

SS2021

—— PPBphys1 ——

# Protokoll SP

—— Charlotte Geiger - Manuel Lippert - Leonard Schatt ——

Gruppe 4



# Informationen

<b>Versuchstag</b>	24. März 2021
<b>Versuchsplatz</b>	NWII   2.1.02.671
<b>Betreuer</b>	Uwe Gerken
<b>Gruppen Nr.</b>	4
<b>Auswertperson</b>	Leonard Schatt
<b>Messperson</b>	Charlotte Geiger
<b>Protokollperson</b>	Manuel Lippert

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Fragen zur Vorbereitung</b>	<b>6</b>
2.1	Teilaufgabe 1 . . . . .	6
2.2	Teilaufgabe 2 . . . . .	7
2.3	Teilaufgabe 3 . . . . .	8
2.4	Teilaufgabe 4 . . . . .	8
2.5	Teilaufgabe 5 . . . . .	9
2.6	Teilaufgabe 6 . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Messprotokoll</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung und Diskussion</b>	<b>20</b>
4.1	Teilauswertung X . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Fazit</b>	<b>21</b>
<b>A</b>	<b>Append A</b>	<b>22</b>
A.1	Teilanhang X . . . . .	22
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>23</b>



# 1 Einleitung

Oft fragt man sich, woher wissen bestimmte Wissenschaftler Tatsachen, beispielsweise wie warm oder kalt es auf anderen Planeten ist und aus was ihre Atmosphäre ist. Dadurch können sie Aussagen über die Bewohnbarkeit und das Vorkommen von Wasser auf dem Planeten machen. Dies verwundert so manchen vielleicht, da Wissenschaftler ja nicht auf jeden Planeten einen kleinen Roboter geschickt haben können - vor allem wenn sie außerhalb unseres Sonnensystems liegen.

Die einfache Antwort auf diese Frage ist Spektroskopie. Man muss nicht an einem Ort gewesen sein um Aussagen über ihn treffen zu können. Oft genügt die emittierte Strahlung, um einen weitreichenden Einblick in die dortigen Gegebenheiten zu bekommen. Wenn man beispielsweise charakteristische Spektren aus der empfangenen Strahlung herausfiltern kann, ist es möglich detaillierte Aussagen über die Zusammensetzung der Materie zu machen.

In diesem Versuch werden wir einen etwas einfacheren Sachverhalt behandeln, um ein erstes Gefühl für die Spektroskopie zu bekommen. Wir werden das Spektrum einer Quecksilber-Dampflampe analysieren. Dabei wird uns wieder klar, wie vorsichtig man bei Phänomenen mit EM-Wellen sein muss, da sonst ungewollte Beugungseffekte auftreten, an die man nicht gedacht hat. Dabei werden wir mit Hilfe eines Blazegitters das Spektrum unserer Lampe zerlegen.

## 2 Fragen zur Vorbereitung

### 2.1 Teilaufgabe 1

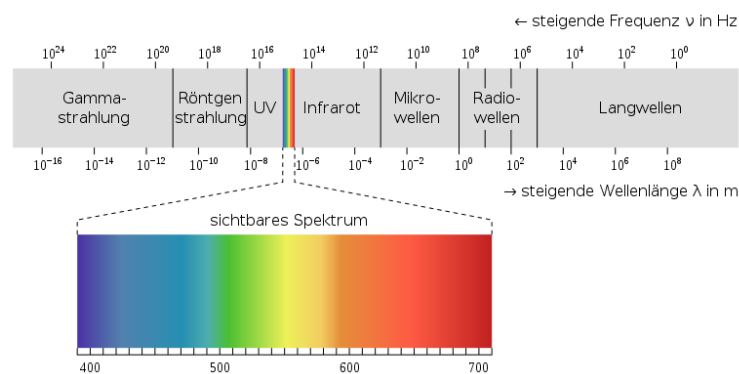


Abbildung 2.1: Versuchsaufbau

- Gammastrahlung: Gammastrahlung entsteht bei Radioaktiven zerfällen, wie beispielsweise Selen mit der Nuklidzahl 70. Detektieren kann man die Strahlung mit einer Nebelkammer oder einem Geiger-Müller-Zählrohr.
- Röntgenstrahlung: Diese Strahlung wird in der Medizin und in der Industrie viel eingesetzt zur Untersuchung von Materialien. Die Röntgenstrahlung wird dabei in einer Röntgenröhre durch das abbremesen von schnellen Elektronen erzeugt. Man kann die Strahlung durch Fotoplatten nachweisen.
- UV: UV-Strahlung entsteht in der Sonne. Sie ist noch hochenergetisch genug um erbgutschädigend zu wirken. Man kann sie mit Fotoplatten oder über den Photoeffekt nachweisen.
- Sichtbares Licht: Dieses wird von der Sonne emittiert. Nachweisen kann man es mit der Sonne oder einem Fotowiderstand und einem entsprechendem Messgerät.
- Infrarot: Infrarotstrahlung entsteht auch in der Sonne. Man kann sie durch thermische Detektoren wie Bolometer nachweisen.
- Mikrowellen: Die wohl bekannteste technische Anwendung ist der "Mikrowellenherd". Dort werden die Wellen durch einen Magnetron erzeugt. Nachweisen kann man sie mit einer passenden Antennen und einem Messgerät. Die Länge der Antenne muss zur Welle passen.

- Radiowellen: Diese können natürlich entstehen. Dort werden sie durch die Temperatur der Atmosphäre selbst erzeugt. Detektieren kann man die Wellen mit einer passenden Dipolantenne.
- Langwellen: Langwellen können von Langwellensendern gesendet werden. Empfangen kann man sie mit einer passenden Dipolantenne.

## 2.2 Teilaufgabe 2

Wenn man nur die Wärmestrahlung betrachtet, sieht man kontinuierliche Spektren. Dies ändert sich, wenn man nur einzelne Atome, beziehungsweise Gase von Atomen betrachtet. Bei diesen kann man im Spektrum klar voneinander getrennte Linien sehen. Diese Linien nennt man Spektrallinien.

Sie kommen zustande, weil in Atomen die Absorption und Emission von elektromagnetischen Wellen nicht kontinuierlich erfolgt. Die Energieniveaus der Atome sind diskret und somit sind auch die emittierten Wellenlängen diskret.

Da die Spektrallinien nicht monochromatisch sind lässt sich mit unterschiedlichen Argumenten erklären. Mit Hilfe der Quantenmechanik lassen sich folgende Aussagen treffen. Die Energie-Zeit-Unschärfe folgt aus der Unschärferelation der Quantenmechanik. Da die Operatoren für Energie und Zeit nicht kommutieren, muss das Folgende gelten.

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{1}{2} [\hat{H}, \hat{T}] = \frac{\hbar}{2} \quad (2.1)$$

Nehmen wir nun Gleichheit der linken und rechten Seite an und nennen

$$\Delta E = \frac{\Gamma}{2}$$

die Halbwertsbreite. Dann folgt:

$$\Delta E = \frac{\Gamma}{2} = \frac{\hbar}{2\mathcal{T}} \quad (2.2)$$

wobei die Lebensdauer des Teilchens

$$\mathcal{T} = \Delta t$$

hier folgendermaßen angenommen wird.

Man sieht sehr schön dass eine unendlich scharfe Spektrallinie zu Widersprüchen führen würde, wie beispielsweise:

$$\lim_{\Delta E \rightarrow 0} \implies \mathcal{T} \rightarrow \infty \quad (2.3)$$

Diese Behauptung widerspricht jedoch dem Experiment und ist somit falsch.

## 2.3 Teilaufgabe 3

Wie bei jeder Gasentladungslampe beruht der Leuchtprozess der Quecksilberdampf Lampe auf der Ionisation der Quecksilberatome. Den Quecksilber ist noch ein Edelgas beigemischt, welches die Zündung der Lampe erleichtert. Das Leuchten entsteht dabei nicht wie bei herkömmlichen Lampen durch einen glühenden Draht, sondern durch die Anregung der Quecksilberatome. Dies geschieht durch Stöße der Atome mit Elektronen, welche durch das Gas geleitet werden. Die angeregten Atome emittieren bei ihrem zurückkehren in den Grundzustand elektromagnetische Wellen. Diese sind bei Quecksilberlampen im UV-Bereich, welcher ungesund für Menschen ist.

Hier eine Liste der sieben hellsten Spektrallinien im Bereich 300 bis 900 nm.

- 404,65 nm (violett)
- 407,78 nm (violett)
- 435,83 nm (blau)
- 546,07 nm (grün)
- 576,95 nm (gelb-orange)
- 579,06 nm (gelb-orange)
- 614,95 nm (rot)

Außerdem existiert noch eine schwache Linie bei 491,60 nm.

## 2.4 Teilaufgabe 4

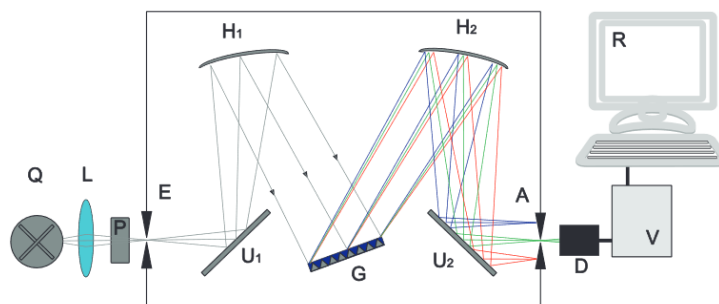


Abbildung 2.2: Versuchsaufbau

Die Sammellinse und der Eintrittsspalt müssen nach der Abbildungsgleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (2.4)$$



## 2.5 Teilaufgabe 5

so weit entfernt sein, dass der Brennpunkt im Spalt selbst liegt. In der Abbildungsgleichung bezeichnet  $b$  den Abstand vom Bild zur Linse und  $g$  den Abstand vom Gegenstand zur Linse.  $f$  ist die Brennweite. Bei

$$\Rightarrow b = \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g}\right)^{-1} \quad (2.5)$$

ist dies der Fall. Die Sammellinse sollte also um  $b$  vom Eintrittsspalt entfernt sein.

Der Hohlspiegel fungiert in diesem Aufbau wie eine Linse. Damit die Strahlen, welche über einen Spiegel umgelenkt werden, nach dem Spiegel parallel liegen, muss der Eintrittsspalt genau in der Brennebene liegen. Der Abstand zwischen Eintrittsspalt und Hohlspiegel muss also  $f_{\text{Spiegel}}$  sein.

Beim zweiten Spiegel ist die Argumentation die Selbe, nur in die andere Richtung. Deswegen ist der Abstand zwischen Hohlspiegel und Austrittsspalt  $f_{\text{Spiegel}}$ .

## 2.5 Teilaufgabe 5

Das spektrale Auflösungsvermögen des Monokromators lässt sich in zwei Teile aufteilen. Der eine Teil  $\Delta\lambda_s$ , welcher von den Spalten herrührt und den Teil  $\Delta\lambda_G$ , welcher vom Gitter erzeugt wird.

$\Delta\lambda_s$  wiederum lässt sich in die Teile  $\Delta\lambda_{s_{\text{ein}}}$  und  $\Delta\lambda_{s_{\text{aus}}}$  unterteilen, welche jeweils zu Eingangs- bzw. Ausgangsspalt gehören.

$$\Delta\lambda_s = \sqrt{(\Delta\lambda_{s_{\text{ein}}})^2 + (\Delta\lambda_{s_{\text{aus}}})^2} = \frac{b}{f} \sqrt{(s_{\text{Ein}})^2 + (s_{\text{Aus}})^2} \quad (2.6)$$

Hier ist  $b$  die Gitterkonstante,  $f$  die Brennweite des Hohlspiegels und  $s_{\text{Ein/Aus}}$  die Spaltbreite des Ein-/Ausgangsspaltes.

Dieser Linienbreite  $\Delta\lambda$  ist in unserem Fall:

$$\Delta\lambda_s = \frac{\frac{1}{1200 \frac{1}{\text{mm}}}}{80 \text{ mm}} \sqrt{2} * 20 \mu\text{m} = 294,6 \text{ nm} \quad (2.7)$$

$\Delta\lambda_G$  ist in diesem Fall:

$$\Delta\lambda_G = \frac{\lambda}{kN} = \frac{546 \text{ nm}}{1 \cdot 58 \text{ mm} \cdot 1200 \frac{1}{\text{mm}}} = 0.00784 \text{ nm} \quad (2.8)$$

Die beiden Werte liegen Größenordnungen auseinander.

$$\Rightarrow \Delta\lambda_M \simeq \Delta\lambda_s = 294,6 \text{ nm} \quad (2.9)$$

## 2.6 Teilaufgabe 6

Um eine Faltung zu berechnen gibt es mehrere Möglichkeiten. Eine Lösung ist es den Faltungssatz zu verwenden. Dieser besagt, dass bei Funktionen  $f$  und  $g$  im Ortsraum mit den zugehörigen Funktionen  $\tilde{f}$  und  $\tilde{g}$  im Fourierraum gilt:

$$f * g = \mathfrak{F}^{-1}(\tilde{f} \cdot \tilde{g}) = g * f \quad (2.10)$$

Dieses Vorgehen ist aber manchmal etwas umständlich. In einfacheren Fällen wie diesem hier ist eine graphische Lösung einfacher. Bei dieser zeichnet man die Graphen beider Funktionen. Dann spiegelt man den zu verknüpfenden Graphen an der y-Achse und schiebt diesen dann über den ersten Graphen. Die Fläche, die sie sich überschneiden, ist dann die Funktion  $f * g$ .

In diesem Fall nehmen wir zwei Rechtecksfunktionen mit Höhe eins und Breite  $a$  bei Rechteck 1 und  $b$  bei Rechteck 2. Die beiden Rechtecke sind Achsensymmetrisch bezüglich der y-Achse. Jetzt können zwei Fälle auftreten:

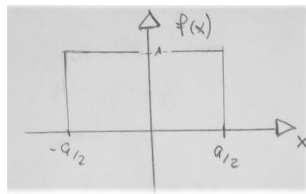


Abbildung 2.3: Skizze von  $f$

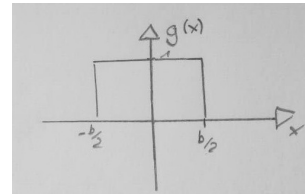


Abbildung 2.4: Skizze von  $g$

- Fall 1:  $a = b$

In diesem Fall entsteht ein perfektes Dreieck, da nur in einem Punkt die volle Fläche erreicht ist. Die maximale Überschneidung der beiden Graphen ist daher  $a \cdot 1 = a$ .

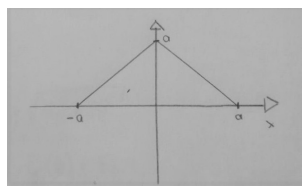
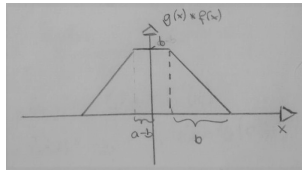


Abbildung 2.5: Skizze von  $f * g$  mit  $a = b$

- Fall 2:  $a' > b'$  Diesmal sind die beiden Dreiecke nicht deckungsgleich. Deshalb ist die maximale Überschneidung hier nur  $b' \cdot 1 = b'$ . Es ist also kein Dreieck wie in Abbildung 2.5, sondern dem Dreieck wurde seine Spitze abgeschnitten.

Abbildung 2.6: Skizze von  $f * g$  mit  $b < a$ 

- Fall 3:  $a'' < b''$  Dieser Fall ist identisch zu Fall zwei, da man O.b.d.A.  $a''$  und  $b''$  vertauschen kann laut Gleichung 2.10. Das heißt, in diesem Fall erhält man wieder ein angeflachtes Dreieck.

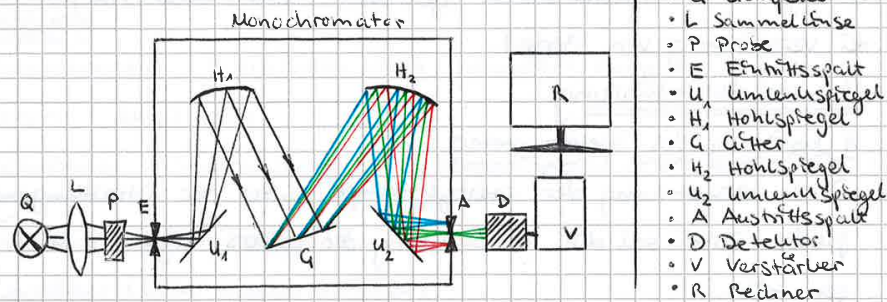
An dieser Stelle sieht man, dass es sinnvoll ist die Eingangs- und Ausgangsspaltbreite gleich zu wählen, da man dann den größten "Peak" bekommt. Wenn man sie nicht gleich groß wählt, schneidet es einem den höchsten Ausschlag ab, was schlecht für die Messung ist. Man sollte jedoch die Spalte nicht zu klein machen, da dann die Intensität nach den Spalten nachlässt.

### 3 Messprotokoll

Das Messprotokoll wurde am Versuchstag handschriftlich erstellt und hier als PDF-Datei eingefügt. Dabei wurden Durchführung und Aufbau schon vorher in dieses Dokument beschrieben, je nachdem. test

# Versuch SP - Das Spektrometer

## Versuchsaufbau und Messverfahren



Das ausgestrahlte Licht der Lichtquelle Q (verfügbar Halogenlampe, Hg-Lampe) wird von der Sammellinse L ( $f_L = 80 \text{ mm}$ ) in den Eintrittsspalt E fokussiert (für möglichst hohe Lichtintensität). Dabei sind Eintrittsspalt E und Austrittsspalt A variabel von 0 bis 2 mm. Zwischen Linse und Eintrittsspalt befindet sich eine Halterung, in die verschiedene Filtergläser oder Proben P eingesetzt werden können. Im Monochromator wird das Bild am Eintrittsspalt vom ersten Hohlspiegel  $H_1$  ( $f_{H1} = 250 \text{ mm}$ ) ins Unendliche abgebildet und so eine ebene Wellenfront erzeugt, welche das Reflexionsgitter G ausleuchtet (gesteuert durch Schrittmotor  $\rightarrow$  Verdrehung Gitter). Das Licht, je nach Stellung des Gitters ein anderer Spektralbereich, wird am Hohlspiegel  $H_2$  ( $f_{H2} = 250 \text{ mm}$ ) in den Austrittsspalt abgebildet und gelangt so zum Detektor D, welcher ein elektrisches Signal über einen einstellbaren Verstärker V zum Rechner R schickt.  $U_1, U_2$  nur Umkehrspiegel ohne optische Bedeutung. Reflexionsgitter (Breite 58 mm mit 1200  $\frac{\text{Linien}}{\text{mm}}$ ). Bei unerwünschten Sättigungen des Verstärkers werden mit einer gelben LED am Gerät ~~angezeigt~~ angezeigt.

### 3 Messprotokoll

Weiterhin wird ein gelber Kantenfilter (Langpassfilter) eingesetzt, um Wellenlängen kleiner als 490 nm zu blockieren. Auch wird mit einem Kompromiss zwischen Auflösungsvermögen und Spaltenbreite gearbeitet (Nichtwert: 60  $\mu\text{m}$  bei Verstärkung von 3000).

#### Versuchsdurchführung

##### 1 Justierung des Spektrometers

Durch Verwendung der Halogenlampe wird der Strahlengang justiert. Dabei soll die Ausleuchtung der Gitters möglichst homogen sein.

##### 2 Messungen mit Hg-Lampe

1) Aufnahme des Spektrums der Hg-Lampe im Bereich von 300 bis 900 nm. Wiederholung der Messung mit Langpassfilter (Unterscheidung von Interferenzmaxima höherer Beugungsordnung)

2) Aufnahme Aufnahme von 5 Hg-Einzellinien bei möglichst kleiner Spaltenbreite

3) Messung der gelben Hg-Doppellinie bei unterschiedlichen Spaltbreiten im Bereich von 100  $\mu\text{m}$  bis 1 mm

4) Messung der grünen Hg-Linie bei 10 unterschiedlichen Spaltbreiten zwischen 100  $\mu\text{m}$  und 2 mm

Die zwei vorangegangenen Punkte dienen der Bestimmung des Auflösungsvermögens.

5) Messung der grünen Hg-Linie mit unterschiedlichen Ein- und Austrittsspalten.

## Messung

Versuchsplatz : 2.1.02.671 I NW 11 Universität Bayreuth Türplatz

Datum : 24.03.2021

Teilnehmer : Charlotte Geiger (MP), Leonhard Seischoltz (AP) Manuel Lippert (PP)

Messinstrumente + Messfehler:

Verstärker (keine Nummer vorhanden)

Spektrometer (HR250) Nr. 801012 → Fehler FzV

Halogenlampe (keine Informationen)

Quecksilber (Hg)-Lampe (keine Informationen)

Stahlmaßstab → Fehler bekannt

### 3 Messprotokoll

#### 1. Justieren des Spektrometers

Mehrere Dinge sind auf einem Schlitten justierbar. Darunter fallen  
das die Lichtquelle  $G$  <sup>und</sup> Linse  $L_1$ .

Abstand Eintrittsspalt  $E$  und Linse  $L$  : 15,8 cm

Eintrittsspalt  $E$  und Lichtquelle  $G$  : 31,0 cm

(gemessen ~~mit~~ Stahlmaßstab, relativ ungenau da Maßstab nur  
gras anlegbar)

Diese Abstände wurden so ermittelt, dass die Lichtquelle  $G$   
(Halogenlampe) auf einen Schirm vor dem Spiegel  $U_1$   
ein möglichst homogenes rundes Licht erzeugt. Der Schirm  
wird dabei von oben durch eine Vorrichtung eingeschoben.  
Bei dem Gitter  $G$  soll es auch das gleiche ~~Bild~~ ~~Bild~~ Bild  
zeigen und auf dem Schirm von  $U_2$  soll ein Spektrum der  
Halogenlampe zu erkennen sein.

#### 2. Messungen mit Hg-Lampe

##### 1) Einstellung:

Breite Eintrittsspalt  $E$  : 80  $\mu\text{m}$  = Austrittsspalt  $A$

Startwellenlänge : 3000  $\text{\AA}$  ; Endwellenlänge : 9000  $\text{\AA}$

Schrittweite : 5  $\text{\AA}$

Messdauer : 250 ms

Verstärkung

→ Einlegung des Gelbfilters

Einstellung gleich

Dateiname : D:/Daten/Gruppe-4/

Die Breite des Eintrittsspalts  $E$  und Austrittsspalt  $A$   
werden immer synchron verändert, weshalb es hier nur  
noch von Spaltenbreite geschrieben wird.



## 2) Veränderung der Spaltbreite auf 80 $\mu\text{m}$

Messen dabei die einzelnen Linien aus dem Überbereichsbild des Spektrums. Gemessene Linien werden unter

D:\Daten\Gruppe\_4\G4\_Linie "Zahl".txt

gespeichert, wobei "Zahl" immer in dem Bereich einer Linie liegt.

Die Aperatur wurde dabei immer mit der Verstärkung von 10000 betrieben, außer bei der Messung der dominanten Linie bei  $\approx 5460$ . Dort verwendet wird die Verstärkung von 3600. Bei jedem Bild wird von Hand die Höhe so angepasst, dass das Bild ausgefüllt wird.

Die Messperson entschließt sich aus Grundakzeptaberrungen Sicherheitshebel nach einem G-ten Messwert zu messen. ①

## Außergewöhnliche Beobachtung:

Wenn der Messbereich nicht angemessen gewählt ist verschwindet die Linie komplett

① Linie nicht gut messbar.

3) ~~Ursprüngliches~~ von ~~Beginnen~~ mit Spaltenbreite von 1mm und verkleinern diese <sup>auf</sup> 0,5 mm und danach in 0,1 mm Schritte.

Dabei suchen wird den Punkt bei dem das Auflösungsvermögen zu gering ist um die Linien zu unterscheiden.

Mit Verstärkung von 1000.

~~D:\Gruppe~~ D:\Daten\Gruppe\_4\G4\_gelbe-Dopp-[Linie].txt

Vergrößerung: 5450  
bei 10000  
Verstärkung: 3600  
bei 5450  
Ander: 3600  
wird: 4350  
10000

### 3 Messprotokoll

4) Startwellenlänge : 5420	<del>D: / Crupp4</del>
Endwellenlänge : 5485	Messungen wurden mit Langpassfilter
Verstärker : 1000	gemessen.
Spaltenbreite : 0,1 mm	
	[Spaltenbreite]
D: / Daten / Crupp4 / Cu - grüne - A4 - <del>0,1 mm</del> .txt	
	<u>Veränderung</u>
Spaltenbreite : 0,4 mm →	Verstärker : 316
Spaltenbreite : 0,6 mm →	Startwellenlänge : 5420
	Endwellenlänge : 5490
Spaltenbreite : 0,8 mm →	Startwellenlänge : 5410
	Endwellenlänge : 5500
Spaltenbreite : 1,0 mm →	Verstärker : 99,856
Spaltenbreite : 1,2 mm →	Startwellenlänge : 5400
	Endwellenlänge : 5510
Spaltenbreite : 1,4 mm →	Start - " - 5390
	End - " - 5520
Spaltenbreite : 1,8 mm →	Start - " - 5380
	End - " - 5530
Spaltenbreite : 2,0 mm →	Start - " - 5370
	End - " - 5540

5)

Jahr	bF [mm]	bA [mm]
1	0,1	0,5
2	0,5	1,5
3	1,0	0,5
4	0,5	1,0
5	0,5	0,1
6		
7		
8		
9		
10		

### Veränderung

→ Verstärker : 1000  
 Start : 5370 End : 5540  
 → Verstärker : 99,856

→ Start : 5410 End : 5500

Date:

D: / Daten / Gruppe 4 / G4-grüne-Hg-Linie

A5-~~Wert~~ E [Wert] - A [Wert].txt.

Stefan WPP Charlotte

## **4 Auswertung und Diskussion**

### **4.1 Teilauswertung X**

## **5 Fazit**

# **A Append A**

## **A.1 Teilanhang X**

# Literaturverzeichnis

- AGILENT 2006 *Benutzerhandbuch Agilent 34410A/11A, Multimeter mit 6<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Stellen*, 3. Auflage.
- AHLERS, G. & REHBERG, I. 1986 Convection in a binary mixture heated from below. *Phys. Rev. Lett.* 56 (13), 1373–1376.
- DIERKING, I. 2003 *Textures of Liquid Crystals*, chap. 5, pp. 54–74. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- GOBRECHT, H. 1978 *Bergmann–Schäfer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Band III Optik*, 7. Auflage, pp. 418–419. Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- KHAZIMULLIN, M., MÜLLER, T., MESSLINGER, S., REHBERG, I., SCHÖPF, W., KREKHOV, A., PETTAU, R., KREGER, K. & SCHMIDT, H.-W. 2011 Gel formation in a mixture of a block copolymer and a nematic liquid crystal. *Phys. Rev. E* 84, 021710: 1–11.
- KHOO, I.-C. 2007 *Liquid Crystals*, 2nd edn. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- KOPKA, H. 2000 *L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, Band 1 — Einführung*, 3. überarbeitete Auflage. München; Boston; San Francisco [u.a.]: Addison-Wesley Verlag.
- KRAMER, C. 2010 *Das magnetische Moment*. Bachelorarbeit, Universität Bayreuth.
- KRAMER, L. & PESCH, W. 1996 Electrohydrodynamic instabilities in nematic liquid crystals. In *Pattern Formation in Liquid Crystals* (eds. Á. Buka & L. Kramer), pp. 221–255. New York; Berlin; Heidelberg: Springer.
- LAFUENTE, Ö. 2005 *Thermoreversible Gele von isotropen und anisotropen Flüssigkeiten mit chiralen Organogelatoren*. Doktorarbeit, Universität Bayreuth.
- LAMPORT, L. 1995 *Das L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X-Handbuch*. Bonn; Paris; Reading, Mass. [u.a.]: Addison-Wesley Verlag.
- L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2011 Latex — A document preparation system. URL <http://www.latex-project.org/> – Zugriffsdatum: 10.05.2011.
- MADSEN, L. 2006 Avoid eqnarray. *The PracT<sub>E</sub>X Journal* 1 (4).
- MEARS, W. H., ROSENTHAL, E. & SINKA, J. V. 1969 Physical properties and virial coefficients of sulfur hexafluoride. *J. Phys. Chem.* 73 (7), 2254–2261.

## *Literaturverzeichnis*

- MiKTeX 2011 MiKTeX Project Page. URL <http://www.miktex.org/> – Zugriffsdatum: 11.11.2011.
- MÜLLER, T., PÖHLMANN, A. & MESSLINGER, S. 2011 Normalizing radial distribution functions on truncated regions. Internes Dokument, Experimentalphysik V, Universität Bayreuth.
- REHBERG, I. 2011 Persönliche Mitteilung.
- SCHÖPF, W. 1988 *Konvektion in binären Flüssigkeiten und multikritisches Verhalten in der Nähe des Kodimension-2-Punktes*. Diplomarbeit, Universität Bayreuth.
- STIEB, A., BAUR, G. & MEIER, G. 1975 Alignment inversion walls in nematic liquid crystal layers deformed by an electric field. *J. Phy. (Paris) Colloq.* 36 (C1), 185.
- TEXNICCENTER 2011 TeXnicCenter — the Center of your L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X Universe. URL <http://www.texniccenter.org/> – Zugriffsdatum: 15.11.2011.