

Physikalisches Praktikum B

Sommersemester 2021

Spektrometer

Versuch SP

Gruppe: 6
Versuchstag: 24.03.2021
Betreuer: Uwe Gerken

Auswerteperson

Messperson

Protokollperson

Anna-Maria Pleyer

Paul Schwanitz

Dominik Müller



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Fragen zur Vorbereitung	6
2.1	Elektromagnetisches Spektrum	6
2.2	Spektrallinien	7
2.3	Quecksilberdampf Lampe	7
2.4	Versuchsaufbau	8
2.5	Auflösungsvermögen des Monochromator	9
2.6	Faltung zweier Rechteckfunktionen	10
3	Auswertung - Messungen mit der Quecksilberdampf Lampe	12
3.1	Komplettes Spektrum der Hg-Dampf Lampe	12
3.2	Gemessene Linien - Vergleich mit der Literatur	14
3.3	Maximale Spaltbreite	16
3.4	Grüne Hg-Linie bei verschiedenen Spaltbreiten	18
3.5	Grüne Hg-Linie bei unterschiedlichen Ein-/ Austrittsspalten	20
4	Fazit	22
A	Messprotokoll	23
B	Regression einer Gerade	55
B.1	Vorbereitung	55
B.2	Berechnung der Parameter	56
	Literaturverzeichnis	57

1 Einleitung

Ein Spektrometer, ist ein Messgerät, das Strahlung in ihre unterschiedlichen Wellenlängen zerlegen kann. Dieses Gerät kann die gemessenen elektromagnetischen Wellen entweder als Funktion der Wellenlänge, der Frequenz oder als Funktion der Energie darstellen.

Es gibt verschiedene Arten von Spektrometern, zum einem das optische Spektrometer.

Hierbei wird mithilfe Brechungsvorgängen in einem Prisma oder durch Beugung an einem Gitter die verschiedenen Wellenlängen getrennt.

Die Frequenzanteile können mithilfe der Fourieranalyse bestimmt werden (FTIR-Spektrometer).

Weitere Arten sind die Teilchenstrahlenspektroskopie und die Massenspektrometrie. Die Spektroskopie gibt unter anderem Aufschluss über das Emissions- und Absorptionsverhalten von Materialien.

In diesem Versuch wird das Gitterspektrometer genauer untersucht. Ziel wird es sein, dessen Funktionsweise und Leistungsfähigkeit näher kennenzulernen, indem man die Transmissionseigenschaften verschiedener Filtergläser bestimmt. Zudem werden Messungen an den Emissionslinien einer Quecksilberdampfampe durchgeführt.

2 Fragen zur Vorbereitung

2.1 Elektromagnetisches Spektrum

Skizzieren Sie das elektromagnetische Spektrum. Erläutern Sie die einzelnen Bereiche und nennen Sie für jeden Bereich ein Beispiel für Erzeugung und Detektion.

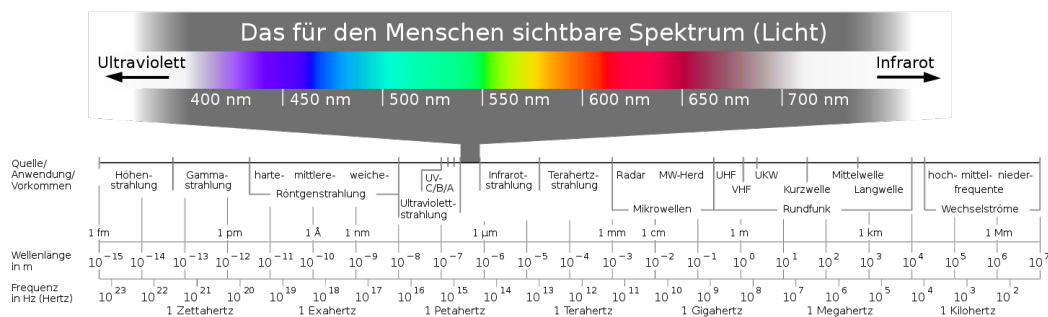


Abbildung 2.1: Das Elektromagnetisches Spektrum (vgl. Wikipedia, 2021 a)

Bezeichnung	Frequenz in Hz	Erzeugung	Detektion
Niederfrequenz	$10^1 - 10^4$	Generatoren	Wechselstrominstrumente
Radiowellen	$10^4 - 10^7$	Röhrensender	abgestimmte Empfänger (Antenne)
Mikrowellen	$10^8 - 10^{12}$	Magnetron Röhrensender mit hohen Frequenzen	Antenne
Infrarotstrahlung	$10^{11} - 10^{14}$	besondere Lichtquellen (Sonne)	Fotoplatte
Licht	$10^{14} - 10^{15}$	Emission der Sonne Lichtquelle	Auge, Fotoplatte
UV-Strahlen	$10^{15} - 10^{17}$	Gasentladung	Fotozellen
Röntgenstrahlung	$10^{16} - 10^{21}$	Röntgenröhre	Ionisation
γ - Strahlung	$10^{18} - 10^{23}$	Radioaktive Zerfällen	Geiger-Müllerzählrohr, Fotoplatte

Tabelle 2.1: Bereich des Elektromagnetischen Spektrum (D. Mende und G. Simon, 2016, S. 300)

2.2 Spektrallinien

Was sind Spektrallinien? Wie kommen sie zustande und was versteht man unter der natürlichen Linienbreite?

Spektrallinien sind diskrete (d.h. scharf zu trennende) elektromagnetische Wellenbereiche eines emittierten oder absorbierten Spektrums. Sie entstehen durch einen Wechsel der Atome oder Moleküle in andere Energieniveaus.

Man unterscheidet zwischen Emissionslinien und Absorptionslinien. Eine *Absorptionslinie* zeigt sich im Spektrum als helle Linie, diese entwickeln sich durch einen Wechsel von einem höheren auf ein tieferes Energieniveau.

Im Gegensatz hierzu gibt es noch das *Emissionsspektrum*, hierbei treten schwarze Linien auf. Diese entstehen wenn es zu einem Übergang von einem niedrigeren in ein höheres Energieniveau kommt. (vgl. S. Roth und A. Stahl, 2019)

Zudem gibt es noch die natürliche Linienbreite. Sie ist die kleinst mögliche Spektrallinie eines Atom oder Moleküls. Mithilfe der Heisenbergsche Unschärferelation, genauer der Energie-Zeit-Unschärfe $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$, kann man die Größe der natürlichen Linienbreite bestimmen. Daraus kann gefolgert werden, dass die Spektrallinien endliche Linienbreiten haben. (vgl. Spektrum, 2021)

2.3 Quecksilberdampf Lampe

Wie funktioniert eine Quecksilberdampf Lampe? Recherchieren Sie unter deren 7 hellsten Spektrallinien im Bereich von 300 bis 900 nm.

Eine Quecksilberdampf Lampe ist eine Gasentladungslampe die, wie der Name schon verrät, mit Quecksilber gefüllt ist, um die Zündung zu erleichtern wird sie meist noch mit einem Edelgas gefüllt.

In der Lampe befindet sich ein Entladungsrohr und an dessen Seiten jeweils eine Elektrode, mit einer Anode (Pluspol) und einer Kathode (Minuspole). Wird nun eine passende Spannung angelegt, so bewegen sich die Elektronen zur Anode. Ist die Spannung ausreichend groß, so stoßen die Elektronen bei hoher kinetischer Energie mit den Quecksilberatomen zusammen. Das hat zur Folge, dass das Atom sich in einem angeregten Zustand befindet. Durch weitere Ionisierung der Quecksilberatome kommt es zum Stromfluss zwischen den Elektroden.

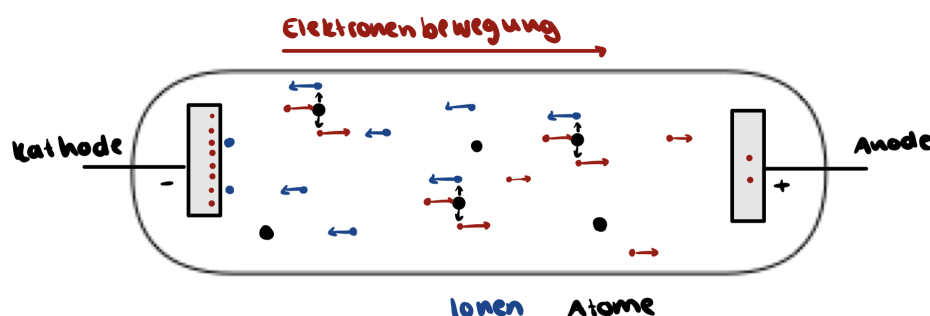


Abbildung 2.2: Schematischer Aufbau einer Quecksilberdampf Lampe

Hellsten Spektren:

Nummer	Wellenlänge in nm	Spektralbereich	Linie
1	365,01	Ultra Violett	i-Linie
2	404,66	Violett	h-Linie
3	435,83	Blau	g-Linie
4	546,07	Grün	e-Linie
5	576,96	Orange	
6	579,07	Orange	
7	614,95	Rot	

Tabelle 2.2: Hellste Spektren von Quecksilber im Bereich 300nm und 900nm (vgl. Wikipedia, 2021b)

2.4 Versuchsaufbau

Betrachten Sie den Versuchsaufbau in Abb. SP.1. Wie weit müssen die Hohlspiegel von den Spalten entfernt sein und wie weit die Sammellinse vom Eintrittspalt?

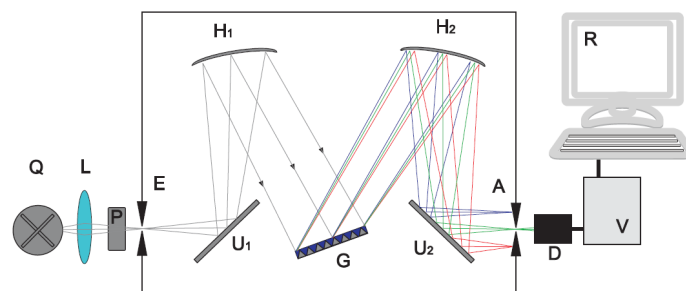


Abbildung 2.3: Abb. SP.1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbau

Unter der Voraussetzung, dass der Spalt vollkommen ausgeleuchtet sein sollte, sollte man eine 1:1 Abbildung schaffen.

Die Abstände müssen der Abbildungsgleichung genügen:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

Wobei b der Abstand zwischen Bild und Linse ist, g der Abstand von Linse zum Gegenstand und f die Brennweite. Setzt man nun $b = g$, um die Voraussetzung zu erfüllen, so folgt: $b = g = 2f$. Somit sollte zwischen Hohlspiegel und Spalt, sowie zwischen Sammellinse und Eintrittspalt die doppelte Brennweite als Abstand eingestellt werden.

2.5 Auflösungsvermögen des Monochromator

Berechnen Sie das Auflösungsvermögen des verwendeten Monochromators bei einer Ein- und Austrittsspaltöffnung von je $20\text{ }\mu\text{m}$ und einer Wellenlänge von 546 nm (grüne Hg-Linie). Wie signifikant ist der Beitrag des Gitters?

Für das Auflösungsvermögen des Monochromator gilt laut Gleichung (6) im Skript:

$$\Delta\lambda_M = \sqrt{(\Delta\lambda_S)^2 + (\Delta\lambda_G)^2}$$

Wobei zusätzlich nach Skript gilt:

$$\Delta\lambda_S = \sqrt{(\Delta\lambda_e)^2 + (\Delta\lambda_a)^2}$$

$$\Delta\lambda_a = \frac{b}{f} s_a$$

$$\Delta\lambda_e = \frac{b}{f} s_e$$

$$\Delta\lambda_G = \frac{\lambda}{kN}$$

mit den Angaben:

Gitterkonstante	b	=	$\frac{1\text{ mm}}{1200} = 833\text{ nm}$
Hohlspiegelbrennweite	f	=	250 mm
Eintrittspaltbreite	s_e	=	$20\text{ }\mu\text{m}$
Austrittspaltbreite	s_a	=	$20\text{ }\mu\text{m}$
Wellenlänge	λ	=	546 nm
Ordnung	k	=	1
Beleuchtete Gitterlinien	N	=	$\frac{1200}{\text{mm}} \cdot 58\text{ mm} = 69600$

$$\Delta\lambda_S = 94,24\text{ pm}$$

$$\Delta\lambda_G = 7,844\text{ pm}$$

$$\Rightarrow \Delta\lambda_M = 94,57\text{ pm} \approx \Delta\lambda_S$$

Wie zu erkennen ist, ist der Beitrag des Gitters signifikant klein. Das spektrale Auflösungsvermögen beträgt:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda_M} = 5773,5$$

2.6 Faltung zweier Rechteckfunktionen

Berechnen Sie die Faltung zweier Rechtecksfunktionen. Interpretieren Sie das Ergebnis in Bezug auf unterschiedliche Breiten von Ein- und Austrittsspalt am Monochromator.

Das Faltungsintegral ist wie folgt definiert:

$$(f * g)(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(x - \tau)d\tau$$

Da die Lösung dieses Integrals meist umständlich ist, kann man es in einfachen Fällen auch graphisch lösen.

Zuerst muss man die Funktionen, in unserem Fall zwei Rechtecksfunktionen, zeichnen.

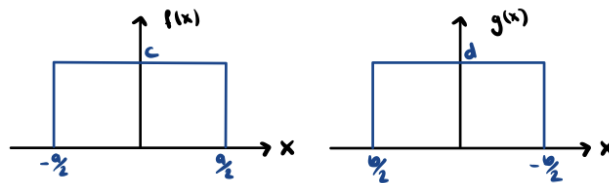


Abbildung 2.4: Graphen von $f(x)$ und $g(x)$

Im nächsten Schritt spiegelt man die zweite Funktion $g(x) \rightarrow g(-x)$.

Nun zeichnet man beide Funktionen, also f und das gespiegelte g , in einen Graphen, die Fläche in der sie sich überschneiden ist die gesuchte Fläche von $(f * g)(x)$.

In unserem Beispiel macht es Sinn eine Fallunterscheidung zu machen:

Fall 1: $a = b$

Der Einfachheit geschuldet nehmen wir an dass die Höhen c und d der beiden Funktionen identisch sind. Wie man aus der Abbildung 2.5 erkennt, folgt für Fall 1 dass die Fläche von $(f * g)(x)$ ein Dreieck ist.

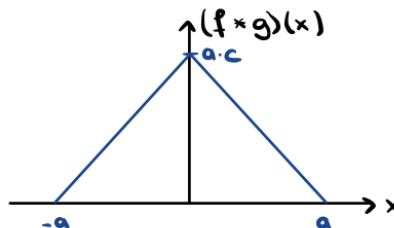


Abbildung 2.5: Graph zu Fall 1

Fall 2: $b > a$

Auch hier nehmen wir wieder an, dass die Höhen gleich sind. Da b nun kleiner als a ist, fällt die Spitze des Dreiecks aus Fall 1 weg, es ergibt sich für die gesuchte Fläche ein Trapez.

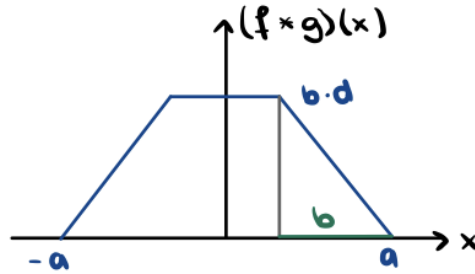


Abbildung 2.6: Graph zu Fall 2

3 Auswertung - Messungen mit der Quecksilberdampflampe

3.1 Komplettes Spektrum der Hg-Dampflampe

Das mithilfe des Spektroskops aufgenommene Spektrum sieht wie folgt aus:

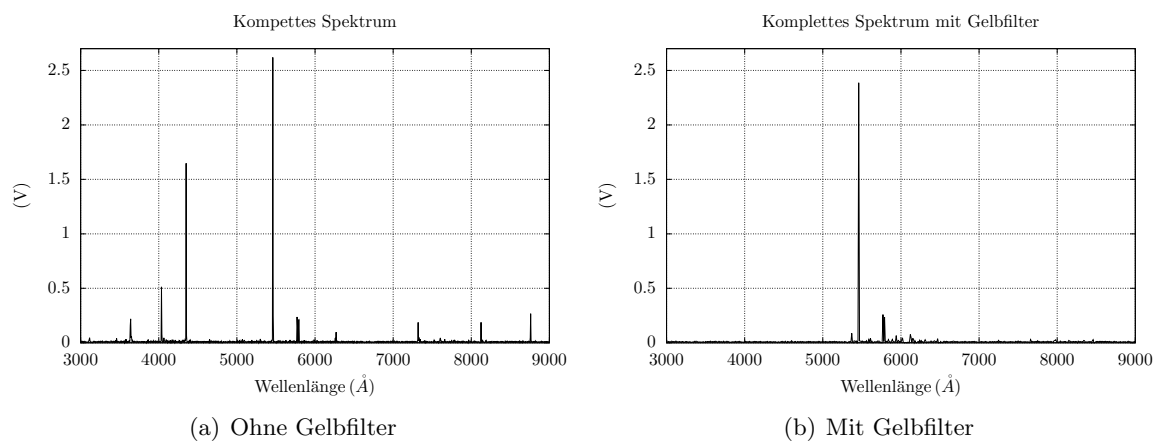


Abbildung 3.1: Spektrum jeweils mit und ohne Gelbfilter

Ohne einen Gelbfilter sind 9 Peaks ersichtbar. Mit Gelbfilter werden nur noch 3 registriert. Dies liegt daran, dass durch einen Gelbfilter Spektrallinien zweiter Ordnung nicht mehr sichtbar sind. Werden nun beide Plots zusammen in ein Diagramm gezeichnet, erkennt man leicht welche der Peaks erste oder zweite Ordnung sind:

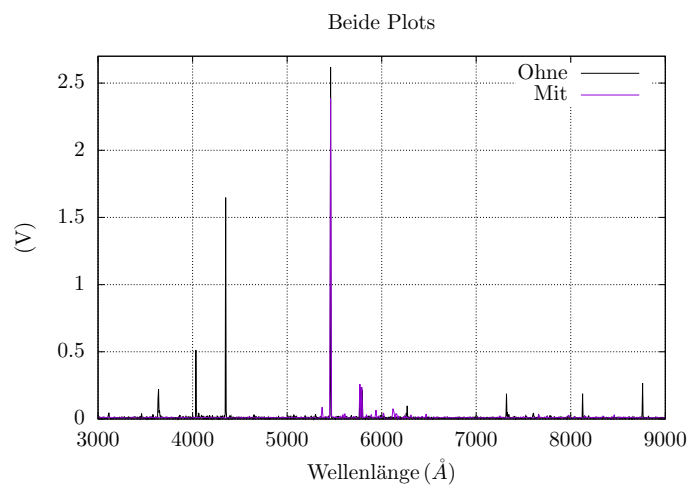


Abbildung 3.2: Beide Spektren

3.1 Komplettes Spektrum der Hg-Dampfampe

Alle schwarzen Peaks, welche nicht von den violetten Peaks des Gelbfilters überdeckt werden, sind Linien der zweiten Ordnung. Somit kann man folgende Linien identifizieren:

Kennlinie	gemessene Wellenlänge (nm)	Ordnung der Linie
i-Linie	364,0	Linie zweiter Ordnung
h-Linie (Doppelinie)	403,5	Linie zweiter Ordnung
g-Linie	435,0	Linie zweiter Ordnung
e-Linie	546,0	Linie erster Ordnung
gelbfarb. Doppelinie (I.)	577,0	Linie erster Ordnung
gelbfarb. Doppelinie (II.)	579,5	Linie erster Ordnung
-	627,0	Linie zweiter Ordnung
-	732,0	Linie zweiter Ordnung
-	812,5	Linie zweiter Ordnung
-	876,0	Linie zweiter Ordnung

Tabelle 3.1: Benennung gemessener Kennlinien (vgl. Wikipedia, 2021 *c*)

Die letzteren Linien lassen sich erklären, da die Quecksilber Dampfampe, zur leichteren Zündung, mit einem Edelgas gefüllt ist. Dieses wird auch angeregt und strahlt Licht in seiner spezifischen Wellenlänge ab. Physikalisch sind die Linien zweiter Ordnung erklärt, da diese das Abbild einer Linier erster Ordnung sind, aber mit der doppelten Wellenlänge.

3.2 Gemessene Linien - Vergleich mit der Literatur

Im nächsten Versuch wurden 5 Linien einzeln angefahren und diese nochmal genauer aufgenommen. Dabei konnten folgende Linien identifiziert werden:

Gemessene Linie	Kennlinie	gemessene Wellenlänge (nm)	Literaturwert (nm)
1	e-Linie	546,0	546,1
2	g-Linie	435,0	435,8
3	h-Linie (Doppelinie)	403,6 / 406,6	404,7 / 407,8
4	i-Linie	363,7 / 365,0	365,5 ¹
5	gelbfarb. Doppelinie	577,2 / 579,2	577,0 / 579,1

Tabelle 3.2: Vergleich gemessene Kennlinien (vgl. Hammer/Hammer, 2002, S. 88)

Nun werden die Abweichungen der jeweiligen Linien in einem Diagramm zusammengefasst. Bei der 3ten gemessenen Linie, wurde die Wellenlänge des größeren Peaks verwendet. Es ergibt sich folgende Wertetabelle:

Gemessene Linie	gemessene Wellenlänge (nm)	Differenz
1	546,0	0,1
2	435,0	0,8
3 (I.)	403,6	1,1
3 (II.)	406,6	1,2
4	363,7	1,8
5 (I.)	577,2	0,2
5 (II.)	579,2	0,1

Tabelle 3.3: Abweichungen der gemessenen Linien

In ein Diagramm eingezeichnet ergibt sich folgende Verteilung:

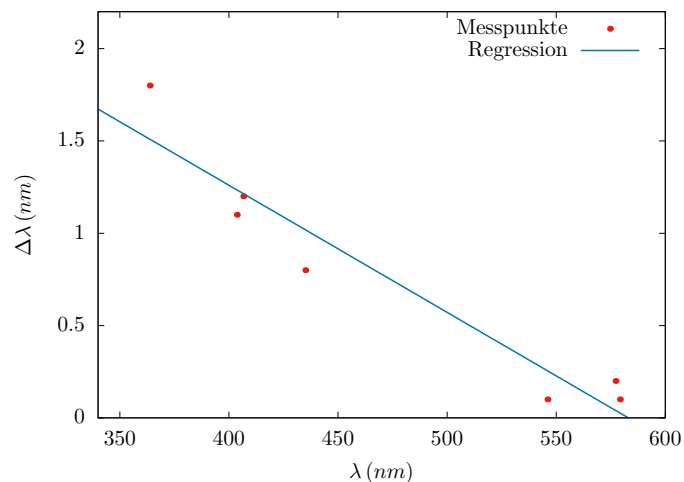


Abbildung 3.3: Abweichungen der Messung

¹(vgl. D. Mende und G. Simon, 2016, S. 339)

3.2 Gemessene Linien - Vergleich mit der Literatur

Die in dem Diagramm eingezeichnete Regressions-Gerade wurde mit GNU-Plot bestimmt. Die errechneten Parameter und deren Abweichungen lauten:

$$a = -0.00688141 \qquad b = 4.01235 \qquad (3.1)$$

$$s_a = 0.0009062 \qquad s_b = 0.4355 \qquad (3.2)$$

Im Anhang (B) werden aber die Koeffizienten der Regressionsgerade nochmal mithilfe des Skriptes "Fehlerrechnung" bestimmt. Dort ergeben sich folgende Koeffizienten:

$$a = -6,88 \cdot 10^{-3} \qquad b = 4,01 \qquad (3.3)$$

$$s_a = 4,47 \cdot 10^{-3} \qquad s_b = 0,097 \qquad (3.4)$$

Die beiden Rechnungen stimmen überein.

Es fällt auf, dass mit steigender Wellenlängenzahl die Differenz zwischen des gemessenenen Werten und des Literaturwertes abnimmt. Ein möglicher Grund hierfür, könnte die Mechanik des Spektrometers sein. Die größte Abweichung war in der Nähe bei 350 nm festzustellen. Das Spektrum wurde von 300 nm bis 900 nm aufgenommen. Am Rand des Messgerätes kann es dazu kommen, dass der Schlitten mit dem Umlenkspiegel etwas Spiel hat und somit nicht genau die Position des Schlittens mit der Position des Schrittmotors übereinstimmt.

3.3 Maximale Spaltbreite

Bei der Messung mit der Spaltbreite 0,3 mm kann man noch die beiden Spektren auflösen. Bei der nächsten Messung hatte der Spalt eine Breite von 0,6 mm. Dort war die Doppelinie nicht mehr erkennbar:

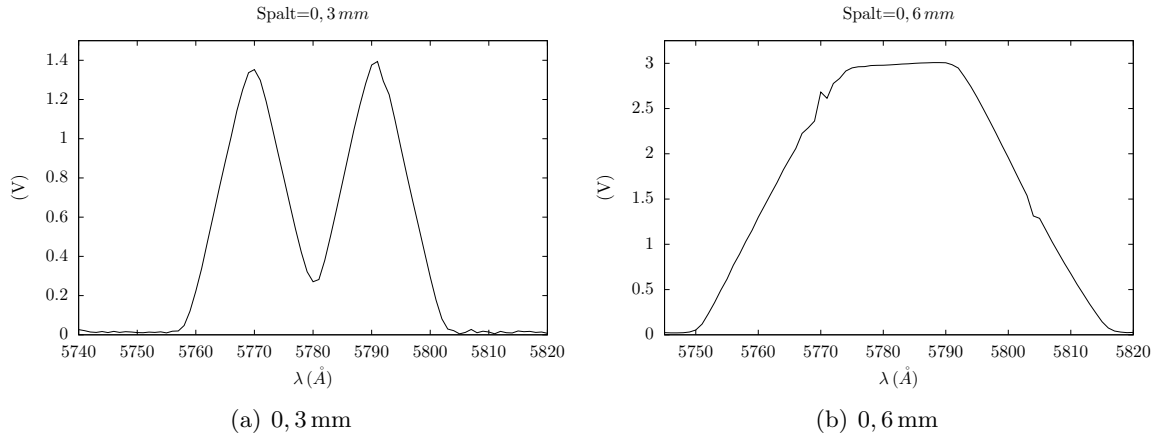


Abbildung 3.4: Spektrum bei verschiedenen Spaltbreiten

Nun soll die maximale Auflösung $\Delta\lambda_M$ des Spektrometers bestimmt werden. Dies wird mithilfe der Formel aus den Fragen zur Vorberereitung gemacht:

$$\Delta\lambda_M = \sqrt{(\Delta\lambda_S)^2 + (\Delta\lambda_G)^2} \quad (3.5)$$

Desweiteren wurde in den Fragen zur Vorbereitung gezeigt, dass der Einfluss des Gitters nicht signifikant ist und deshalb vernachlässigbar ist. Somit folgt nun:

$$\Delta\lambda_M = \Delta\lambda_S \quad (3.6)$$

$$= \sqrt{(\Delta\lambda_e)^2 + (\Delta\lambda_a)^2} \quad (3.7)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{b}{f}s_e\right)^2 + \left(\frac{b}{f}s_a\right)^2} \quad (3.8)$$

Letzteres kann wegen $s_e = s_a$ zu umgeformt werden:

$$\Delta\lambda_M = \sqrt{2} \cdot \frac{b}{f} \cdot s \quad (3.9)$$

s bezeichnet hier die Spaltbreite, b ist die Gitterkonstante und f ist die Hohlspiegelbrennweite. Die Werte für b und f stehen in den Fragen zur Vorbereitung. Mit einer Spaltbreite von 0,3 mm ergibt sich eine Auflösung von:

$$\Delta\lambda_M = \sqrt{2} \cdot \frac{833 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{250 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (3.10)$$

$$= 1,414 \text{ nm} \quad (3.11)$$

Die beiden Peaks im Spektrum liegen bei $\lambda_1 = 577,0 \text{ nm}$ und $\lambda_2 = 579,1 \text{ nm}$. Somit ergibt sich für das spektrale Auslösungsvermögen (A):

$$A = \frac{\lambda}{\lambda_M} \quad (3.12)$$

$$A_1 = \frac{577,0 \text{ nm}}{1,414 \text{ nm}} \quad (3.13)$$

$$= 408,1 \quad (3.14)$$

$$A_2 = \frac{579,1 \text{ nm}}{1,414 \text{ nm}} \quad (3.15)$$

$$= 409,5 \quad (3.16)$$

Das Ergebnis ist sinnvoll, da in den Fragen zur Vorbereitung ein Spalt mit einer Größenordnung kleiner verwendet wurde und das in den Fragen zur Vorbereitung errechnete Auflösungsvermögen um eine Größenordnung größer ist als unsere.

3.4 Grüne Hg-Linie bei verschiedenen Spaltbreiten

Für die spektrale Breite gilt, wie bereits bekannt:

$$\Delta\lambda_M = \sqrt{2} \frac{b}{f} s \quad (3.17)$$

Die wahre Linienbreite $\Delta\lambda_L$ kann aus Gleichung (7) der Versuchsanleitung hergeleitet werden. Es gilt:

$$\Delta\lambda_L = \sqrt{(\Delta\lambda)^2 + (\Delta\lambda_M)^2} \quad (3.18)$$

$$s_{\Delta\lambda_L} = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\lambda_L} s_{\Delta\lambda} \quad (3.19)$$

Somit ergeben sich folgende Werte:

s / mm	λ_2 / nm	λ_1 / nm	s_λ / nm	$\Delta\lambda$ / nm	$s_{\Delta\lambda}$ / nm	$\Delta\lambda_M$ / nm	$\Delta\lambda_L$ / nm	$s_{\Delta\lambda_L}$ / nm
0,1	546,75	545,25	0,25	1,50	0,3535534	0,4712160	1,4240630	0,3724063
0,2	547,00	544,75	0,25	2,25	0,3535534	0,9424319	2,0431158	0,3893539
0,4	547,75	544,25	0,25	3,50	0,3535534	1,8848638	2,9491165	0,4195958
0,6	548,50	543,75	0,25	4,75	0,3535534	2,8272958	3,8169227	0,4399823
0,8	549,25	543,00	0,25	6,25	0,3535534	3,7697277	4,9851433	0,4432588
1,0	550,00	542,25	0,25	7,75	0,3535534	4,7121596	6,1528897	0,4453255
1,2	550,50	541,50	0,5	9,00	0,7071068	5,6545915	7,0018280	0,9088999
1,4	551,50	541,00	0,5	10,50	0,7071068	6,5970234	8,1687993	0,9088999
1,6	552,00	540,50	0,5	11,50	0,7071068	7,5394553	8,6836981	0,9364361
1,8	553,00	540,50	0,5	12,50	0,7071068	8,4818873	9,1819164	0,9626351
2,0	554,00	540,00	0,5	14,00	0,7071068	9,4243192	10,3528840	0,9562065

Tabelle 3.4: Tabelle aller Werte zu 3.4

Im folgenden werden die Werte Graphisch dargestellt:

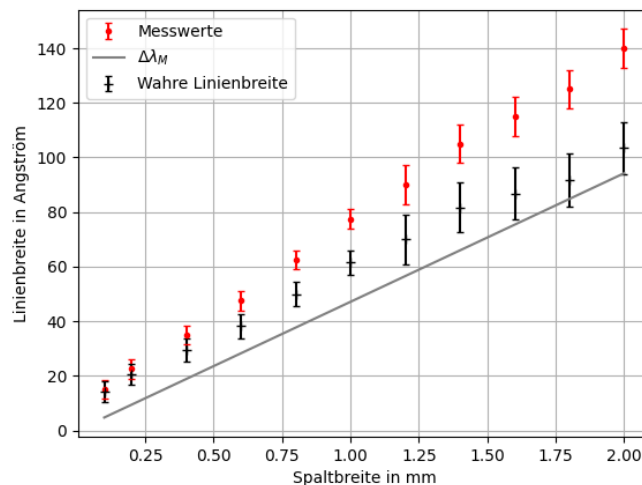


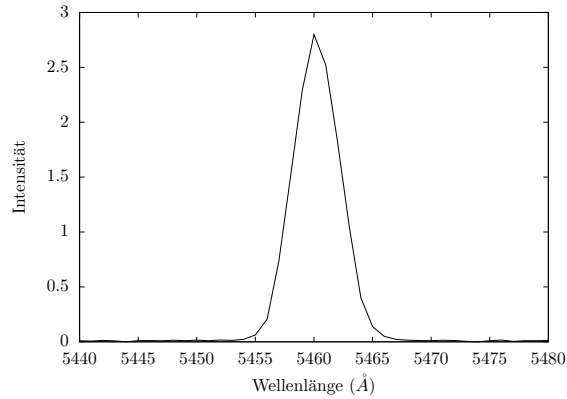
Abbildung 3.5: Graphische Darstellung der Werte aus Tabelle 3.4

3.4 Grüne Hg-Linie bei verschiedenen Spaltbreiten

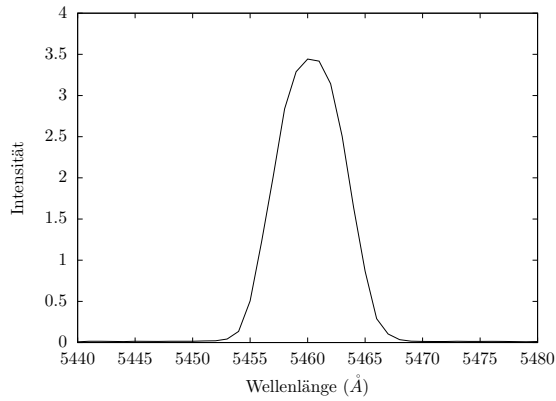
Betrachtet man Abbildung 3.5 genauer, so fällt sofort auf, dass mit zunehmender apparativ bedingter minimaler Breite $\Delta\lambda_M$ auch die gemessene Linienbreite zu nimmt. Dies ist nicht weiter erstaunlich, da die Spektrallinie dadurch nicht mehr so genau aufgelöst werden kann. Was zu einer Verbreiterung der Spektrallinie führt, wie in der obigen Abbildung deutlich wird. Aus diesem Grund ist es auch logisch, dass die drei Werte annähernd parallel verlaufen.

3.5 Grüne Hg-Linie bei unterschiedlichen Ein-/ Austrittsspalten

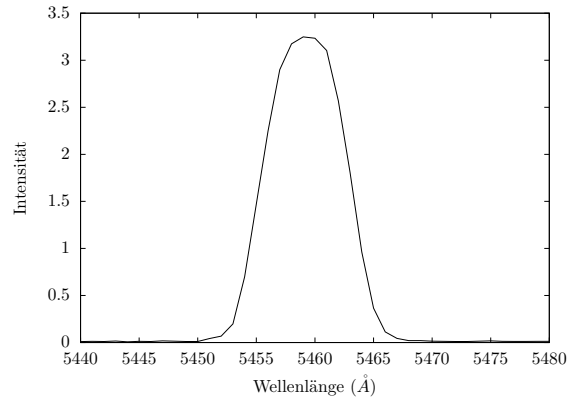
Im folgenden sind die Messungen abgebildet, wobei E für die Breite des Eintrittsspalts steht und A für die des Austrittsspalts.



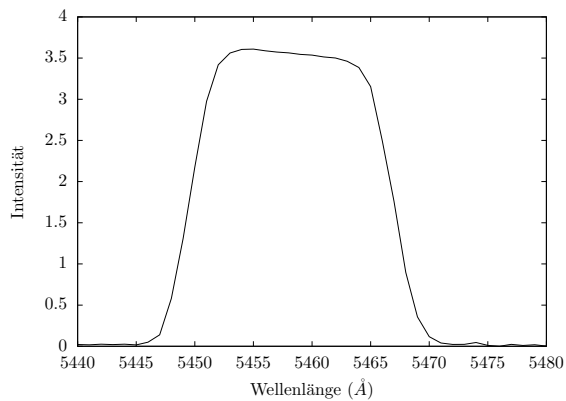
(a) $E = A = 0,1 \text{ mm}$



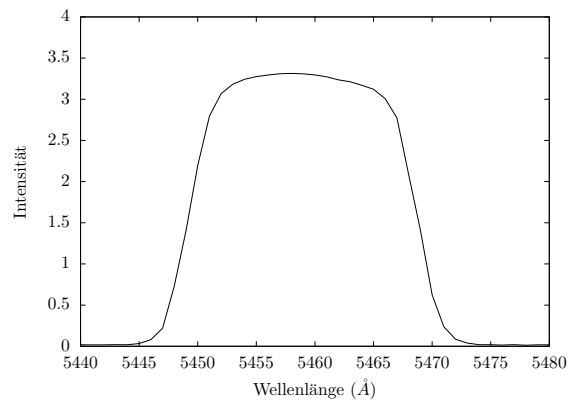
(b) $E = 0,1 \text{ mm} \quad A = 0,2 \text{ mm}$



(c) $E = 0,2 \text{ mm} \quad A = 0,1 \text{ mm}$



(d) $E = 0,1 \text{ mm} \quad A = 0,5 \text{ mm}$



(e) $E = 0,5 \text{ mm} \quad A = 0,1 \text{ mm}$

Abbildung 3.6: Messungen der Grünen Hg-Linie bei verschiedenen Spaltbreiten

3.5 Grüne Hg-Linie bei unterschiedlichen Ein-/ Austrittsspalten

In der 6. Frage der Fragen zur Vorbereitung wurde gezeigt, dass für eine Faltung bei gleicher Spaltbreite ein Dreieck entsteht. Sind die Spaltbreiten nun verschieden, ist das Ergebnis jedoch ein Trapez. Wie in der Grafik zu sehen ist, wird dies durch unsere Messung klar bestätigt. Des Weiteren ist zu sehen, dass mit zunehmenden Spaltbreitenunterschied die obere Länge des Trapezes größer wird.

Mithilfe der Linienbreiten aus der letzten Aufgabe wollen wir dies im folgenden quantitativ betrachten.

Für die Linienbreiten, bei gleicher Ein- und Austrittsspaltgröße gilt:

$$\Delta\lambda_{0,1\text{ mm}} = (1,50 \pm 0,4) \text{ nm} \quad (3.20)$$

$$\Delta\lambda_{0,5\text{ mm}} \approx \frac{1}{2}(\Delta\lambda_{0,4\text{ mm}} + \Delta\lambda_{0,6\text{ mm}}) = (4,13 \pm 0,3) \text{ nm} \quad (3.21)$$

Mithilfe der Abbildungen 3.6 d) und e) kann die obere breite des Trapezes abgeschätzt werden.

$$\Delta\lambda_{d/e} = (2,25 \pm 0,4) \text{ nm} \quad (3.22)$$

Laut Frage 6 der Fragen zur Vorbereitung gilt für diese Länge:

$$\Delta\lambda_{\text{Theorie}} = \Delta\lambda_{0,5\text{ mm}} - \Delta\lambda_{0,1\text{ mm}} = (2,63 \pm 0,5) \text{ nm} \quad (3.23)$$

Dies kommt der Abschätzung sehr nahe, somit bestätigt es die Theorie aus Frage 6.

4 Fazit

In diesem Versuch wurde der Umgang mit dem Gitterspektrometer erlernt. Mithilfe des Spektrometers wurden Spektren einer Quecksilberdampf Lampe, mit und ohne Gelbfilter aufgenommen und anschließend sowohl miteinander als auch mit der Literatur verglichen.

Zum Schluss wurde noch die grüne Quecksilberlinie genauer betrachtet. Hier wurde die mathematische Operation, Faltung und das wirkliche Experiment miteinander in Verbindung gebracht.

A Messprotokoll

Versuch: SP - Das Spektrometer

1. Allgemeines

Ort: Universität Bayreuth, NWII

Raum: 2.1.02.674

Datum: 24.03.2021

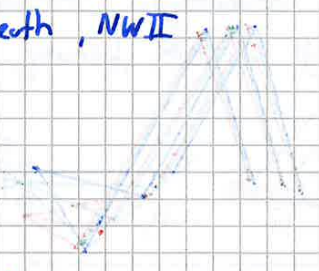
Start: 10:30

Gruppe: 6

Messperson: Paul Schwanitz

Protokollperson: Dominik Müller

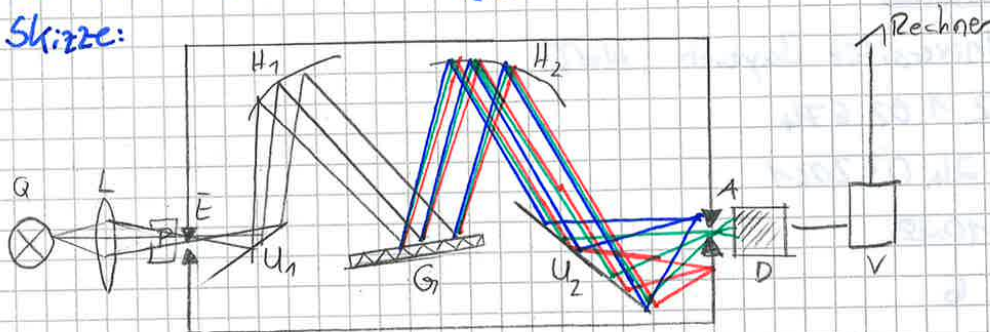
Auswerteperson: Anna-Maria Pleyer



2 Versuchsaufbau

Der Aufbau des Versuches ist gegeben durch:

Skizze:



Q: Lichtquelle

L: Sammellinse

P: Probe

E: Eintrittsspalt

U₁: Umlenkspiegel (1)

H₁: Hohlspiegel (1)

G: Gitter

H₂: Hohlspiegel (2)

U₂: Umlenkspiegel (2)

A: Austrittsspalt

D: Detektor

V: Verstärker

R: Rechner

E = 0,1 mm; A = 0,1 mm

3. Verwendete Messgröße & Fehler

- Spektrometer (HR 250):

- Gesamtverstärkung für je Aufgabe, wenn nicht anderes angegeben: 1000

- Schrittweite für G.2.1: 10 Å, sonst 1 Å

- Messdauer: 200 ms

- Von gemessener Spektrallinie abhängig ist, Start-/Stoppwellenlänge

- Verstärker: ELUB 6/48 Verstärker für Spektrometer

4. Justieren des Spektrometers

Das Spektrometer wurde gemäß der Versuchsanleitung justiert und vom Betreiber abgenommen.

Dabei wurde darauf geachtet, dass die Hg-Lampe 5 min. vorgeheizt wurde.

5 Messungen mit der Quecksilberdampf-Lampe

5.1 Komplettes Spektrum

Das komplette Spektrum der aufheizten Quecksilberdampf-Lampe wurde von 300-800 nm aufgenommen.

Diese wurde einmal mit und einmal ohne Gelbfilter aufgenommen.

Ohne Gelbfilter: 6.2.1 (1)

Mit Gelbfilter: 6.2.1 (2)

5.2 Einzelne Spektren

Die in 6.2.1 (1) eingezeichneten Spektren wurden nochmals gemessen. Der Gelbfilter wurde entfernt

① → 6.2.2 (1)

② → 6.2.2 (2)

③ → 6.2.2 (3)

④ → 6.2.2 (4)

⑤ → 6.2.2 (5)

5.3 Verschiedene Spaltbreiten

Nun werden die Spaltbreiten des Eingangs- & Ausgangsspaltes synchron verändert und dann jeweils das Spektrum der gelben Hg-Doppellinie gemessen:

Spaltbreite L	Datei
$E = A = 0,1 \text{ mm}$	6.2.3 (1)
$E = A = 0,3 \text{ mm}$	6.2.3 (2)
$E = A = 0,6 \text{ mm}$	6.2.3 (3)
$E = A = 1 \text{ mm}$	6.2.3 (4) * Verstärkung: 316

5.4 grüne Hg-Linie

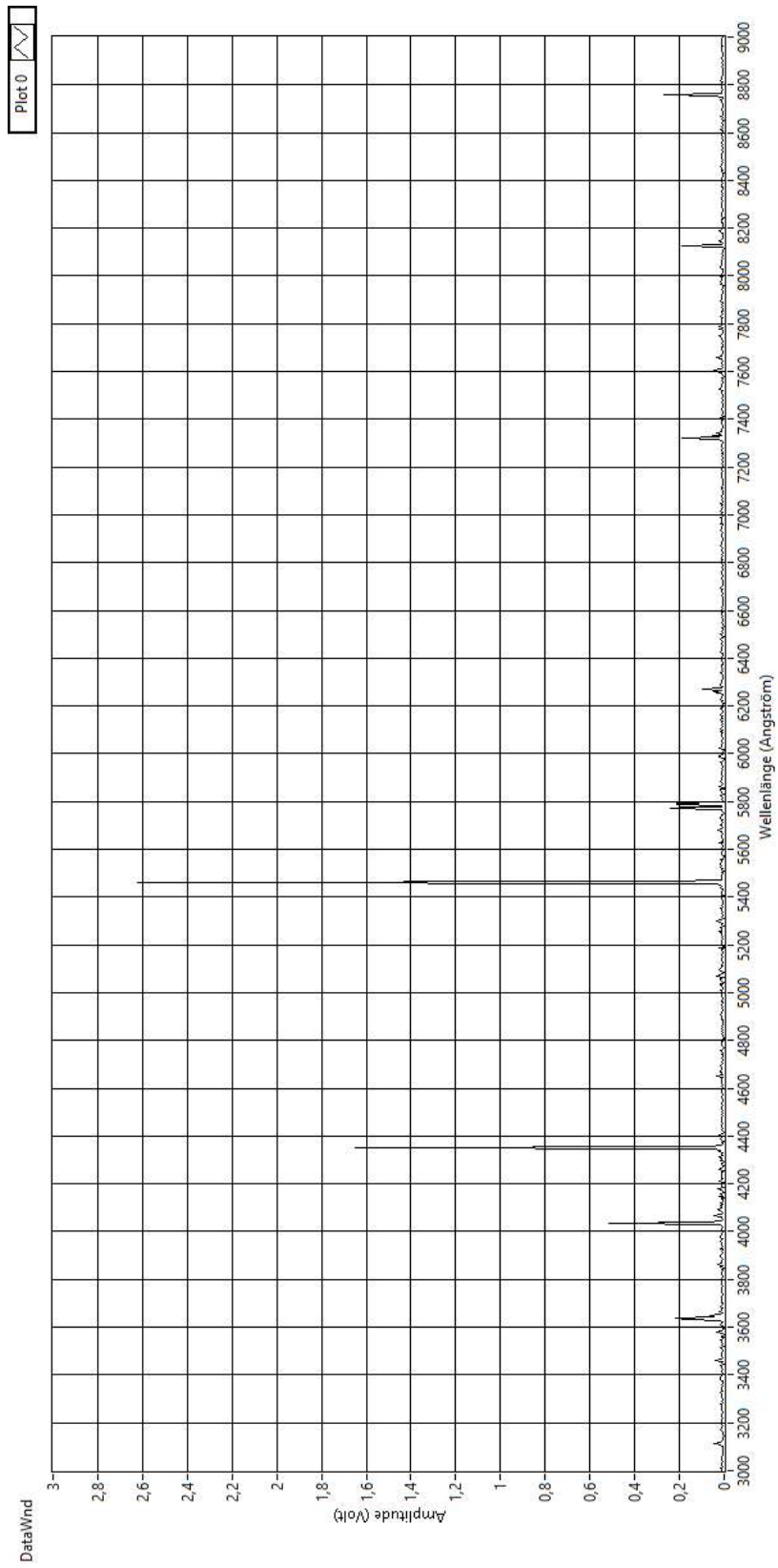
Nun wird die grüne Hg-Linie bei unterschiedlichen Spaltbreiten gemessen.

Spaltbreite L	Datei:
$E = A = 0,1 \text{ mm}$	6.2.4 (1)
$E = A = 0,2 \text{ mm}$	6.2.4 (2) * ab hier: Verstärkung: 316
$E = A = 0,4 \text{ mm}$	6.2.4 (3)
$E = A = 0,6 \text{ mm}$	6.2.4 (4) * ab hier: Verstärkung: 99.856
$E = A = 0,8 \text{ mm}$	6.2.4 (5)
$E = A = 1,0 \text{ mm}$	6.2.4 (6)
$E = A = 1,2 \text{ mm}$	6.2.4 (7)
$E = A = 1,4 \text{ mm}$	6.2.4 (8)
$E = A = 1,6 \text{ mm}$	6.2.4 (9)
$E = A = 1,8 \text{ mm}$	6.2.4 (10)
$E = A = 2,0 \text{ mm}$	6.2.4 (11)

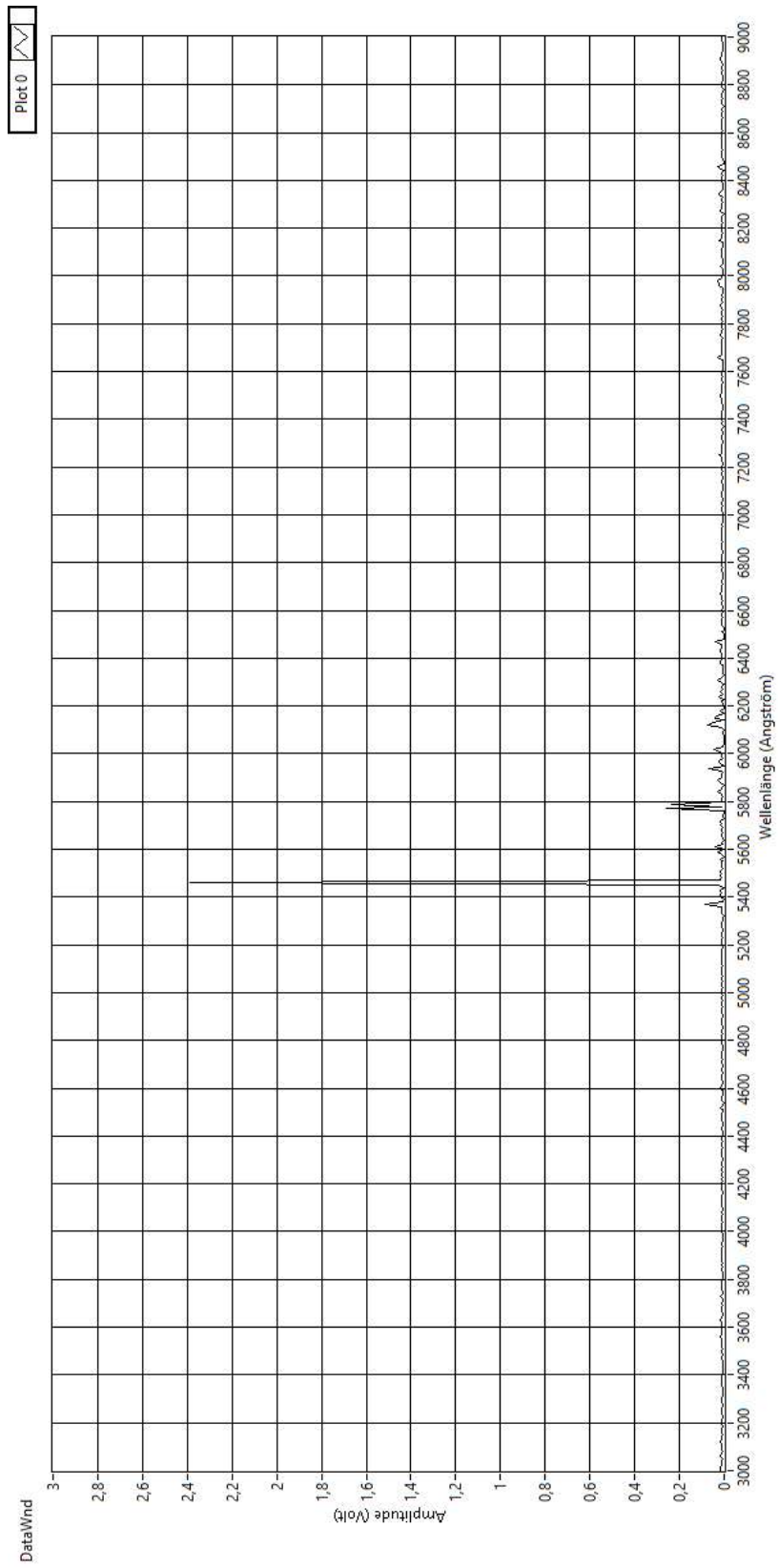
5.5 Unterschiedliche Spaltbreiten

Nun wird die grüne Hg-Linie bei verschiedenen Ein- und Ausgangsspaltbreiten gemessen:

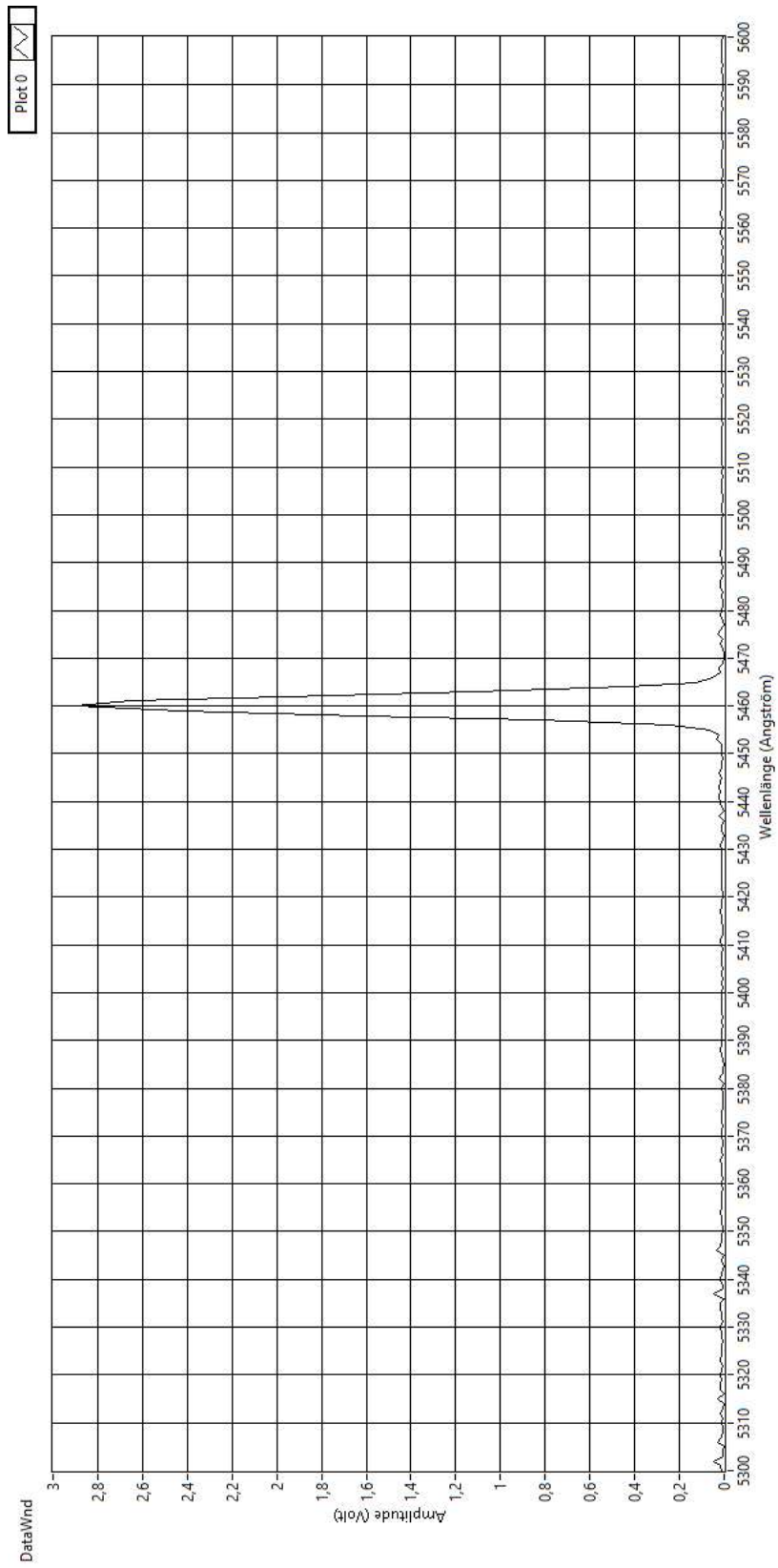
Spaltbreite E	Spaltbreite A	Datei:
0,1 mm	0,2 mm	6.2.5 (1)
0,1 mm	0,5 mm	6.2.5 (2)
0,2 mm	0,1 mm	6.2.5 (3)
0,5 mm	0,1 mm	6.2.5 (4)



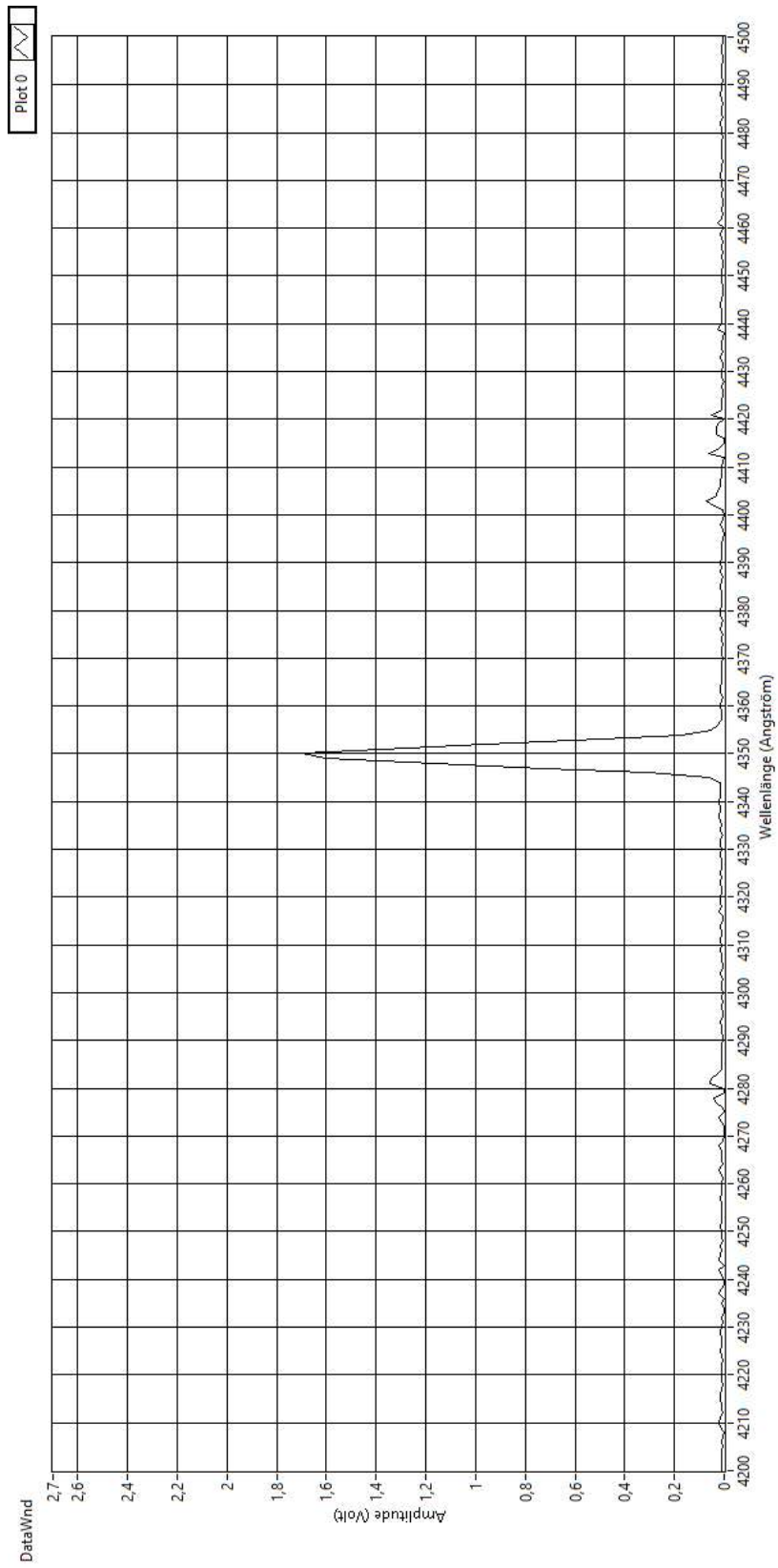
6.2.1 (1)



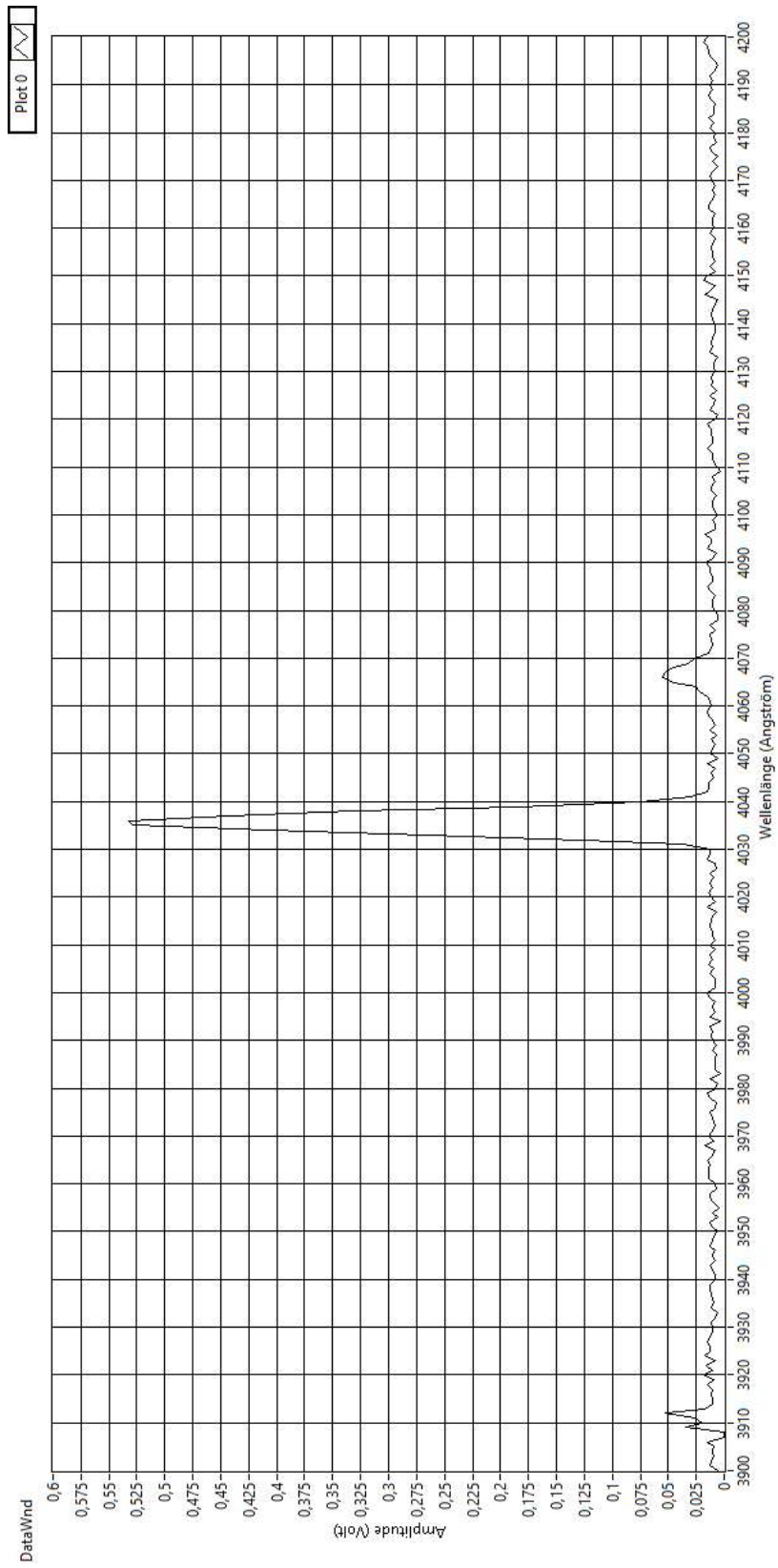
6.2.1 (2)



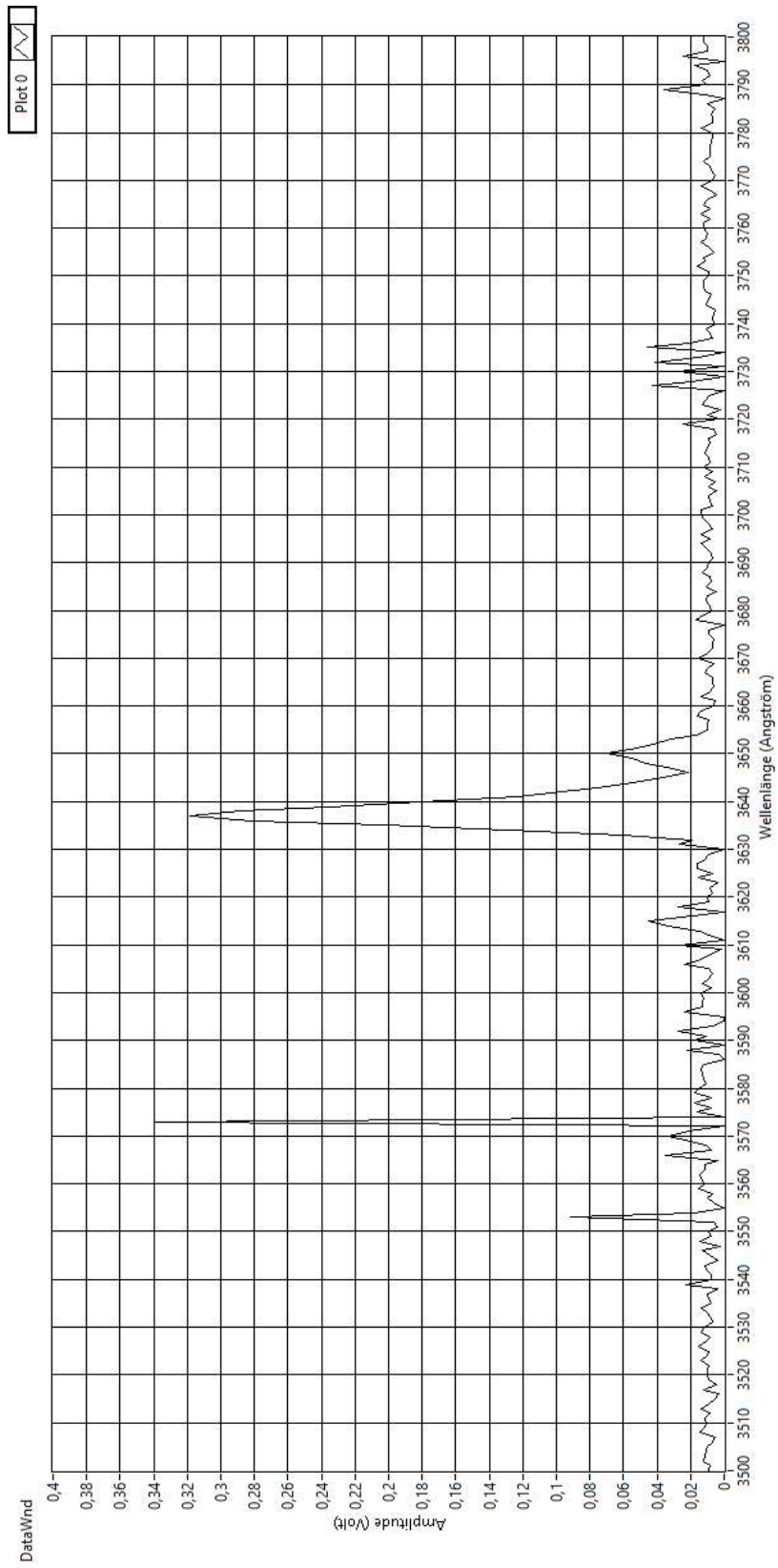
6.2.2 (1)



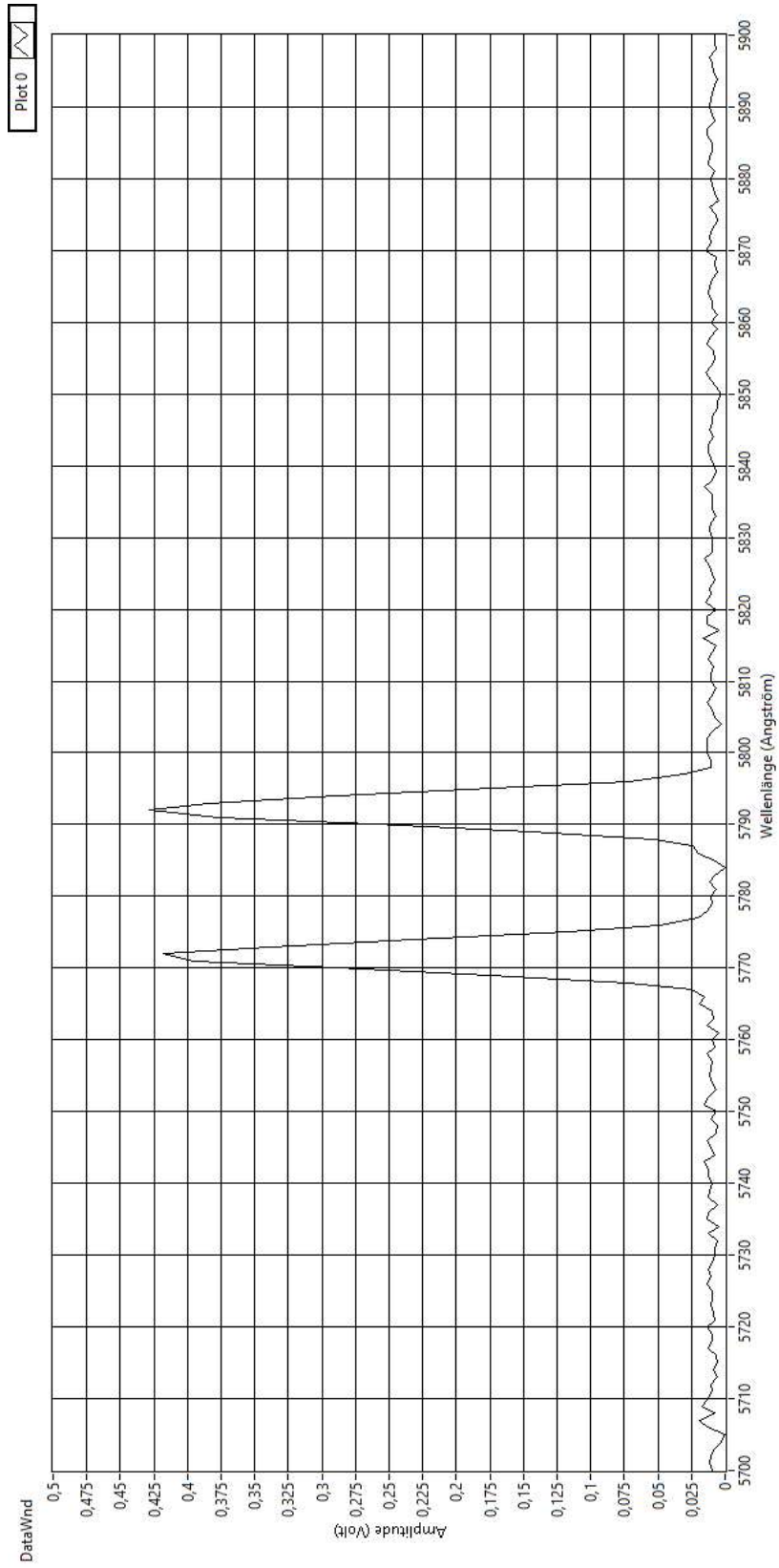
6.2.2 (2)



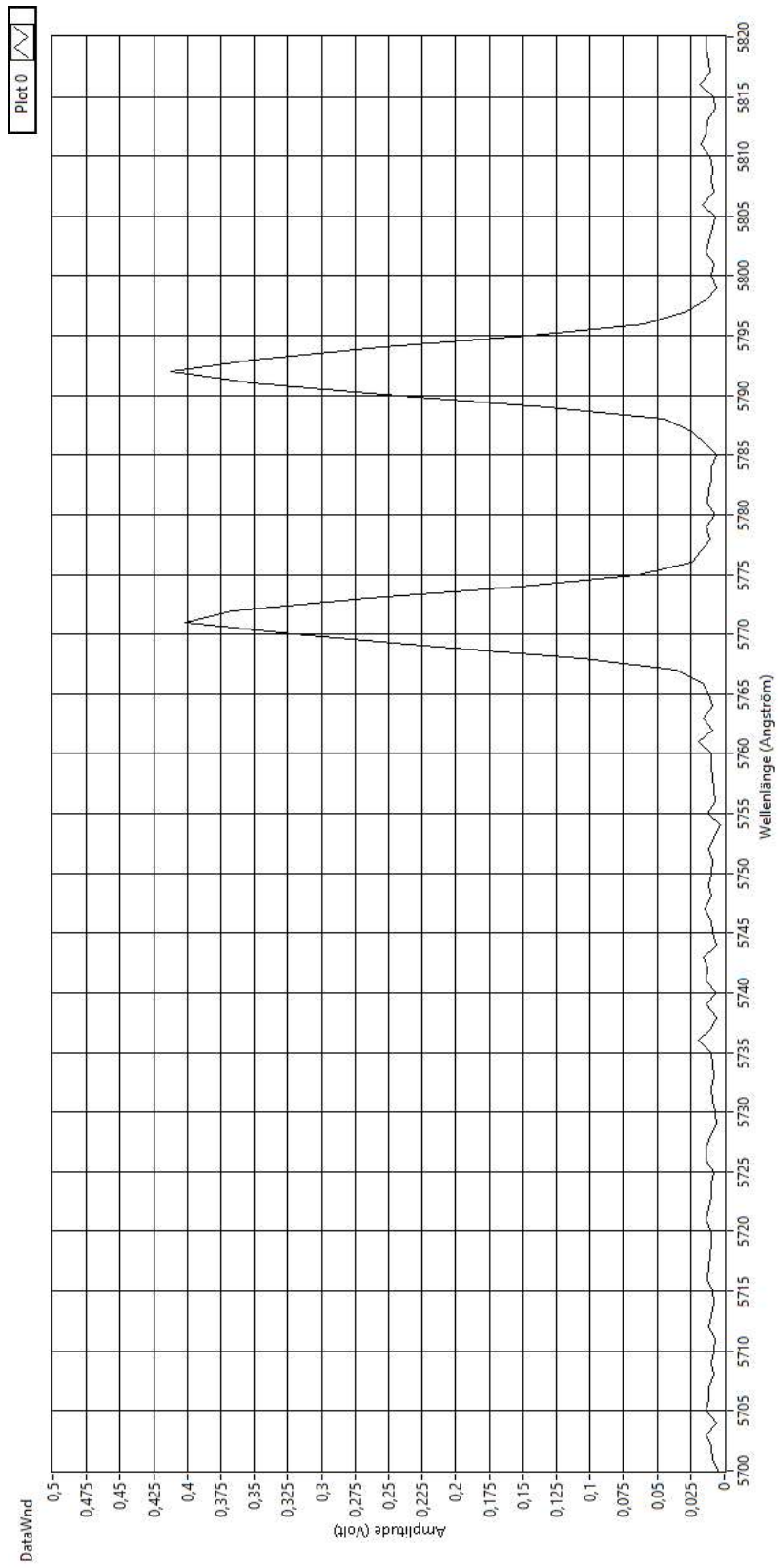
6.2.2 (3)



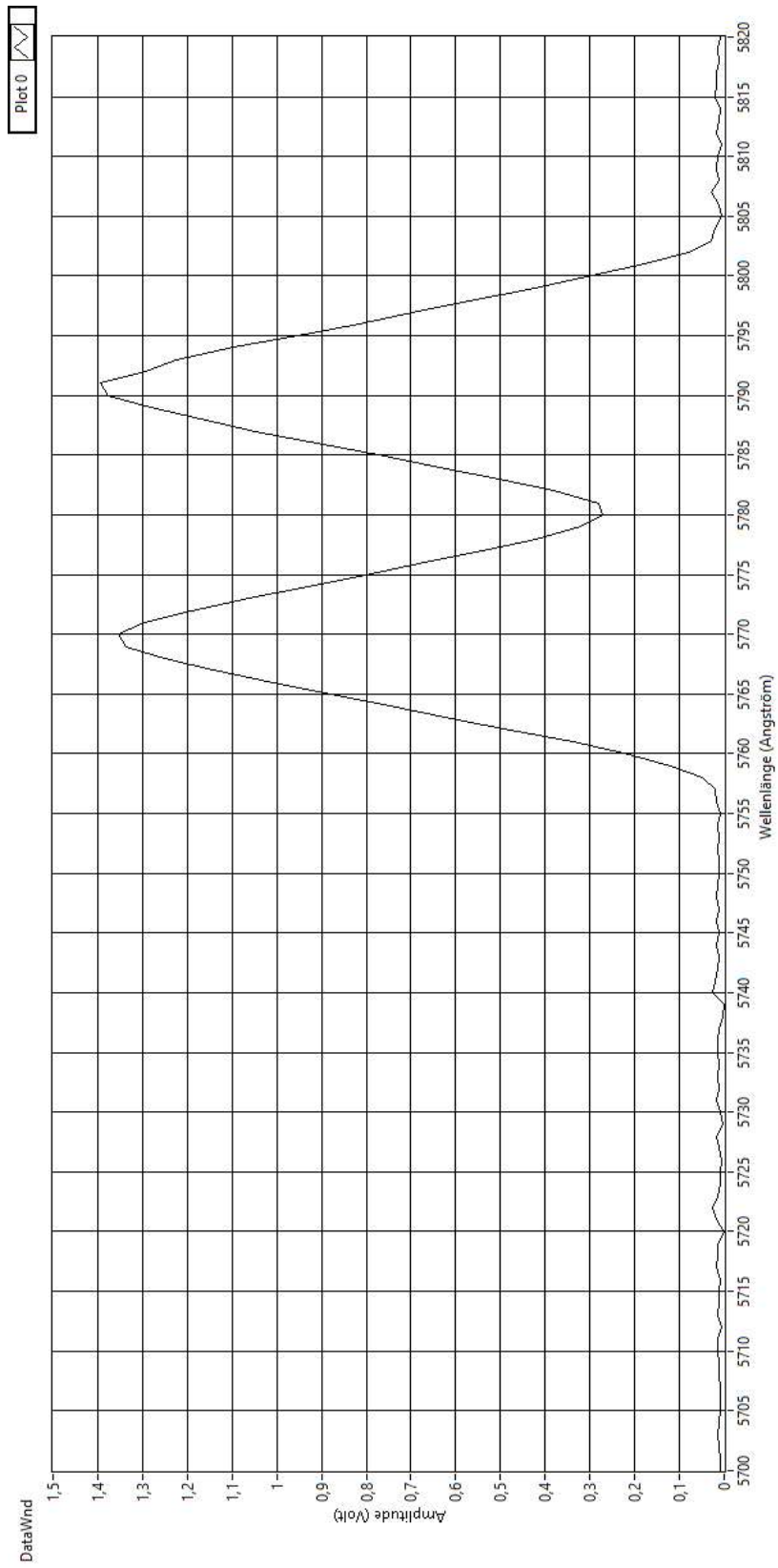
6.2.2 (4)



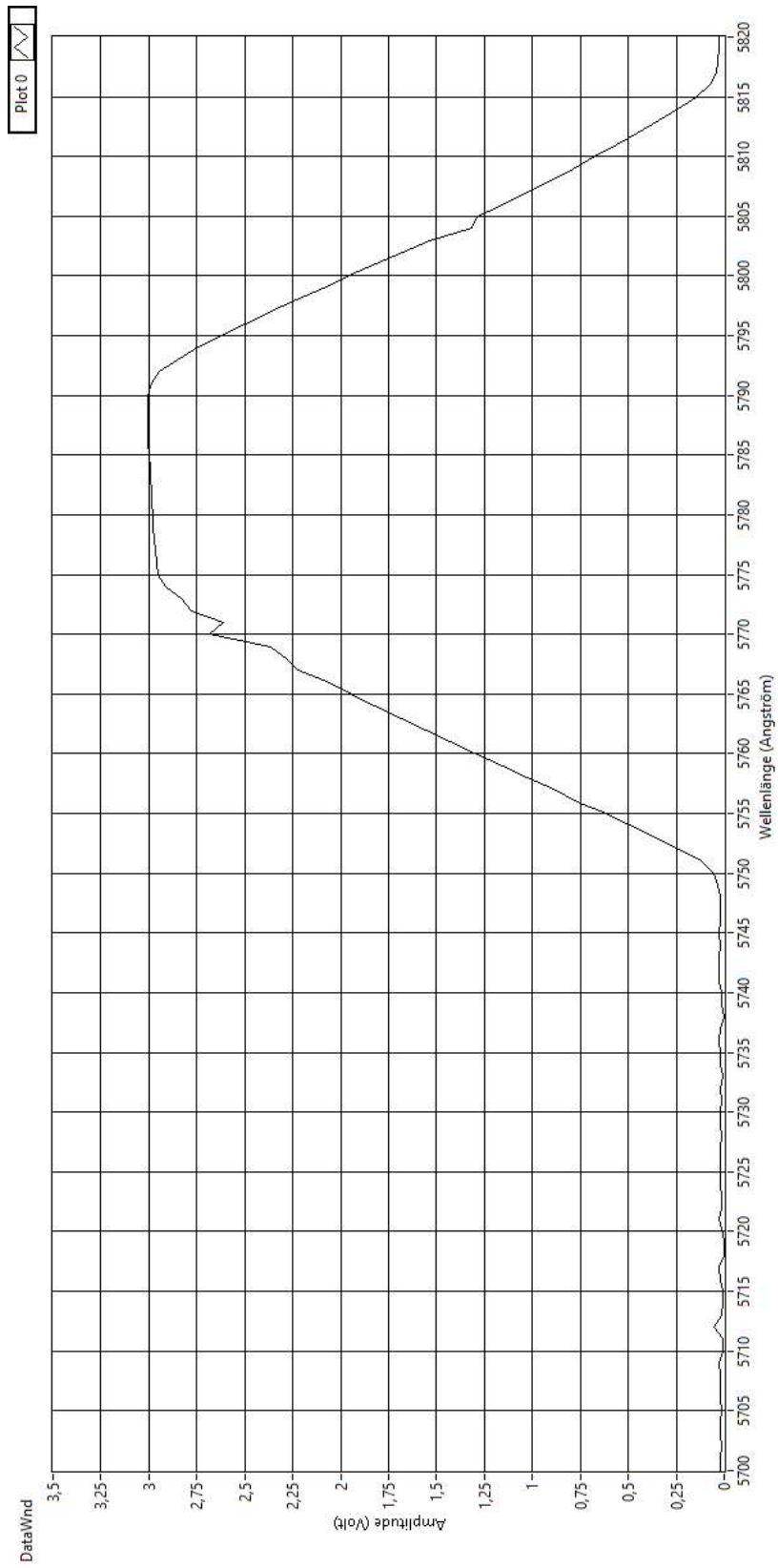
6.2.2 (5)



6.2.3 (1)

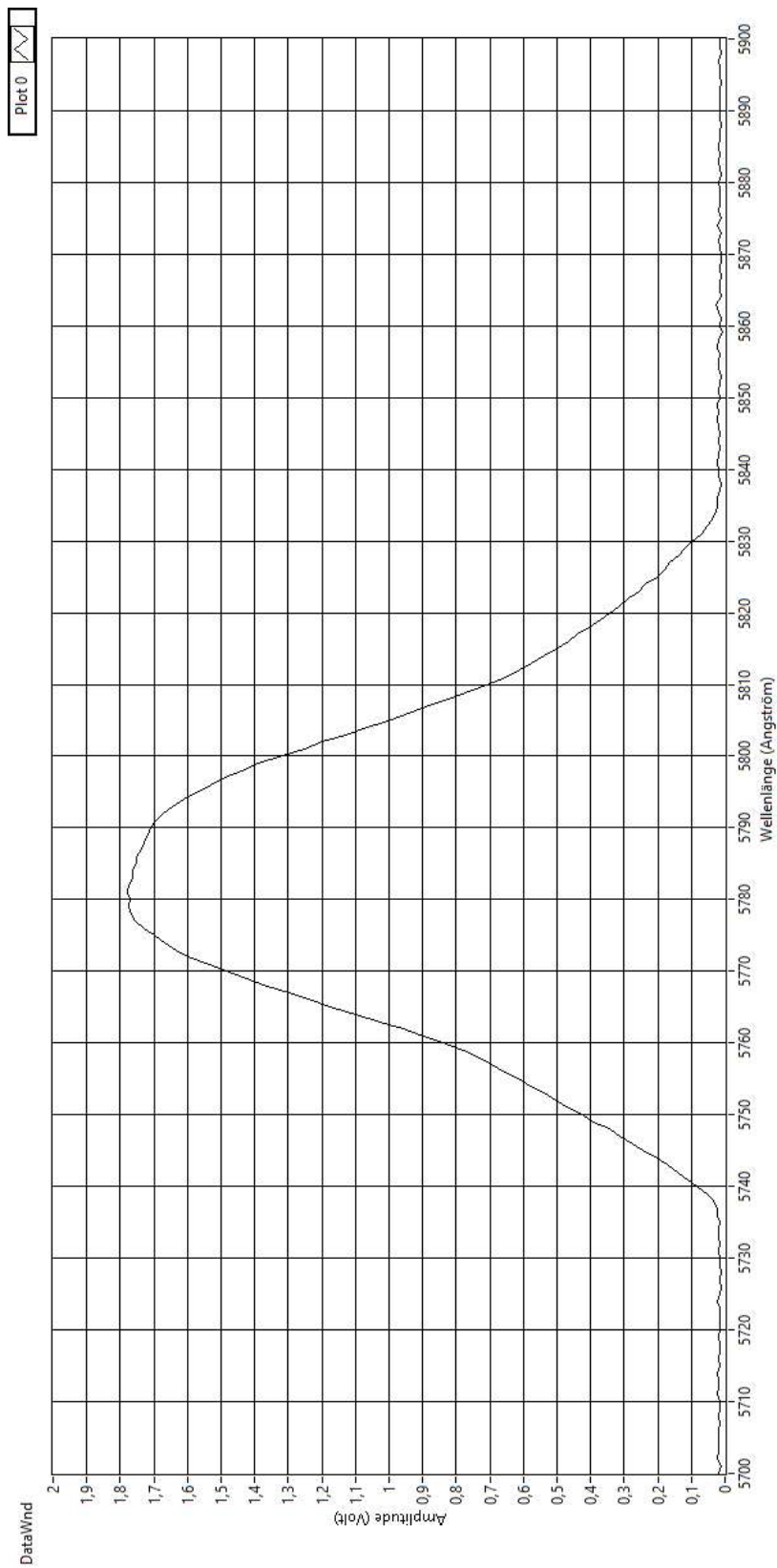


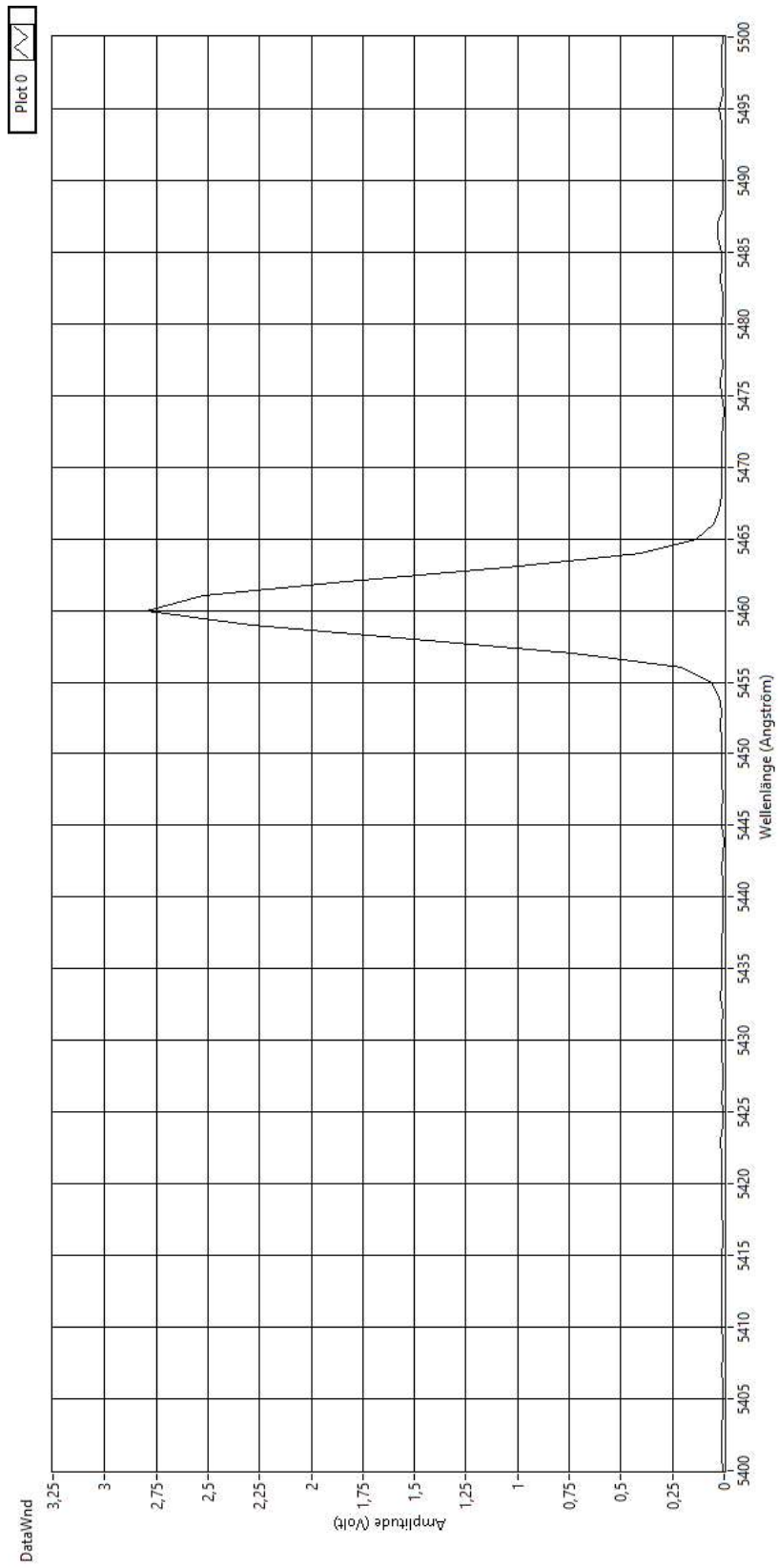
6.2.3 (2)



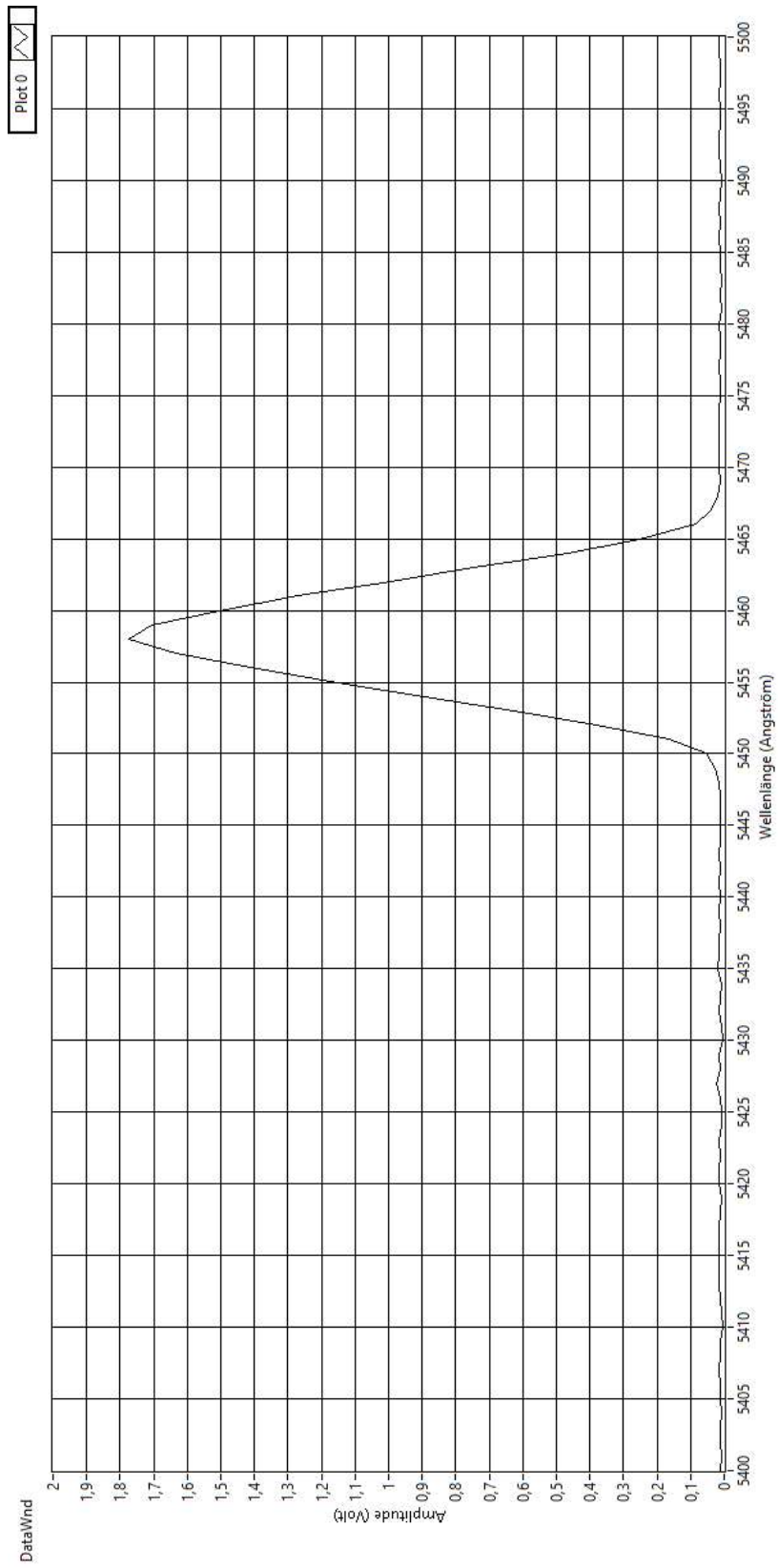
6.2.3 (3)

6.2.3 (4)

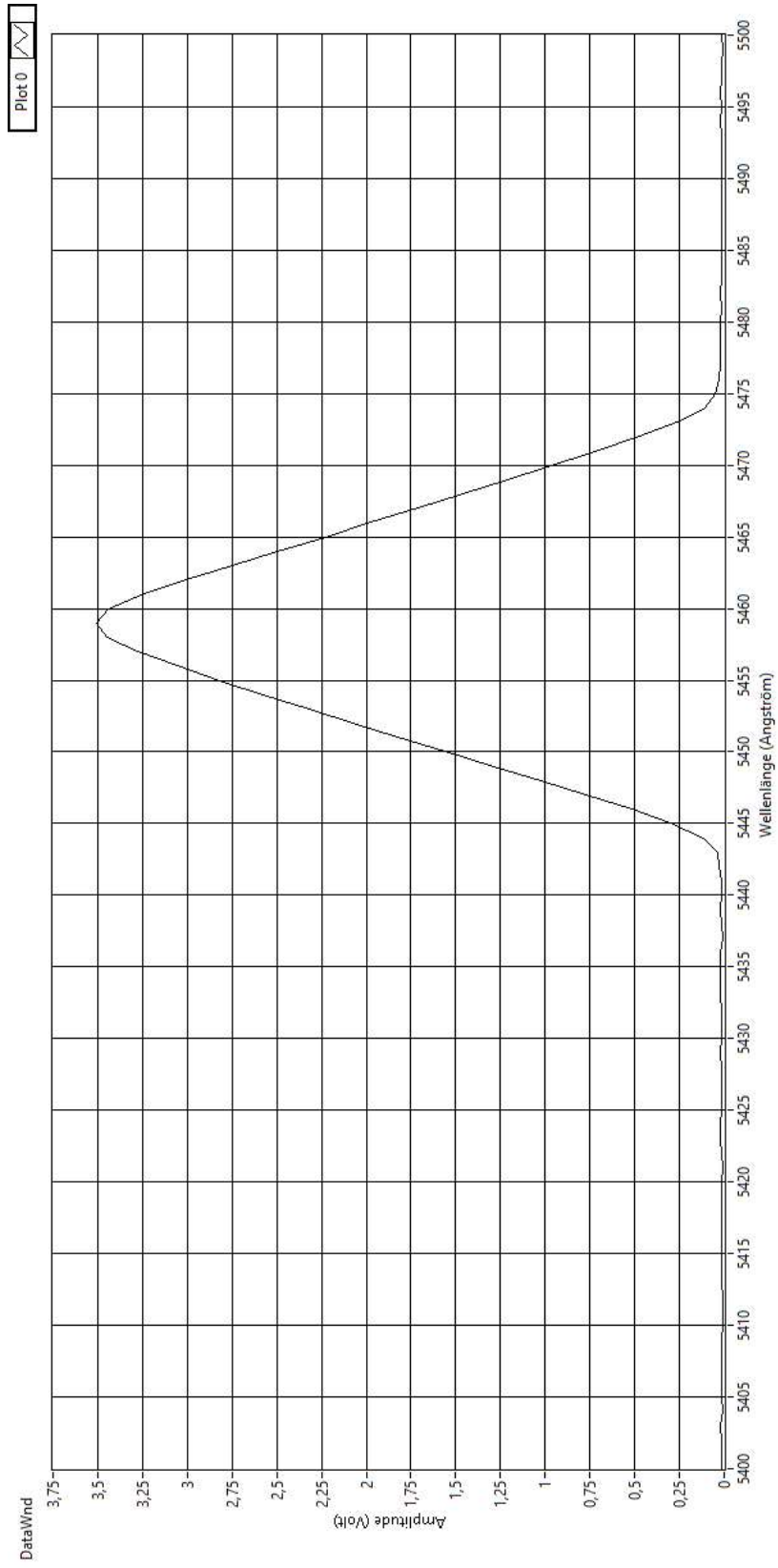




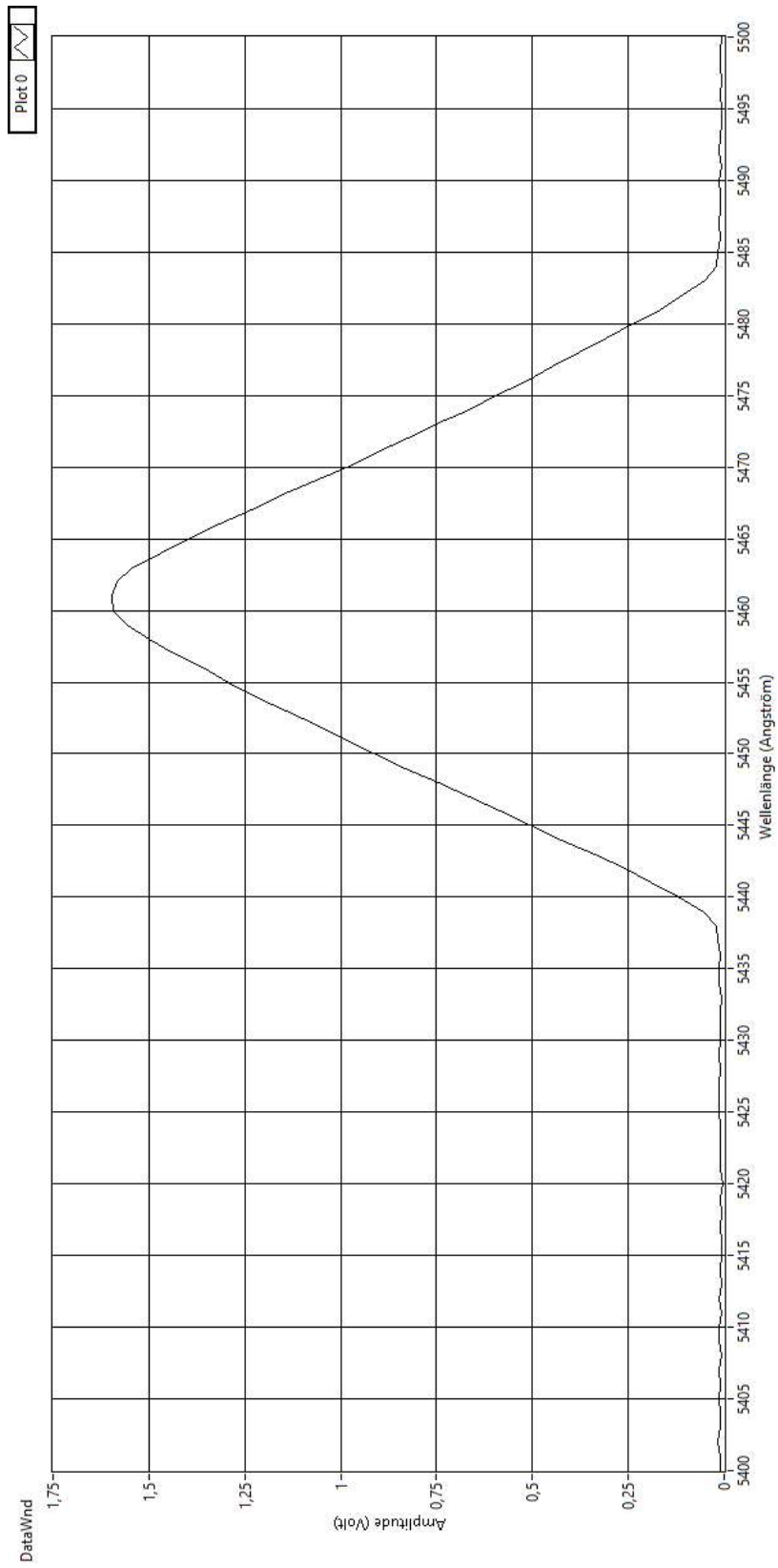
6.2.4 (1)



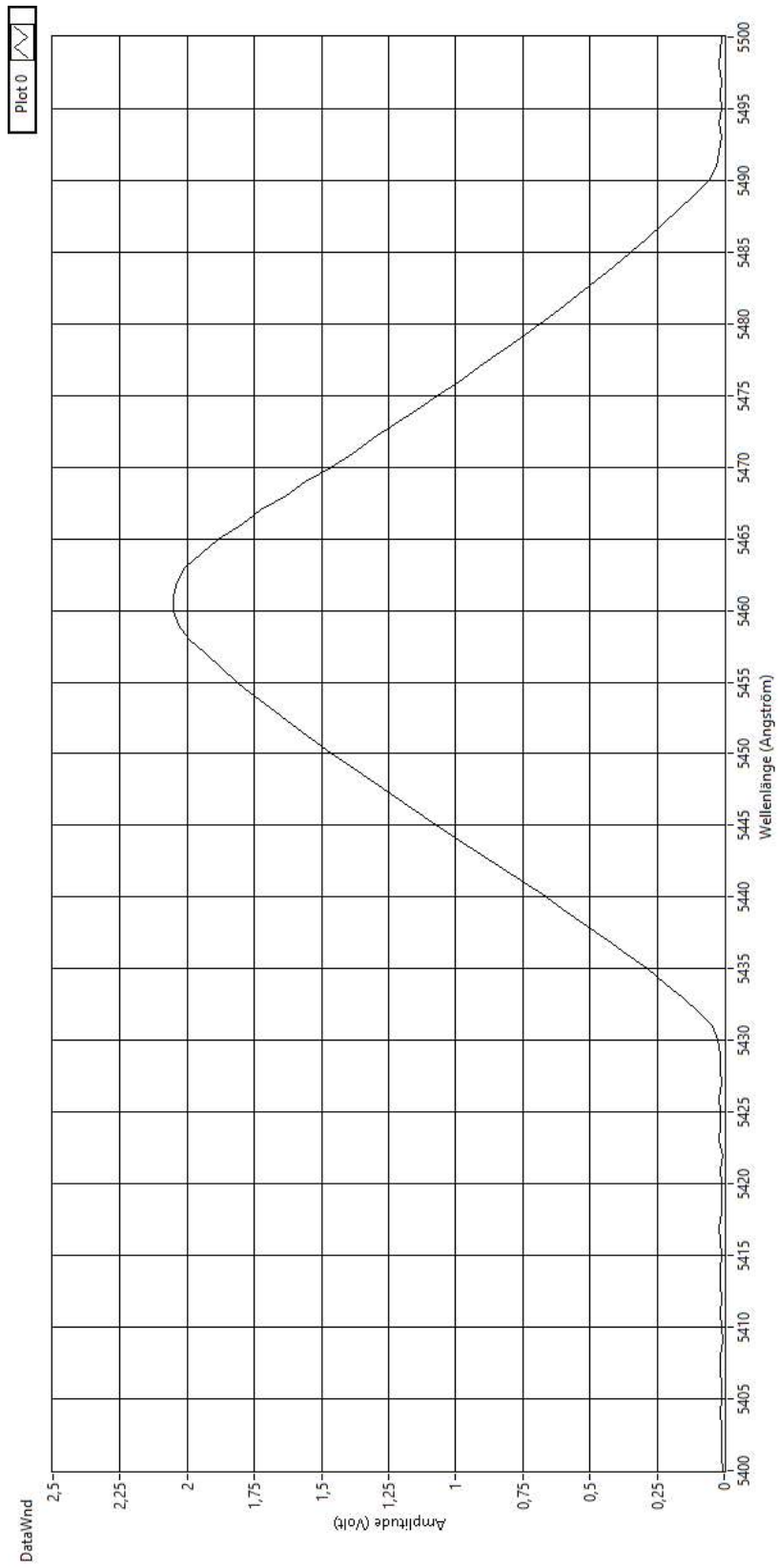
6.2.4 (2)



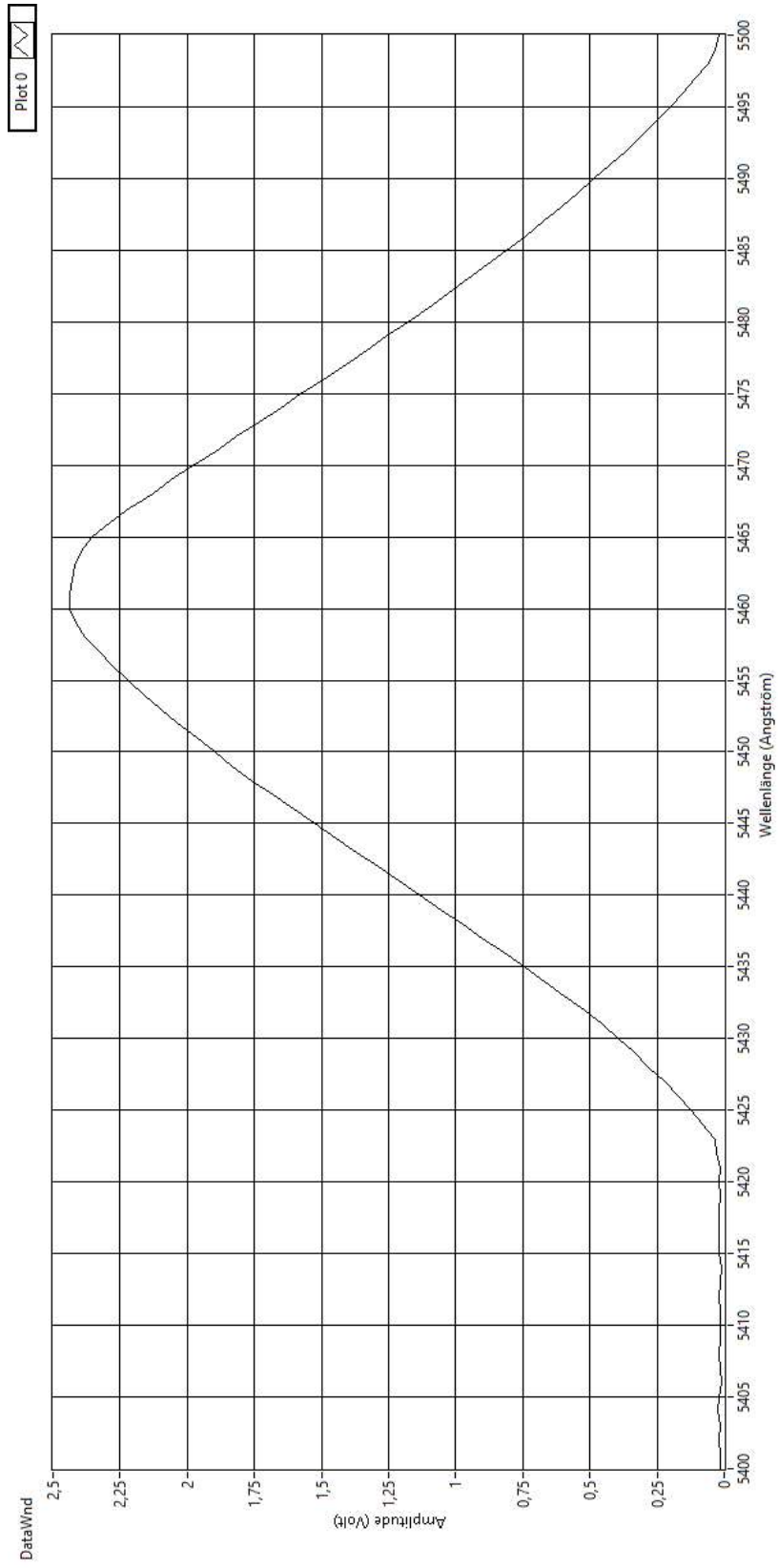
6.2.4 (3)



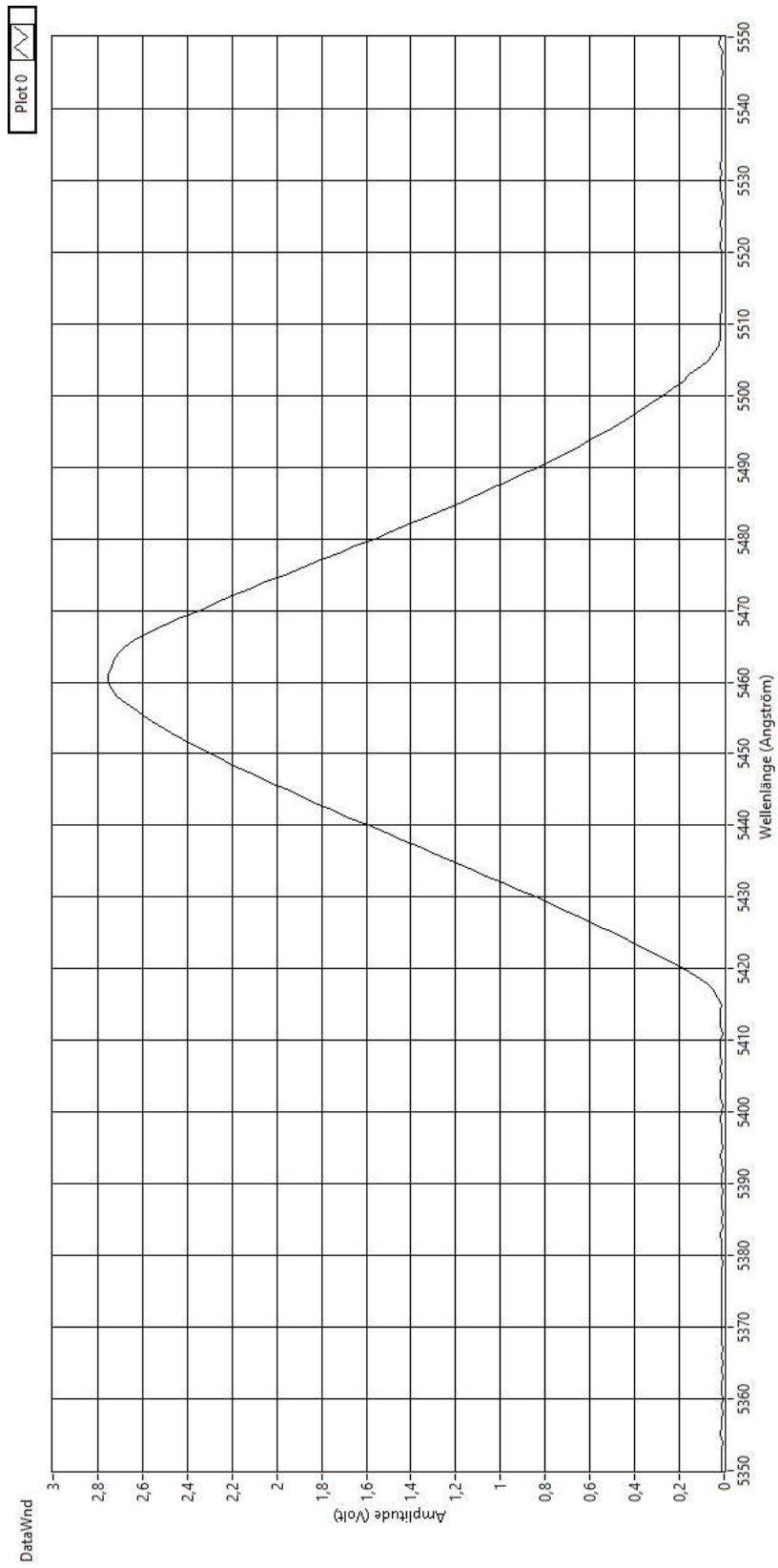
6.2.4 (4)



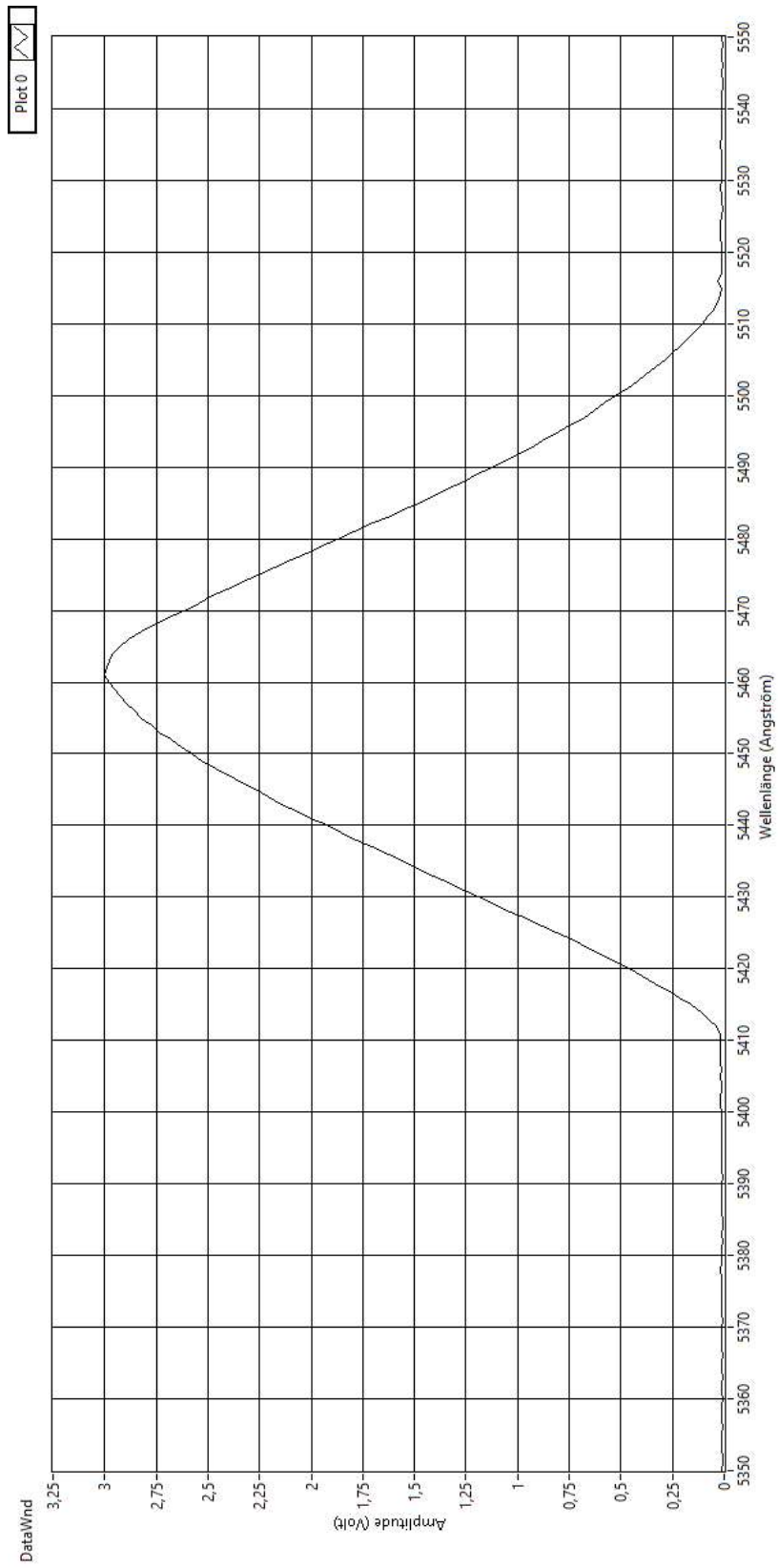
6.2.4 (5)



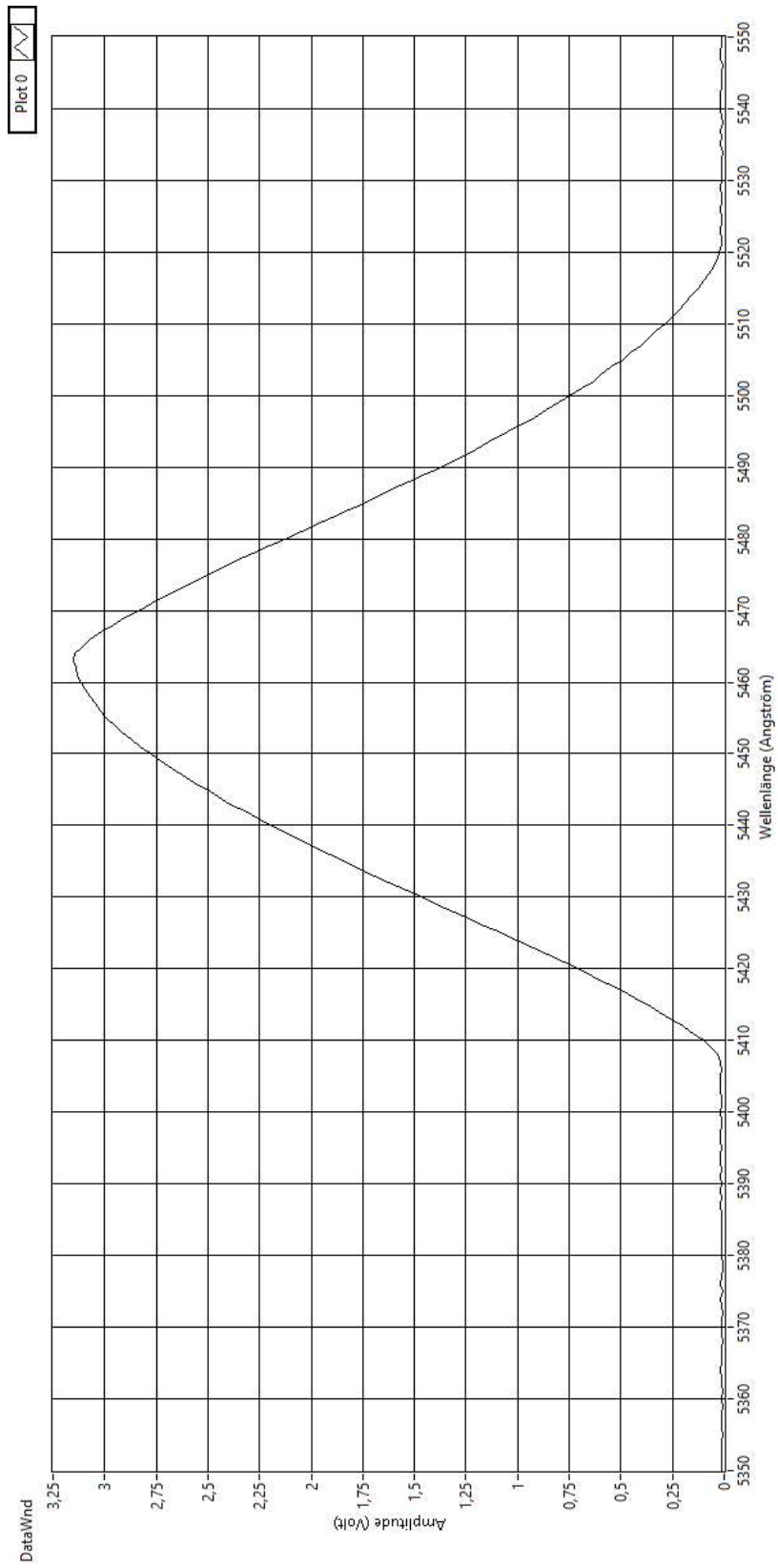
6.2.4 (6)



6.2.4 (7)

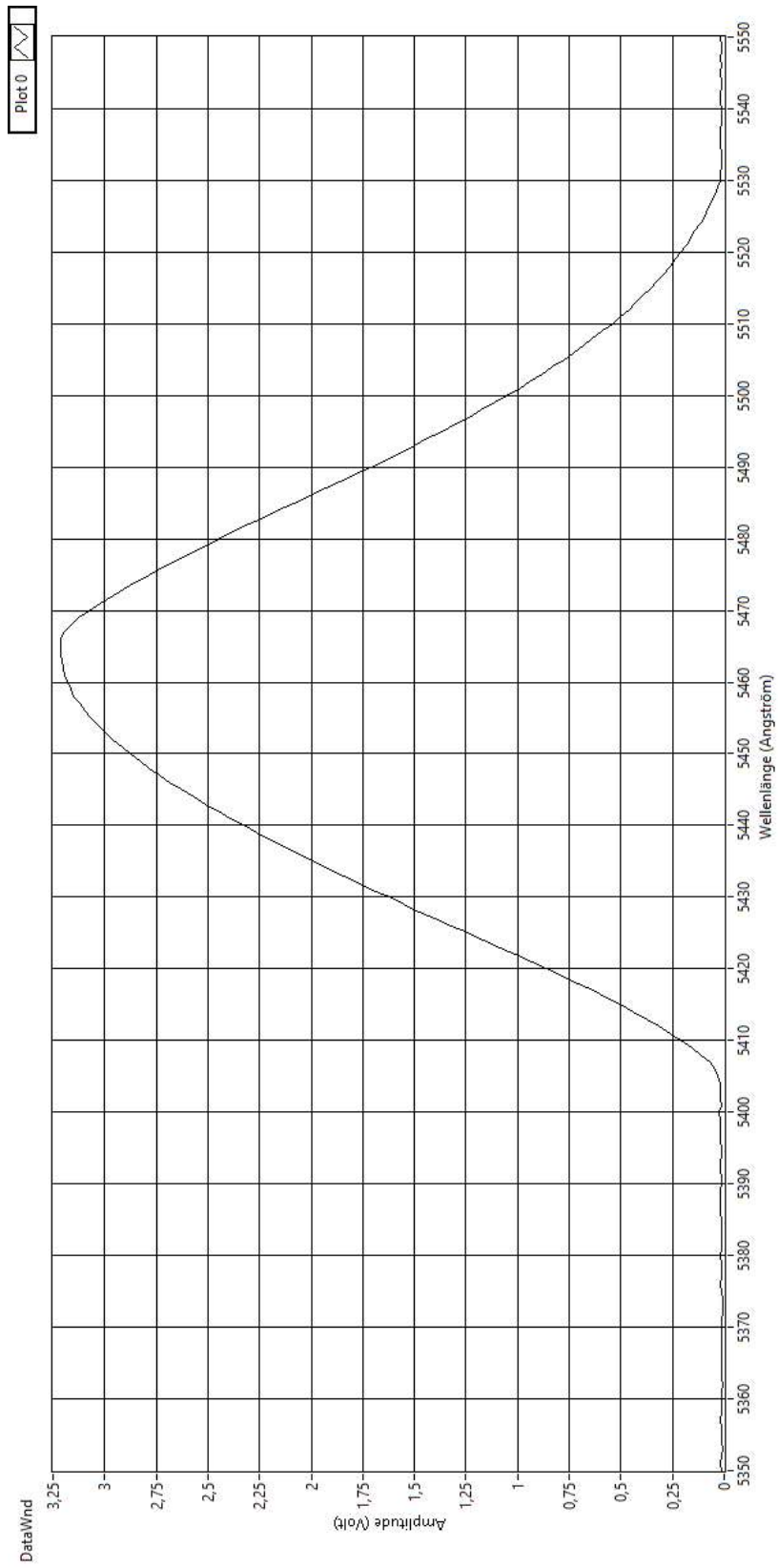


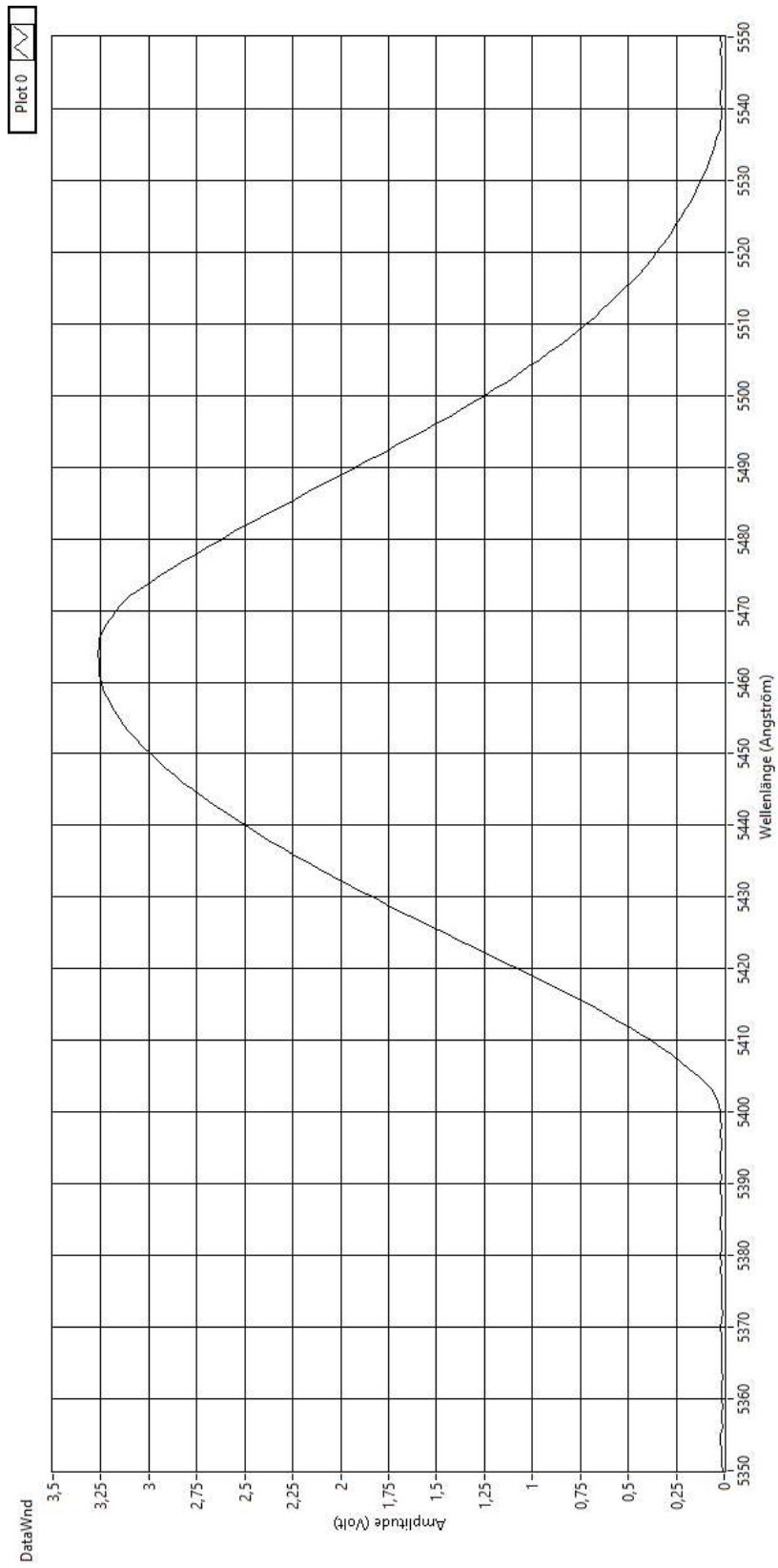
6.2.4 (8)



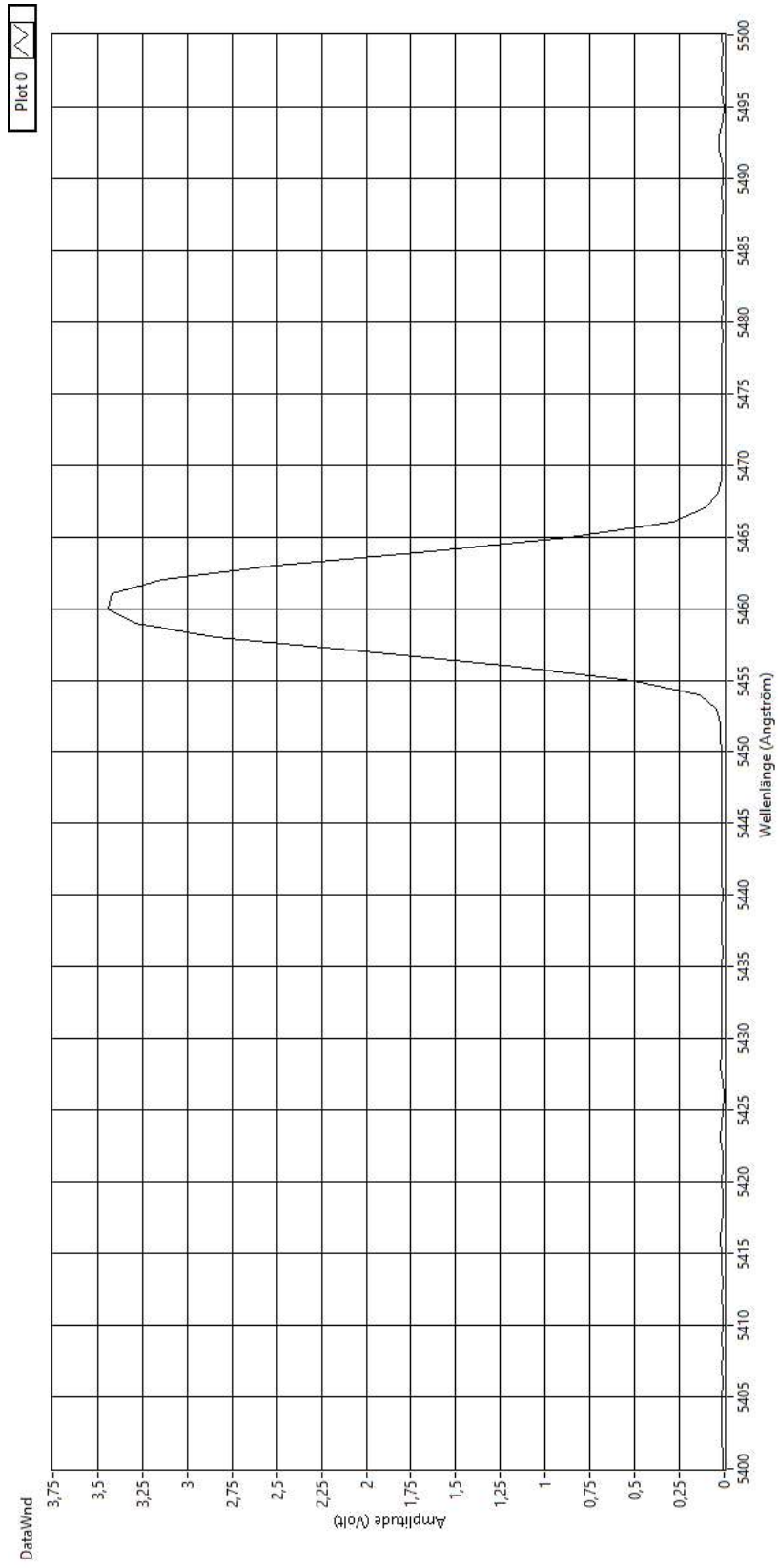
6.2.4 (9)

6.2.4 (10)

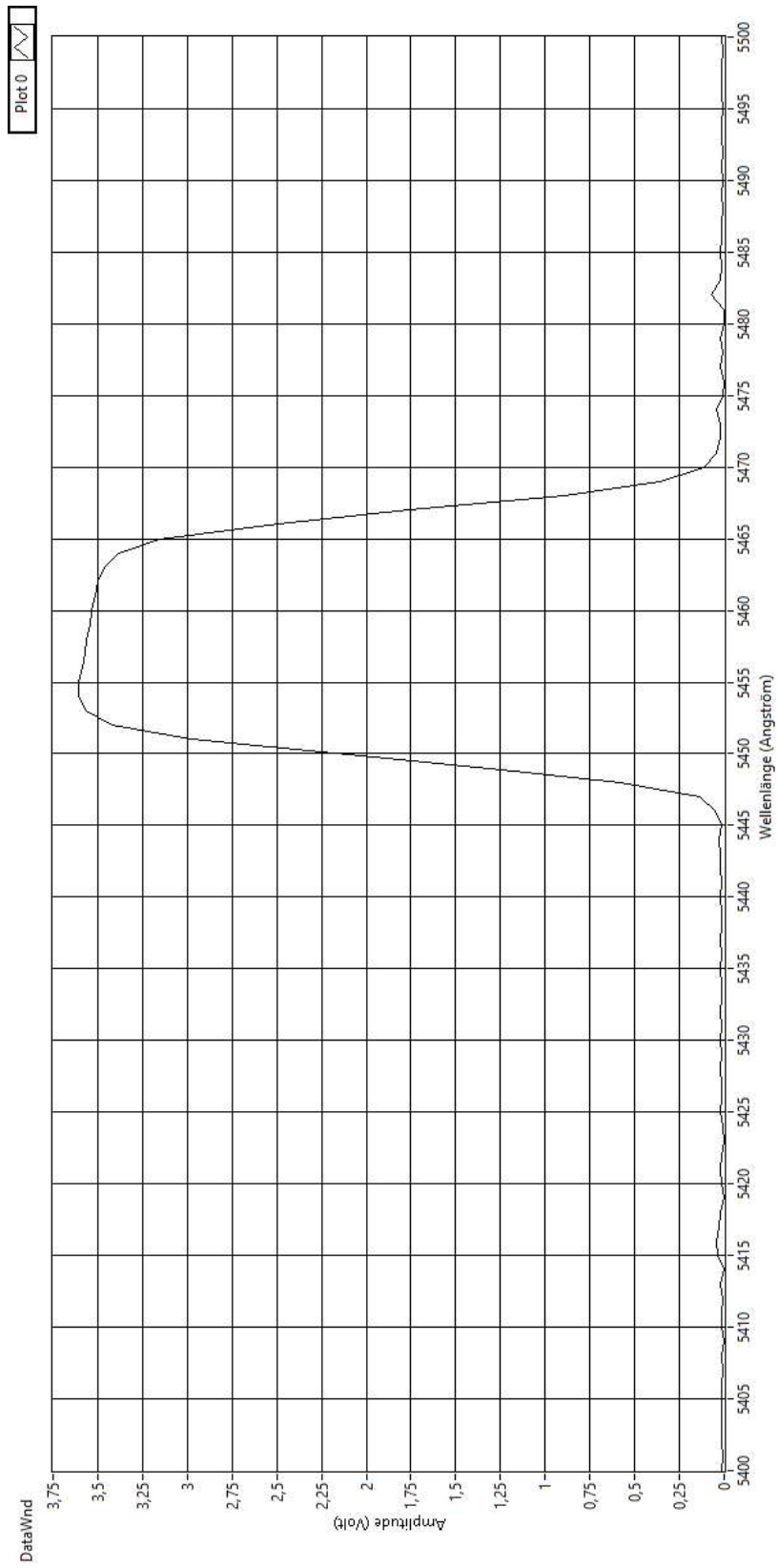




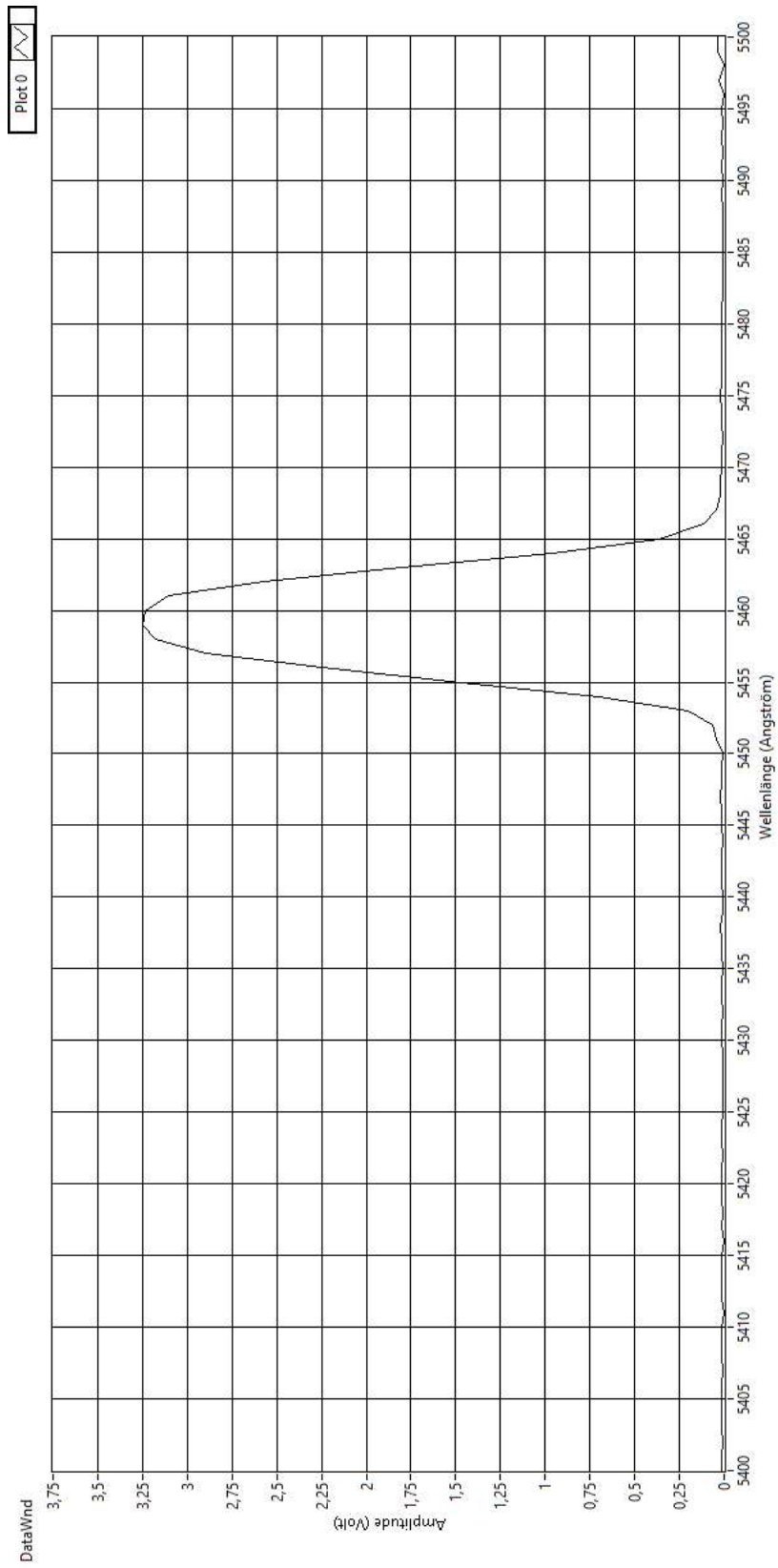
6.2.4 (11)



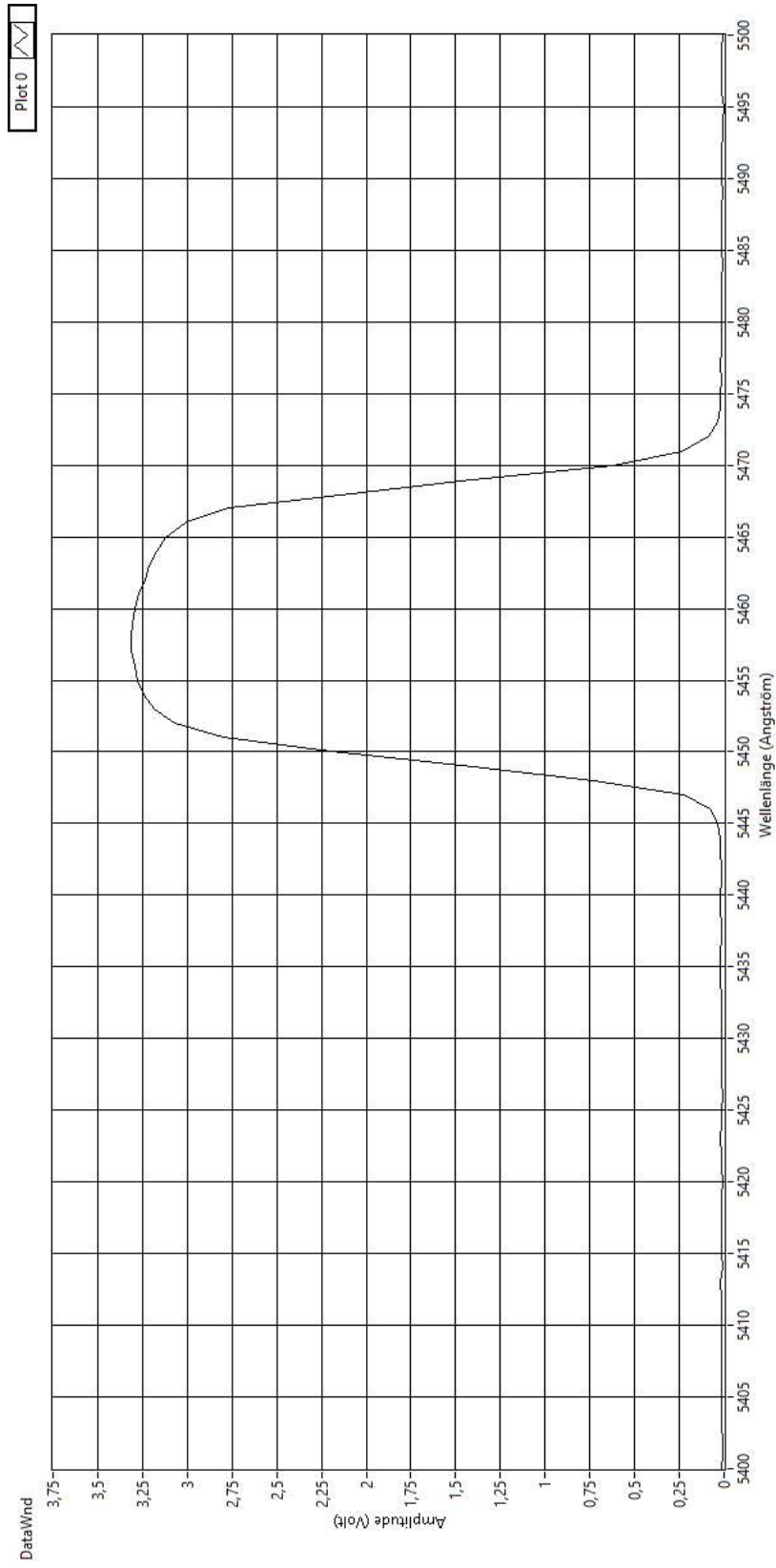
6.2.5 (1)



6.2.5 (2)



6.2.5 (3)



6.2.4 (5)

6. Unterschriften

Dominik Mille
Domenik Mille

Anna-Maria Peyer
Anna-Maria Peyer

Paul Schwanitz
Paul Schwanitz

B Regression einer Gerade

B.1 Vorbereitung

Das Ziel einer linearen Regression ist, die Gleichung $\sum_i (y_i - ax_i - b)^2$ zu minimieren. Dies wird erreicht, wenn die jeweiligen Ableitungen nach a und b gleich null sind. Nun wird etwas Vorarbeit geleistet und Summen bestimmt.

$$\begin{aligned}\sum_{xx} &= \sum_{i=1}^N (x_i)^2 \\ &= 546^2 + 435^2 + 403,6^2 + 406,6^2 + 363,7^2 + 577,2^2 + 579,2^2 \\ &= 1616467,69\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_x &= \sum_{i=1}^N x_i \\ &= 546 + 435 + 403,6 + 406,6 + 363,7 + 577,2 + 579,2 \\ &= 3311,3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_y &= \sum_{i=1}^N y_i \\ &= 0,1 + 0,8 + 1,2 + 1,1 + 1,8 + 0,2 + 0,1 \\ &= 5,3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{xy} &= \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i \\ &= 546 \cdot 0,1 + 435 \cdot 0,8 + 403,6 \cdot 1,1 + 406,6 \cdot 1,2 + 363,7 \cdot 1,8 + 577,2 \cdot 0,2 + 579,2 \cdot 0,1 \\ &= 2162,5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D &= n \cdot \sum_{xx} - \left(\sum_x \right)^2 \\ &= 7 \cdot 1616467,69 - (3311,3)^2 \\ &= 350566,14\end{aligned}$$

B.2 Berechnung der Parameter

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{D} \left(n \sum_{xy} - \sum_x \cdot \sum_y \right) \\ &= -6,88 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_a &= \sqrt{\frac{n}{D}} \\ &= 4,47 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{1}{D} \left(n \sum_{xx} \sum_y - \sum_x \cdot \sum_{xy} \right) \\ &= 4,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_b &= \sqrt{\frac{\sum x}{D}} \\ &= 0,097 \end{aligned}$$

Literaturverzeichnis

- D. MENDE UND G. SIMON 2016 *PHYSIK, Gleichungen und Tabellen*, 17. Auflage. München: Hanser Verlag.
- HAMMER/HAMMER 2002 *Physikalische Formeln und Tabellen*, 8. Auflage. München: J. Lindauer Verlag (Schaeffer).
- S. ROTH UND A. STAHL 2019 *OPTIK, Experimentalphysik - anschaulich erklärt*. Berlin: Springer Spektrum.
- SPEKTRUM 2021 Linienbreiten. URL <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/linienbreite/9080> – Zugriffsdatum: 22.03.2021.
- WIKIPEDIA 2021^a Elektromagnetisches Spektrum. URL https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum – Zugriffsdatum: 22.03.2021.
- WIKIPEDIA 2021^b Quecksilberdampflampe. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Quecksilberdampflampe> – Zugriffsdatum: 22.03.2021.
- WIKIPEDIA 2021^c Spektrum - Quecksilberdampflampe. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Quecksilberdampflampe#Emissionsspektrum> – Zugriffsdatum: 10.04.2021.