

Fortgeschrittenenpraktikum:  
Ausarbeitung - Versuch 14  
„Optische Absorption“  
Durchgeführt am 13. Juni 2002

30. Juli 2002

*Gruppe 17*

Christoph Moder 2234849

Michael Wack 2234088

Sebastian Mühlbauer 2218723

# 1 Einleitung

Die Unterschiede zwischen den Eigenschaften von Metallen, Halbleitern und Isolatoren resultieren aus der Lage der Energiebereiche, in denen sich das äußerste Elektron aufhalten kann. Zur Beschreibung dieser Energiebereiche im Festkörper dient das Bändermodell, das von festen Gitterpositionen für die Atomrümpfe ausgeht und die für die Elektronen möglichen Energieniveaus als Energiebänder beschreibt, die durch die Bandlücke getrennt sind. Die Größe der Bandlücke und damit die benötigte Energie, um sie zu überwinden, ist bei Metall sehr gering (Elektronen befinden sich immer im Leitungsband), bei Halbleitern größer (sie kann z.B. durch thermische Energie = Gitterschwingungen überwunden werden, weshalb Halbleiter Halbleiter sind) und bei Isolatoren sehr groß. Die Größe der Bandlücke bestimmt also das elektrische Verhalten - und weil Licht nichts anderes als elektromagnetische Wellen ist, ob das Licht absorbiert oder transmittiert wird (d.h. ein Isolator mit großer Bandlücke absorbiert im sichtbaren Bereich nichts, ist also idealerweise durchsichtig). Aus der Messung der absorbierten Farben kann man also die Bandlücke bestimmen.

## 2 Versuch

### 2.1 Ordnungsfiler, Eichung

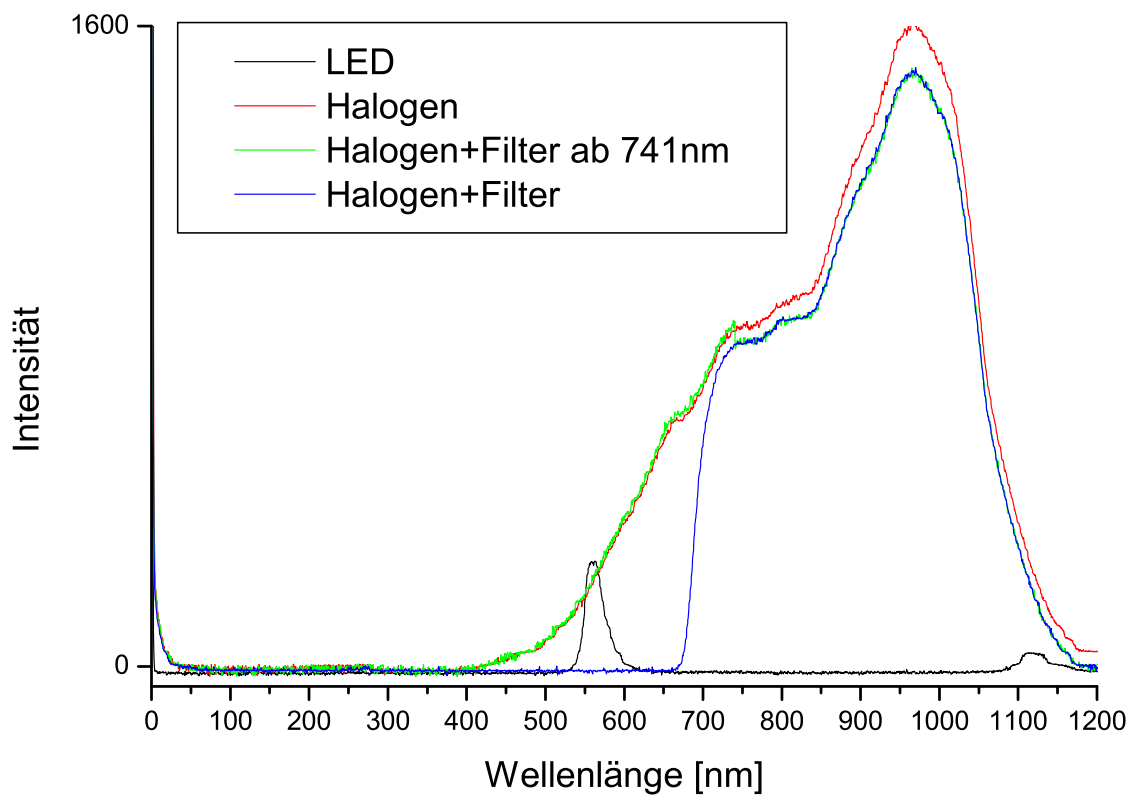
Zur Eichung wurde eine LED mit der Wellenlänge 564 nm verwendet. Die Modulation wurde dabei von einem Funktionsgenerator erledigt, dessen Signal auch in den Lock-In-Verstärker weitergeleitet wurde, so dass der Lock-In-Verstärker auf die richtige Frequenz abgeglichen ist. Aus der Lage des nullten Beugungsmaximums bei  $i_0 = 42$  und des ersten Maximums bei  $i = 1554$  kann man die x-Achse nach der Wellenlänge eichen ( $\partial_\lambda = (1554 - 42)/564$  nm):

$$i(\lambda) = \frac{di}{d\lambda} \lambda + i_0$$

Wie man aus dem aufgenommenen Spektrums der Lampe mit Filter erkennen kann, entfernt der Filter Licht mit einer Wellenlänge unterhalb von etwa 700 nm. Verwendet haben wir den Filter ab Kanal 2028, was einer Wellenlänge von 741 nm entspricht. Da die Maxima erster Ordnung ungefähr ab 400 nm vom Detektor nachgewiesen werden (kürzere Wellenlängen kann der Si-Detektor wegen der geringen Eindringtiefe nicht messen), ist mit den Maxima zweiter Ordnung dieser Wellenlängen ab dem Bereich der Maxima erster Ordnung von 800 nm zu rechnen. Weil der Filter, der bei der Messung von Wellenlängen ab 741 nm benutzt wurde, alle Wellenlängen bis etwa 700 nm gut unterdrückt, erfüllt er seine Aufgabe recht gut - denn die zweiten Maxima von 700 nm befänden sich irgendwo bei den ersten Maxima von 1400 nm, wo wir gar nicht mehr messen, dort kann es uns egal sein.

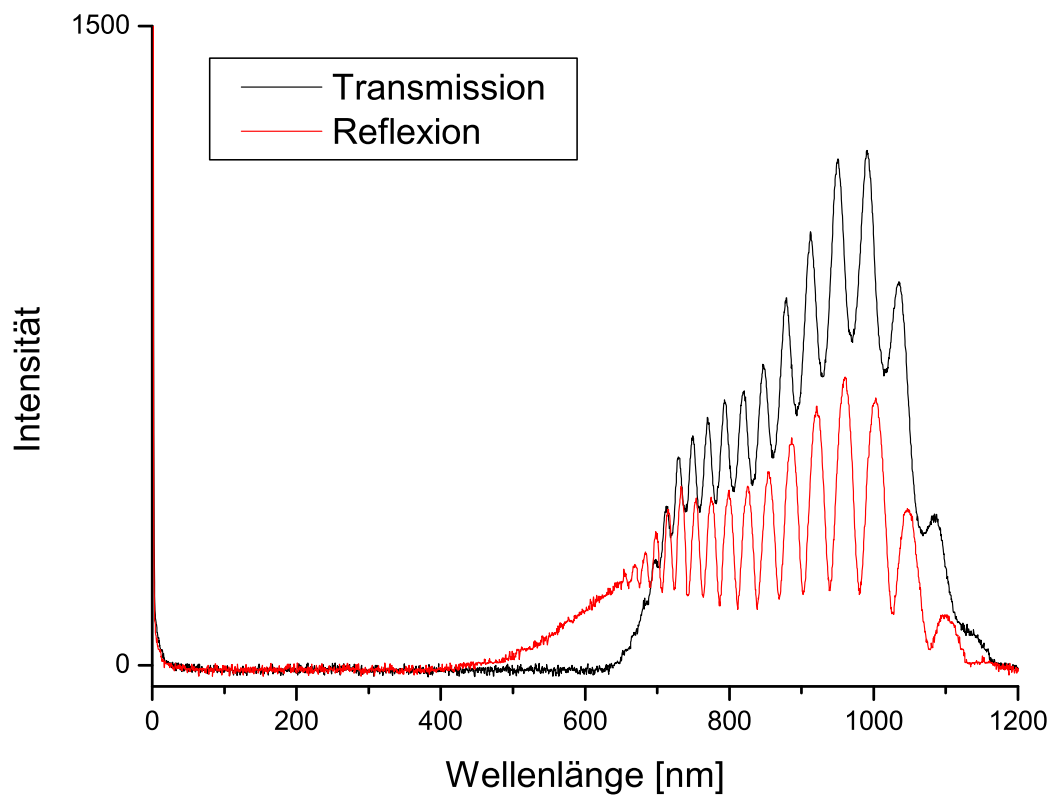
Mögliche Fehler bei der Eichung:

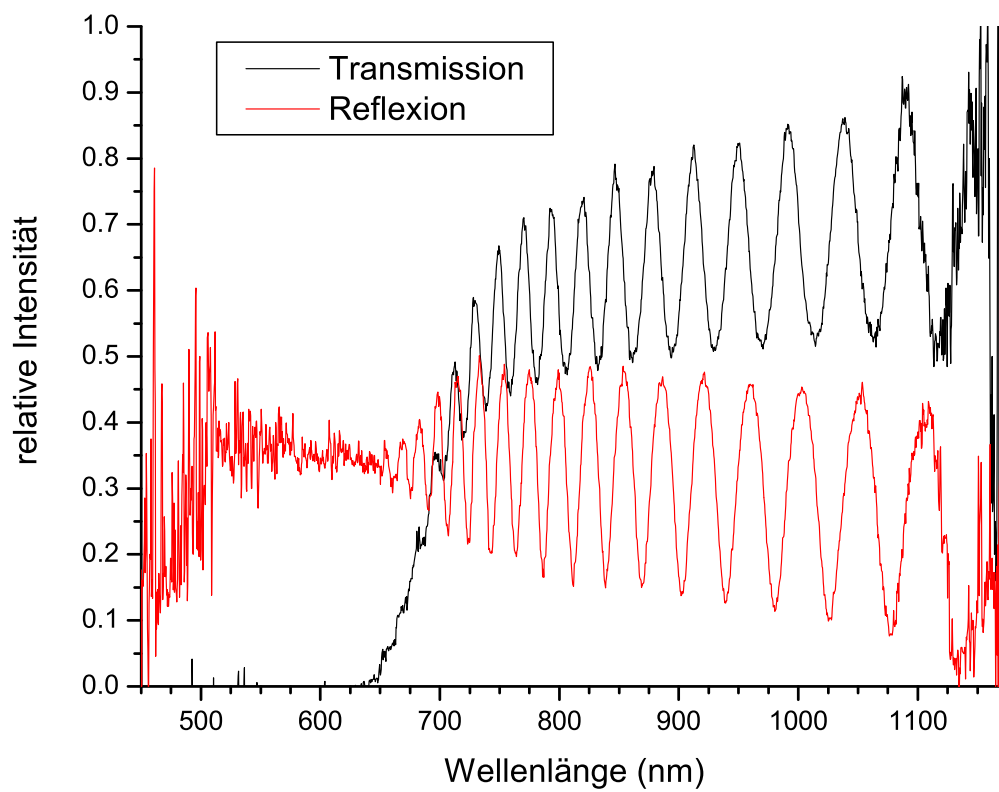
1. Die angegebene Wellenlänge der LED stimmt nicht; vielleicht gibt es Fertigungstoleranzen, oder das Material hat sich verändert (z.B. durch Alterung).
2. Der Lock-In-Verstärker wird zwar mit der gleichen Frequenz wie der Chopper betrieben, aber die Phasenlage muss per Hand eingestellt werden. Hier wurden möglicherweise Fehler gemacht, so dass die Messung des Lock-In-Verstärkers stark verfälscht wird (erhöhter Rauschanteil im gemessenen Signal).
3. Streulicht in der Messapparatur kann nicht ausgeschlossen werden.



## 2.2 Amorphes Silizium

Das amorphe Silizium befindet sich als dünne Schicht auf einem Glassubstrat. Dabei ist die Schicht so dünn, dass bei der Reflexion von Licht an beiden Grenzflächen durch die Differenz zwischen den optischen Weglängen Interferenz entsteht (sowohl bei Transmission als auch Reflexion).





Der Wegunterschied beträgt  $2d$  (d.h. doppelte Schichtdicke), was einem optischen Wegunterschied von  $2nd$  entspricht. Bei einem Interferenzmaximum ist der optische Wegunterschied gleich einem ganzzahligen Vielfachen der Lichtwellenlänge (bei senkrechter Einstrahlung des Lichts, wie es bei der Reflexionsmessung der Fall war):

$$m \cdot \lambda_{\max} = 2nd$$

Bei zwei Gleichungen mit den Ordnungen  $m$  und  $m + 1$  ergibt sich für  $nd$ :

$$nd = \frac{\lambda_m \lambda_{m+1}}{2(\lambda_m - \lambda_{m+1})}$$

Berechnung des Brechungsindex für amorphes Silizium:

$$T = \frac{t^4}{1 + r^4 - 2r^2 \cos(2\sigma)}$$

$$I_T = I_0 + \frac{t_{12}^2 t_{23}^2}{1 + r_{23}^2 - 2r_{23} r_{12} \cos(\sigma)}$$

$$\frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{(1 + r_{23} r_{12})^2}{(1 - r_{23} r_{12})^2}$$

$$r_{12} = \frac{n_{Si} - 1}{n_{Si} + 1}, r_{23} = \frac{n_{Si} - n_{Glas}}{n_{Si} + n_{Glas}}$$

$$n_{Si} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{I_{max}}{I_{min}}} + \sqrt{1,44 \cdot \frac{I_{max}}{I_{min}} - 1,4}$$

Mit  $I_{max} = 1206$  (bei  $\lambda = 990$  nm) und  $I_{min} = 759$  (bei  $\lambda = 969$  nm) aus dem Transmissionspektrum ergibt sich:  $n_{Si} = 2,46$ .

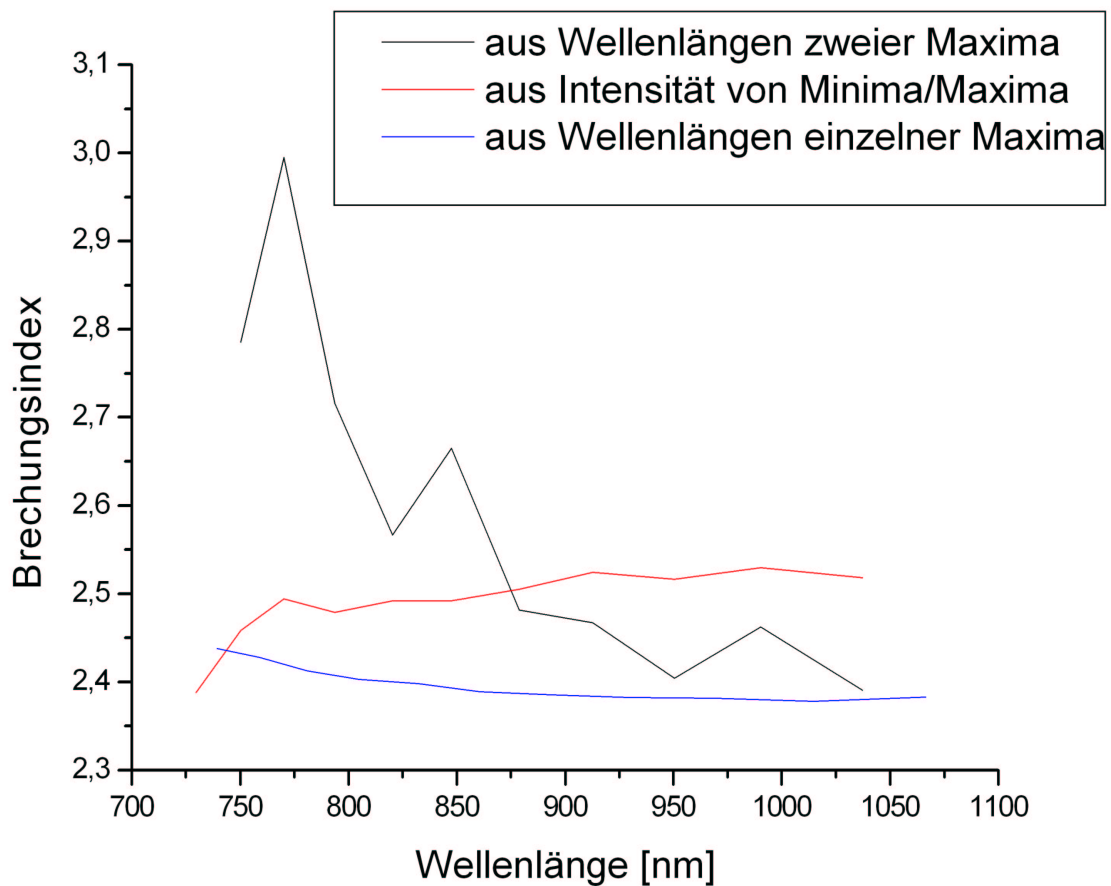
% Mit  $I_{max} = 672$  (bei  $\lambda = 960$  nm) und  $I_{min} = 164$  (bei  $\lambda = 981$  nm) aus dem Reflexionsspektrum ergibt sich:  $n_{Si} = 4,55$ .

Daraus kann man dann die Schichtdicke berechnen (mit den Transmissionsmaxima  $\lambda_m = 990$  nm,  $\lambda_{m+1} = 950$  nm):

$$d = \frac{\lambda_m \lambda_{m+1}}{2(\lambda_m - \lambda_{m+1})n_{Si}} = 4789 \text{ nm} = 4,789 \mu\text{m}$$

Den Brechungsindex kann man auch aus dem Abstand der Interferenzmaxima berechnen; dazu verwendet man obige Formel mit der berechneten Dicke:

$$n = \frac{\lambda_m \lambda_{m+1}}{2(\lambda_m - \lambda_{m+1}) \cdot d}$$

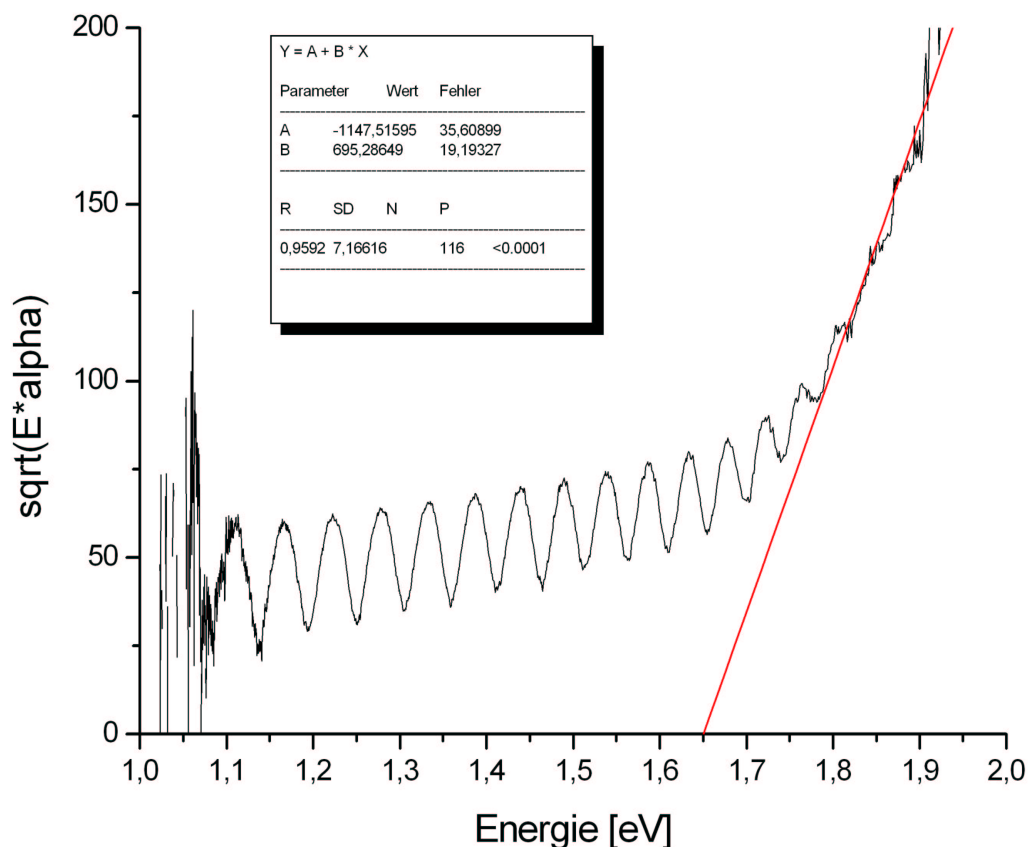


Die Absorption nimmt exponentiell mit der Materialdicke ab:

$$I(d) = I_0 e^{-\alpha d}$$

Der Absorptionskoeffizient  $\alpha$  ist daher:

$$\alpha = -d \cdot \ln\left(\frac{I(d)}{I_0}\right)$$



### 2.3 Bestimmung der Bandlücke durch Transmissionsmessung

Durch Messung der Transmission durch ein Material kann man auf dessen Bandlücke schließen, weil eine hohe Transmission bedeutet, dass keine Photonen durch Interband-Übergänge absorbiert werden können. Das Energieniveau der Bandlücke entspricht also der Energie jener Wellenlänge, die nicht mehr vollständig absorbiert werden kann - an dieser Stelle beginnt die Transmissionskurve mit zunehmender Wellenlänge zu steigen. Man muss also die Transmissionskurve mit einer Regressionsgeraden extrapolieren, um die Wellenlänge zu finden, an der die Transmission die zu steigen beginnt.

Die Geradengleichung lautet:

$$I = m \cdot \lambda + t$$

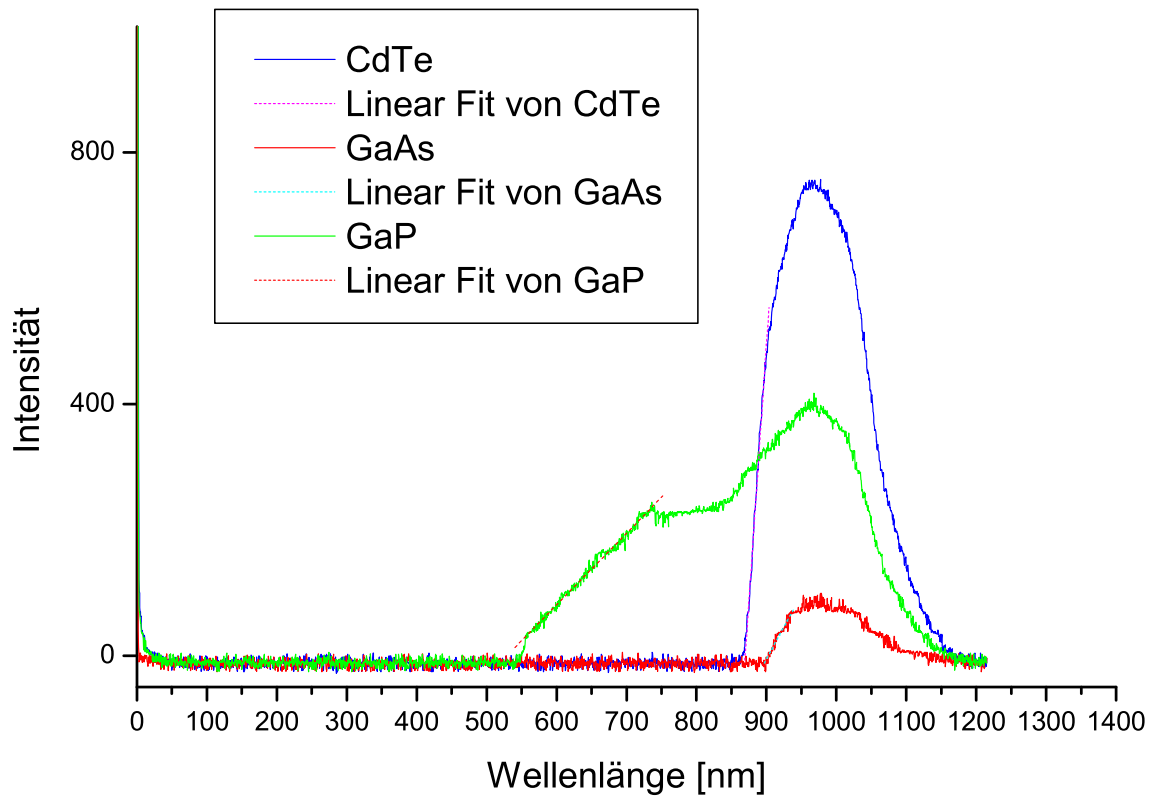
$$\Rightarrow \lambda_G = -\frac{t}{m}$$

Die Energie berechnet sich aus der Grenzwellenlänge mit:

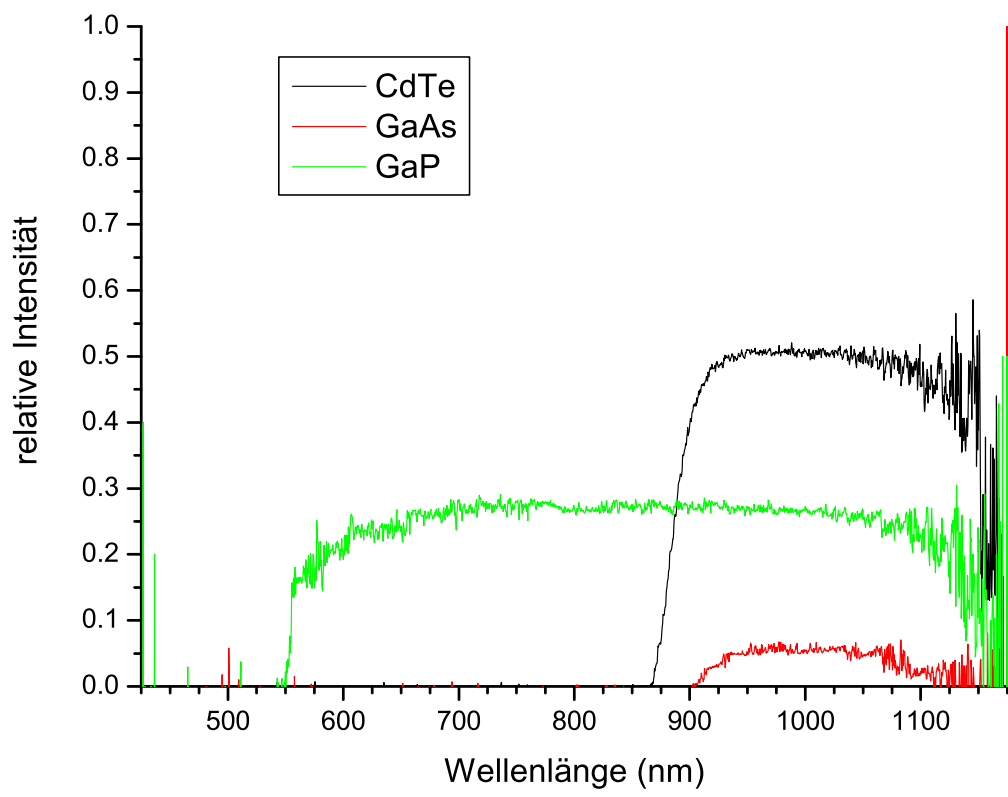
$$E_G = h \cdot f = \frac{c \cdot h}{\lambda_G}$$

	$m$	$t$	$\lambda_G$ [nm]	$E_G$ [eV]	Literaturwert $E_G$ [eV]
CdTe	$(16,3 \pm 0,15)$	$(-14,1 \pm 0,13) \cdot 10^3$	865	1,43	1,43
GaAs	$(2,04 \pm 0,06)$	$(-1,85 \pm 0,05) \cdot 10^3$	907	1,37	1,43
GaP	$(1,139 \pm 0,006)$	$(-602 \pm 4)$	528	2,35	2,26

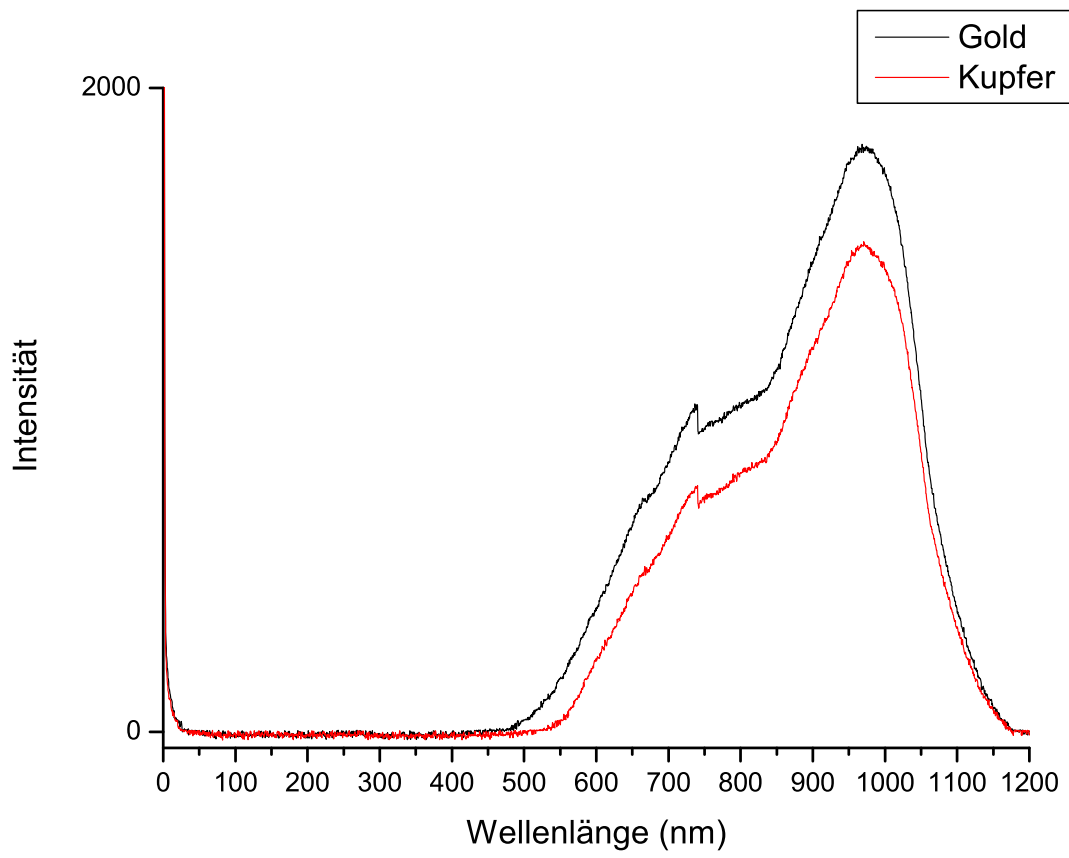
Wie man sieht, kommen unsere Messwerte den Literaturwerten ziemlich nahe.

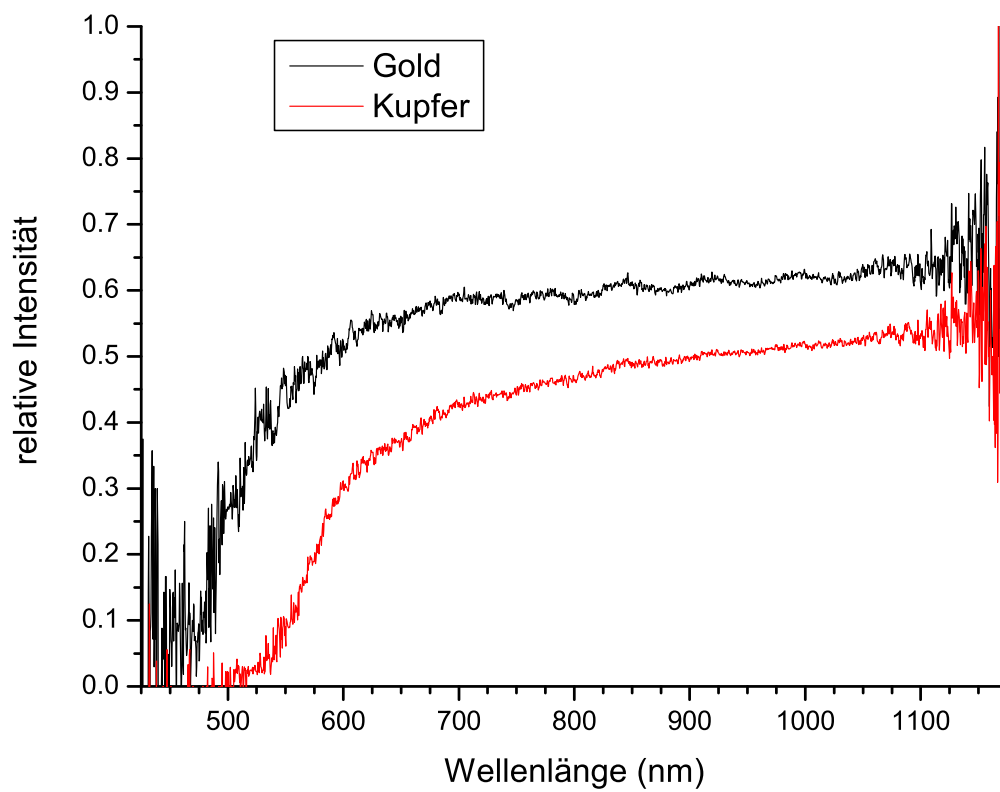






## 2.4 Bestimmung des Reflexionsverhaltens von Kupfer und Gold





	$m$	$t$	$\lambda_G$ [nm]	Farbe von $\lambda_G$
Gold	$(1, 152 \pm 0,0029)$	$(-593 \pm 1,8)$	514	grün
Kupfer	$(0, 992 \pm 0,0026)$	$(-540 \pm 1,7)$	544	gelb

Gold und Kupfer reflektieren also nicht das ganze sichtbare Farbspektrum, sondern erst oberhalb von einer Wellenlänge von 514 bzw. 544 nm. Das entspricht ungefähr den Farben Grün und Gelb - das heißt, weil bei Gold sämtliche Blau- und Violetttöne fehlen, sieht es gelblich aus, und Kupfer, dem außerdem noch Grün fehlt, hat ein rötliches Aussehen.