

Übung 2 zur Vorlesung Mikrosensorik

Aufgabe 1 – Grundlagen der NDIR-Messung

- Erklären Sie kurz Aufbau und Funktionsweise eines typischen NDIR-Messsystems.
- Welche Eigenschaften müssen Gase bzw. Schwingungsmoden grundsätzlich aufweisen, damit sie mit diesem Prinzip messbar sind? Erläutern Sie, warum die IR-Messung sowohl zur Identifikation als auch Quantifizierung von Gasen nutzbar ist!
- Welchen Vorteil hat die gleichzeitige Messung des Schalldrucks mittels Mikrofonen in der mit Gas gefüllten Messkammer? Welche Komponenten können dann entfallen?

Aufgabe 2 – Isotopentrennung

Abbildung 1 zeigt eine spektral aufgelöste IR-Transmissionsmessung von (normalem) CO_2 , CO_2 mit dem Isotop ^{13}C (kurz $^{13}\text{CO}_2$) sowie deren Gemischen bei verschiedenen Verhältnissen. CO_2 zeigt ein Absorptionsmaximum bei einer Wellenlänge von $4,26\text{ }\mu\text{m}$, wohingegen das Isotop $^{13}\text{CO}_2$ ein verschobenes Absorptionsmaximum aufweist.

Erklären Sie, woher diese Verschiebung kommt und berechnen Sie näherungsweise die Wellenlänge des Absorptionsmaximums von $^{13}\text{CO}_2$. (Hinweis: Gehen Sie dabei davon aus, dass das Molekül sich als Feder-Masse-System darstellen lässt und sich die Federkonstante nicht ändert).

Erklären Sie die Schulter (leichte Asymmetrie) der Absorption des normalen CO_2 bei größeren Wellenlängen!

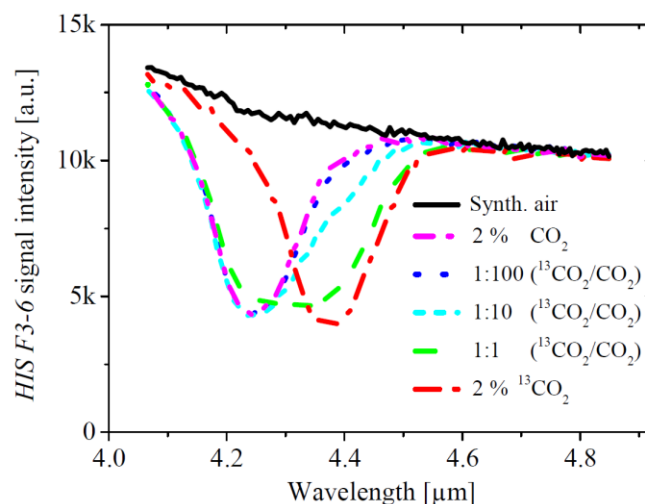


Abbildung 1: IR-Transmissionsmessung von CO_2 und reinem $^{13}\text{CO}_2$ Isotop [1]

Aufgabe 3 – Berechnung der Absorption mittels Lambert-Beer.

Allgemein lautet das Lambert-Beersche Gesetz:

$$I_T = I_0 \cdot e^{(-\alpha(\lambda) \cdot c \cdot d)}$$

mit $\alpha(\lambda)$ dem Absorptionskoeffizienten bei der Wellenlänge λ , c der Konzentration des Gases und d der Wegstrecke, die die Strahlung im Gas zurücklegen muss, siehe Abbildung 2.

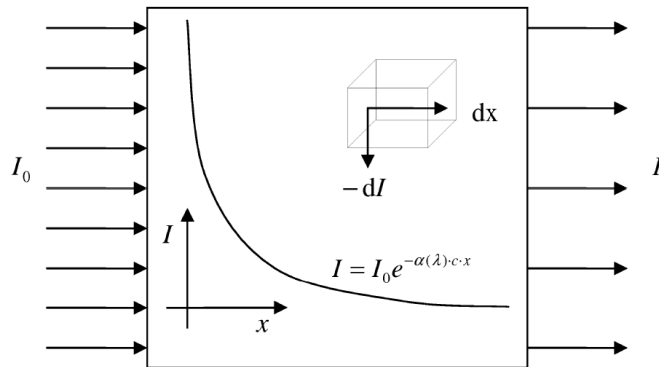


Abbildung 2: Absorption [2]

In Abbildung 3 sind hierbei für CO_2 die verschiedenen, sehr schmalbandigen Absorptionsbanden dargestellt. Diese besitzen Halbwertsbreiten (FWHM) von ca. 0,3 nm bei Abständen von jeweils ca. 3 nm und resultieren aus der Überlagerung von Rotationsenergie und Schwingungsenergie.

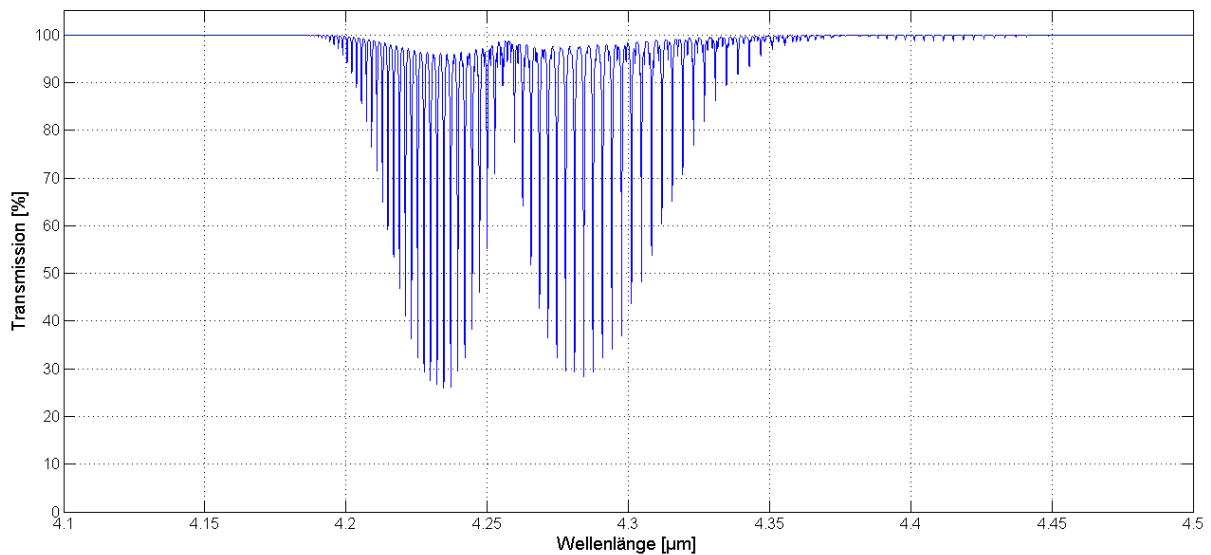


Abbildung 3: Absorptionsbanden von CO_2

Im Folgenden soll die Transmission eines Gases bei verschiedenen Konzentrationen für eine vereinfachte Annahme der Absorptionslinien und bei Verwendung einer relativ breitbandigen Quelle berechnet werden.

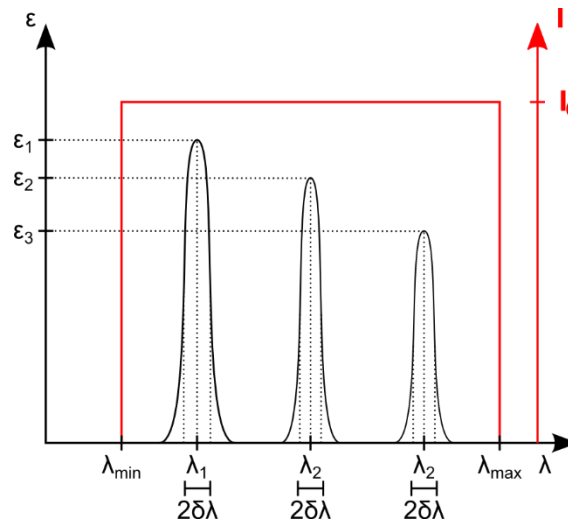


Abbildung 4: Exemplarische Darstellung von drei Absorptionsbanden mit verschiedenen Extinktionskoeffizienten ε_1 bis ε_3 und einer breitbandigen Strahlungsquelle mit konstanter Intensität I_0 .

Die Strahlungsquelle soll im Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_{\min}$ und $\lambda_{\max}$ mit $\lambda_{\max} - \lambda_{\min} = 5 \text{ nm}$ eine konstante Intensität I_0 aufweisen, siehe Abbildung 4. Die drei in diesem Bereich liegenden Absorptionsbanden bei den Wellenlängen λ_1 , λ_2 und λ_3 sollen in ihrem Absorptionsbereich $\lambda_i \pm \delta\lambda$ jeweils einen konstanten Extinktionskoeffizienten $\alpha_1 = 3 \times 10^{-4} \text{ (ppm} \cdot \text{cm)}^{-1}$, $\alpha_2 = 2 \times 10^{-4} \text{ (ppm} \cdot \text{cm)}^{-1}$ bzw. $\alpha_3 = 3 \times 10^{-5} \text{ (ppm} \cdot \text{cm)}^{-1}$ aufweisen, wobei die Halbwertsbreiten $2\delta\lambda$ jeweils eine Ausdehnung von 0,3 nm haben.

- Berechnen Sie für eine Absorptionslänge von 10 cm unter Annahme eines mittleren Extinktionskoeffizienten α_m die erwartete Transmission für Gaskonzentrationen von $c_1 = 400 \text{ ppm}$ und $c_2 = 1000 \text{ ppm}$.
- Berechnen Sie für die beiden Gaskonzentrationen die Transmission unter Beachtung der wellenlängenabhängigen Extinktionskoeffizienten und vergleichen Sie die Ergebnisse mit dem Ergebnis aus a).
- Bestimmen Sie den Extinktionskoeffizienten α^* , unter dessen Annahme das Lambert-Beer'sche Gesetz die gleiche Transmission liefern würde wie in Aufgabenteil b) für eine Gaskonzentration von $c_1 = 400 \text{ ppm}$ berechnet.
- Bestimmen Sie unter Annahme des Extinktionskoeffizienten α^* aus Aufgabenteil c) die erwartete Transmission für eine Gaskonzentration von 1000 ppm und vergleichen Sie diese mit der tatsächlichen Transmission unter Beachtung der wellenlängenabhängigen Extinktionskoeffizienten und dem Ergebnis aus b).

[1] Karsten Kühn, Michael Siegwart, Eliseo Pignanelli, Tilman Sauerwald and Andreas Schütze: Versatile Infrared Gas Measurement System with tunable Microstructured Fabry-Pérot Filter; Proc. I2MTC 2012: IEEE International Instrumentation and Measurement Conference, Graz, Austria, May 13-16, 2012.

[2] Werner Schmidt: „Optische Spektroskopie – Eine Einführung“, 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim, 2000