

Optische Systeme (8. Vorlesung)

Martina Gerken
11.12.2006

Inhalte der Vorlesung

1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
 - 3.1 Spektroskopie
 - 3.2 Materialcharakterisierung
 - 3.3 Koordinatenmesstechnik (später)
4. Biomedizinische optische Systeme
5. Optische Materialbearbeitung (nächste Woche)
6. Optische Datenspeicherung
7. Optische Informationstechnik
8. Mikro- und Nanooptische Systeme

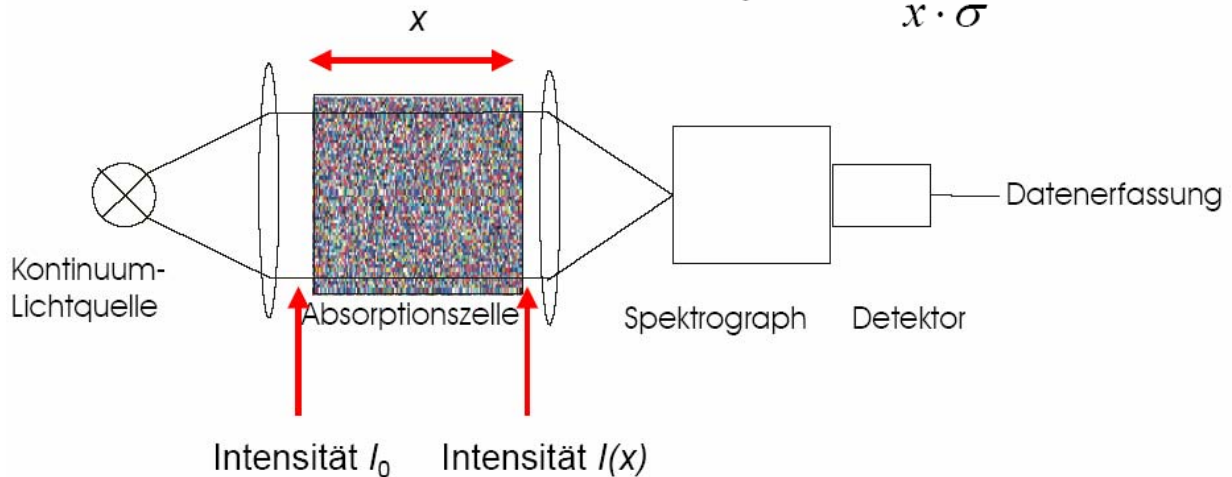
- Zeichnen Sie das beobachtete Spektrum einer
 - Glühlampe
 - Leuchtstofflampe
- Welche Unterschiede gibt es zwischen dem beobachteten Spektrum und dem realen Spektrum?
 - Sensor Auge, Hellempfindlichkeit Auge müsste kalibriert werden, Farbintensitäten entsprechend verfälscht
 - Endliche Schlitzbreite verbreitert Spektrum
 - Gitter nicht optimal periodisch, dadurch Messfehler
 - CD könnte Teile des Lichtes absorbieren
 - Schmale Linien nicht auflösbar
 - Subjektive Faktoren beeinflussen Messung
 - Keine Skala im Messaufbau, Fehler durch Vergleich mit Ausdruck
 - Endliche Ausleuchtung des Gitters
 - Pixelgröße des Auges
- Kalibrierung des Messsystems!
- Grenzen des Messsystems kennen!

1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
 - 3.1 Spektroskopie
 - 3.2 Materialcharakterisierung
 - 3.3 Koordinatenmesstechnik (später)
4. Biomedizinische optische Systeme
5. Optische Materialbearbeitung (nächste Woche)
6. Optische Datenspeicherung
7. Optische Informationstechnik
8. Mikro- und Nanooptische Systeme

Absorptionsspektroskopie

- Konzentrationsmessung unter Verwendung des Lambert-Beer'schen Gesetzes
 - Annahme: Konzentration N_0 im sei im Nachweisvolumen räumlich homogen verteilt
 - σ ist Absorptionsquerschnitt

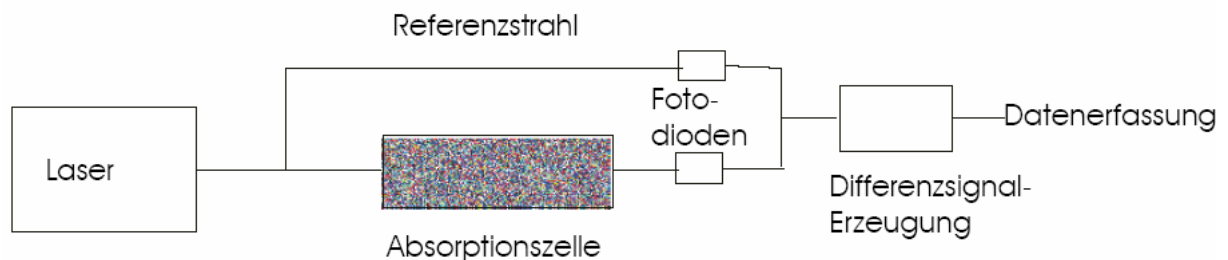
$$N_0 = \frac{\ln\left(\frac{I(0)}{I(x)}\right)}{x \cdot \sigma}$$



Quelle: http://www.tu-darmstadt.de/fb/mb/ekt/laser/Absorptionsspe_1.pdf

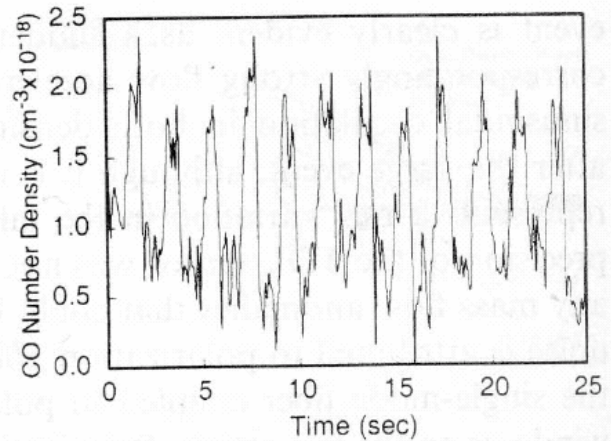
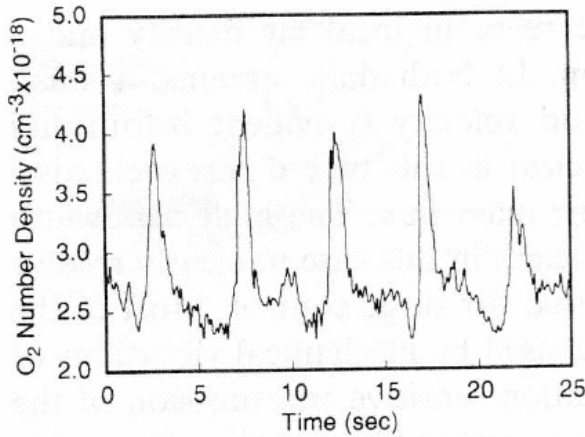
Absorptionslaserspektroskopie

- Wellenlänge wird mit abstimmbarem Laser durchgeführt
- Höhere Wellenlängenauflösung möglich



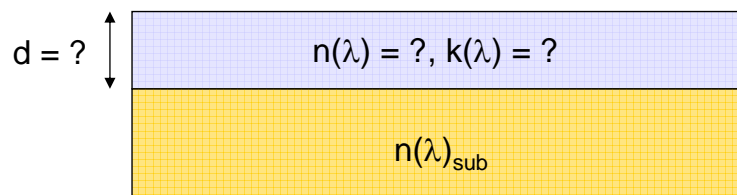
Quelle: http://www.tu-darmstadt.de/fb/mb/ekt/laser/Absorptionsspe_1.pdf

- Kontinuierliches in-situ Monitoring von CO und O₂ bei gepulster Brennstoff-Eindüsung

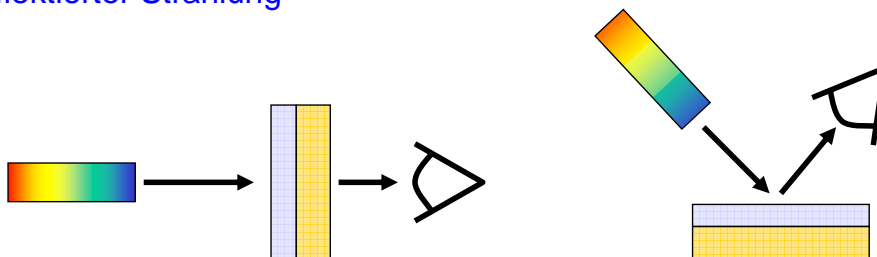


Quelle: http://www.tu-darmstadt.de/fb/mb/ekt/laser/Absorptionsspe_1.pdf

- Dient der Charakterisierung dünner optischer Schichten



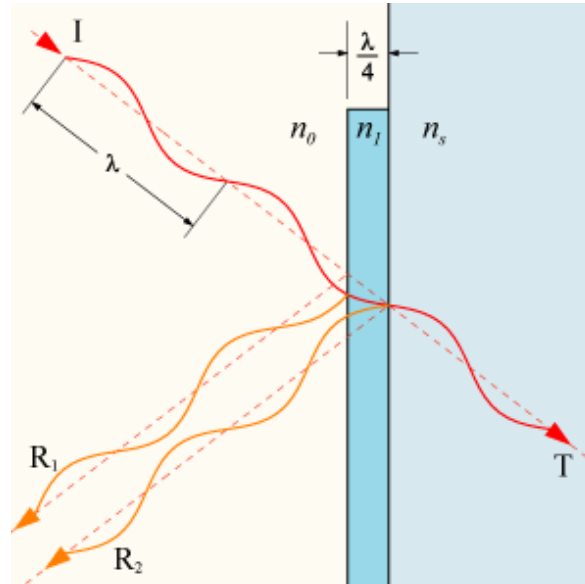
- Spektral aufgelöste Messung der Intensität von transmittierter oder reflektierter Strahlung



- Auswertung der Interferenzen ergibt Schichtdicke und komplexen Brechungsindex
 - Brechzahl n und Absorptionskoeffizient k sind abhängig von Wellenlänge

Antireflexschichten

- Ist Kohärenzlänge des Lichtes länger als Schichtdicke, treten Interferenzeffekte auf
- Antireflexschicht nutzt destruktive Interferenz in Reflexion
 - Für $T=100\%$: $R_1=R_2$ und $\lambda/2$ -Versatz



Quelle: <http://de.wikipedia.org>

Antireflexschicht-Berechnung

- Berechnung
 - π -Phasensprung (entspricht $\lambda/2$) bei Reflexion vom optisch dünneren zum optisch dichteren Material
 - Amplitudenreflexionskoeffizient (aus 2. Vorlesung)

$$r_{\theta=0^\circ, i, i+1} = \frac{n_i - n_{i+1}}{n_i + n_{i+1}}$$

- Dünnschicht Antireflexschicht für λ und 0° :

$$\left| \frac{n_0 - n_{AR}}{n_0 + n_{AR}} \right|^2 = \left| \frac{n_{AR} - n_s}{n_{AR} + n_s} \right|^2 \Rightarrow n_{AR} = \sqrt{n_0 n_s}$$

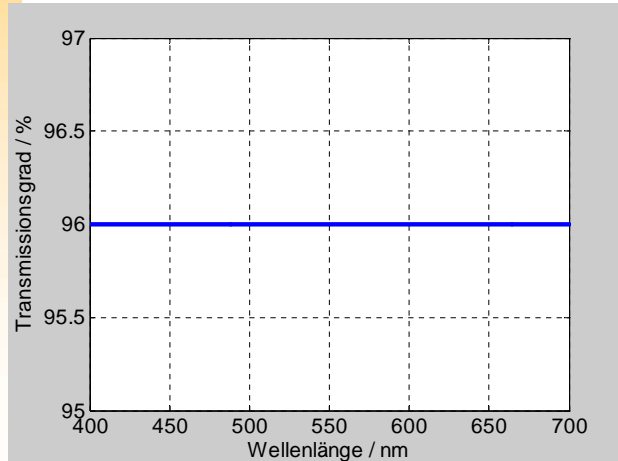
$$2d_{AR} = \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{n_{AR}} \Rightarrow d_{AR} = \frac{\lambda}{4n_{AR}} \quad m = 0; 1; 2; \dots \text{ (Ordnung)}$$

- $T=100\%$ nur für bestimmte Wellenlängen
- Mehrschichtige Antireflexschichten für größeren Wellenlängenbereich

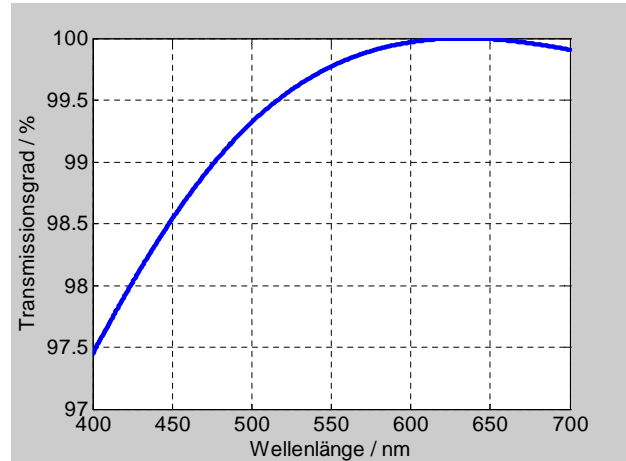
Ideale Antireflexschicht für Glas

- Übergang von Luft ($n=1,0$) zu Glas ($n=1,5$) bei 0°
- Ideale Antireflexschicht für $\lambda=633$ nm
 - $n_{Ar}=1,22$ und $d_{Ar}=130$ nm

Ohne AR-Schicht

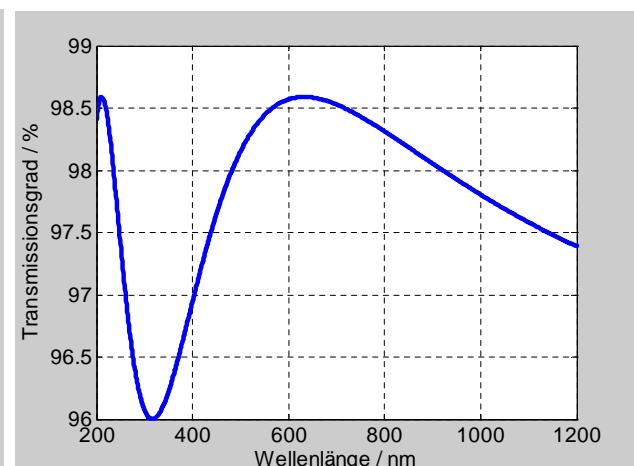
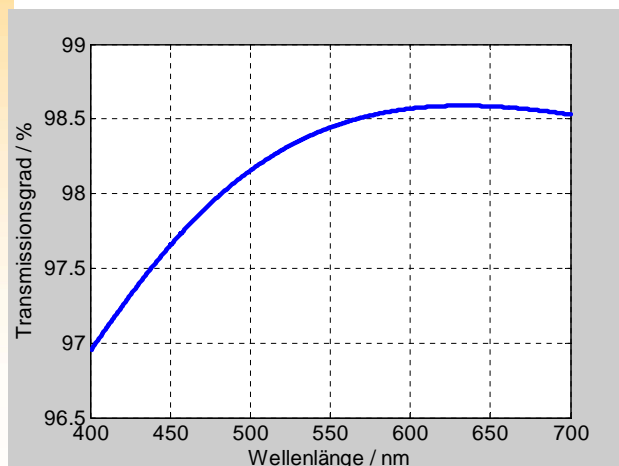


Mit idealer AR-Schicht



MgF₂ - Antireflexschicht für Glas

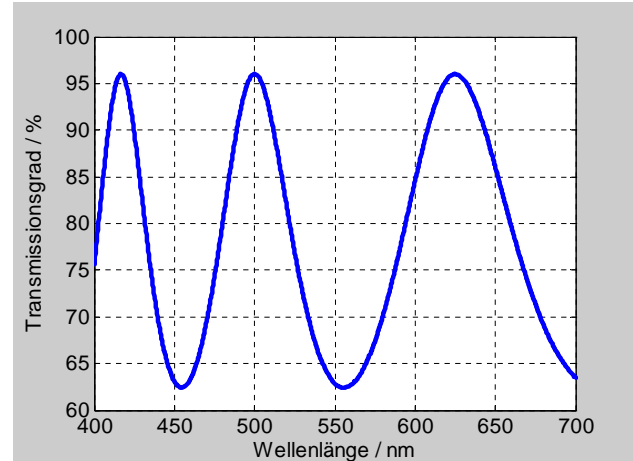
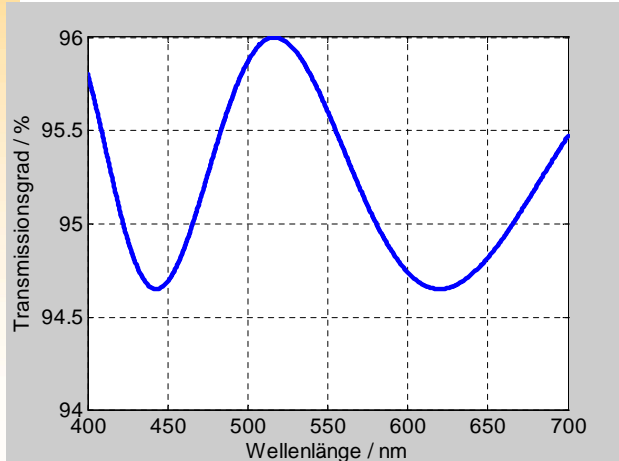
- Übergang von Luft ($n=1,0$) zu Glas ($n=1,5$) bei 0°
- MgF₂ - Antireflexschicht für $\lambda=633$ nm
 - $n_{MgF_2}=1,38$ und $d_{MgF_2}=115$ nm
- Bei Wellenlängen mit konstruktiver Interferenz in Reflexion entspricht der Transmissionsgrad dem von Glas



(Stimmt nicht exakt mit Realität überein, da n_{MgF_2} als konstant angenommen.)

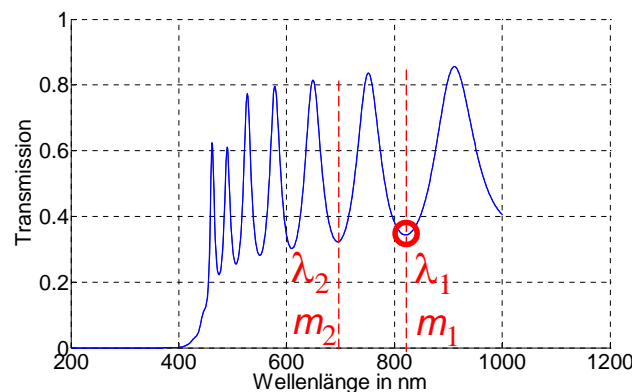
Schichten mit höherem Index auf Glas

- Schichtaufbau:
 - Luft (n=1,0)
 - 500 nm Schicht mit n=1,55
 - Glas (n=1,5)
 - Rechnung bei 0°
- Schichtaufbau:
 - Luft (n=1,0)
 - 500 nm Schicht mit n=2,5
 - Glas (n=1,5)
 - Rechnung bei 0°



Interferenzspektroskopie: Bestimmung der Ordnung

- Sehr gut anwendbar bei Transmissionsspektren, die von einer Absorptionskante bis in den transparenten Bereich eines Materials reichen und klar erkennbare Interferenzen zeigen



- Zunächst Ordnung eines Minimums weit weg von der Absorptionskante bestimmen mit

$$m_1 \frac{\lambda_1}{2} = (m_1 + 1) \frac{\lambda_2}{2} \Rightarrow m_1 = \left[\frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \right]$$

Interferenzspektroskopie: Bestimmung von d

- Dicke d für konstantes n aus λ und m berechnet
 - Für Schichten mit höherem Index als Substrat gilt:

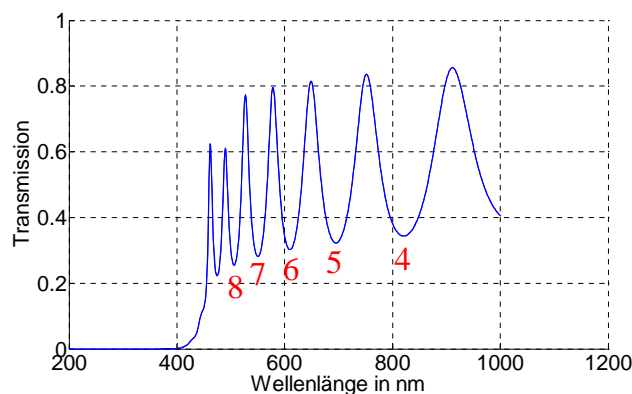
$$nd = m \frac{\lambda}{2}$$

Minima

und

$$nd = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2}$$

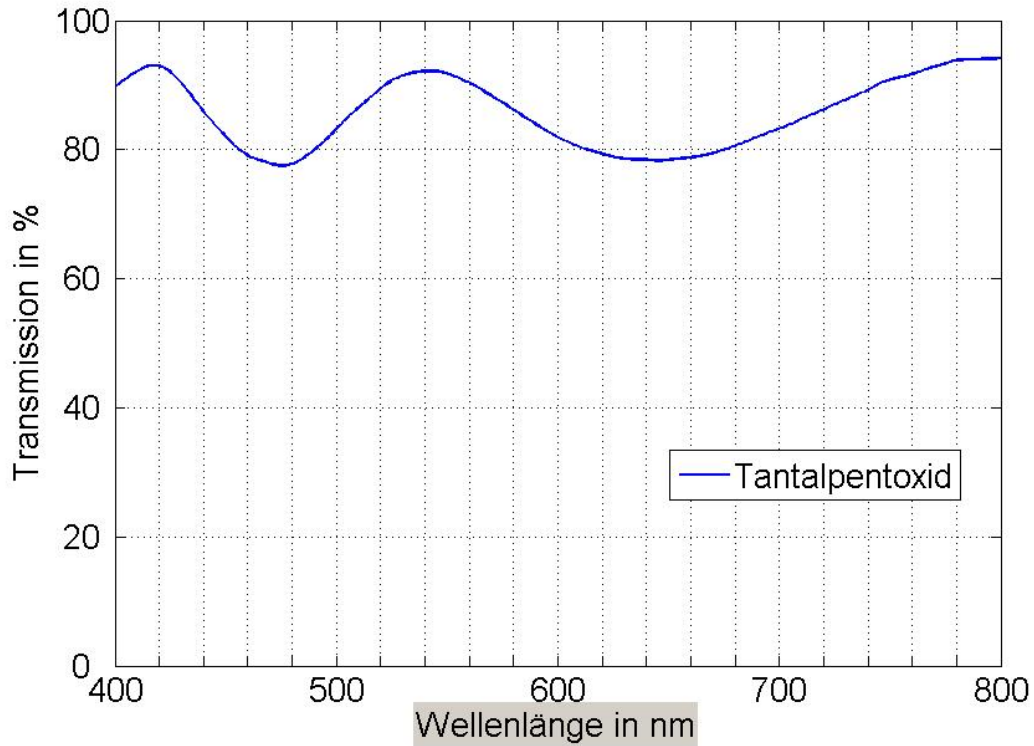
Maxima



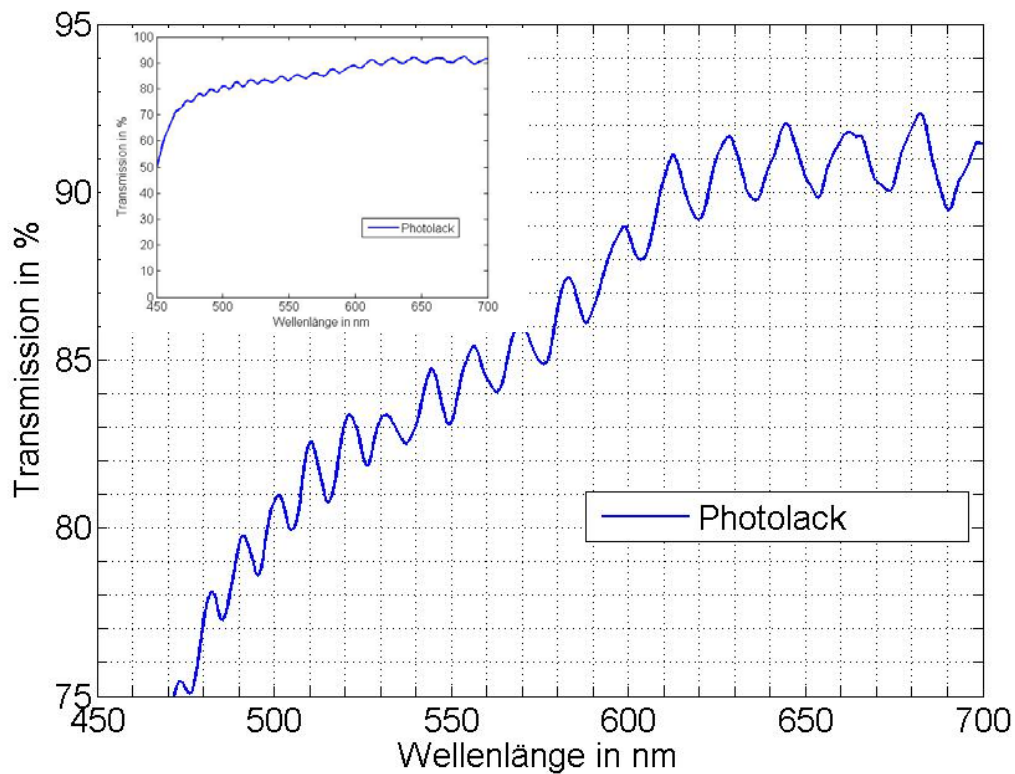
- Brechungsindex kann über Transmissionsgrad der Minima ebenfalls berechnet werden

Gruppenarbeit: Schichtdicken bestimmen

- Berechnen Sie die Schichtdicke der Proben aus dem Spektrum!
- In welchem Wellenlängenbereich absorbieren die Proben?



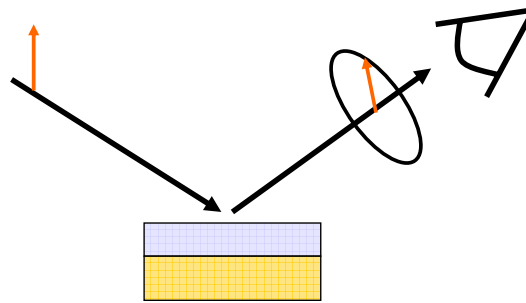
$n(\text{Ta}_2\text{O}_5) = 2,0$



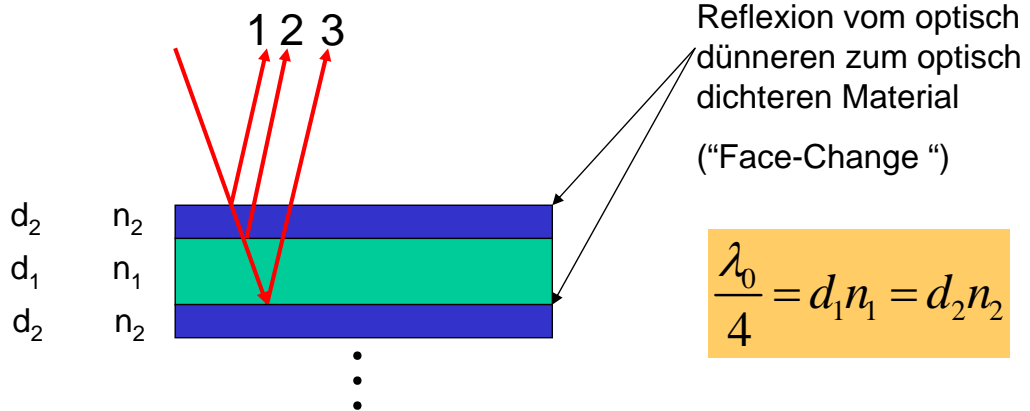
$n(\text{Photolack}) = 1,5$



- Schichten müssen ausreichend (optisch) dick sein (Richtwert $nd > 300 \text{ nm}$), um einige Interferenzextrema zu zeigen
- Methode versagt beim Auftreten von schmalen Absorptionsbanden im Bereich der Messung
- Methode nicht geeignet für Schichten mit starker Absorption, wenn deshalb die Extrema nicht mehr klar erkennbar sind
- Alternative Methode: Ellipsometrie
 - Messung des Polarisationszustands von an der Oberfläche reflektierter Strahlung, auch unter Veränderung des Winkels



- Basiert auf Interferenz an mehreren dünnen Schichten
 - Insbesondere interessant für Hochleistungsanwendungen, da geringe Absorption möglich
- Bragg-Spiegel: Periodischer Schichtaufbau



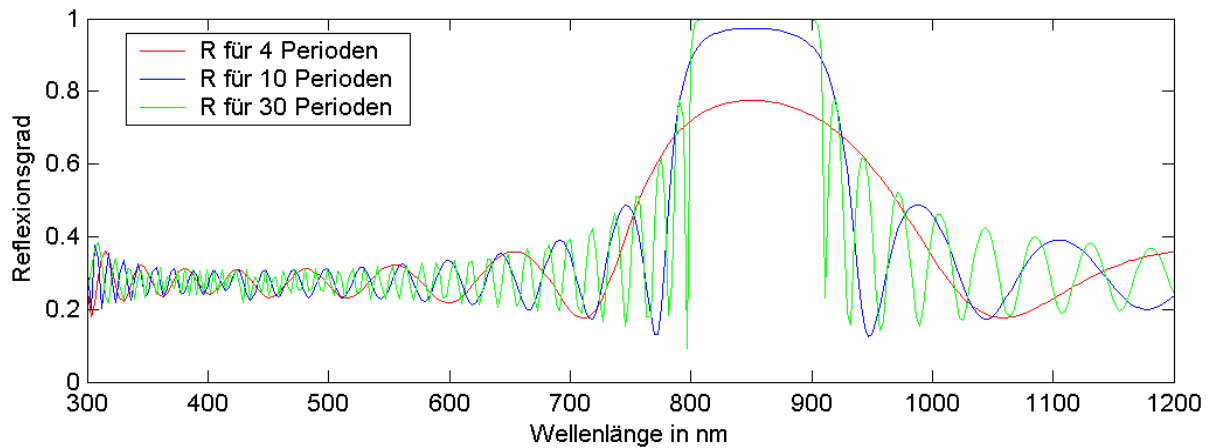
Konstruktive Interferenz von 1+2 (wie bei einzelner Schicht)

Konstruktive Interferenz von 2+3:

$$\Delta L = 2d_1 n_1 + \frac{\lambda_0}{2} = \frac{2\lambda_0 n_1}{4} + \frac{\lambda_0}{2} = \lambda_0$$

Bragg-Spiegel

- GaAs-AlAs-Braggspiegel auf einem GaAs-Substrat
 - $d_{\text{GaAs}} = 61 \text{ nm}$ und $n_{\text{GaAs}} = 3.5$
 - $d_{\text{AlAs}} = 73 \text{ nm}$ und $n_{\text{AlAs}} = 2.9$
- Reflexionsgrad bei senkrechtem Einfall aus Luft für 4, 10 und 30 Perioden



Fragensammlung

- Wie kann ich das Spektrum einer Lichtquelle charakterisieren?
- Welche Faktoren limitieren die Auflösung eines Spektrometers?
- Was ist Absorptionsspektroskopie?
- Was ist Interferenzspektroskopie?
- Wie müssen der Brechungsindex und die Schichtdicke für eine Antireflexschicht gewählt werden?
- Skizzieren Sie das Transmissionsspektrum einer MgF_2 -Schicht ($n=1,38$) auf Glas!
- Bei zwei gegebenen Spektren für Schichten auf Glas: Welche hat den höheren Brechungsindex? Welche hat die größere Dicke?
- Worauf basiert die Reflexion eines Bragg-Spiegels?