Auswertung des Versuches Polarisation und Doppelbrechung

Andreas Buhr, Matrikelnummer 1229903

17. Januar 2006

Inhaltsverzeichnis

1 Formales **3**

2 Überblick über den Versuch **4**

3 Theorie **4**
3.1 Licht als elektromagnetische Welle, Polarisation 4
3.2 Erzeugung und Nachweis von polarisiertem Licht 4
3.3 Erzeugung und Nachweis von elliptisch polarisiertem Licht 4
3.4 Doppelbrechung 5

4 Durchführung **5**
4.1 Aufbau 5
4.2 Erzeugung des Lichtes, Farbfilter 5
4.3 Messung der Polarisation 5
4.4 Messung der spezifischen Drehung und Rotationsdispersion des Quarzplättchens 5
4.5 Messung der Polarisation nach einem doppelbrechenden Glimmerplättchen 6
4.6 Characterisierung des Soleil-Kompensators 6
4.7 Vermessung der Elliptischen Polarisation nach einem doppelbrechenden Glimmerplättchen mit Hilfe des Soleil-Kompensators 6

5 Auswertung **7**
5.1 Polarisationsmessung: Ergebnis und Fehler 7
5.2 spezifische Drehung, Rotationsdispersion 7
5.3 Intensitäten nach doppelbrechendem Glimmerplättchen 8
5.4 Vermessung des elliptisch polarisiertem Licht mit Soleil-Kompensator . 9

A Anhang: Plots und Fits zu Aufgabe 3 **12**

1 Formales

Versuch: Polarisation und Doppelbrechung
Versuchsteilnehmer: Andreas Buhr und Markus Fasel
Datum: 16. 01. 2006
Betreuer: Dr. Joachim Holzfuss

2 Überblick über den Versuch

In diesem Versuch wollen wir linear polarisiertes Licht erzeugen und dieses vermessen. Wir vermessen die Drehung der Polarisation durch einen optisch aktiven Quarz. Wir vermessen die Auswirkung eines doppelbrechenden Glimmerplättchens auf die Polarisation in Abhängigkeit von der Wellenlänge.

3 Theorie

3.1 Licht als elektromagnetische Welle, Polarisation

Das Licht als sich ausbreitende elektromagnetische Welle wird durch die Maxwellschen Gleichungen beschrieben. Die Richtung des elektrischen Feldes in diesen Wellen ist durch die Gleichungen nicht festgelegt. Das elektrische Feld kann also in jede beliebige Richtung gerichtet sein.

Normalerweise ist Licht unpolarisiert. Das heißt, dass die Richtungen der E-Felder statistisch verteilt sind. Man kann jedoch auch polarisiertes Licht erzeugen. In diesem liegen die E-Felder alle in eine Richtung.

3.2 Erzeugung und Nachweis von polarisiertem Licht

Man kann keine Lichtquelle bauen, die polarisiertes Licht erzeugt. Man erzeugt daher normales Licht, und schickt dies durch einen Polarisationsfilter, der nur eine Polarisationsrichtung durchlässt.

Die Funktionsweise dieser Polarisationsfilter beruht immer auf einer der folgenden Mechanismen:

- Reflexion (→ Brewster-Winkel)
- Streuung (→ z.B. im Himmel)
- Doppelbrechung (→ Trennung des Lichtes in zwei Strahlen)
- Absorption (→ eine Polarisationsrichtung wird geschluckt)
- Dichroismus

3.3 Erzeugung und Nachweis von elliptisch polarisiertem Licht

Zur Erzeugung von elliptisch polarisiertem Licht nimmt man linear polarisiertes, und schickt dies durch ein doppelbrechendes Material. Die Polarisation wird in zwei Teile aufgespalten, wobei eine Polarisation schneller durch das Material läuft als die andere. Nach dem Material überlagern sich diese beiden Teile zu elliptisch polarisiertem Licht.

Zum Nachweis macht man diesen Prozess rückgängig, und wandelt das elliptisch polarisierte Licht wieder in linear polarisiertes um. Dieses kann man dann mit Polarisationsfiltern analysieren.

3.4 Doppelbrechung

Anisotrope Stoffe haben die Eigenschaft, doppelbrechend zu sein. In ihnen ist die Dielektrizität ε von der Richtung abhängig. Beim Eintritt in einen solchen Stoff teilt sich das Licht in zwei Strahlen auf, einen ordentlichen (S-Polarisation) und einen außerordentlichen (P-Polarisation). Der ordentliche Strahl wird normal, entsprechend den Brechungsgesetzen gebrochen. Der außerordentliche Strahl driftet von der normalen Bahn weg.

4 Durchführung

4.1 Aufbau

Sämtliche Leuchten, Filter, Plättchen etc. werden auf einer Schiene, einer optischen Bank platziert. Bei manchen Messungen steht nur sehr wenig Licht zur Messung zur verfügung. Bei diesen Messungen haben wir den Raum abgedunkelt.

4.2 Erzeugung des Lichtes, Farbfilter

- Wir nehmen eine Halogenlampe.
- Mit Wasser und dem BG 18 Filter filtern wir alle Wellenlängen ausser dem sichtbaren Bereich raus.
- Mit einem Polarisator erzeugen wir polarisiertes Licht.

Alles weitere geschieht mit diesem Polarsierten Licht.
Wir filtern mit einem Interferenzfilter immer genau eine Wellenlänge heraus. Dabei handelt es sich um ein Etalon. Dieses lässt nur eine Frequenz und deren vielfache passieren. Damit nur eine Wellenlänge durchkommt wird zusätzlich noch ein Farbfilter verwendet. Im Etalon sind zwei parallele Spiegel. Diese lassen nur Wellenlängen passieren, bei denen der Abstand der Spiegel ein Vielfaches der halben Wellenlänge ist.

4.3 Messung der Polarisation

Direkt lässt sich die Polariation nicht messen. Zur Messung verwenden wir daher einen Analysator, der nur eine Polarisation durchlässt, und messen dahinter die Intensität in Abhängigkeit von der Einstellung des Analysators. Die Intensität sollte vom Winkel entsprechend $\cos^2$ abhängen.

4.4 Messung der spezifischen Drehung und Rotationsdispersion des Quarzplättchens

Das Quarzplättchen ist optisch aktiv. Das bedeutet, dass Licht, welches hindurchgeht, in seiner Polarisation gedreht wird. Das hat hier noch nichts mit optischen Achsen und Doppelbrechung zu tun. „Spezifische Drehung“ ist die Drehung geteilt durch die Dicke

des Plättchens. Man stellt sich vor, dass die Drehung um so stärker ist, je dicker das Plättchen ist. Das rechnet man heraus.

Die ganze Messung machen wir für ein paar Wellenlängen. Unterschiedliche „spezifische Drehung“en für unterschiedliche Wellenlängen nennt man dann ‘”Rotationsdispersion“.

Als Messung bestimmt man hier nur mit dem Auge die Einstellung des Analysators, bei dem die Intensität minimal wird.

4.5 Messung der Polarisation nach einem doppelbrechenden Glimmerplättchen

Das Glimmerplättchen ist doppelbrechend. Es im Winkel von 45 ° hinzustellen bedeutet, dass im Glimmerplättchen der Strahl in zwei gleiche Teile aufgeteilt wird. Ein Teil läuft schneller durch als der andere, was raus kommt ist Elliptische Polarisation.

Dahinter machen wir wieder die Messung von Aufgabe 1, einmal für jede Farbe. Wir sehen, wie die lineare Polarisation verloren geht.

4.6 Characterisierung des Soleil-Kompensators

Aufgabe 4:
Hier machen wir uns nur mit dem Soleil-Kompensator vertraut.

Zum Verständnis des Soleil-Kompensators kannst man sich die zweite Hälfte erstmal wegdenken (den Teil mit konsanter Dicke). Dann ist das nur noch die Glimmerplatte aus Aufgabe 3, nur mit einstellbarer Dicke. Im Kompensator wird der Strahl auch hier in zwei Teile aufgeteilt und diese beiden Teile laufen unterschiedlich schnell. Über die Dicke können wir einstellen, wie die beiden Teile der Welle nach dem Kompensator zueinander liegen. Also welche Phasenlage die beiden Teile zueinander haben.

Mit Laserlicht würde das auch so funktionieren. Mit Licht aus einer Halogenlampe nicht, da wir, wenn wir nur den ersten Teil des Kompensators nehmen, die beiden Teile der Welle mit einem deutlichen Versatz wieder zusammenführen. Das optische Spektrum der Halogenlampe verursacht, dass das so nicht funktioniert. Der zweite Teil des Kompensators verursacht, dass die beiden Teile der Welle fast so wieder zusammengefügt werden, wie sie vor dem Kompensator haben. Mit einer Phasendifferenz von wenigen nm.

Man könnte sagen, der Teil variabler Dicke verursacht eine Phasendifferenz von e.g. [100pi:104pi]. Der zweite Teil eine Phasendifferenz von -102pi. (Bezogen auf eine spezifische Farbe). Beide Teile zusammen ergeben eine Phasendifferenz im Bereich [-2 pi: 2 pi].

4.7 Vermessung der Elliptischen Polarisation nach einem doppelbrechenden Glimmerplättchen mit Hilfe des Soleil-Kompensators

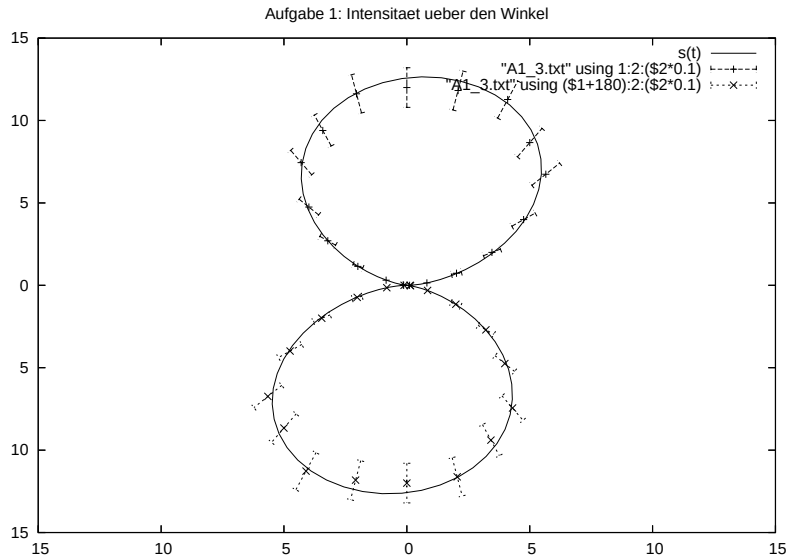
Wir nehmen das Glimmerplättchen und lassen dies elliptisch polarisiertes Licht erzeugen. Den Effekt des Glimmerplättchens machen wir mit dem Soleil-Kompensator wie-

der rückgängig. Aus Aufgabe 4 wissen wir, was der Soleil-Kompensator macht. Damit wissen wir auch, was das Glimmerplättchen macht. Dies machen wir für alle Farben.

5 Auswertung

5.1 Polarisationsmessung: Ergebnis und Fehler

Wir haben die gemessene Intensität in Abhängigkeit von der Position des Analysators aufgetragen:



Da im Raum das Licht angeschaltet war und wir bei Abdunklung der Halogenlampe ca. 5 μV gemessen haben, haben wir diese 5 μV von allen Werten abgezogen. Als Fehler haben wir einen absoluten Fehler von 5 μV plus einen relativen Fehler von 10 % angenommen. Der relative Fehler ist so groß, da das Messgerät immer deutlich geschwankt hat. Wir haben zwar nach Gefühl über die Zeit gemittelt, aber das war nicht sehr sicher.

Der Fit mit der Funktion

$$I(\alpha) = a\cos^2(\alpha + \phi)$$

ergab eine Phasenverschiebung von $\phi = (94,9 \pm 0.2)°$. Wir wollten den Polarisator eigentlich so einstellen, dass eine Phasenverschiebung von 90° vorliegt, lagen aber um ca. 5° daneben. Dies haben wir in den folgenden Aufgaben korrigiert.

5.2 spezifische Drehung, Rotationsdispersion

Wir haben die Einstellung des Analysators für verschiedene Wellenlängen bestimmt, bei dem die Intensität minimal wird. Um Unsicherheiten durch den Beobachter herauszufiltern, haben wir die Messung beide gemacht:

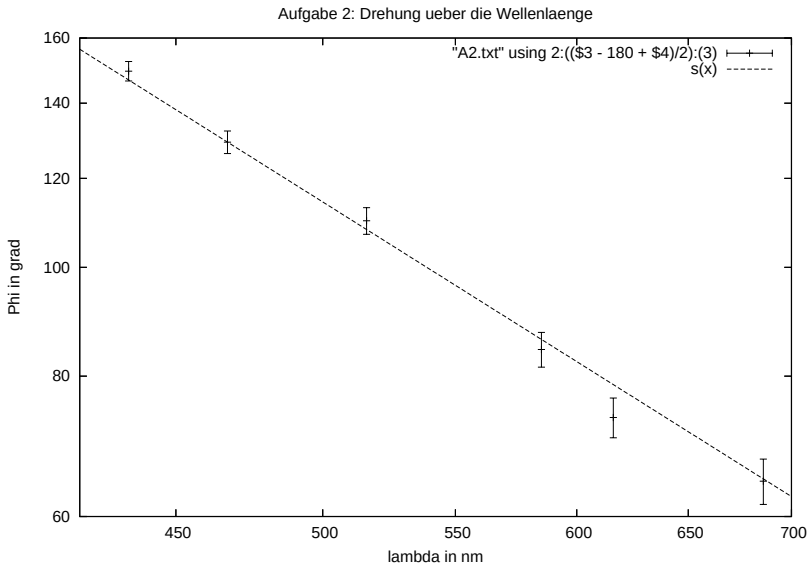
Farbfilter	λ	Φ_{Markus}	$\Phi_{Andreas}$
1	435	329.5	149.5
2	467	310.5	128
3	516	290	110
4	585	265	84
5	616	255.5	71.5
6	686	243.5	65.5

Die Absolute Drehung ist der von Andreas abgelesene Winkel bzw. der von Markus abzüglich 180 °.

Als Fehler haben wir 3 ° angenommen.

Die spezifische Drehung ist der hier angegebene Wert geteilt durch die Dicke des Quarzplättchens, also geteilt durch 4 mm.

Die Drehung sollte proportional zu λ^a sein. Es sollte sich also ein einem doppelt logarithmischen Plot eine Gerade ergeben:



Wir haben

$$a \cdot \lambda^b$$

angefittet. Der Exponent ist

$$b = -1,8 \pm 0,1$$

Bei einem χ^2 von 1,12 .

5.3 Intensitäten nach doppelbrechendem Glimmerplättchen

Nach dem Glimmerplättchen liegt elliptische Polarisation vor. Die Intensität wurde über den Winkel gemessen, wie in Aufgabe 1. Diesmal haben wir die Funktion

$$a \cdot \cos^2(t) + b \cdot \sin^2(t)$$

angefittet. Aus dem Parametern a und b erhält man die Phasenverschiebung:

$$\Phi = 2 \cdot \arctan \sqrt{\frac{a}{b}}$$

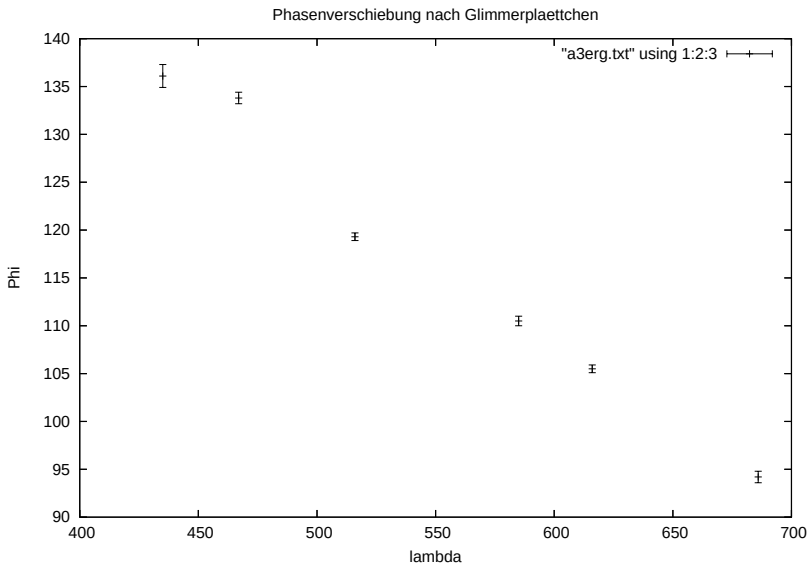
mit dem Fehler

$$\Delta\Phi = \sqrt{\frac{(\Delta a)^2}{a\left(1+\frac{a}{b}\right)^2 b} + \frac{a(\Delta b)^2}{\left(1+\frac{a}{b}\right)^2 b^3}}$$

nach Gauss. Eingesetzt ergibt das:

λ	a	Δa	b	Δb	Φ	$\Delta\Phi$
435	4,785	0,0978	0,776	0,044	136,1	1,2
467	20,74	0,28	3,77	0,10	133,8	0,6
516	205,85	1,91	70,66	0,99	119,3	0,4
585	207,9	2,08	99,88	1,35	110,5	0,5
616	190,7	1,58	110,45	1,17	105,5	0,4
686	30,6	0,436	26,39	0,423	94,2	0,6

Geplottet sieht das so aus:



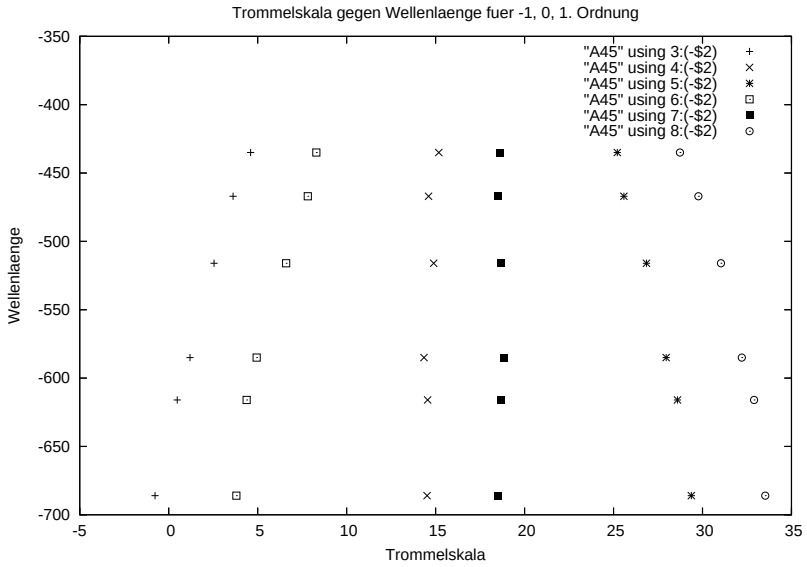
5.4 Vermessung des elliptisch polarisiertem Licht mit Soleil-Kompensator

Zunächst eichen wir den Kompensator. Wir wollen also wissen, wieviele Skalenteile einer Verschiebung von 2π entsprechen. Wir vermessen wie schon beschrieben die Lage der Minima und erhalten:

λ	Sk	$°/Sk$
435	10,26 ± 0,25	35,1 ± 0,9
467	10,98 ± 0,22	32,8 ± 0,6
516	12,19 ± 0,21	29,5 ± 0,5
585	13,51 ± 0,32	26,7 ± 0,6
616	14,16 ± 0,13	25,4 ± 0,2
686	14,97 ± 0,25	24,1 ± 0,4

Der Fehler in den Skalenteilen ergibt sich aus der Standardabweichung der verschiedenen Messungen, der Fehler in den $°/Sk$ ergibt sich durch Fehlerfortpflanzung.

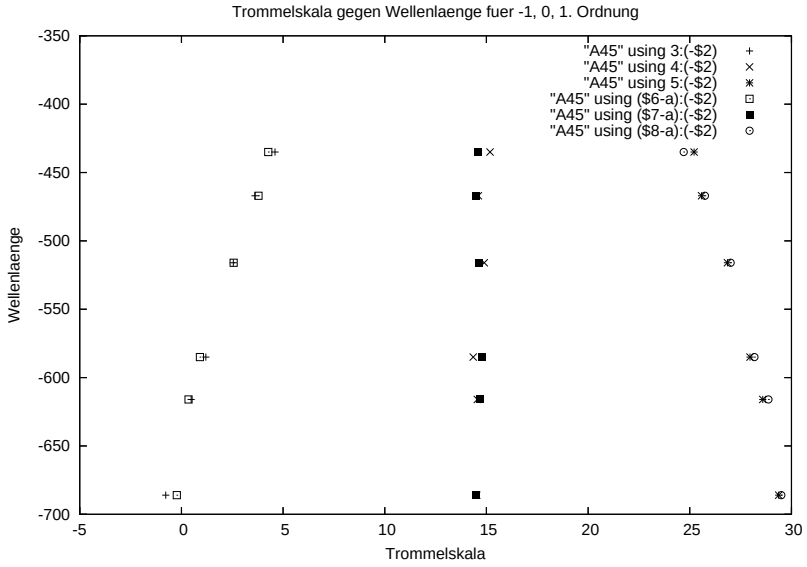
Trägt man für die Situation ohne Glimmerplatte und mit Glimmerplatte die Lage der Dunkelpunkte auf, erhält man diese Grafik:



Die Phasenverschiebung zwischen den beiden Strahlen, den das Glimmerplättchen verursacht kann man nun einfach als Verschiebung der beiden Muster betrachten.

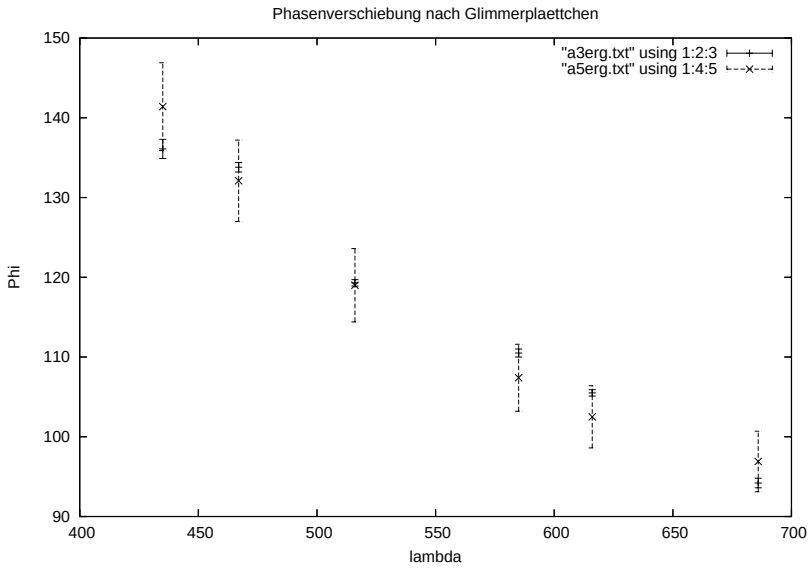
Mittelt man die Abstände der Punkte voneinander, so erhält man einen mittleren Abstand der beiden Muster von $4,03 \pm 0,15$ Skalenteilen.

Verschiebt man ein Muster um $4,03$ Skalenteile, so sieht man, dass die Muster gut übereinander liegen:



Die Verschiebung von $4,03 \pm 0,15$ zusammen mit der oben erhaltenen Eichung ergibt die Phasenverschiebungen (zum Vergleich auch die Phasenverschiebungen aus Aufgabe 3 aufgetragen):

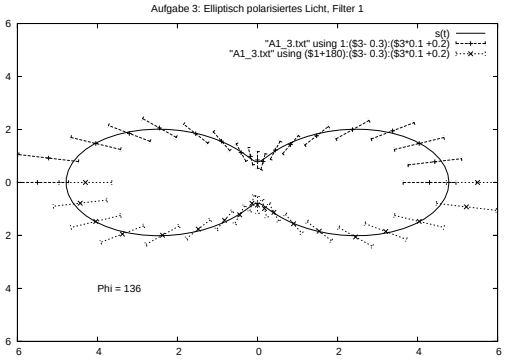
λ	Φ_3	Φ_5
435	136,1 ± 1,2	141,4 ± 5,5
467	133,8 ± 0,6	132,1± 5,1
516	119,3 ± 0,4	119,0 ± 4,6
585	110,5 ± 0,5	107,4 ± 4,2
616	105,5 ± 0,4	102,5 ± 3,9
686	94,2 ± 0,6	96,9 ± 3,8

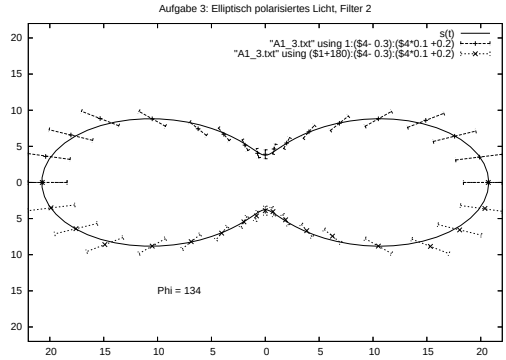


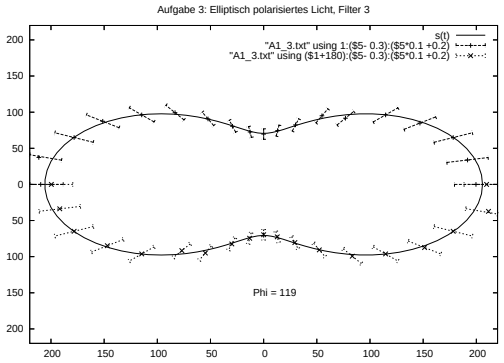
Das Ergebnis aus Aufgabe 3 ist um ungefähr eine Größenordnung genauer. Das liegt daran, dass so viele Werte in die Berechnung eingeflossen sind, so dass sich die Fehler korrigiert haben.

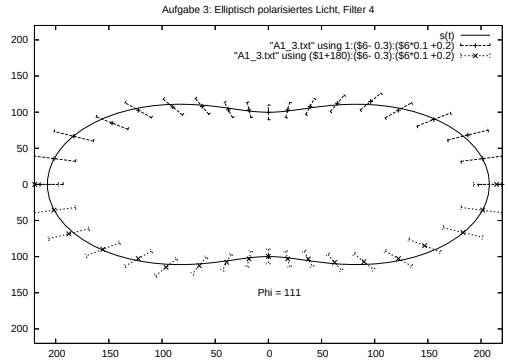
Bei der Messung mit dem Soleilschen Kompensator kam es zu größeren Fehlern. Das lag in erster Linie an der Schwierigkeit, den Dunkelpunkt genau zu bestimmen, da beim Blick in den Strahl nur ein dunkler Streifen zu sehen war, der sich durch das Bild geschoben hat. Die Unsicherheit auf von ca. 0,3 Skalenteilen führte zu den Fehlern.

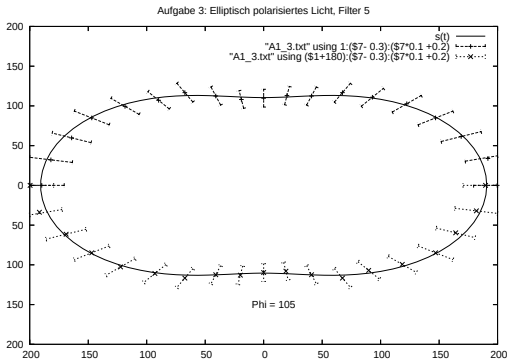
A Anhang: Plots und Fits zu Aufgabe 3

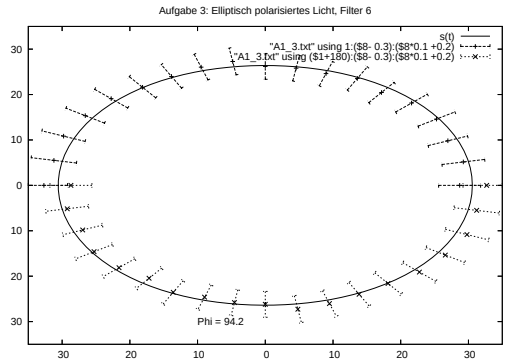












Impressum	
Autor:	Andreas Buhr, Karlstraße 18, D-63225 Langen
Satz:	LaTeX
E-Mail	andreas at andreasbuhr.de
Web	www.andreasbuhr.de