

# Grundlagen eines Pulsoxymeters

Überprüfung der spektroskopischen  
Unterscheidbarkeit von oxygeniertem  
und desoxygeniertem Blut

# Gliederung

- Was ist ein Pulsoxymeter und wie funktioniert es?
- Versuchsbaufbau
  - Theoretische Grundlagen
  - Aufbau eines Gitterspektrometers
  - Küvetten
- Durchführung
  - Kalibrierung
  - Messung
- Diskussion
- Aussichten auf weitere Projekte

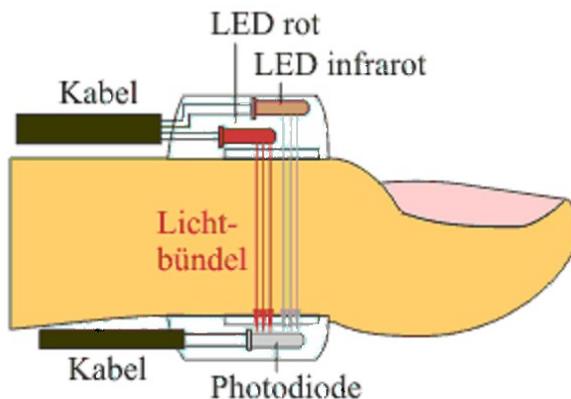
# Pulsoxymeter

Dient der gleichzeitigen Bestimmung von Puls und Sauerstoffgehalt des Blutes



**VORTEIL:** Nichtinvasiv, nur mit Hilfe von Licht

# Funktionsweise



- Für die Messung wird der Finger mit Licht durchstrahlt
- Es gibt zwei LEDs
  - Eine in rot mit einer Wellenlänge von ca 660 nm
  - Eine in infrarot mit ca 910 nm
- Unterhalb des Finger befindet sich eine Photodiode

- Die LEDs werden abwechselnd an und aus geschaltet mit jeweils einer Dunkelphase dazwischen
  - Die Frequenz ist ca 65 Hz
- Die Photodiode nimmt hierbei die jeweils ankommenden Lichtintensitäten auf und wandelt sie in Stromimpulse um
- Diese Strompulse können durch einen Analogdigitalwandler in den Rechner gespeist und ausgelesen werden

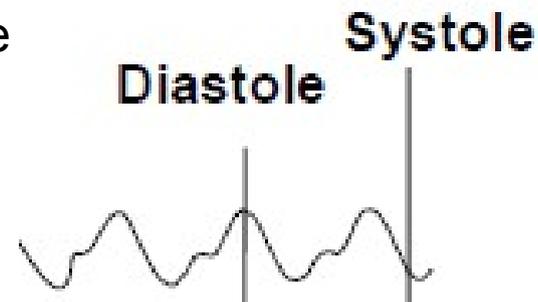
# Pulsmessung

Durch den Herzschlag wird eine pulsierende Änderung der Querschnittsfläche der Adern bedingt

- Während des Ausströmens des Blutes aus dem Herzen werden Die Arterien geweitet: Systole
- Wenn die Pulswelle hindurchgeflossen ist, verengen sie sich wieder auf Normalmaß: Diastole

→ Dies bedingt Schwankungen der Absorptionskurve

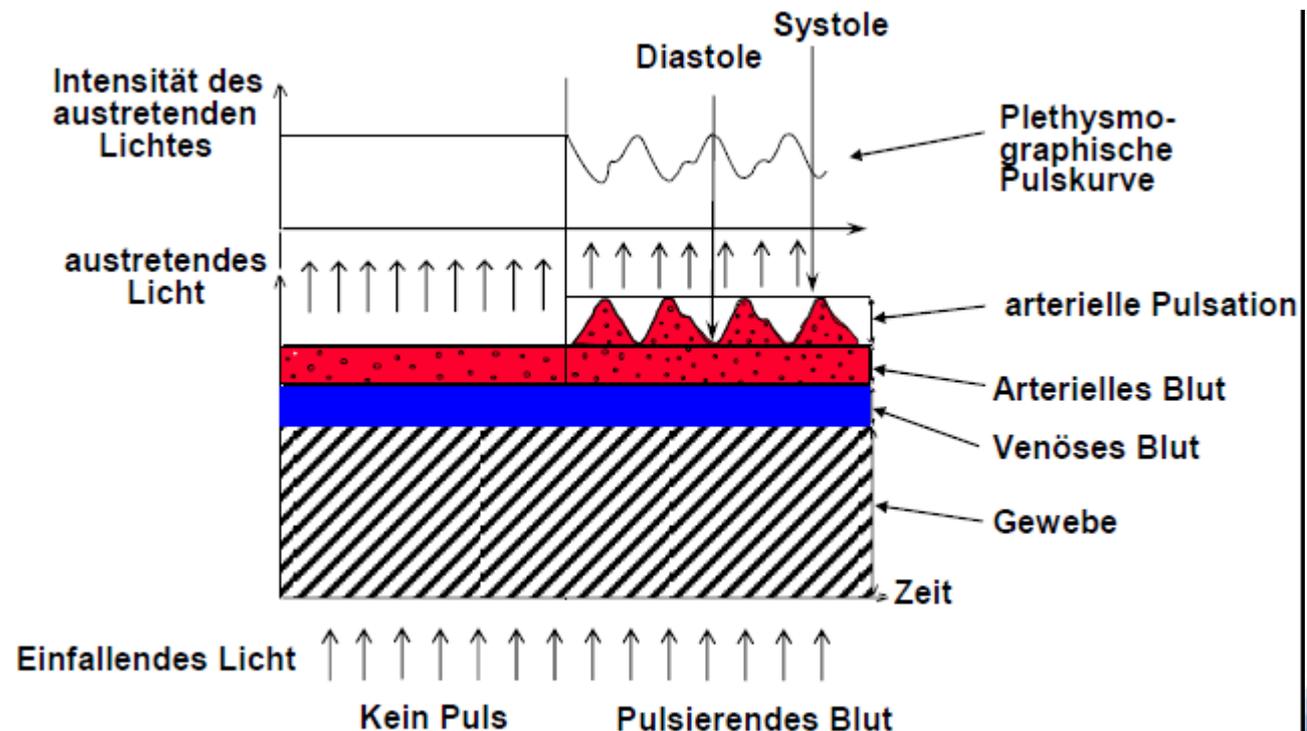
→ Aus den Abständen der Peaks und der Periodendauer lässt sich der Puls bestimmen



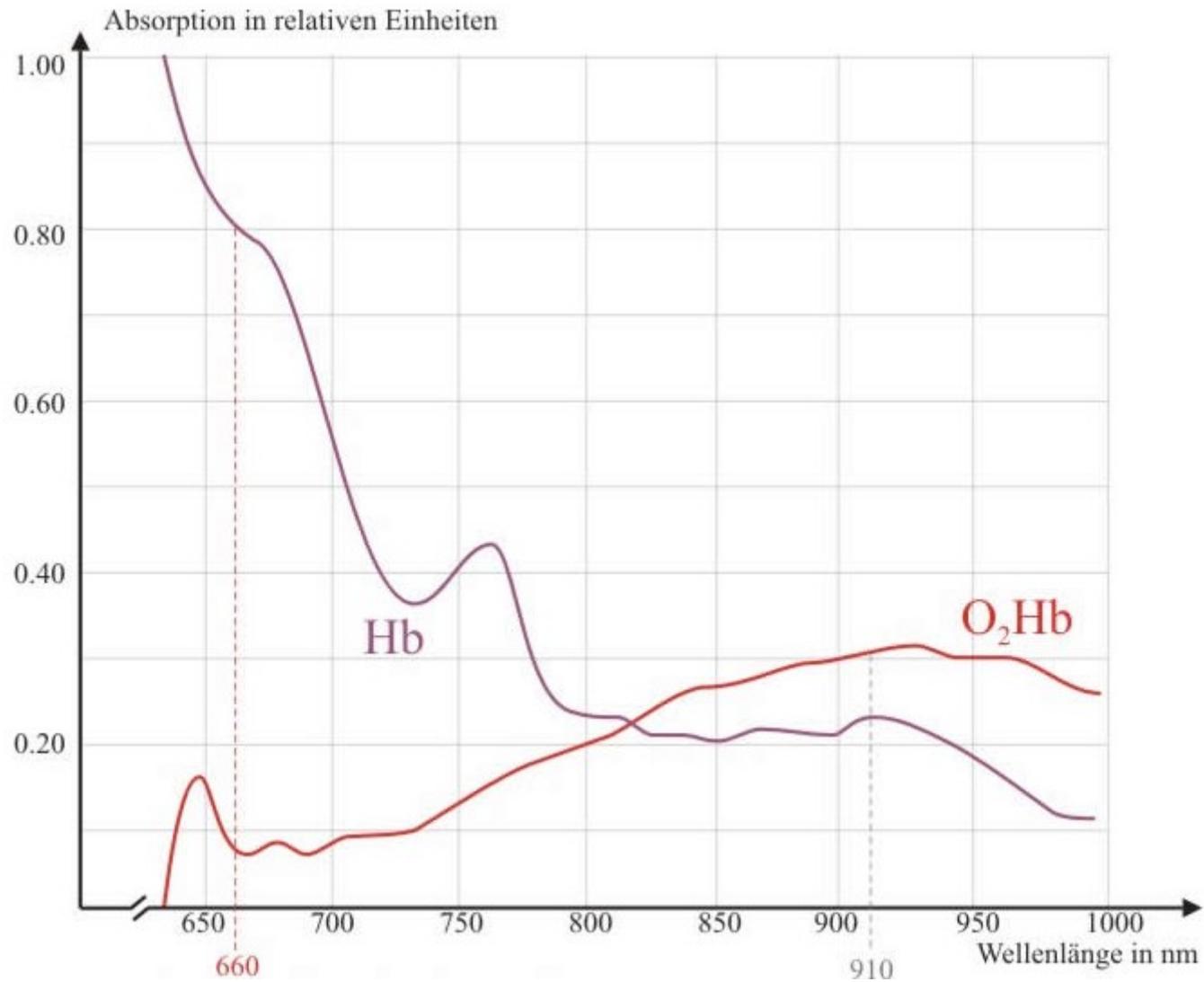
# Sauerstoffgehalt

- Die Absorptionsbanden von Blut verschieben sich je nach dem ob es sauerstoffarm oder sauerstoffreich ist
  - Bei sauerstoffreichem Blut liegen sie im infraroten Bereich des Spektrum
  - Bei sauerstoffarmem Blut liegen sie im roten Bereich
- Unter der Annahme wir haben sauerstoffreiches Blut würde folgendes gelten:
  - Die Intensitätskurve der infraroten LED würde niedriger ausfallen als die der roten
- Man bildet das Verhältnis der Intensitäten der beiden LEDs und kann nach vorhergehender Kalibrierung daraus den Sauerstoffgehalt des Blutes bestimmen

- Ein weiterer Nutzen zweier LEDs ist, dass man den Gewebeanteil herausfiltert

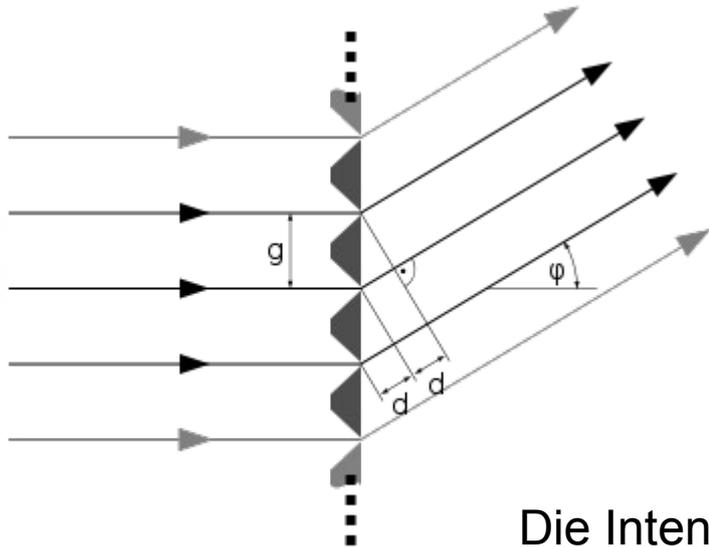


# Absorptionskurven



# Gitterspektrometer

## Theoretische Grundlagen



Bedingung für konstruktive Interferenz:

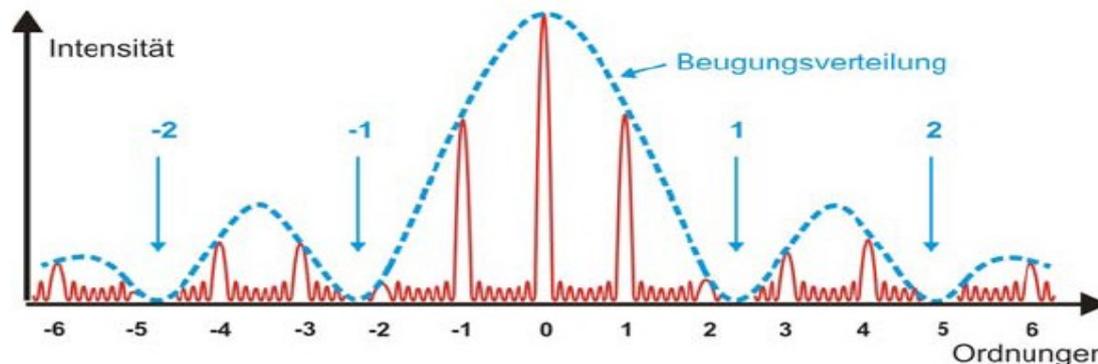
$$d = n \cdot \lambda$$

Mit  $g$  dem Spaltabstand und  $\lambda$  der einfallenden Wellenlänge folgt

$$d = g \cdot \sin(\phi) \quad \lambda = \frac{g \cdot \sin \phi_n}{n}$$

Die Intensitätsverteilung sieht folgendermaßen aus:

$$I_\alpha = I_0 \frac{\sin^2(\pi \cdot d \cdot \sin \alpha \cdot \lambda^{-1})}{(\pi \cdot d \cdot \sin \alpha \cdot \lambda^{-1})^2} \frac{\sin^2(N \cdot \pi \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \lambda^{-1})}{\sin^2(\pi \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \lambda^{-1})} \quad \text{bzw.} \quad I = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \left( \frac{\sin N \alpha}{\sin \alpha} \right)^2$$



**Linienbreite:** Die Schärfe einer Linie ergibt sich aus den Abständen der beiden nächstliegenden Minima.

$$I = I_0 \left( \frac{\sin(N\alpha)}{\sin(\alpha)} \right)^2$$

Es gilt folgende Bedingung für Maxima:

$$\alpha_1 = n\pi \quad \text{und} \quad \alpha_2 = (n+1)\pi$$

$$\Delta_1 = n\lambda \quad \Delta_2 = (n+1)\lambda$$

Der Zähler wird 0 für:  $N\alpha = n\alpha$  mit N Anzahl der beleuchteten Spalte und  $n \in \mathbb{N}$

Daraus ergeben sich jeweils Minima für:

$$\sin \phi = \frac{n\lambda}{Ng}$$

Es gibt N-1 Minima und N-2 Nebenmaxima zwischen den Hauptmaxima.

Das erste Minimum nach  $\alpha_1$  hat den Gangunterschied  $\Delta = m\lambda + \frac{\lambda}{N}$

Ort des m'ten Maximums auf dem Schirm :  $x_{max} = n\lambda \frac{d}{g}$  • d Abstand zum Schirm

Ort des m'ten Minimums auf dem Schirm :  $x_{min} = \left( n\lambda + \frac{\lambda}{N} \right) \frac{d}{g}$  • g Abstand der Spalte

Abstand Maximum und Minimum:  $x_{max} - x_{min} = \frac{\lambda d}{g} \left( n - n + \frac{1}{N} \right) = \frac{\lambda}{g} \frac{1}{N}$

# Aufbau

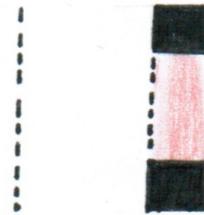


CCD Kamera  
2048 Pixel

Linse  
f:300 mm



Küvette



Gitter  
520 /mm

Linse  
f:150 mm



Filter



Spalt

Halogenlampe



# Proben

- Die Probe bestand aus konzentriertem Kaninchenblut, welches mit Lösungsmitteln verflüssigt wurde
- Lösungsmittel:
  - 2,65 g Natriumcarbonat auf 250 ml dest. Wasser, 250 ml
  - Pufferlösung, 238,31 g/mol, 12 ml
- Zusammensetzung: 1 ml Blut und 200 ml Lösungsmittel
- Dieses wurde in runde Küvetten mit gläsernem, ebenfalls rundem, Sichtfenster gefüllt
- Zur Oxygenierung wurde die Küvette 2-3 min offen stehen gelassen
- Desoxygenierung:
  - Küvette mit zwei Einlassventilen und einer mit einer Schraube verschlossenen Öffnung
  - An ein Einlassventil wurde eine CO<sub>2</sub> Flasche angeschlossen und die Öffnung geöffnet
  - Das CO<sub>2</sub> perlt ca 20 min durch das Blut und desoxygeniert es
  - Es muss nach erfolgter Desoxygenierung ein Überdruck in der Küvette bestehen bleiben

# Kalibrierung

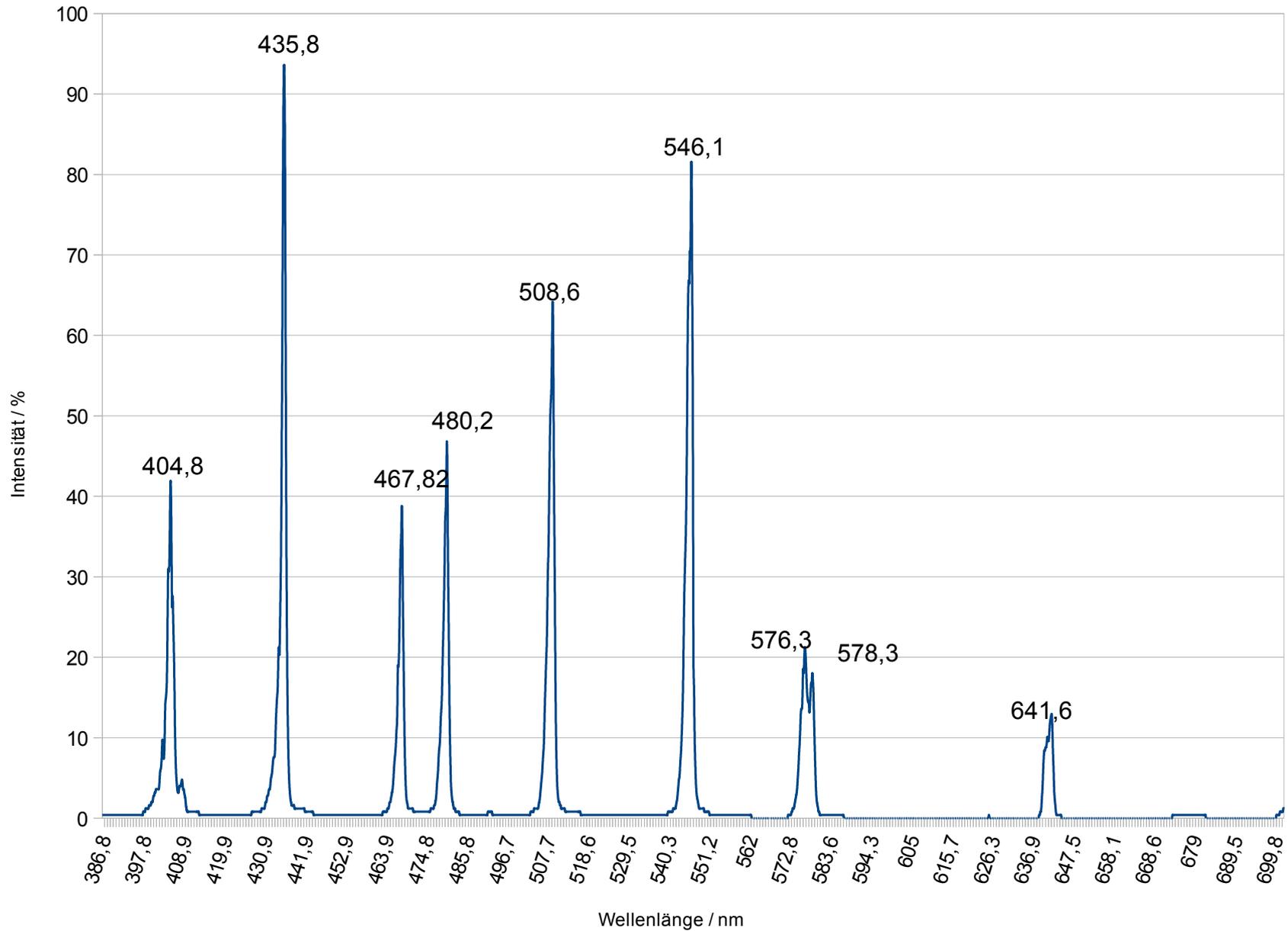
- Kalibrierung erfolgte mittels einer Quecksilber-Cadmium-Dampfampe
- Diese weist folgende, gut sichtbare Linien auf:

$\lambda$ /nm	Farbeindruck	Element
643,85	rot	Cd
579,07	gelb	Hg
576,46	gelb	Hg
546,07	grün	Hg
508,58	grün	Cd
479,99	blaugrün	Cd
467,82	blau	Cd
435,84	blau	Hg
404,6	violett	Hg

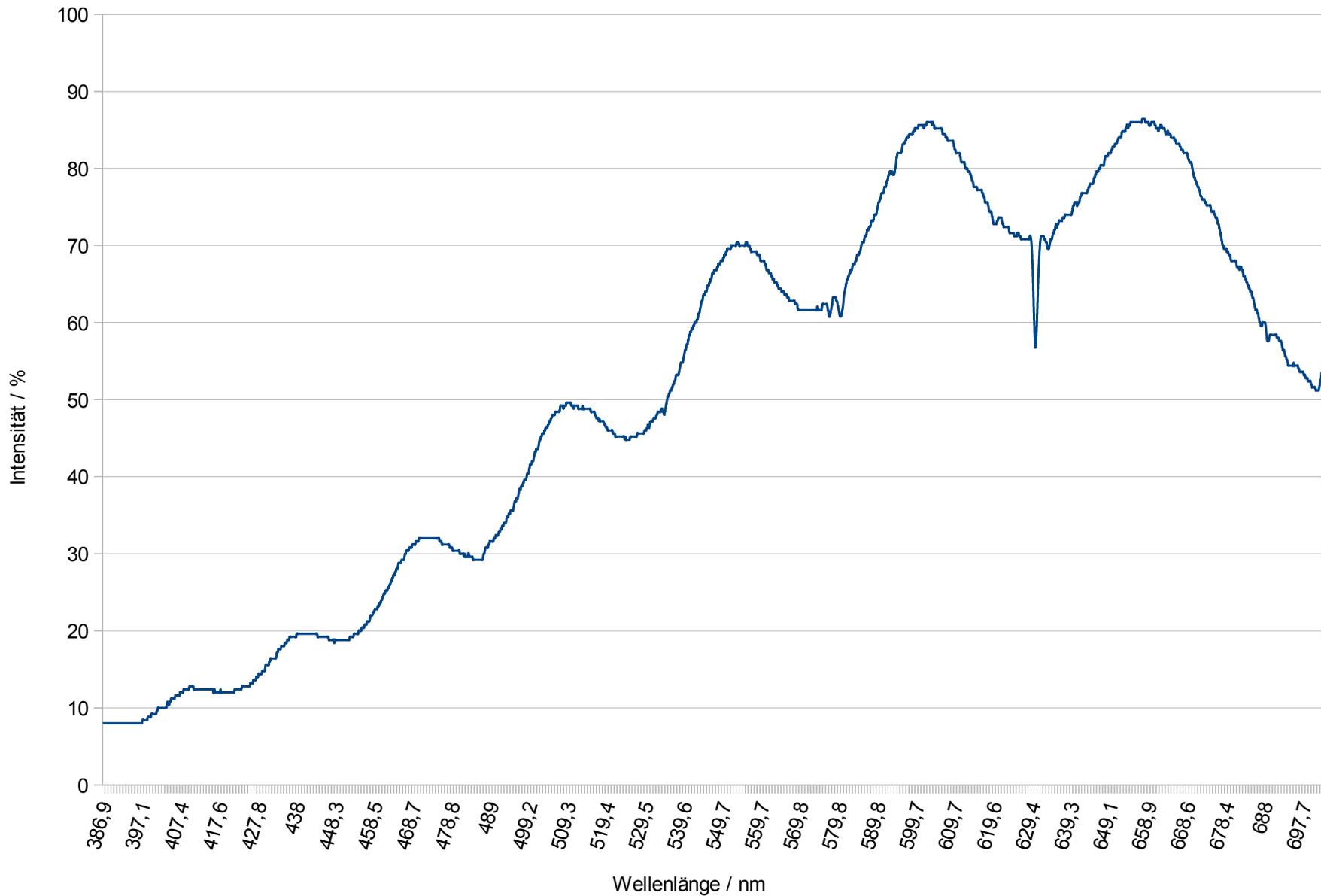
- Diese wurde in erster Ordnung betrachtet und zugeordnet

# Kalibrierspektrum

Kalibrierspektrum

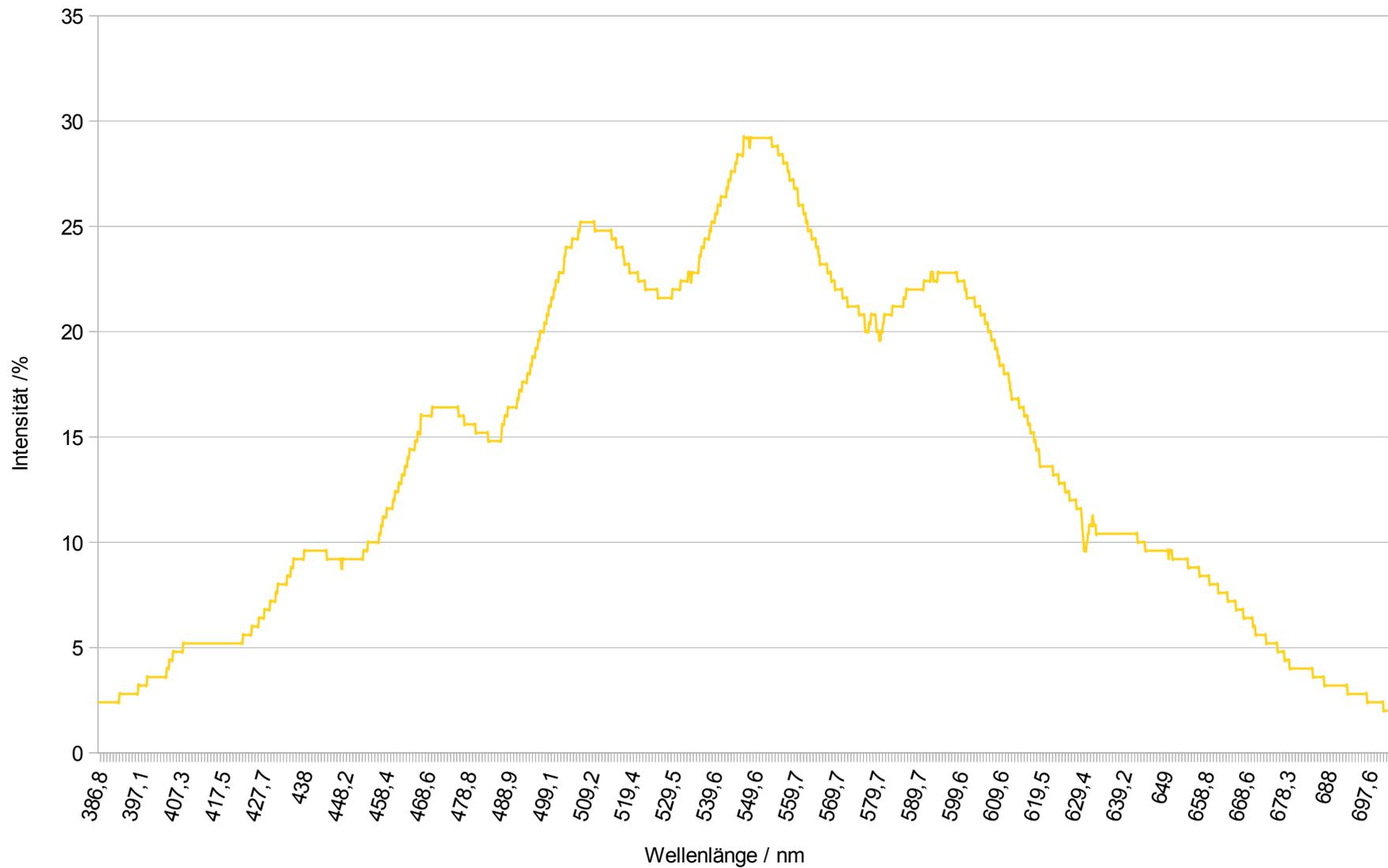


# Lampenspektrum

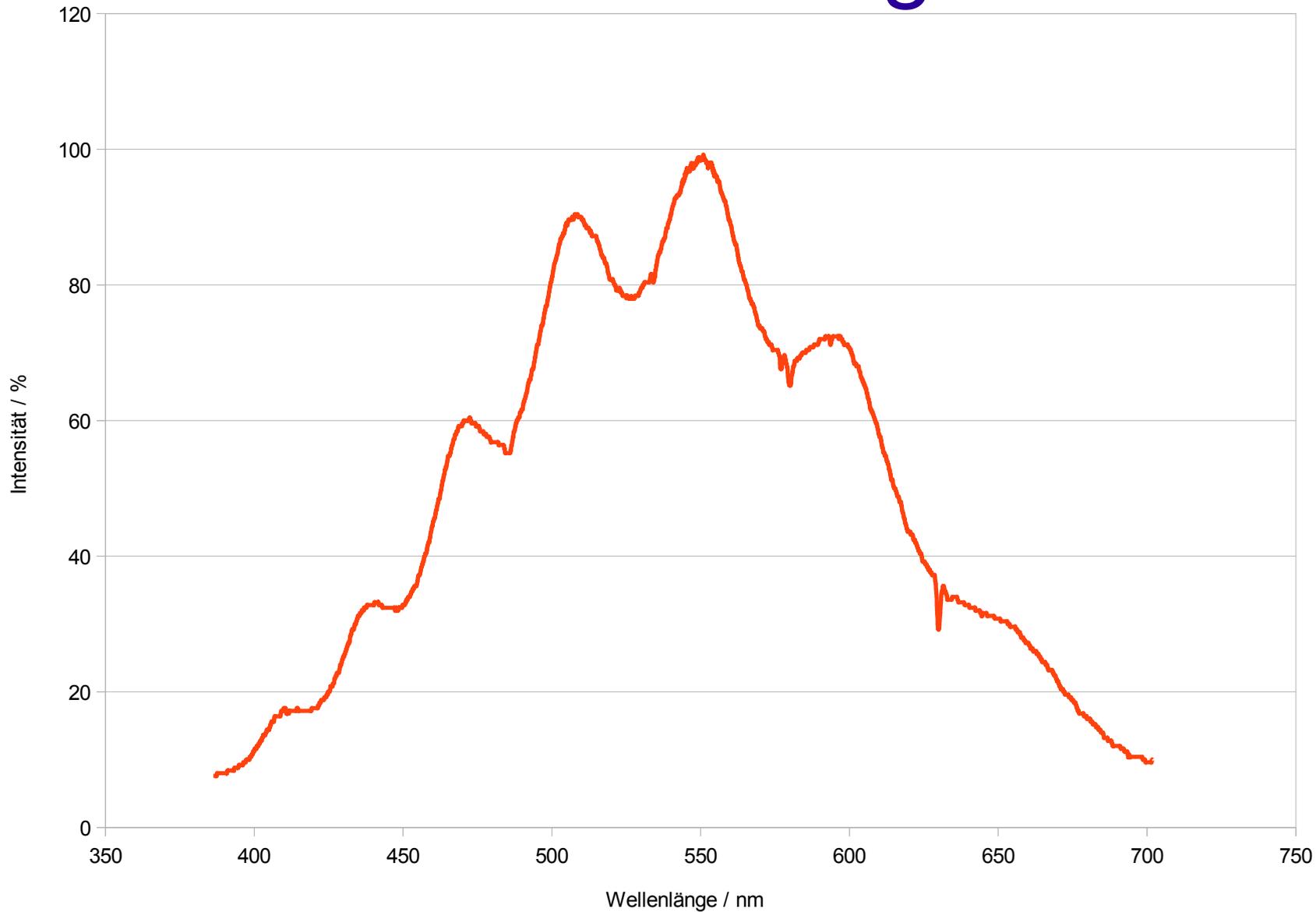


Werte Tabelle

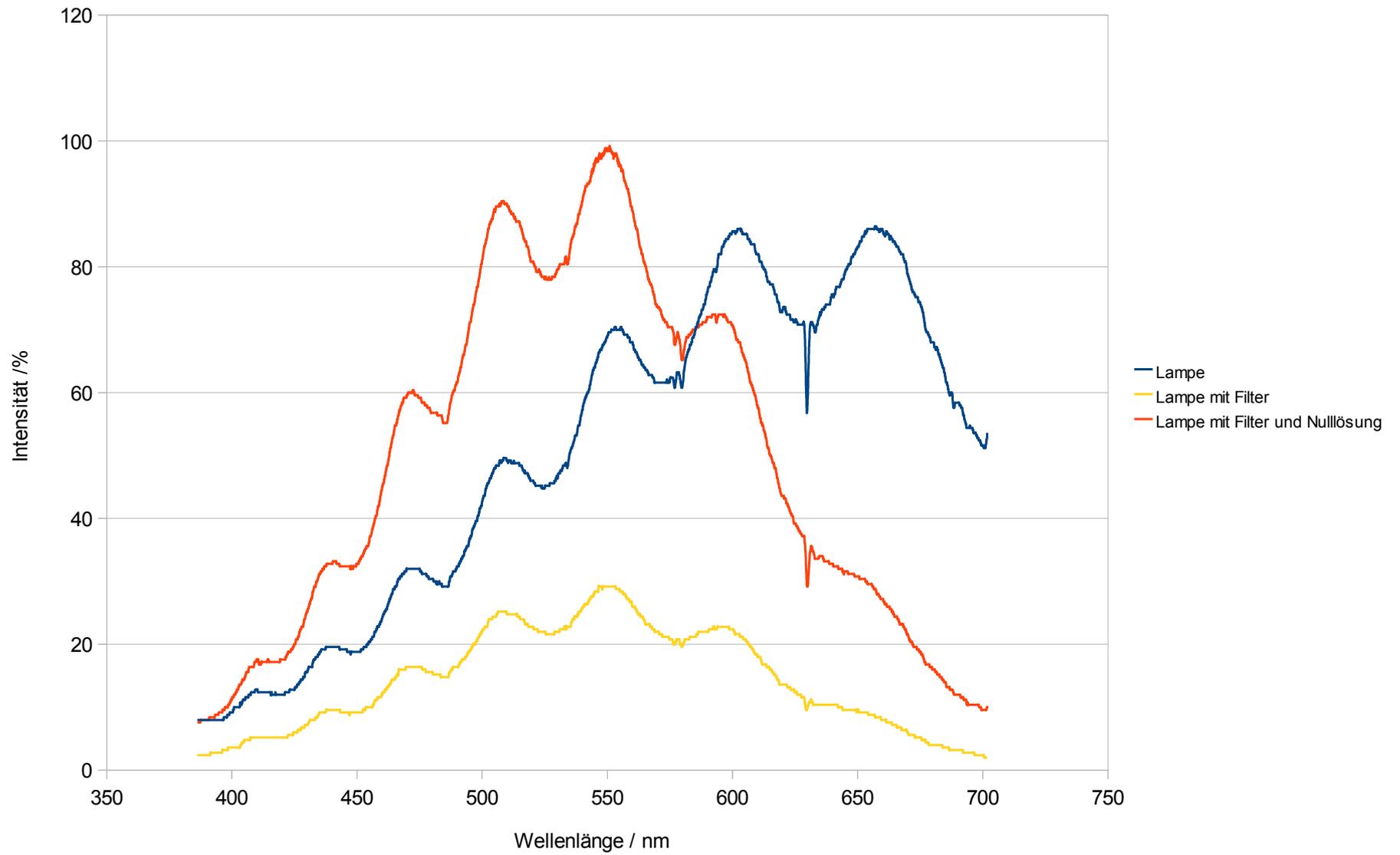
# Lampenspektrum mit Filter



# Lampenspektrum mit Filter und Nulllösung

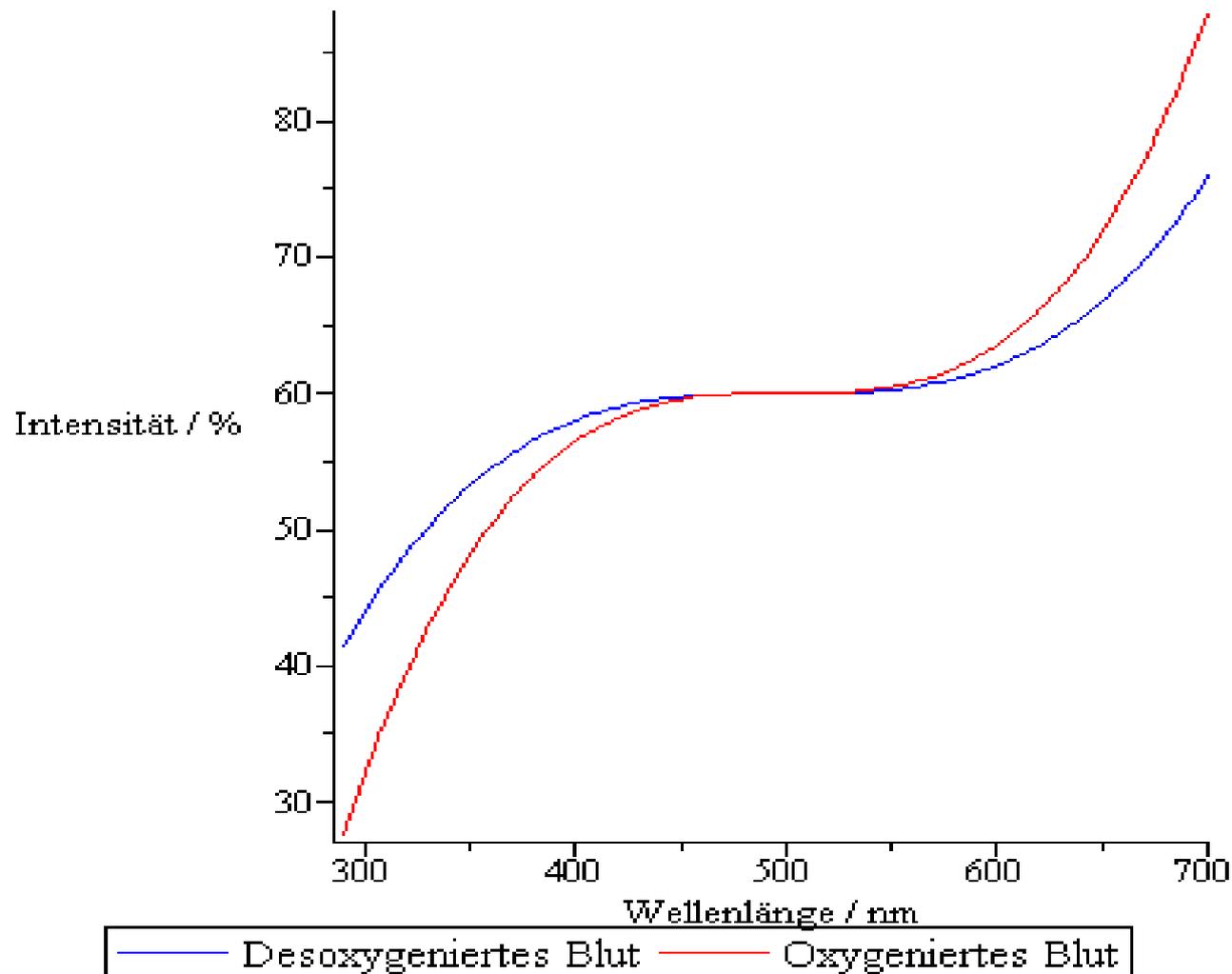


Wertetabelle

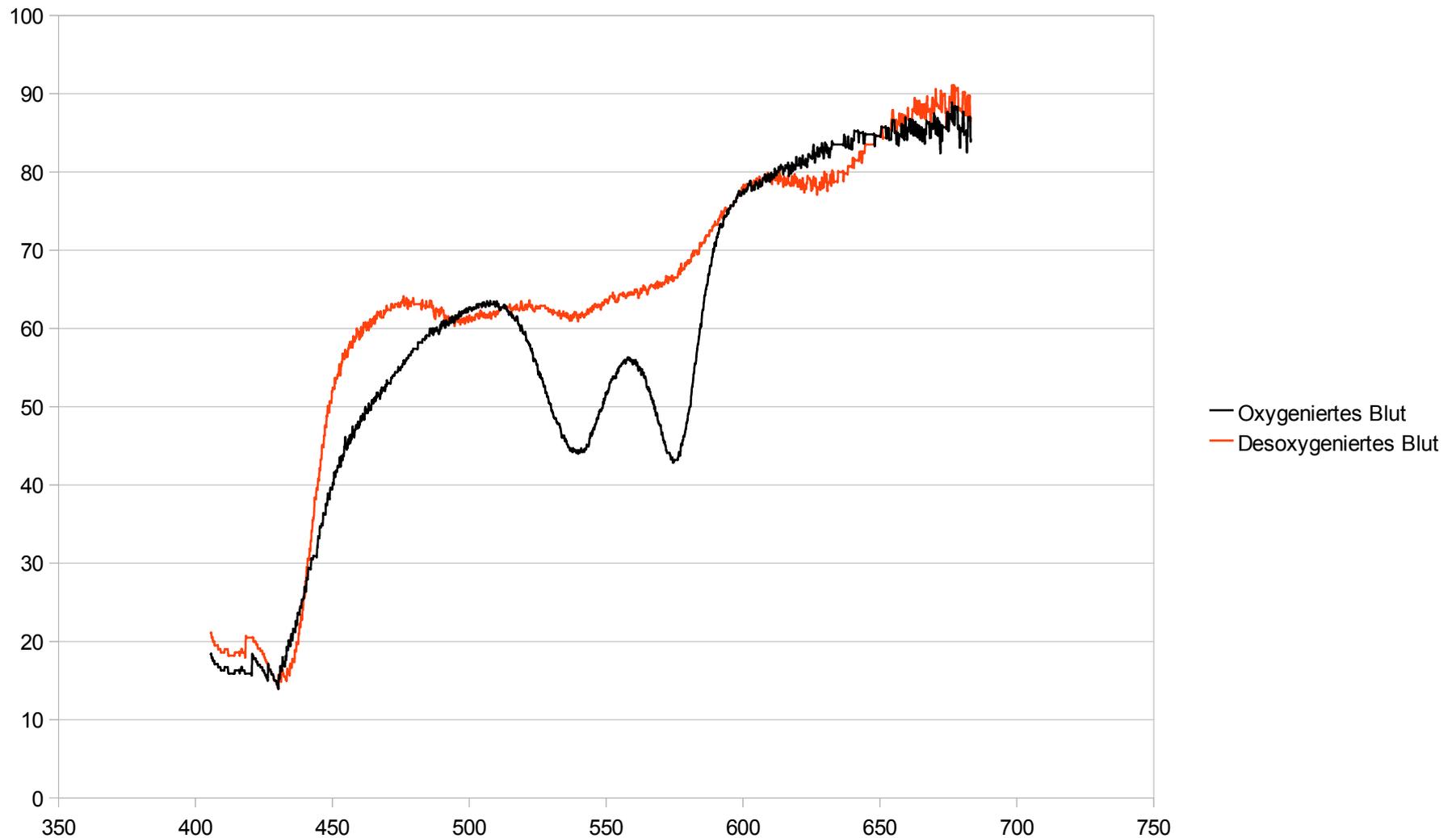


Wertetabelle

# Optimierter Verlauf der Absorptionskurven



# Absorptionskurven



# Diskussion

Mögliche Fehler:

1) Unvollständige Ausleuchtung des Gitters

1) Intensitätsverminderung

2) Verbreiterung der Linien

2) Fehlerhaftes Abkleben und Aufstellen der Küvetten

1) Streulicht

2) Unterschiedliche Intensitäten

3) Unvollständige Ausleuchtung der Proben

3) Alter des Blutes

1) Keine genügende Desoxygenierung bzw. Oxygenierung möglich

2) Zersetzungsprodukte ergeben neue Absorptionsbanden

4) Falsche Positionierung der Kamera

1) Ungenügende Ausleuchtung der CCD Zeile

2) Unscharfes Bild

5) Mögliche unerkannte Absorptionen, Reflexionen und Gittereffekte

# Aussichten auf weitere Projekte

Bau eines vollständigen Pulsoxymeters:

- Klärung der theoretischen Grundlagen
  - Wie und wo absorbiert Blut Licht ?
  - Wie verhält sich oxygeniertes und desoxygeniertes Blut?
  - Ist die Sauerstoffaufnahme bzw. Abnahme linear?
  - Wie kann man aus den Intensitäten auf einen prozentualen  $O_2$  gehalt schließen?
- Bau der Schaltung aus zwei LEDs und einer Photodiode
  - Diese wird über einen Analog-Digitalwandler mittels Labview angesteuert
- Zunächst ist eine Ansteuerung zur Pulsmessung erforderlich
  - Hierbei ist zu beachten, dass der Computer die Peaks erkennt und die Zeit die zwischen ihnen liegt.
- Dann müsste die Ansteuerung zur eigentlichen Messung der  $O_2$  Sättigung erfolgen
  - Hierbei müssen die Strom- Zeit Kurven der beiden LEDs separat betrachtet werden
  - Es müsste eine Normierung mittels einer bekannten Lösung erfolgen, um eine prozentuale Ausgabe erhalten zu können
  - Die Verhältnisse der Intensitäten müssen gebildet werden

# Quellen

- <http://www.iqo.uni-hannover.de/ap/versuche/D06.pdf>
- [http://www.acutronic-ms.at/newsletter/pdf/Klinische\\_INFO\\_SpO2\\_Fibel\\_Technik.pdf](http://www.acutronic-ms.at/newsletter/pdf/Klinische_INFO_SpO2_Fibel_Technik.pdf)
- <http://www.acutronic-ms.at/newsletter/pdf/02-Information-Messmethoden-SpO2-Uebersicht.pdf>
- [http://www.leifiphysik.de/web\\_ph09\\_g8/umwelt\\_technik/10pulsmessung/pulsoximetrie.htm](http://www.leifiphysik.de/web_ph09_g8/umwelt_technik/10pulsmessung/pulsoximetrie.htm)
- Spektrallinien einer Quecksilber Cadmium Lampe aus dem Versuch C10 Prismenspektrometer