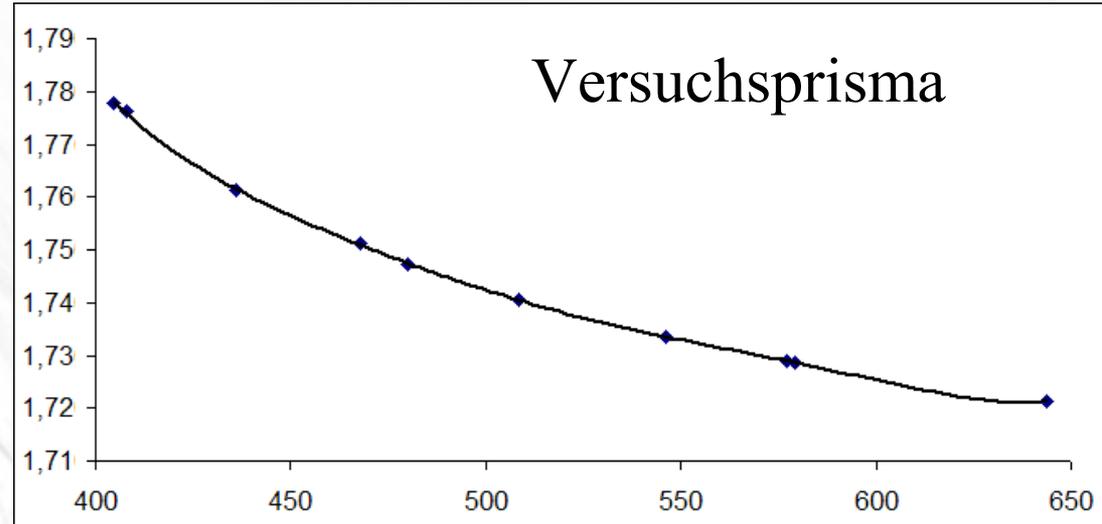
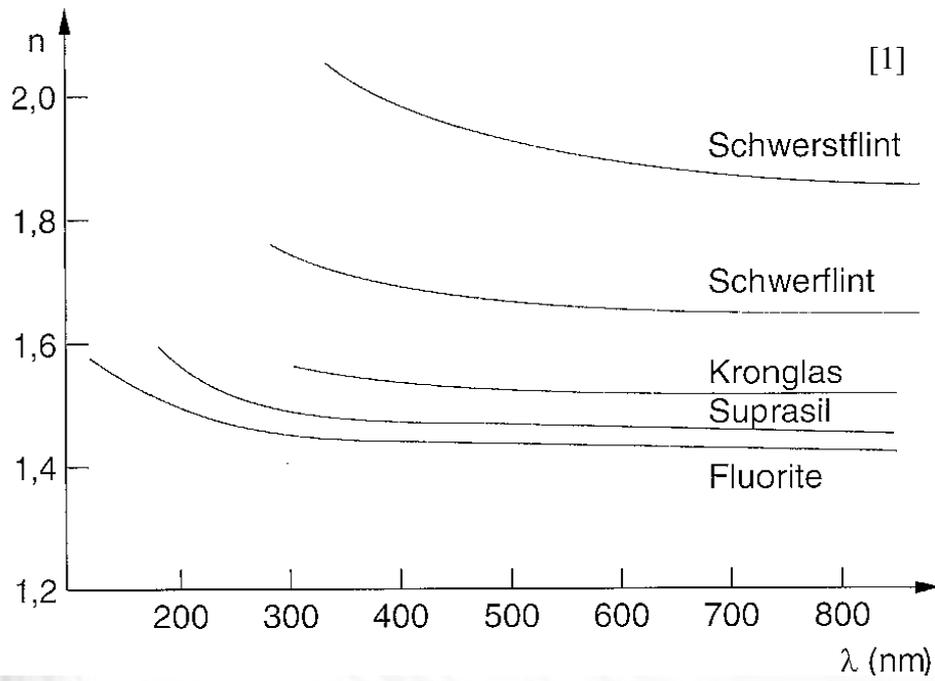
Prisma

- Wellenlängenabhängige Dispersion



$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{2 \sin(\gamma/2)}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2(\gamma/2)}} \cdot \frac{dn}{d\lambda}$$

Dispersionskurven

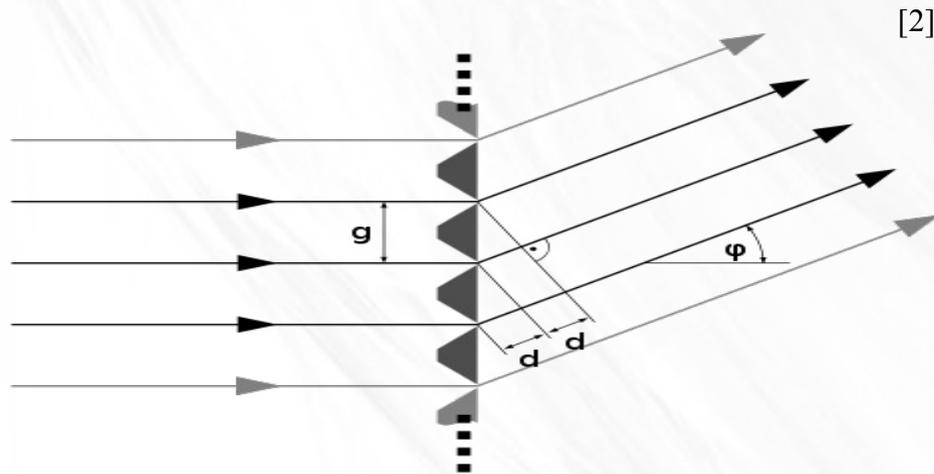


05.05.2010

Prisma oder Gitter

Gitter

- Beugung am Gitter



$$\lambda = \frac{g \cdot \sin \alpha_n}{n}$$

Lampentypen

- Glühlampen
- Gasentladungslampen
 - Niederdrucklampen
 - Hochdrucklampen

Glühlampen

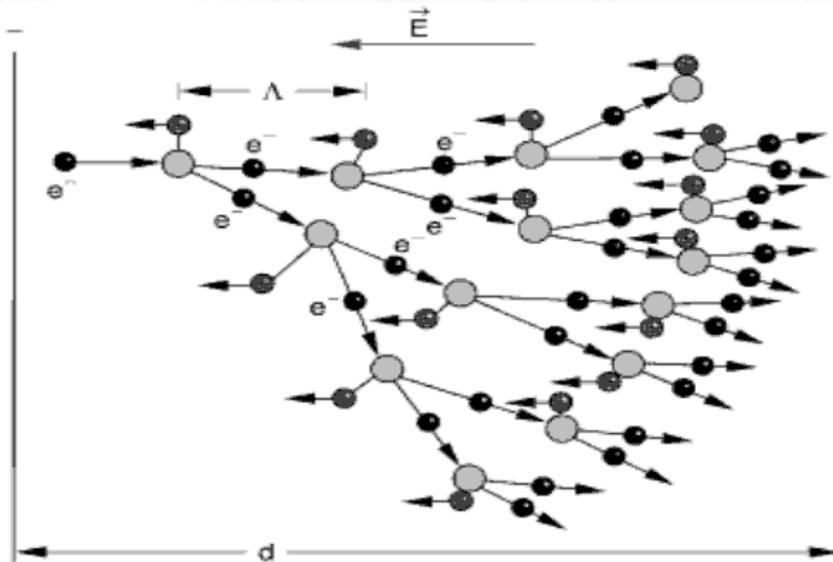
- Wolframwendel auf ca. 2800 K erhitzen
- Schwarzstrahler mit Planckspektrum (gute Näherung)

Gasentladungslampen

- Gasentladung im Inneren des Kolbens
- Über elektrisches Feld angeregt
- Selbstständige Entladung ab Zündspannung U_z

Gasentladungslampe

- Multiplikationseffekt der Ladungsträger



- Photonenerzeugung durch Rekombination und Stoßanregung

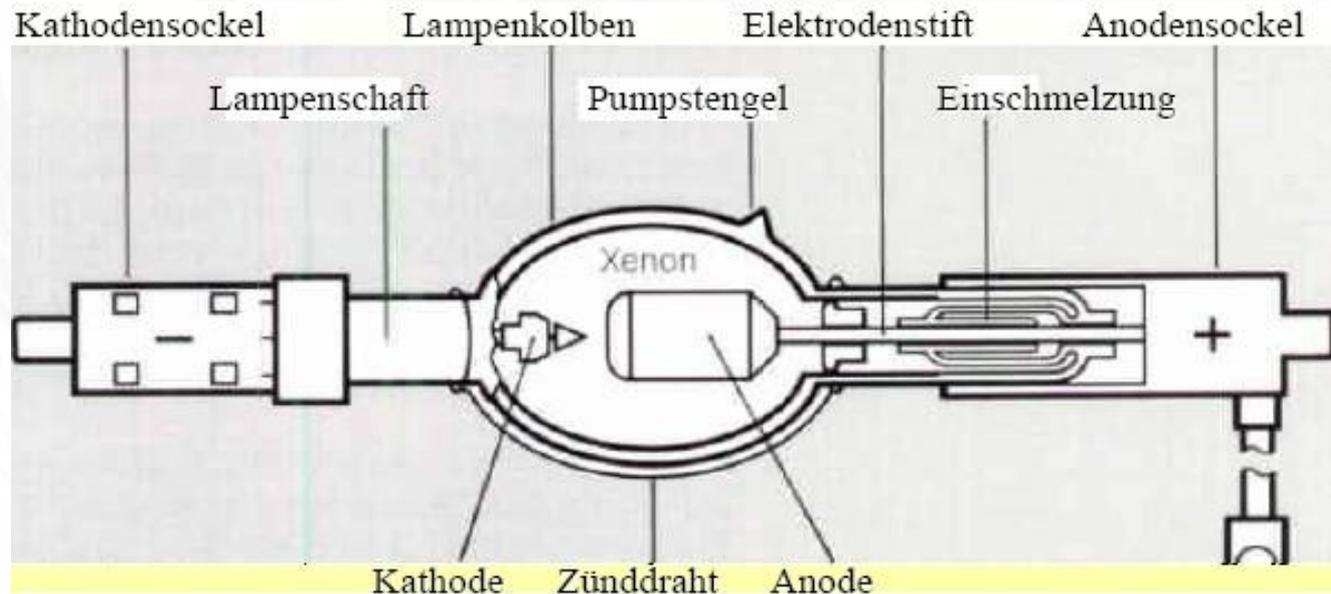
Niederdrucklampe

- Glimmentladung bei 10 bis 10^3 Pa
- Geringe Stromstärke (in mA-Bereich)
- Diskretes Spektrum (Linienspektrum von Hg-Cd, Na etc.)

Hochdruckentladung

- Bogenentladung bei einem Druck von 20 bis 35 bar
- Temperatur über 10.000K (Hotspot)
- Zündspannungen zwischen 10 kV und 25 kV
- Kontinuierliches Spektrum mit Struktur durch Verbreiterungseffekte

Aufbau Xe-Hochdrucklampe



- Kolben: aus blasen- und schlierenfreiem Quarzglas mit mehreren mm Wandstärke ($T_o \sim 1000\text{K}$)
- Bogen: v-förmig, nur wenige mm lang mit Hot Spot vor der Kathode

Aufbau Xe-Hochdrucklampe

- Elektroden:
 - Material: Wolfram
 - Kathode: thoriert und spitz, um große Elektronenstromdichten zu realisieren
 - Anode mit großer Oberfläche, um Wärme abzuleiten und abzustrahlen
 - Elektrodenabstand $< 5\text{mm}$
 - DC-Betrieb

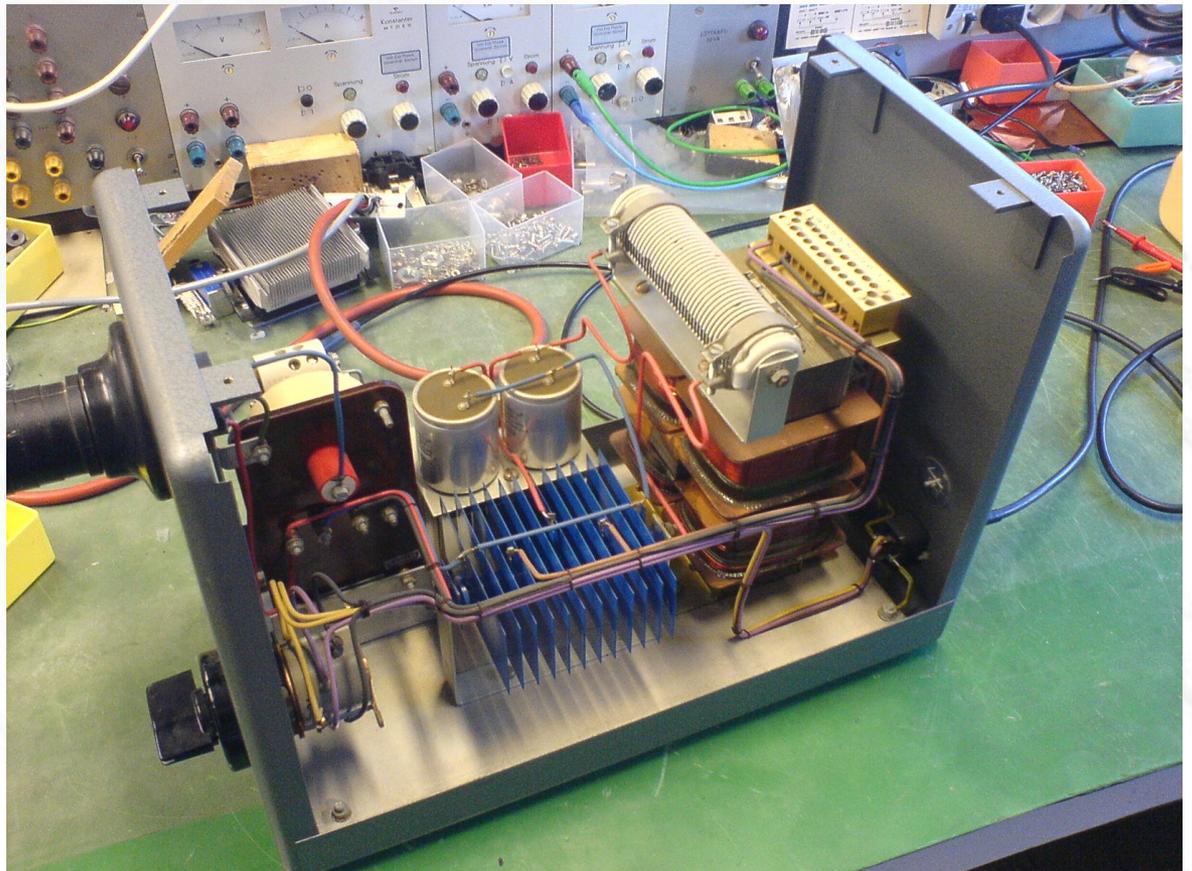
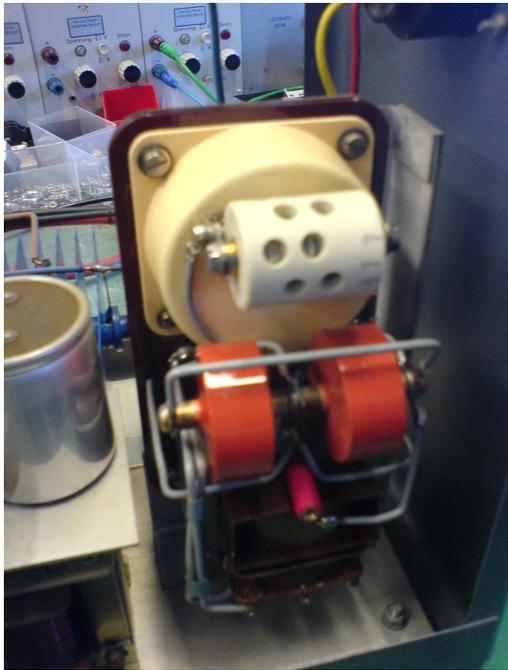
Experiment – Vorbereitung

- Zielsetzung/Realisierung des Versuchs
- Einweisung in die Physiksammlung
- Einarbeitung in CCD-Software (VideoCom)

Experiment – Vorbereitung

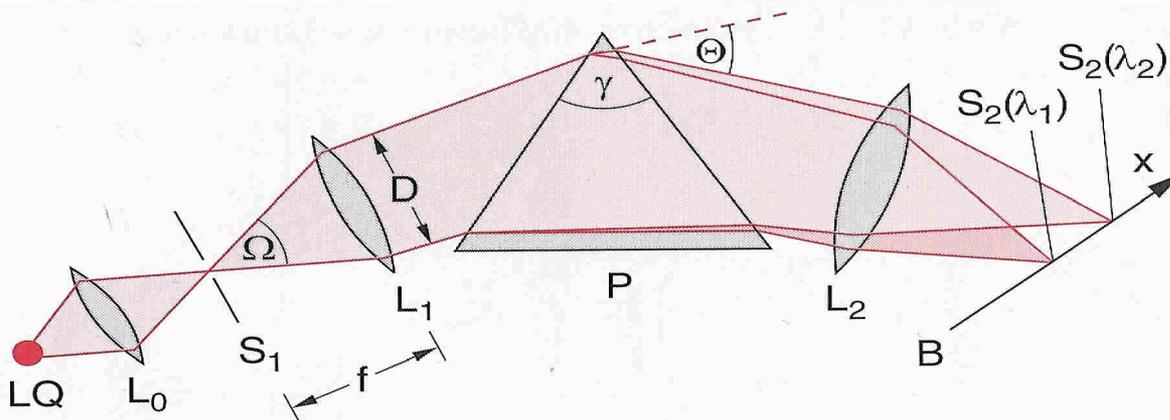
Materialsichtung und –beschaffung

- Xenonlampen
- Netzgerät(e)



Prisma - Durchführung

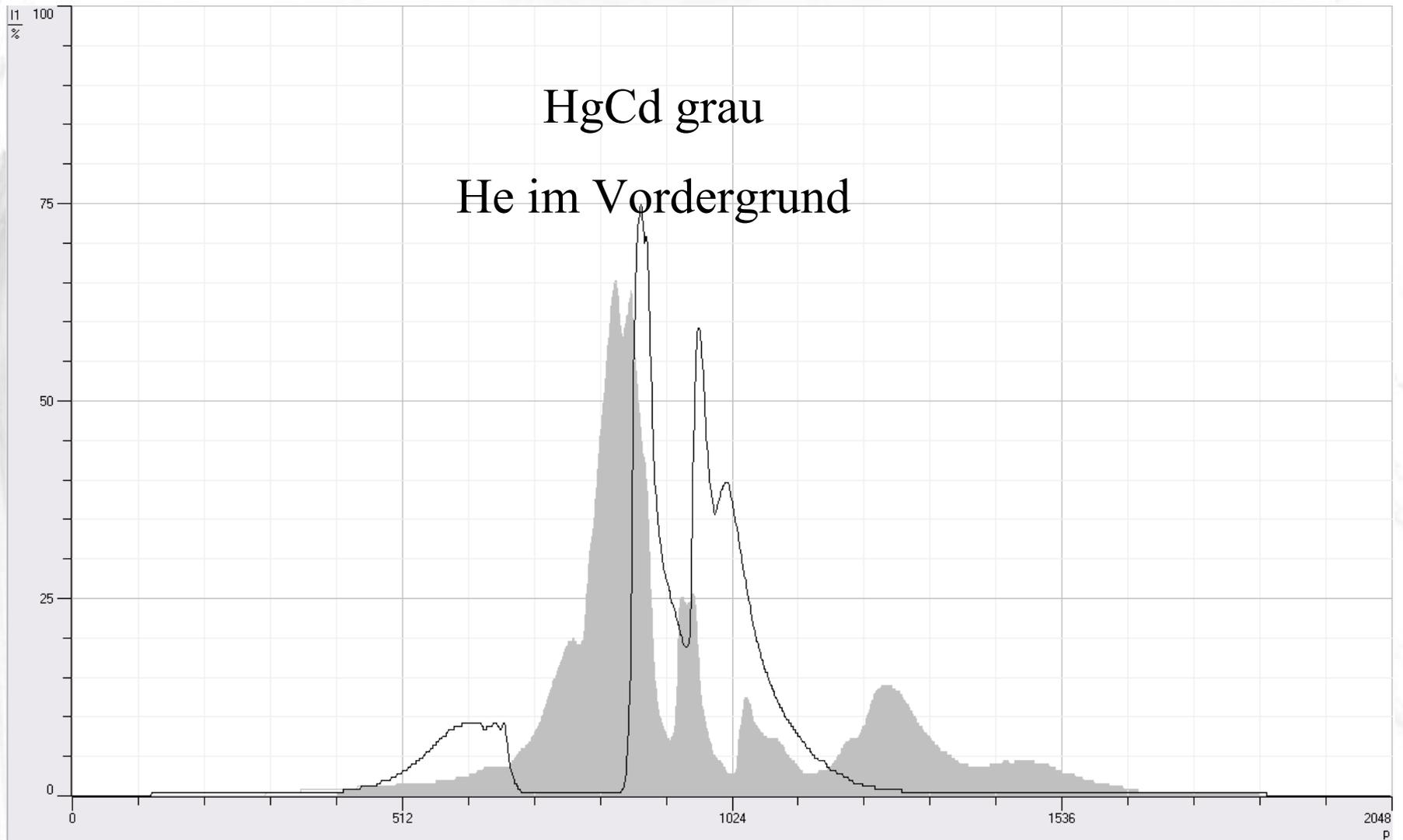
- Aufbau eines Prismenspektralapparats
- Gerätschaften: optische Bank, Prismen, bikonvexe Linsen, Spalt, Niederdrucklampen (HgCd, He, Na), CCD-Kamera, Computer



Prisma - Durchführung

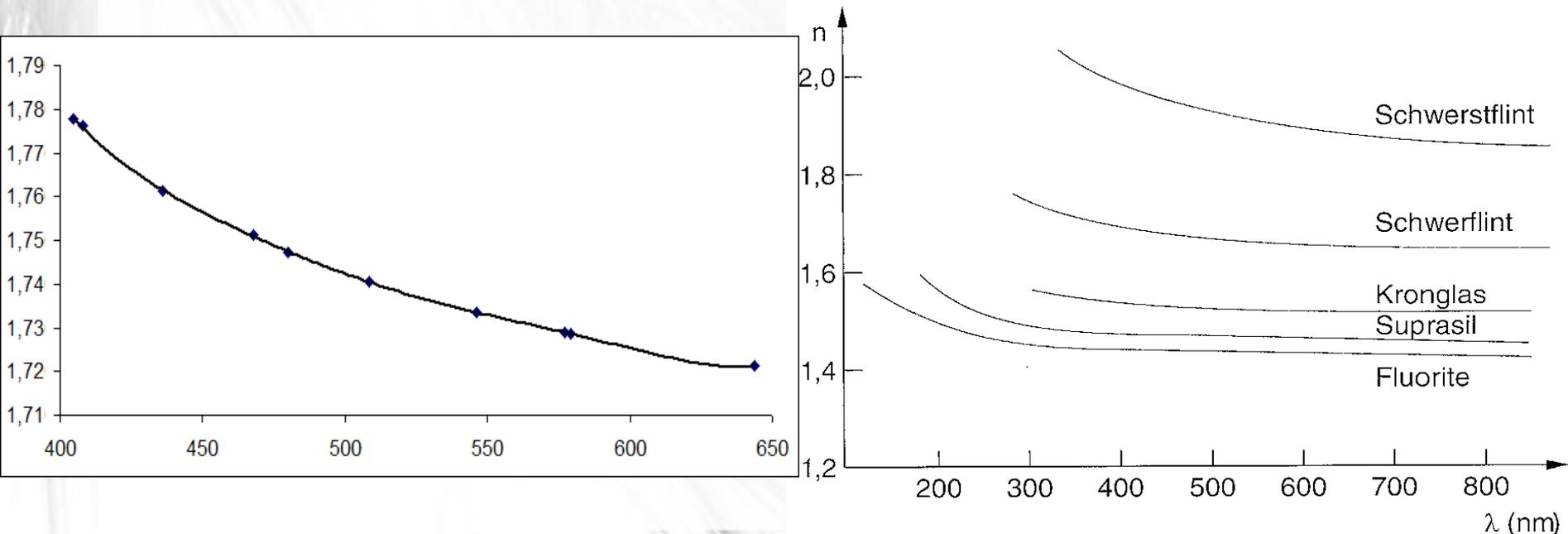
- Linsen:
 - $L_0 = 50\text{mm}$
 - $L_1 = 150\text{mm}$
 - $L_2 = 150\text{mm}$
- Prisma: Brechungswinkel $\gamma = 60^\circ$

Prisma - Messung



Prisma - Messung

- Lineare Approximation nicht ausreichend
 - Bestimmung der Dispersionskurve

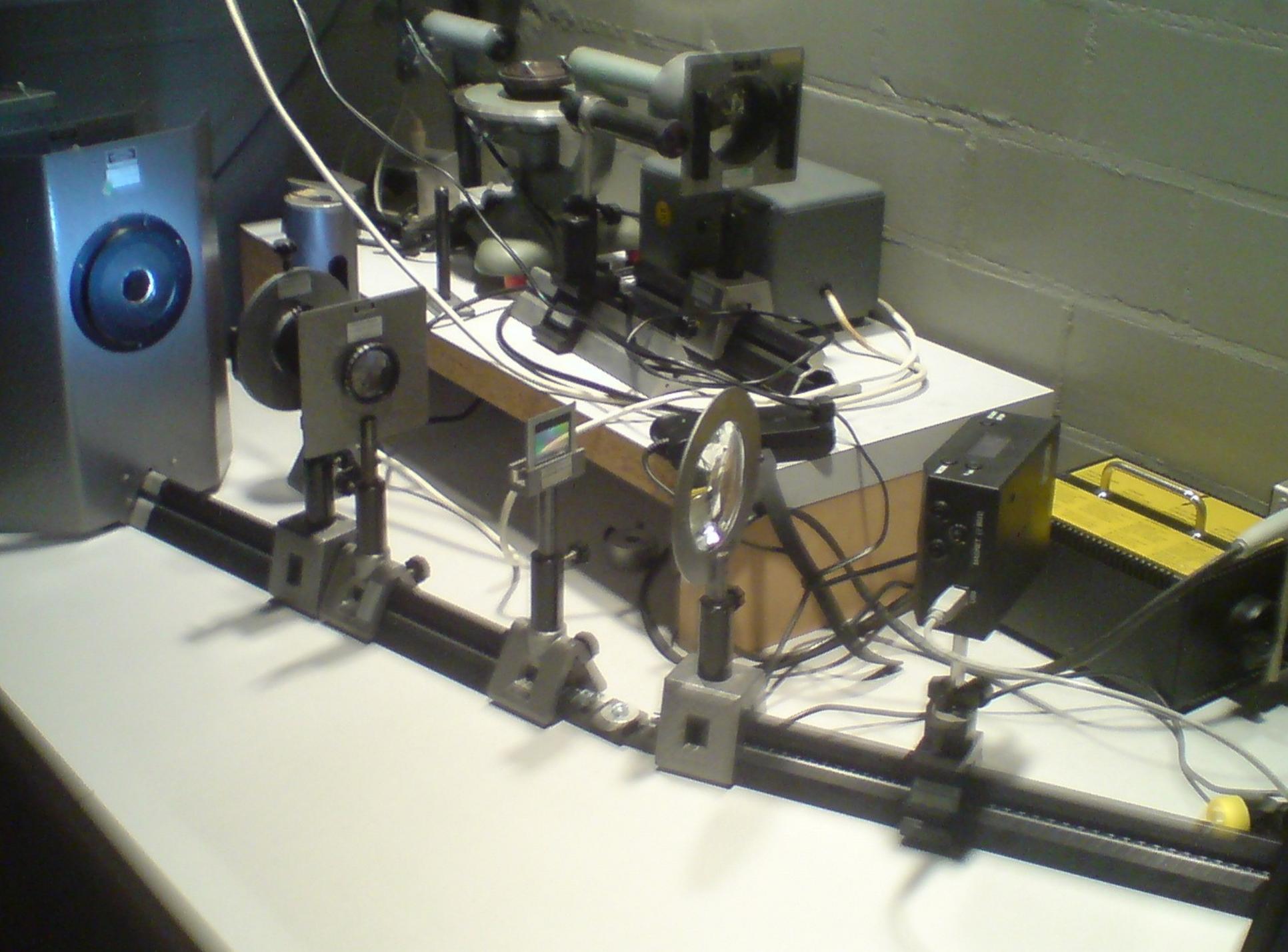


Prisma - Probleme

- Zu starke Abweichung bei Referenzmessung nach Kalibrierung
 - Schlechte Auflösung
 - Schlechte Ausleuchtung der CCD-Kamera
 - Software nicht für Prisma ausgelegt (nur linearer Zusammenhang möglich)
- Aufbau eines Gitterspektralapparat

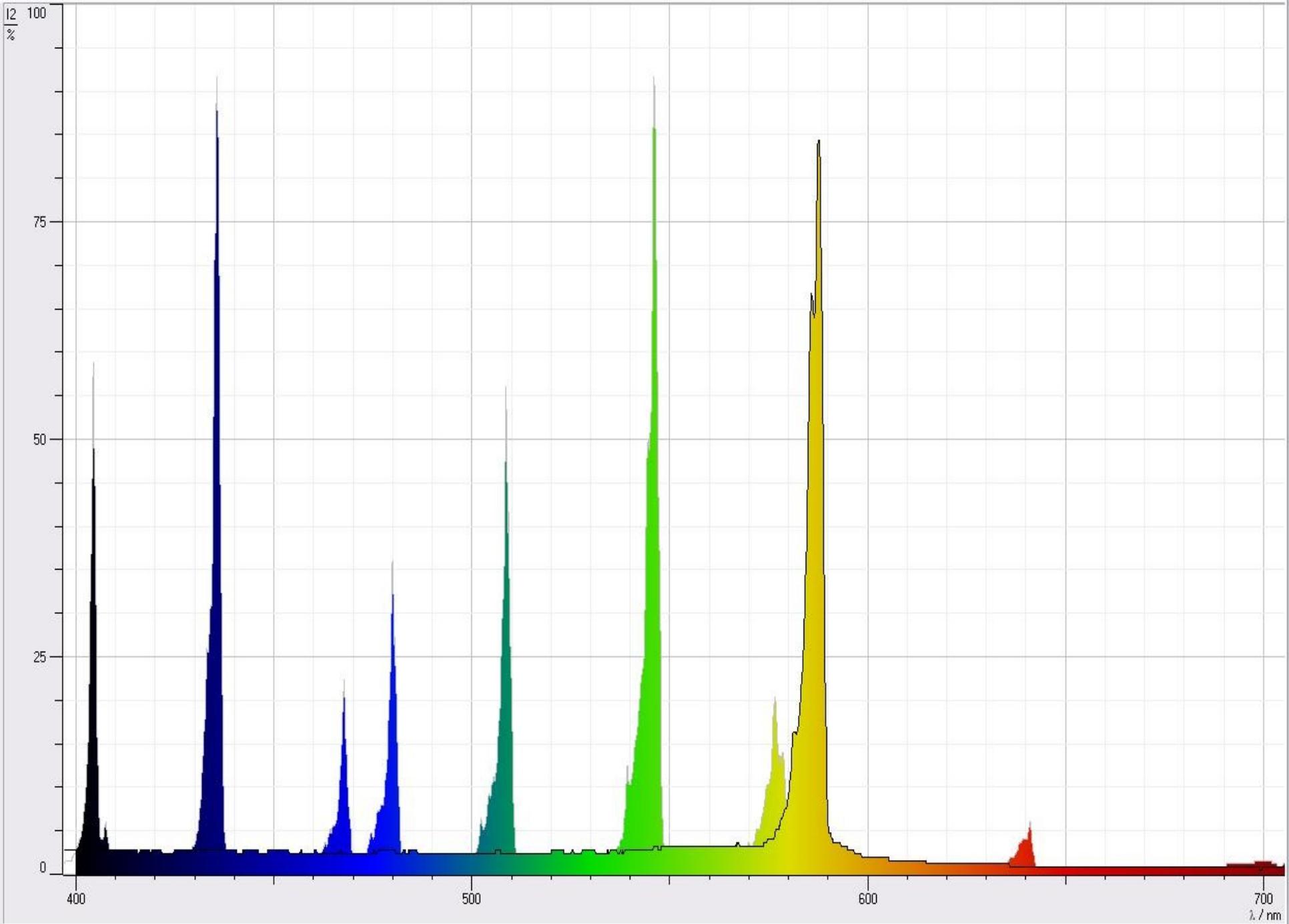
Gitter - Durchführung

- Geräte: optische Bank, Gitter, bikonvexe Linsen, Spalt, Niederdrucklampen (HgCd, He, Na), CCD-Kamera, Computer



Gitter – Kalibrierung

- Spektrum diverser Niederdrucklampen (HgCd, Natrium, Helium)
- Kalibration mit HgCd, Referenz mit Natrium



Linienprofile

- Natürliche Linienbreite durch Unschärferelation $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$

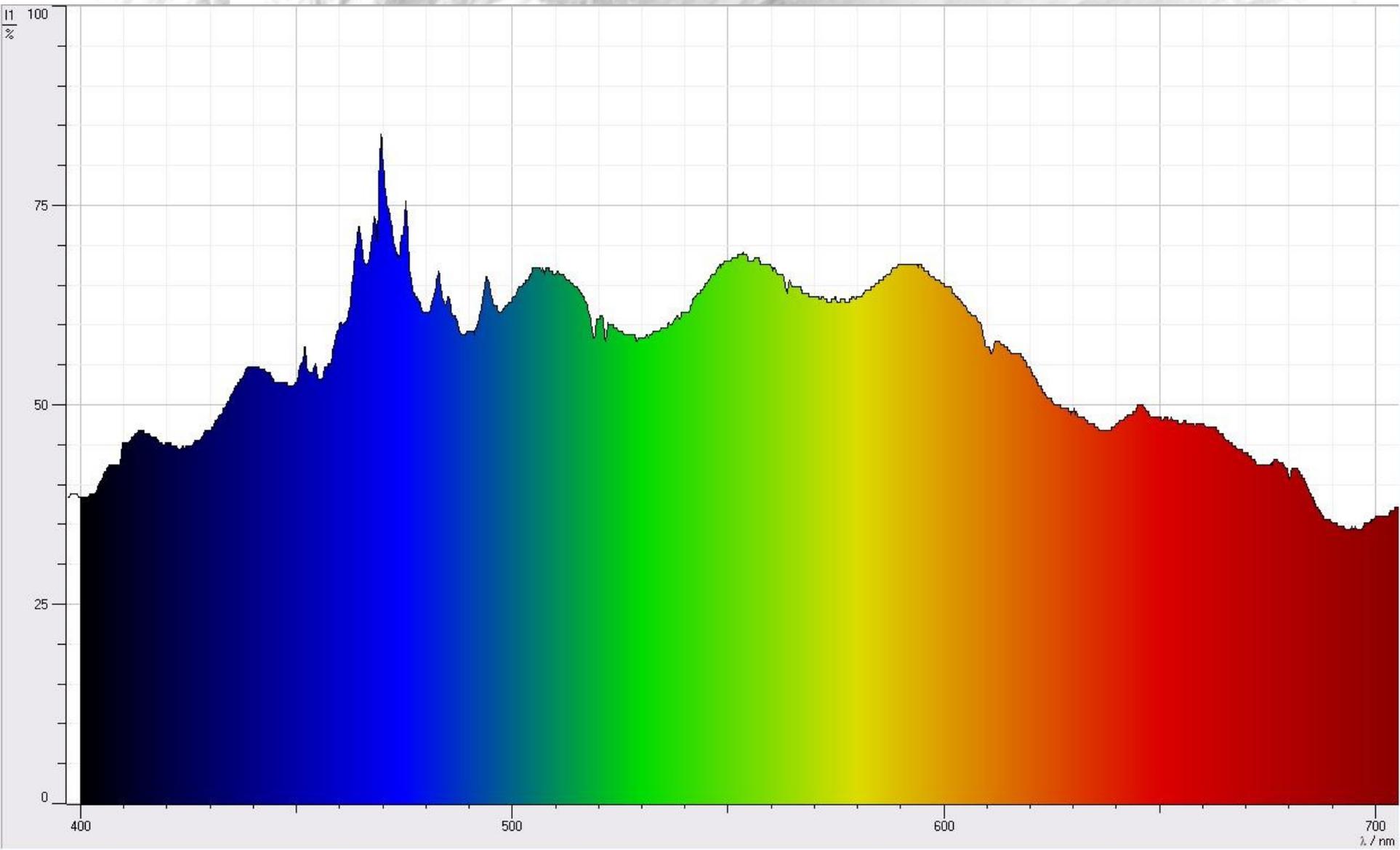
⇒ **Lorentzprofil:**
$$I(\omega) = I_0 \frac{\delta/2\pi}{(\omega - \omega_0)^2 + (\delta/2)^2}$$

- Korrekturterm notwendig:

$$F_W(\lambda - \lambda_0) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta\lambda_0}{(\lambda - \lambda_0)^3} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{\pi}{4} \frac{\Delta\lambda_0}{\lambda - \lambda_0}\right) & \lambda > \lambda_0 \\ 0 & \lambda \leq \lambda_0 \end{cases}$$

Xenon Messungen

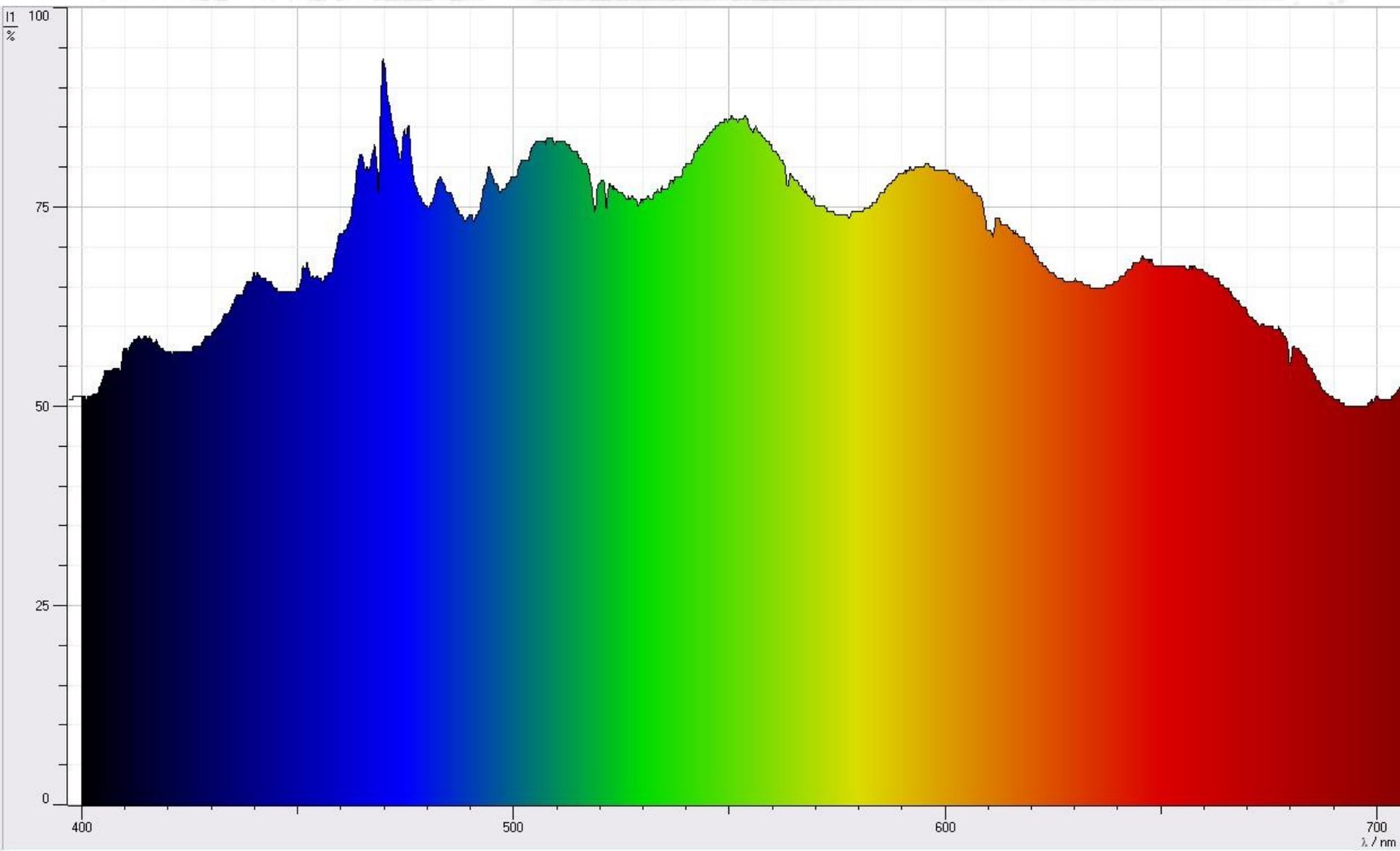
- 3 verschiedene Lampen
(zwei alte, eine neue)
- Messung nach 5, 10 und 15 Minuten

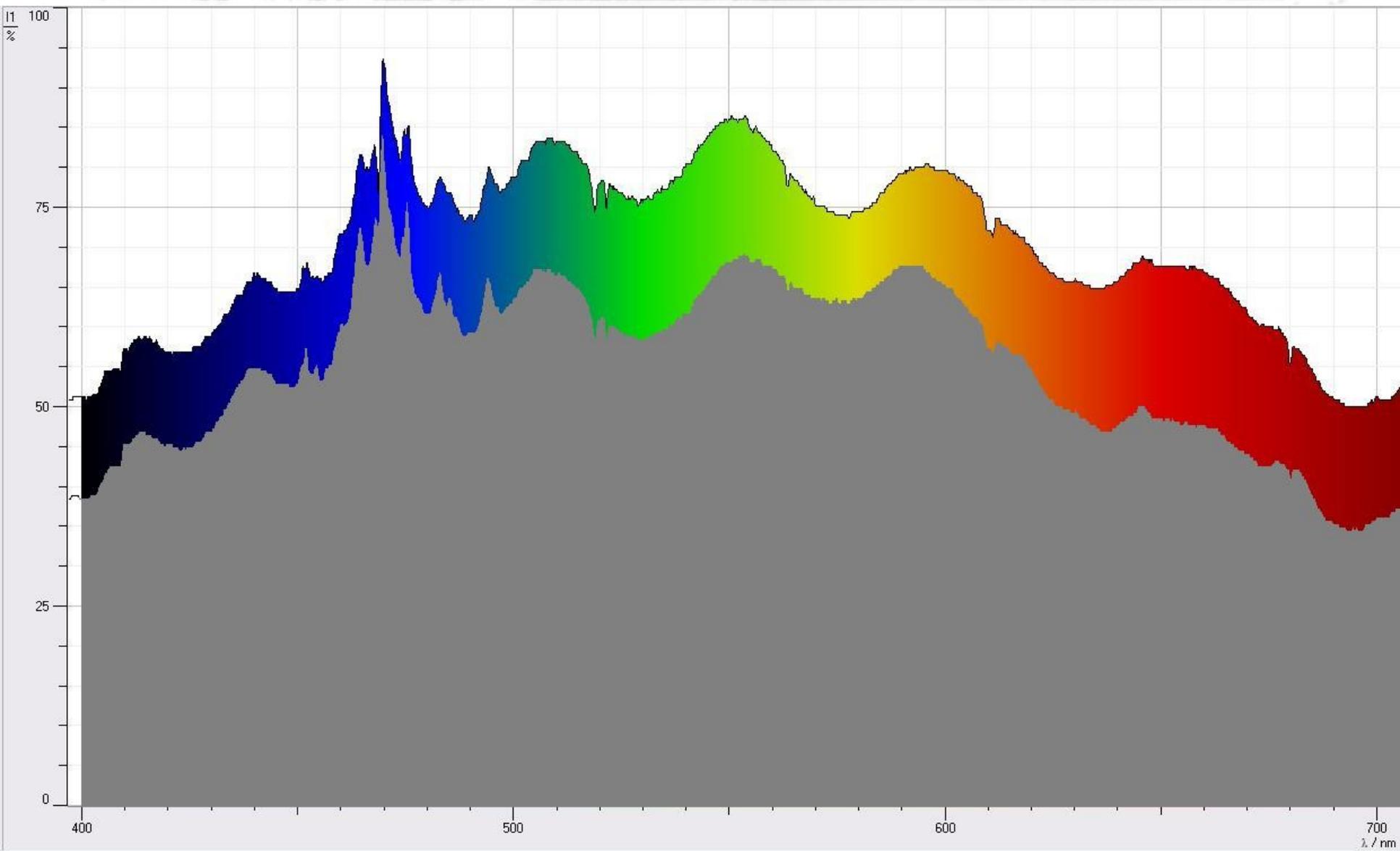


© by LD Didactic GmbH, 1997-2008

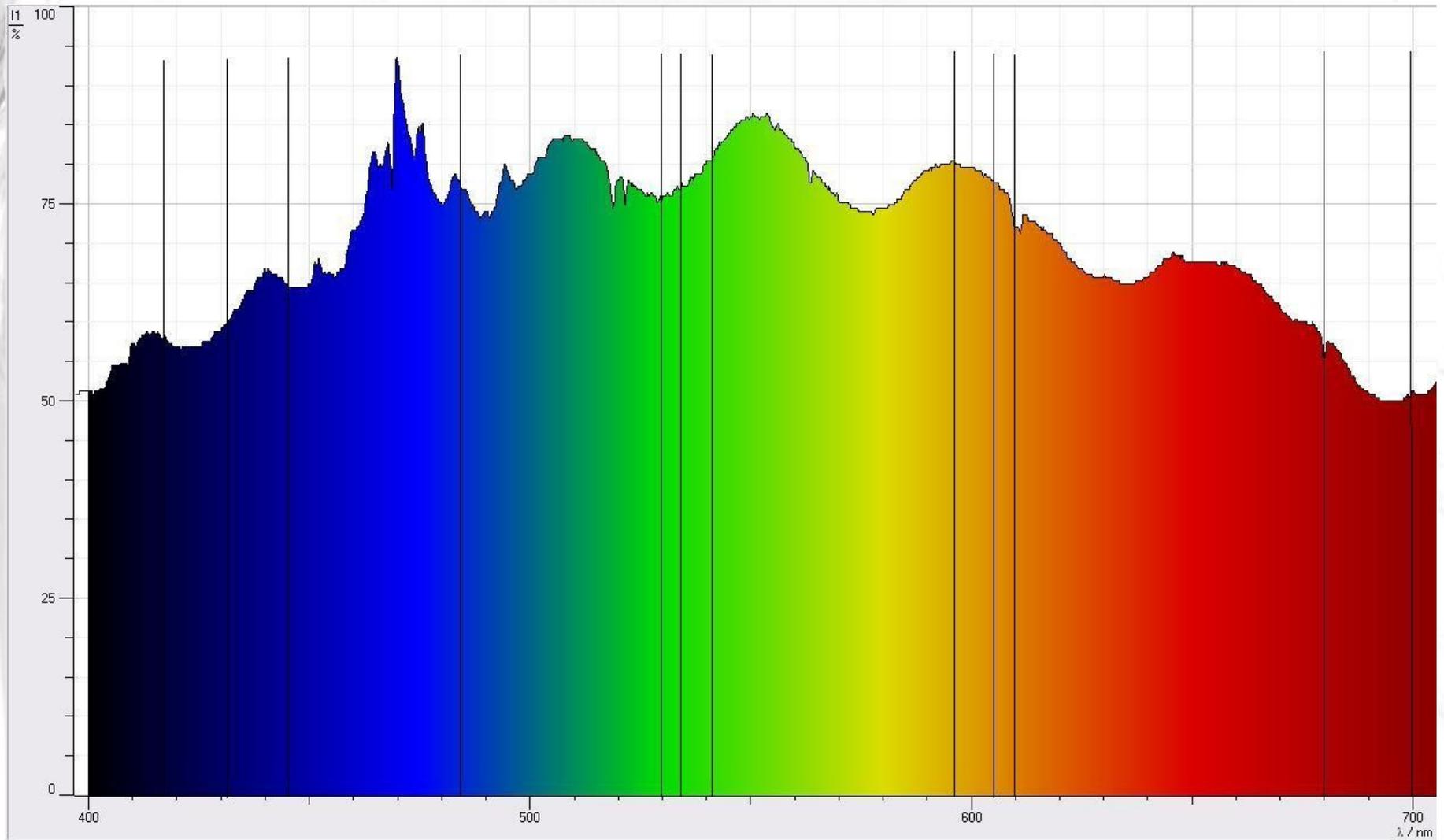
05.05.2010

Folie 29



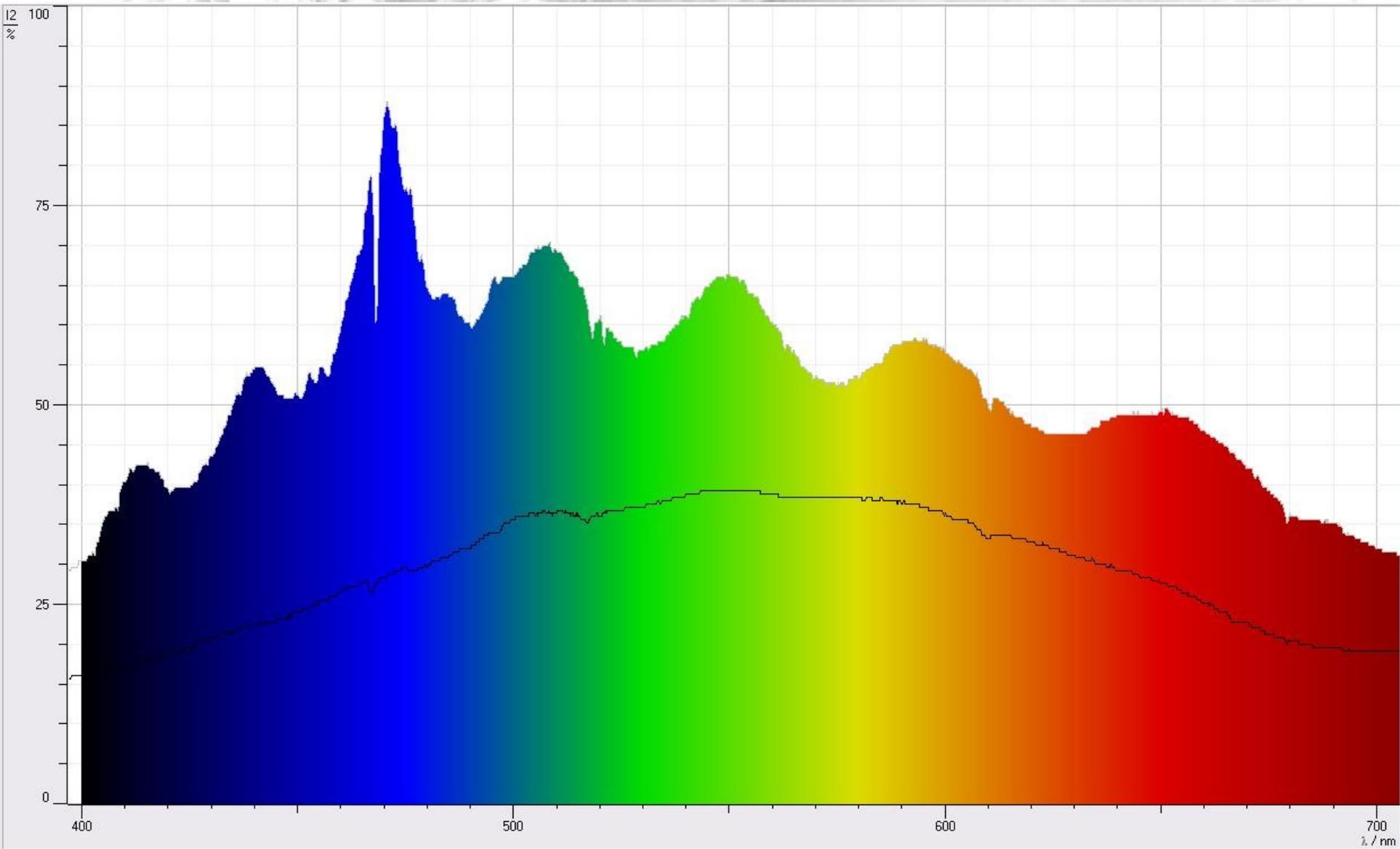


Erwartete Peaks



Referenz mit Weißlichtquelle

- Absorptionslinien
- Sinuskurve
- Verschiebung der Peaks



© by LD Didactic GmbH, 1997-2008

05.05.2010

Folie 34

Auswertung

- Erklärung für das stark verbreiterte und verschobene Linienspektrum suchen
- Dopplereffekt für Verbreiterung nicht stark genug (max. wenige Angström)

Druckverbreiterung

- Idee: Stoßzeit der Gasteilchen kleiner als die Emissionszeit ($\sim 10^{-8}\text{s}$)
- Energieniveaus werden gestört (-> Störung der Energieeigenwerte -> Verschiebung der Wellenlänge und Verbreiterung des Lorentzprofils)

Quantenmechanische Ansätze
sehr kompliziert

Abschätzungen

Verbreiterung \sim Unschärferelation

$$\Delta(E) \Delta(t) = \frac{h}{2\pi}$$

$$\Delta(\omega) = \frac{1}{\tau}$$

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$\tau = \frac{1}{n\sigma v}$$

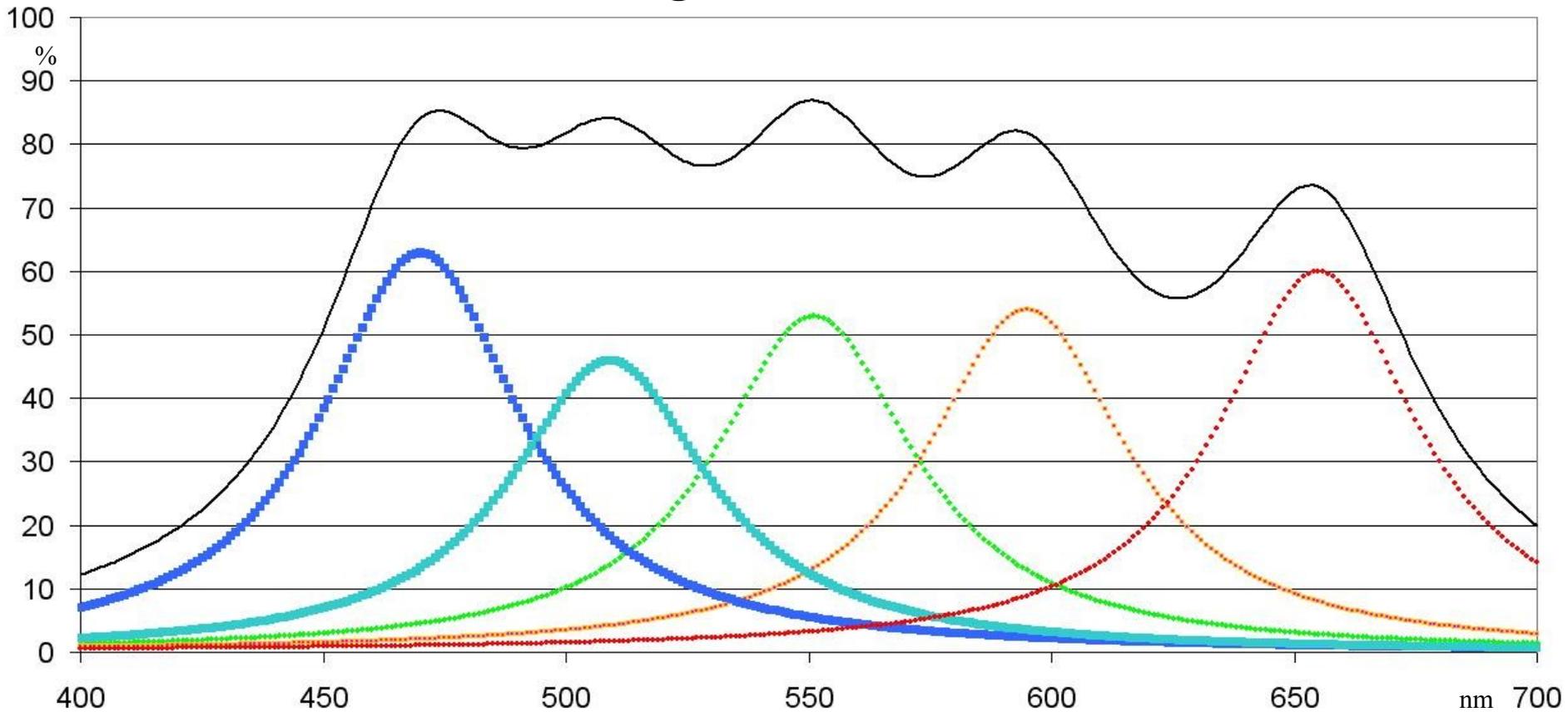
$$\frac{c}{\lambda} = f$$

$$\Delta(f) = \frac{c \Delta(\lambda)}{\lambda^2}$$

$$n = \frac{c \sqrt{\frac{m}{3kT}}}{\lambda^2 \sigma} \Delta(\lambda)$$

Modellierung der Hauptlinien als Lorentzkurven in Excel

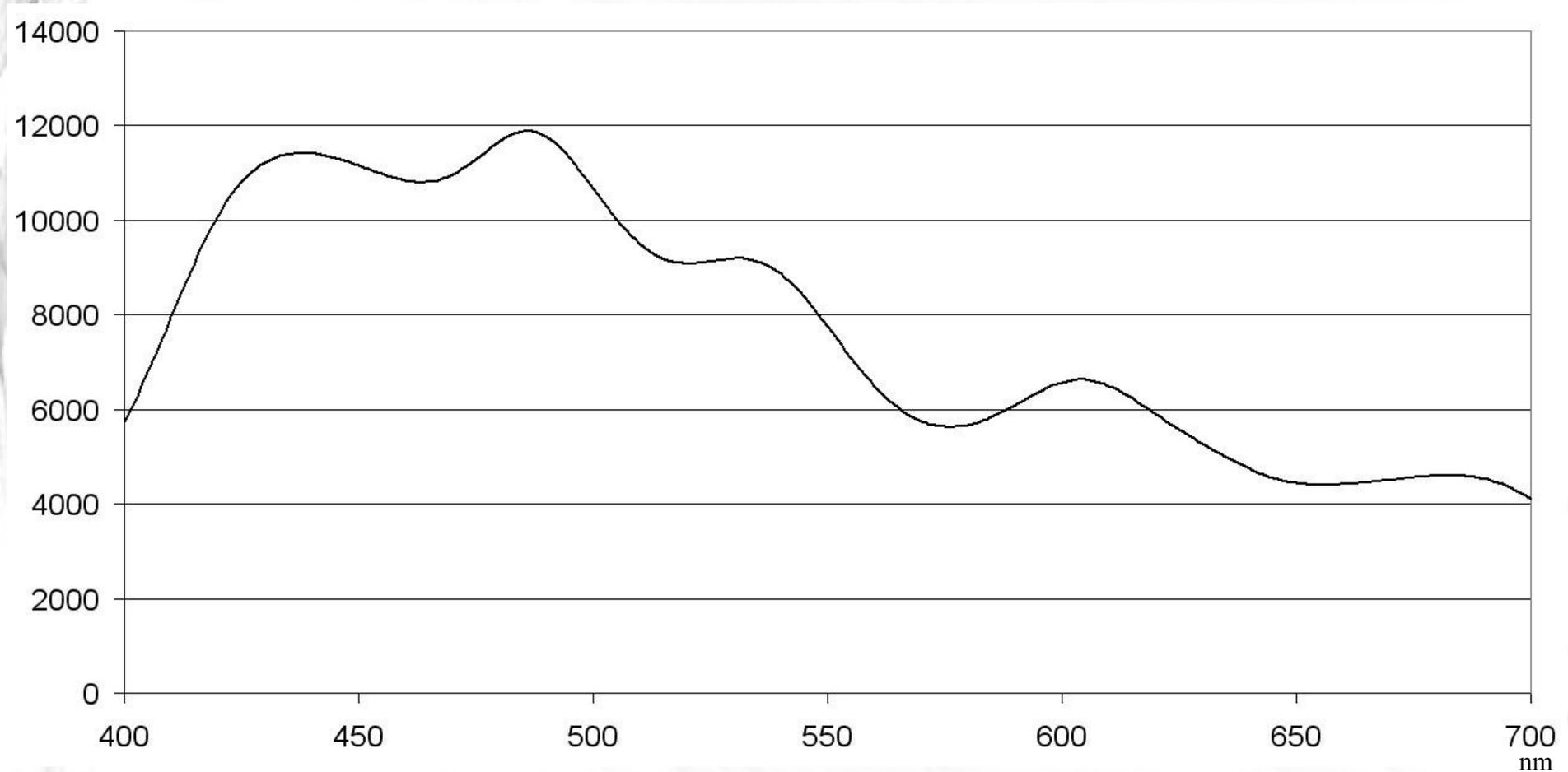
→ Abschätzung für Breite der Maxima



Ergebnis mit

- $\Delta\lambda \sim 25 \text{ nm}$ bei $\lambda \sim 550 \text{ nm}$
 - $\sigma \sim 10^{-15} \text{ cm}^2$
 - $m = 131,293 \text{ u}$
 - $T \sim 7000 \text{ K}$
- $n \sim 2 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3}$

44 von 1159 Linien (min. rel. Intensität 20%)



Abschätzung der Farbtemperatur

- Ähnlichkeit mit Planckspektrum mit $\lambda_{\max} \sim 480 \text{ nm (+/- 20 nm)}$
- Aus Wienschem Verschiebungsgesetz folgt:
 - $T \sim 6000 \text{ K (+/- 250 K)}$

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**