



Universität Regensburg

UNIVERSITÄT REGENSBURG

Naturwissenschaftliche Fakultät II - **Physik**

Physikalisches Praktikum für Lehramt Chemie an
Gymnasien

Versuch *os* - Optische Spektroskopie

Auflage 10/25

0.1 Lernziele

Kennenlernen verschiedener Spektren aus dem Alltag, sowie Auswertung des Sonnen-spektrums bzgl. der Sonnentemperatur und der Fraunhofer'schen Linien, die Farbtemperaturbestimmung von Glühlampen, sowie die Bestimmung chemischer Inhaltsstoffe von Gasentladungslampen.

0.2 Vorbereitung

Zur Vorbereitung sollten Sie sich mit folgenden Inhalten auseinandersetzen:

- Grundlagen zur Beugung von Licht am Spalt sowie am Transmissions- und Reflexionsgitter, z. B. (Demtröder, 2009 , S. 328 ff.) oder (Bergmann und Schaefer, 2004, S. 376 ff .)
- Optische Strahlung, Strahlungsgesetze (Bergmann und Schaefer, 2004, S. 633 ff.). Was ist ein schwarzer Körper? (Zinth, 2005, S. 286 ff.)
- Temperaturstrahler (insb. Tageslicht) und Gasentladungslampen (Bergmann und Schaefer, 2004, S. 674 ff.), (Haferkorn, 2003, S. 500 f.)
- Grundlagen der Spektralanalyse und Bedeutung der Fraunhofer'schen Linien (Bergmann und Schaefer, 2004, S. 280 f., 208 f.)
- Spektraler Transmissionsgrad (Bergmann und Schaefer, 2004, S. 678 f.)

0.2.1 Literatur

1. Bergmann, L., und Schaefer, C. (2004). Lehrbuch der Experimentalphysik Bd.3 Optik. Wellen- und Teilchenoptik. Berlin: Walter de Gruyter. LESESAAL PHYSIK: **84/UC 143 B499-3(10)**
2. Demtröder, W. (2009). Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik. Berlin: Springer. LEHRBUCHSAMMLUNG: **17/UC 194 D389-2(5)**(bzw. online)
3. Haferkorn, H. (2003). Optik. Physikalisch-technische Grundlagen. Weinheim: Wiley-VCH. LESESAAL PHYSIK: **84/UH 5000 H138(4)**
4. Zinth, W. (2005). Optik: Lichtstrahlen- Wellen- Photonen. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag. LESESAAL PHYSIK: **84/UH 5000 Z78**

0.3 Zusammenfassung der Theorie

0.3.1 Planck'sches Strahlungsgesetz

Die spektrale Strahldichte eines schwarzen Körpers wird durch das Planck'sche Strahlungsgesetz beschrieben:

$$L_{S,\lambda}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\pi \lambda^5} \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]^{-1} \quad (1)$$

wobei λ die Wellenlänge und T die Temperatur darstellt (Index S steht für "schwarzer Körper"). Für die konstanten c_1 und c_2 gilt:

$$c_1 = 2\pi h c_0^2 = 3.7418 \cdot 10^{-16} W m^2 \quad (2)$$

$$c_2 = hc_0 k^{-1} = 1.4388 \cdot 10^{-2} mK. \quad (3)$$

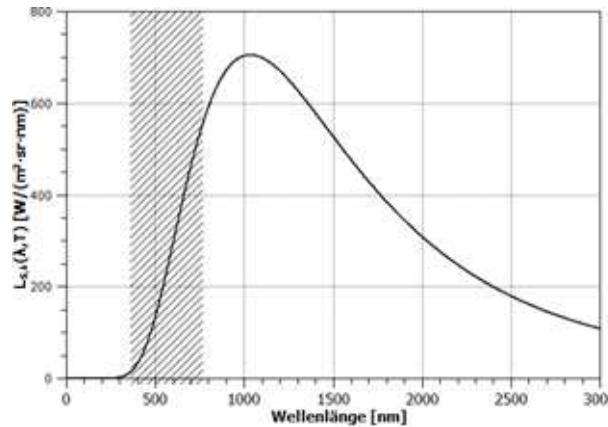


Abbildung 1: Charakteristische Verlauf der spektralen Strahldichte eines schwarzen Körpers (hier: $T = 2800$ K) (sichtbarer Bereich schraffiert).

Die hierbei verwendeten Naturkonstanten sind das Plank'sche Wirkungsquantum h , die Stefan-Boltzman konstante k , und die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum c .

Die Planck'sche Strahlungsformel kann unter Berücksichtigung eines multiplikativen Faktors (< 1), welcher dem spektralen Emissionsgrad entspricht, auf die Spektren real glühender Körper angewandt werden. Hierbei ist zu beachten, dass dieser Faktor von der Temperatur und der Wellenlänge abhängen kann. Die Abhängigkeit von der Wellenlänge kann für bestimmte Materialien, wie z.B. Wolfram, u.a. im sichtbaren Bereich, vernachlässigt werden, vgl. hierzu (Bergmann und Schaefer, 2004, s. 674).

0.3.2 Wien'sches Verschiebungsgesetz

Der Zusammenhang zwischen der Temperatur eines schwarzen Körpers und der Wellenlänge des Maximums wird durch das Wien'sche Verschiebungsgesetz beschrieben.

$$\lambda_{max} T = 2,8978 \cdot 10^{-3} mK \quad (4)$$

0.3.3 Spektralbereiche

Bezeichnung	Symbol	Wellenlängenbereich [nm]
Nahes Ultraviolett	UV-A	315-380
Sichtbarer Bereich	VIS	380-780
Nahes Infrarot	IR-A	780-1400

0.3.4 Beugung am Transmissionsgitter

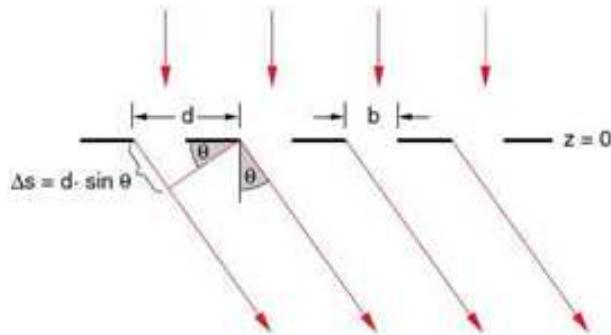


Abbildung 2: Optisches Transmissionsgitter (Demtröder, 2009, s. 333).

Bedingung für Interferenzmaxima:

$$\Delta s = d \sin \theta = m\lambda, \quad m \in \mathbb{N}_0 \quad (5)$$

wobei Δs der Gangunterschied, d der Spaltabstand, θ der Beugungswinkel und m die Beugungsordnung.

0.3.5 Additive Farbmischung

Wird verschiedenfarbiges Licht überlagert, so ergeben sich weitere Farben (Mischfarben). Der Fall, dass sich die Grundfarben Rot, Grün und Blau überlagern, ist in nebenstehender Abbildung dargestellt. Durch Änderung der Intensitäten der einzelnen Grundfarben lassen sich auf diese Weise unterschiedlichste Bunttöne erzeugen.

0.3.6 Hinweise zum Spektrometer

Das Spektrometer besitzt einen Messbereich von 190 - 850 nm und eine optische Auflösung von ca. 1nm. Intensitätsmessungen werden mit der zugehörigen Software im sog. Scope-Modus durchgeführt und Transmissionsmessungen entsprechend im Transmissionsmodus. Weitere Informationen sind der folgenden Tabelle und der vor Ort ausliegenden Anleitung zu entnehmen. Ein im Scope-Modus angezeigter Graph kann nicht über den gesamten Wellenlängenbereich gleich interpretiert werden, da das Spektrometer nicht im Intensitätsbereich kalibriert ist. Es stehen allerdings für den Wellenlängenbereich von



Abbildung 3: Additive Farbmischung der Farben Rot, Grün und Blau.

Modus	Skala	Angezeigtes Spektrum
Scope-Modus	Zur Intensität proportional	$\text{sample}(\lambda) - \text{dark}(\lambda)$
Transmissionsmodus	Transmissionsgrad [%]	$\left(\frac{\text{sample}(\lambda) - \text{dark}(\lambda)}{\text{ref}(\lambda) - \text{dark}(\lambda)} \right) \cdot 100$

Tabelle 1: **sample:** Aufgenommenes Spektrum, **dark:** Dunkelspektrum (Umgebungsbeleuchtung), **ref:** Referenzspektrum

350 - 700 nm geeignete Umrechnungsfaktoren zur Verfügung, mit denen die Messdaten in QtiPlot umgerechnet und dadurch bzgl. der Intensitätsverteilung ausgewertet werden können. Die für die Umrechnung in QtiPlot notwendigen Schritte sowie das Festlegen des Dunkel- und Referenzspektrums werden in der ausliegenden Anleitung beschrieben.

0.4 Fragen und Aufgaben

1. Wozu wird das Prinzip der Beugung in einem Spektrometer benötigt?
2. Welche Vorteile hat ein Beugungsgitter im Vergleich zu einem Doppelspalt? Ändert sich die Lage der Maxima mit zunehmender Spaltanzahl?
3. Beschreiben Sie das Spektrum eines Temperaturstrahlers und einer Gasentladungslampe.
4. Wie können mit Hilfe eines Spektrometers die chemischen Elemente der Erd- und Sonnenatmosphäre bestimmt werden? Wie können diese der jeweiligen Atmosphäre zugeordnet werden?
5. Welche Temperatur (in Kelvin) besitzt die Sonnenoberfläche? Skizzieren Sie den Intensitätsverlauf eines schwarzen Körpers mit dieser Temperatur und kennzeichnen Sie die Strahldichte des sichtbaren Bereichs.

6. Wie hoch müsste die Temperatur eines schwarzen Körpers sein, damit das Intensitätsmaximum in der Mitte des sichtbaren Bereichs liegt? Warum können solche Temperaturen nicht mit einem herkömmlichen Glühdraht erreicht werden?
7. Wie kann die Temperatur eines Glühdrahtes relativ einfach (in guter Näherung) bestimmt werden, wenn der Verlauf des Spektrums der Strahlung bekannt ist? Wie kann diese bestimmt werden, wenn nur ein kleiner Ausschnitt des Verlaufs (z.B. nur der sichtbare Bereich) bekannt ist?
8. Erklären Sie den Begriff der Farbtemperatur? Was sagt dieser Begriff über das Spektrum einer Glühlampe (Temperaturstrahler) und einer Energiesparlampe (Gasentladungslampe) aus?
9. Welcher proportionale Zusammenhang besteht zwischen spezifischer Ausstrahlung und Temperatur eines schwarzen Körpers? Welches Gesetz beschreibt diesen Zusammenhang?
10. Wie kann mit Hilfe eines Spektrometers auf die chemischen Inhaltsstoffe von Gasentladungslampen geschlossen werden?

0.5 Durchführung

0.5.1 Allgemeine Hinweise

Hinweise zum Wechseln der Lampen → **VORSICHT 230 VOLT!**

- Bitte wechseln Sie die Lampen NICHT selbst
- Wenden Sie sich hierfür an die Betreuer!

Hinweise zum Umgang mit dem Lichtwellenleiter,

- Vermeiden Sie eine zu starke Krümmung (minimaler Krümmungsradius 15 cm)!
- Vermeiden Sie unnötige Verspannungen des Knickschutzes!
- Vermeiden Sie Berührungen mit dem Lichtwellenleitereingang und verschließen Sie diesen nach Beendigung der Versuchsdurchführung mit einer Schutzkappe!
- Achten Sie aufgrund der hohen Temperaturen bei Glühlampen auf einen Abstand von mindestens 15cm zwischen Lichtwellenleiter und Lampe!

Hinweise zur Versuchsdurchführung.

- Achten Sie insbesondere bei der Aufnahme von schwachen Intensitäten darauf, dass möglichst wenig Licht aus der Umgebung Ihre Messung beeinflusst!
- Achten Sie darauf, dass das Dunkelspektrum und ggf. das Referenzspektrum stets aktuell sind!

- Achten Sie beim Speichern in Esao Studio auf die Angabe der richtigen Parameter!
- Beschriften Sie die Diagramme mit allen relevanten Angaben!
- Aufgaben mit der Kennzeichnung (*) müssen nicht von den "nicht vertieft" Studierenden bearbeitet werden.

0.5.2 Einführende Versuche

In diesem Versuchsteil sollen Sie sich mit den vorliegenden Komponenten vertraut machen. Eine Kurzanleitung von Esao Studio finden Sie im Anhang dieser Anleitung. **Glühlampe**

Richten Sie den Lichtwellenleiter auf die 75W-Glühlampe aus und fixieren Sie ihn mit Hilfe des Stativmaterials. Speichern Sie das sog. Dunkelspektrum bei abgeschalteter Lampe.

- Wozu wird das Dunkelspektrum benötigt?

Anschließend justieren Sie den Lichtwellenleiter so vor der eingeschalteten Glühlampe, dass das Maximum des angezeigten Graphen im obersten Viertel liegt! Für folgende Untersuchungen lassen Sie die Position des Lichtwellenleiters und der Lampe unverändert.

- Wie wirkt sich eine Änderung der Parameter "DETECTOR INTEGRATION TIME" auf die Anzeige aus?

Nehmen Sie nun mit geeigneten Einstellungen das Spektrum der 75W-Glühlampe auf und speichern Sie dieses ab.

- Begründen Sie, warum die angezeigte Intensitätsverteilung nicht der tatsächlichen Verteilung eines Glühlampenspektrums entsprechen kann.

Aufnahme von Transmissionsspektren

Nehmen Sie das Glühlampenspektrum als Referenzspektrum und ggf. ein neues Dunkelspektrum auf und wechseln Sie anschließend in den Transmissionsmodus.

- Wozu wird das Referenzspektrum benötigt?
- Woran lässt sich im Transmissionsmodus erkennen, ob das Referenzspektrum und das Dunkelspektrum richtig eingestellt, bzw. ob die beiden noch aktuell sind?
- Warum ist im Wellenlängenbereich unterhalb von ca. 350nm keine sinnvolle Transmissionsmessung möglich?

Halten Sie verschiedene getönte bzw. farbige Brillengläser (im Folgenden auch Farbfilter genannt) in den Strahlengang. Hierbei empfiehlt es sich, die Gläser möglichst senkrecht zum Strahlenverlauf und mit der gewölbten Seite zum Lichtwellenleiter in den Strahlengang zu halten.

- Beschreiben Sie qualitativ Ihre Beobachtung bzgl. der Farbe des Filters und des dazugehörigen Transmissionsspektrums.

Nehmen Sie die Transmissionsspektren von zwei einzelnen Farbfiltern und das Transmissionsspektrum von beiden Filtern, also der Filterkombination, auf und speichern Sie die jeweiligen Spektren ab. Anschließend stellen Sie die drei Spektren in QtiPlot in einem einzigen Diagramm dar. Drucken Sie dieses Diagramm mit geeigneter Beschriftung aus und speichern Sie es in "Ihrem" Ordner ab.

- Welcher mathematische Zusammenhang gilt für die einzelnen eben erwähnten Transmissionsgrade?

Aufnahme von Emissionsspektren

Wechseln Sie in den Scope-Modus und nehmen Sie das Spektrum einer Energiesparlampe auf. Speichern Sie auch dieses Spektrum ab.

- Beschreiben Sie qualitativ die Unterschiede zum Spektrum einer Glühlampe.

Nehmen Sie anschließend nacheinander die Spektren der Leuchtdioden (LEDs) mit den Farben Rot, Grün und Blau auf.

- Notieren Sie sich zu den einzelnen Farben der LEDs die Wellenlängenwerte der Maxima.
- Lässt sich durch diese Werte auf den jeweiligen Farbeindruck schließen? Begründen Sie Ihre Aussage.

Bestimmung der Farbtemperatur einer Glühlampe

Importieren Sie das zuvor gespeicherte Glühlampenspektrum. Führen Sie die für die Umrechnung der Messdaten erforderlichen Schritte aus und bestimmen Sie die Farbtemperatur der Glühlampe.

0.5.3 Auswertung des Sonnenspektrums

Aufnahme des Sonnenspektrums

Richten Sie den Lichtwellenleiter so aus, dass Sie das Sonnenspektrum aufnehmen können. Hierfür ist kein direkter Blickkontakt mit der Sonne erforderlich, es genügt eine Aufnahme des Streulichts des "Himmels". Auch wenn dieser bewölkt ist, kann mit geeigneter Wahl der Integrationszeit eine Aufnahme des Spektrums erfolgen. Stellen Sie die Intensitätsverteilung der Sonnenstrahlung, wie zuvor, in einer optimalen Höhe (Maximum zwischen 3000 und 4000 Counts) dar und speichern Sie dieses ab. Achten Sie stets darauf, dass das Dunkelspektrum aktuell ist!

Bestimmung der Oberflächentemperatur der Sonne

Rechnen Sie wie zuvor die importierten Messdaten in QtiPlot um und stellen Sie diese grafisch dar. Erstellen Sie eine Fit-Kurve* und passen Sie entsprechend die Skalierungen und Beschriftungen des Diagramms an. Ein Beispiel hierfür ist in nebenstehender Abbildung dargestellt. Drucken Sie das Diagramm mit Angabe der ermittelten Oberflächentemperatur der Sonne aus. *Für den Fall, dass keine geeignete Fit-Kurve ermitteln

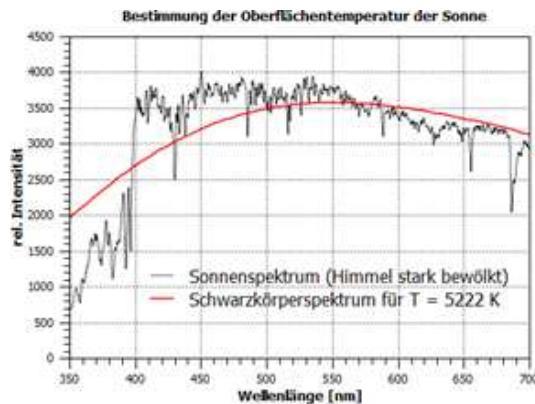


Abbildung 4: Beispiel für die Gestaltung eines Diagramms.

werden kann, stellen Sie stattdessen den Verlauf eines Schwarzkörperspektrums für $T = 6000 \text{ K}$ dar.

- Begründen Sie kurz einige bei dieser Auswertung vorliegenden Fehlerquellen.

Bestimmung der wichtigsten Fraunhofer'schen Linien

Stellen Sie das Sonnenspektrum in einem neuen Diagramm Wichtige Fraunhofer'sche Linien dar, bzw. entfernen Sie die Fit-Kurve und passen Sie den Titel des Diagramms entsprechend dieser Aufgabenstellung an. Drucken Sie anschließend den Graphen aus. Bestimmen Sie mit Hilfe des "Datenlesers" die Wellenlängen der "Einbrüche" im Spektrum, welche den jeweiligen Fraunhofer'schen Linien entsprechen (vgl. nebenstehende Tabelle).

0.5.4 Bestimmung chemischer Elemente

Stellen Sie das Spektrum einer Glimmlampe im Scope-Modus dar. Dieses erhalten Sie durch die Aufnahme der Sehalterbeleuchtung einer Steckdosenleiste. Justieren Sie hierzu den Lichtwellenleiter senkrecht über dem Schalter in einem Abstand von wenigen Zentimetern.

- Erläutern Sie qualitativ, ob und wie der transparente gefärbte Kunststoff des Schalters die Aufnahme des Spektrums beeinflusst.

Symbol	$\lambda [nm]$	Element
A	760,8	O
B	686,7	O
C	656,3	H
D ₁	589,6	Na
D ₂	589,0	Na
E	527,0	Fe
F	486,1	H
G	430,8	Fe
H	396,8	Ca
K	393,4	Ca

Tabelle 2: Wichtige Frauenhofer'sche Linien

Speichern Sie das Spektrum ab. Bestimmen Sie mit Hilfe der vor Ort ausliegenden Messdaten bekannter Stoffe das für die Strahlung verantwortliche chemische Element in einer Glimmlampe. Importieren Sie zusätzlich die Messdaten des passenden Vergleichsspek-

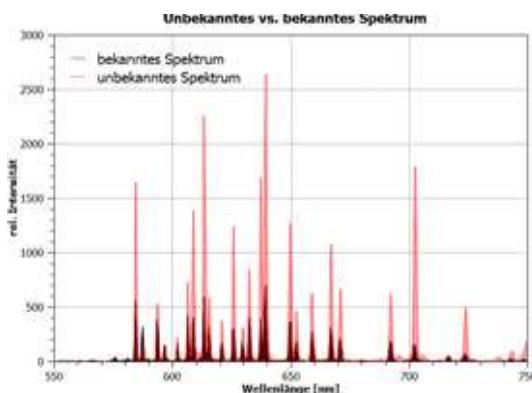


Abbildung 5: Bsp. für die Darstellung zweier Spektren.

trums und stellen Sie dieses im gleichen Diagramm dar. Passen Sie die Skalierung auf den relevanten Wellenlängenbereich an.

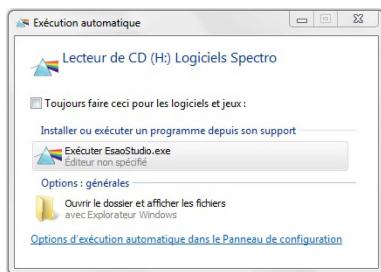
- Welchen Vorteil hat dieses Verfahren gegenüber der Auswertung mit Hilfe von Tabellenwerten?

Beschriften Sie einige markante Peaks mit den zugehörigen Wellenlängenwerten, bevor Sie das Diagramm ausdrucken.

0.6 Apéndice

0.6.1 Software

Schalten Sie Ihren Computer ein. Sobald das Spektrometer via USB an den Rechner angeschlossen ist, erscheint ein neues Laufwerk, das die Software EsaStudio zur Verfügung stellt. Es kann sein, dass der Start nach dem Anklicken ein paar Sekunden dauert. Klicken Sie in folgendem Fenster auf Ausführen, um die Software zu starten:



Inbetriebnahme

Nach dem Start der Software erscheint das Fenster der Benutzeroberfläche und das Spektrum wird angezeigt:

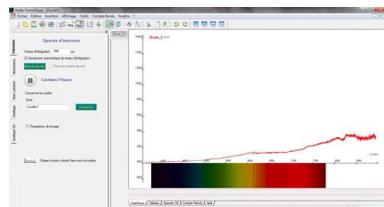


Abbildung 6: d

Integrationszeit

Ermöglicht Ihnen, die Intensität der Grafik einzustellen. Standardmäßig wird die Integrationszeit automatisch angepasst. Um diese Funktion zu deaktivieren, deaktivieren Sie einfach das Kontrollkästchen und stellen Sie dann die Integrationszeit so ein,

dass das Spektrum den größten Teil des Fensters einnimmt. Durch die Erhöhung der Integrationszeit erhöhen Sie die Intensität, aber Sie bewegen den Nullpunkt, es ist daher ratsam, die Integrationszeit vor der Durchführung der Softwarekalibrierung anzupassen. Seien Sie vorsichtig, wenn Sie die Integrationszeit erhöhen, Sie erhöhen auch die Intensität des Rauschens.

Dunkelmessung

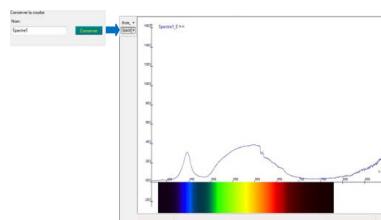
Wenn Sie sich nicht in perfekten experimentellen Bedingungen befinden, können Sie das parasitäre Spektrum vom Umgebungslicht abziehen, indem Sie das Dunkelspektrum aufnehmen.

Spektrenanalyse

Durch Klicken auf wird die Kurve eingefroren. Nach der Unterbrechung der Aufnahme können Sie alle Auswertefunktionen der Software nutzen. Um die Spektrenaufnahme neu zu starten, klicken Sie auf

Aufnehmen einer Kurve

Benennen Sie die Kurve und klicken Sie auf speichern. Der Name erscheint in der linken oberen Ecke des Grafikfensters. Die Kurve Brute E entspricht der Erfassung des Spektrums in Echtzeit (die Zeichen E bedeuten, dass es sich um ein Emissionsspektrum handelt).



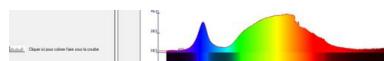
Spektrum ein-/ausblenden

Klicken Sie auf den Namen des Spektrums, das Sie anzeigen möchten klicken Sie er-

neut auf seinen Namen, um es wieder auszublenden. Es ist auch möglich, mehrere gespeicherte Kurven gleichzeitig anzuzeigen.

Einfärbung der Fläche unter der Kurve

Diese Farbgebung ermöglicht eine einfache Visualisierung der Wellenlängen.

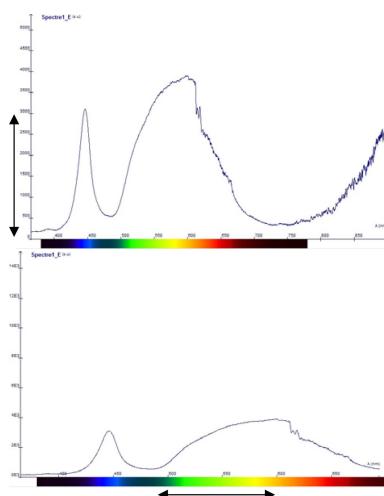


Optionen für die Kurvenanzeige

Die Optionen zur Kurvenanzeige sind verfügbar, wenn Sie mit der rechten Maustaste auf den Kurvennamen klicken. Es ist dann möglich, den Stil der Punkte, die Verbindungen (Punktmodus, gebundener Modus, Histogramm, Treppe, vertikale oder vertikale gerade Segmente), die Dicke der Linie und ihre Farbe zu ändern.

Erweitern der Skala

Zeigen Sie mit der Maus auf eine der Skalen, klicken und ziehen Sie, um die Skalen zu dehnen oder zu komprimieren.



Übersetzen der Skala

Halten Sie die STRG-Taste gedrückt, wäh-

rend Sie auf eine der Achsen klicken und ziehen, um das Spektrum entlang der entsprechenden Achse zu verschieben.

Normaler Modus

Ermöglicht es Ihnen, durch das Spektrum zu navigieren, Skalen zu dehnen und zu verschieben.

Positionieren eines Zeigers

Positionieren Sie Ihre Maus an der gewünschten Stelle auf dem Spektrum, um die Wellenlänge und Intensität anzuzeigen.

Koordinaten anzeigen

Platzieren Sie Ihre Maus auf dem Spektrum an der gewünschten Stelle und tippen Sie auf "Enter", um die Position Ihres Markers zu bestätigen und festzulegen. Dieser Marker bleibt dauerhaft im Spektrum. Um ihn zu löschen, wiederholen Sie den Vorgang der Anzeige des Markers an der gleichen Stelle wie die, die Sie löschen möchten.

Eine Zeile einfügen

Platzieren Sie Ihre Maus an der gewünschten Stelle auf dem Spektrum, ziehen Sie sie nach rechts und tippen Sie auf "Enter", um die Position Ihrer Rechten zu bestätigen und festzulegen.

Eine Tangente einfügen

Platzieren Sie Ihre Maus auf dem Spektrum an der gewünschten Stelle und tippen Sie auf "Enter", um die Position Ihrer Tangente zu bestätigen und festzulegen.

Vergrößern

Zeichne ein Rechteck, das den Teil des Spektrums darstellt, in das du zoomen möchtest. Klicken Sie auf Normalzoom, um zur Ausgangsanzeige zurückzukehren.

Handhabung

Emissionsmodus

Der Emissionsmodus ermöglicht die Messung des Emissionsspektrums der Lichtquellen, dieses Spektrum kann roh oder in der Amplitude korrigiert dargestellt werden. Das Gerät, das Ihnen zur Verfügung steht, verfügt über die Empfindlichkeitskorrektur, die es ihm ermöglicht, ein reales Spektrum zu transkribieren und nicht ein Spektrum, das durch die Empfindlichkeit des Geräts bei verschiedenen Wellenlängen moduliert wird. Die Verwendung dieser Funktion ist sehr wichtig für die Visualisierung kontinuierlicher Spektren: Glühlampe, Sonnenspektrum...

Wählen Sie dazu die Registerkarte 'Senden'. Passen Sie die Integrationszeit so an, dass das Spektrum den größten Teil des Fensters einnimmt, ohne zusammenzubrechen.

Absorption und Transmission

Vor jeder Absorptions- oder Transmissionsmessung müssen Sie eine Kalibrierung von Null- (auch "Dunkelmessung genannt) und Referenzspektrum durchführen. Der Absorptionsmodus ermöglicht es, die optische Dichte und/oder den Transmissionskoeffizienten einer Probe entsprechend den Wellenlängen zu messen. Wählen Sie dazu die Registerkarte 'Absorption'. Passen Sie die Integrationszeit so an, dass das Spektrum den größten Teil des Fensters einnimmt, ohne zusammenzubrechen. Dann messen Sie die Referenzprobe. Diese bestimmt die Referenzmenge des Lichts entsprechend der jeweiligen Wellenlänge. Schalten Sie die Lichtquelle aus und messen Sie den Hintergrund. Dieser bestimmt den Rauschpegel, der während der Messung von der Kurve abgezogen werden soll. Setzen Sie die Küvette mit der farbigen Lösung ein. Benennen Sie Ihre

Lösung und starten Sie die Erfassung, indem Sie auf Messung klicken. Auf der Grafik finden Sie die Darstellung der folgenden Kurven: roh, weiß, schwarz, schwarz, schwarz, Lösungsname 'A (für Absorption), Lösungsname 'T (für Transmission).

Kinetischer Modus

Für die Untersuchung langsamer Reaktionen, die eine Veränderung der Farbe der Lösung bewirken, wie z.B. die Oxidation von Iodidionen, kann das LED Spektrometer verwendet werden, um die Kinetik dieser Reaktion zu bestimmen. Wählen Sie dazu die Registerkarte 'Kinetik'.

Vor der Aufnahme muss das Gerät kalibriert werden. Setzen Sie eine Zelle mit Ihrer Referenzlösung in den Küvettenhalter ein und klicken Sie dann auf 'Kalibrierung'. Das Gerät führt zunächst die Dunkelkalibrierung durch und fordert Sie über ein Dialogfenster auf, die Lampenstromversorgung auszuschalten. Wenn die Kalibrierungsphase abgeschlossen ist, können Sie die Stromversorgung der Lampe wiederherstellen (die Software wird es Ihnen mitteilen). Es ist möglich, die Kinetik bei zwei verschiedenen Wellenlängen zu untersuchen. Wenn Sie nur eine Wellenlänge untersuchen möchten, stellen Sie den gleichen Wert für λ_1 und λ_2 ein. Wählen Sie das Zeitintervall zwischen zwei Aufnahmen und starten Sie die Aufnahme. Es ist dann möglich, die Aufnahme durch Anklicken von Stop zu beenden.

Beer-Lambert

Das Gesetz von Beer-Lambert kann direkt an der Software überprüft werden, ohne eine externe Kalkulationstabelle durchlaufen zu müssen. Wählen Sie dazu die Registerkarte 'Beer-Lambert'. Sie erhalten das folgende Fenster: Vor der Aufnahme muss das Gerät kalibriert werden. Setzen Sie eine Zel-

le mit Ihrer Referenzlösung in den Küvettenhalter ein und klicken Sie dann auf 'Kalibrierung'. Das Gerät führt zunächst die Dunkelkalibrierung durch und fordert Sie über ein Dialogfenster auf, die Lampenstromversorgung auszuschalten. Wenn die Kalibrierungsphase abgeschlossen ist, können Sie die Stromversorgung der Lampe wiederherstellen (die Software wird es Ihnen mitteilen). Sie können nun eine Aufnahme starten:

- geben Sie die Wellenlänge an, bei der Sie arbeiten möchten,
- geben Sie die charakteristische Größen von v sowie dessen Einheit an, im Allgemeinen die Konzentration der analysierten Lösungen,
- geben Sie für jede Probe den Wert ihrer Konzentration an und klicken Sie auf 'Validierung'.

Nach der Erfassung jeder Probe wird ein Punkt zur Kurve hinzugefügt, der die Entwicklung der Absorption von Lösungen entsprechend ihrer Konzentration darstellt. Diese Kurve veranschaulicht direkt das Beer-Lambert-Gesetz.

Alltagsspektren

Leuchtstoffröhre

Es gibt gut markierte Emissionslinien und eine kontinuierliche Emissionszone. Alle Leuchtstofflampen erzeugen sichtbares Licht durch zwei gleichzeitige Prozesse. Einerseits erzeugt die Ionisation einer Mischung aus Argon- und Quecksilberdampf bei niedrigem Druck und unter Einwirkung eines elektrischen Stroms Licht im ultravioletten Bereich. Diese Strahlung wird dann durch das fluoreszierende Pulver, dessen Zusammensetzung spezifisch

für den Lichtschatten ist, auf der Oberfläche der Röhre in sichtbares Licht umgewandelt. Die mit dem Spektrometer beobachteten Linien sind daher die Gasemissionslinien und das kontinuierliche Spektrum ist das des fluoreszierenden Pulvers, das durch die ultraviolette Emission des Argon- und Quecksilberdampfgemischs angeregt wird.

