

3.3 Polarisation und Doppelbrechung

Ausarbeitung

Fortgeschrittenenpraktikum an der TU Darmstadt
Versuch durchgeführt von: Mussie Beian, Florian Wetzel
Versuchsdatum: 08.06.2009
Betreuer: Dr. Mathias Sinther



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Inhaltsverzeichnis

1.....	Theorie zum Versuch	3
1.1.	Polarisation von Licht	3
1.2.	Doppelbrechung	4
2.....	Versuchsdurchführung und Auswertung	5
2.1.	Aufgabe 1	5
2.2.	Aufgabe 2	5
2.3.	Aufgabe 3	7
2.4.	Aufgabe 4	8
2.5.	Aufgabe 5	9
2.6.	Anhang	10
2.6.1.	Messdaten zu Aufgabe 3	10

1. Theorie zum Versuch

1.1. Polarisation von Licht

Licht ist eine transversale elektromagnetische Welle, deren elektrisches und magnetisches Feld sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Die Feldvektoren der elektrischen und magnetischen Feldstärke \vec{E} und \vec{H} stehen senkrecht aufeinander und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.

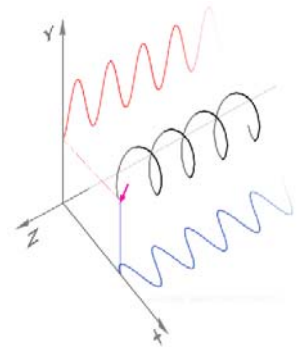
Die Wellenzüge von gewöhnlichem Licht, wie z.B. Sonnenlicht oder dem emittiertem Licht einer Glühbirne, sind vollkommen unregelmäßig, so dass im Mittel alle Richtungen gleichermaßen enthalten sind – man spricht hier von unpolarisiertem Licht.

Mithilfe eines Polarisators lässt sich Licht polarisieren. Den einfachsten Fall stellt linear polarisiertes Licht dar, welches einer ebenen Welle entspricht.

$$\vec{E}_{x(z,t)} = E \cdot \vec{e}_x \cos(\omega t - kz)$$

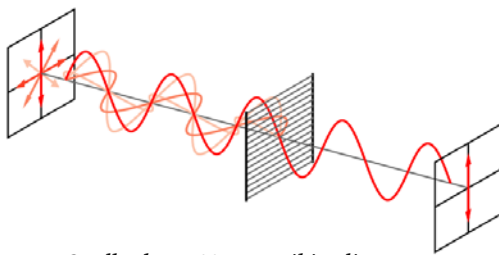
Durch die Überlagerung zweier senkrecht zueinander liegender linear polarisierter Lichtwellen, welche um $\Delta\varphi = 2\pi$ phasenverschoben sind, erhält man zirkular polarisiertes Licht.

$$E_{(z,t)} = E \cdot (\vec{e}_x \cos(\omega t - kz) + \vec{e}_y \sin(\omega t - kz))$$



Ein Polarisator in seiner einfachsten Bauweise besteht aus parallel zueinander angeordneten Drähten, die zu einer Auslöschung der dazu elektrischen Wellenanteile führt, so dass das Licht linear polarisiert wird.

parallel schwingenden



Quelle: <http://www.wikipedia.org>

Mithilfe eines $\frac{\lambda}{n}$ -Plättchens lassen sich Anteile des Lichts in ihrer Phase verzögern. Beispielsweise durch ein $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen lässt sich aus linear polarisiertem Licht zirkular polarisiertes

Quelle: <http://www.wikipedia.org>

Licht erzeugen, bzw. zirkular polarisiertes Licht wieder in linear polarisiertes Licht umwandeln.

Eine Nachweismethode für polarisiertes Licht ist die Verwendung eines Analysators. Dieser entspricht der gleichen Bauweise, wie der Polarisator. Über eine Drehung des Analysators um einen Winkel φ gegenüber dem Polarisator kann man mithilfe der durchgelassenen Intensität die Polarisation des Lichtes nachweisen. Dabei besteht zwischen den Intensitäten vor I_0 und hinter I dem Analysator folgender Zusammenhang:

$$I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi$$

Stellt man den Analysator um $\varphi = 90^\circ$ gegenüber dem Polarisator verdreht, so wird kein Licht durchgelassen.

1.2. Doppelbrechung

Die Eigenschaft der Doppelbrechung rührt von der Anisotropie des brechenden Materials. Sind die Brechungsindizes entlang verschiedener Ausbreitungsrichtungen unterschiedlich, so wird auch das einfallende Licht unterschiedlich gebrochen.

Betrachtet man die Elektronen im Kristall als Dipole, die in Richtung der optischen Achse schwingen, so lässt sich die Ausbreitung des Lichts im Kristall als Absorption und Emission durch diese Dipole beschreiben.

Bei der Doppelbrechung spaltet sich der einfallende Strahl in zwei Strahlen auf, von denen sich der ordentliche Strahl, dessen elektrischer Feldvektor senkrecht zur optischen Achse steht, wie in einem nicht doppelbrechenden Kristall ausbreitet.

Der elektrische Feldvektor des außerordentlichen Strahls ist parallel zur optischen Achse gerichtet. Dieser Strahl wird abhängig vom Winkel zwischen Ausbreitungsrichtung des Lichts und der optischen Achse abgelenkt.

Ordentlicher und außerordentlicher Strahl sind senkrecht zueinander polarisiert.

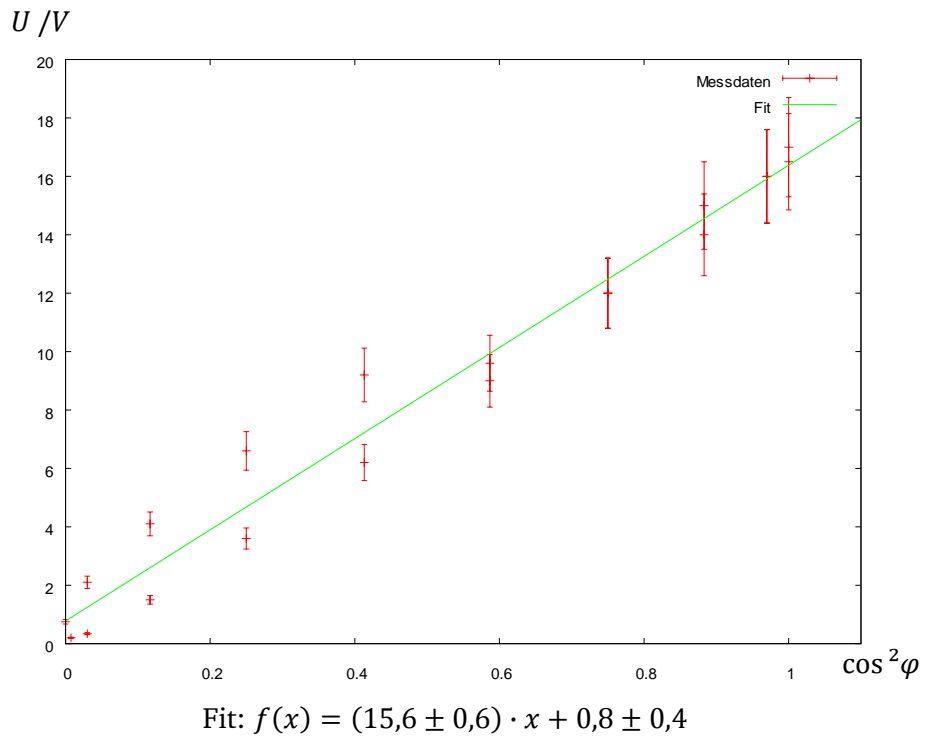
Dieser Effekt wurde erstmals von Erasmus Bartholin im Jahre 1669 an Calcit entdeckt.

2. Versuchsdurchführung und Auswertung

2.1. Aufgabe 1

Zunächst musste der Analysator parallel zum Polarisator aufgestellt werden. Dazu wurde der Analysator so lange gedreht, bis sich ein Intensitätsmaximum einstellte. Diese Position wurde als $\varphi_0 = 0^\circ$ markiert.

$\varphi / ^\circ$	$\cos^2 \varphi$	U / V	$\Delta U / V$
0	1	16,5	1,65
10	0,97	16	1,6
20	0,88	14	1,4
30	0,75	12	1,2
40	0,59	9	0,9
50	0,41	9,2	0,92
60	0,25	6,6	0,66
70	0,12	4,1	0,41
80	0,03	2,1	0,21
90	0	0,75	0,075
95	0,01	0,2	0,02
100	0,03	0,34	0,034
110	0,12	1,5	0,15
120	0,25	3,6	0,36
130	0,41	6,2	0,62
140	0,59	9,6	0,96
150	0,75	12	1,2
160	0,88	15	1,5
170	0,97	16	1,6
180	1	17	1,7



Nach dem Malus'schen Gesetz ist die Intensität proportional zu $\cos^2 \varphi$ des eingestellten Winkels φ zwischen Polarisator und Analysator, welche wir mit unserer Messung bestätigen konnten.

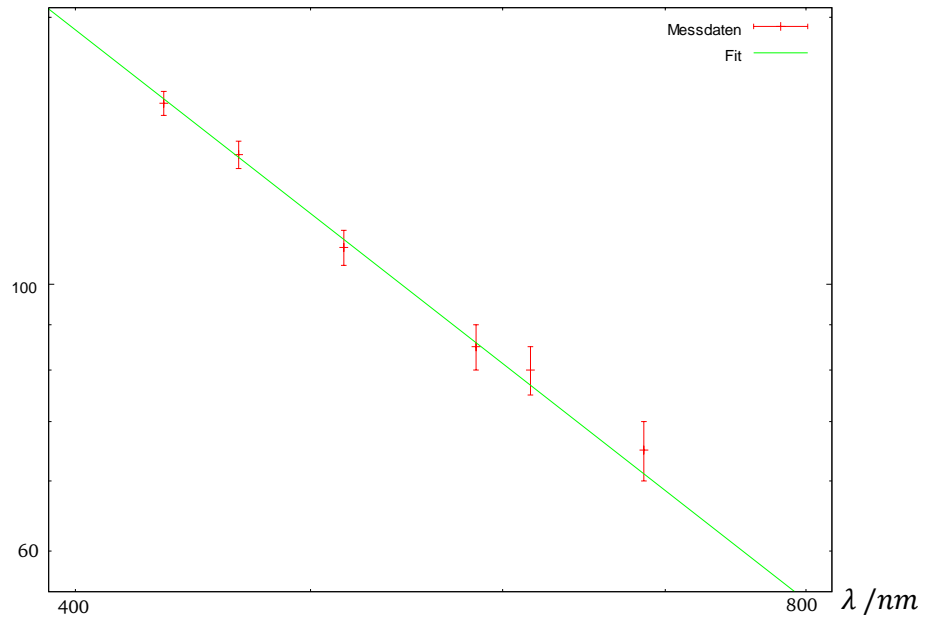
2.2. Aufgabe 2

In diesem Aufgabenteil sollte die optische Aktivität des verwendeten linksdrehenden Quarzplättchens untersucht werden.

Der Analysator wurde wieder parallel zum Polarisator eingestellt und anschließend wurde jeweils das Quarzplättchen mit unterschiedlichen Farbfiltern untersucht, indem das erste Minimum gesucht und der entsprechende Winkel gegenüber der Wellenlänge des Farbfilters aufgetragen wurde.

$$\varphi / ^\circ$$

λ	φ	$\Delta\varphi$
435	160	5
467	140	5
516	110	5
585	85	5
616	80	5
686	65	5



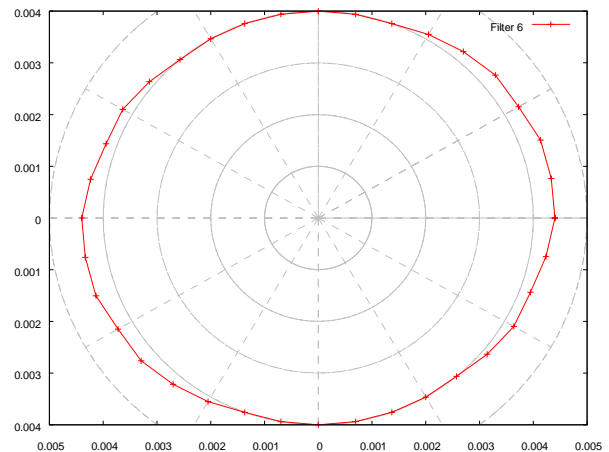
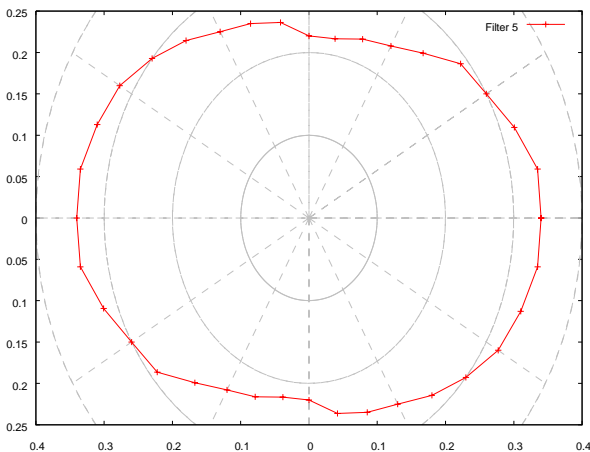
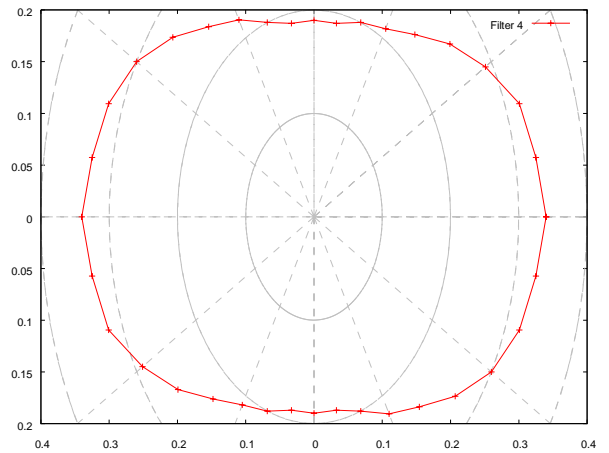
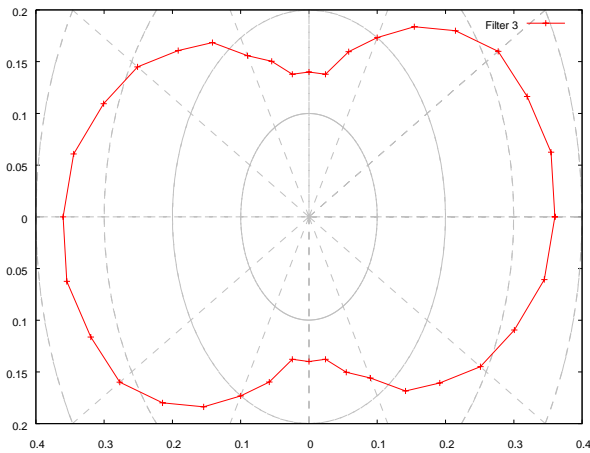
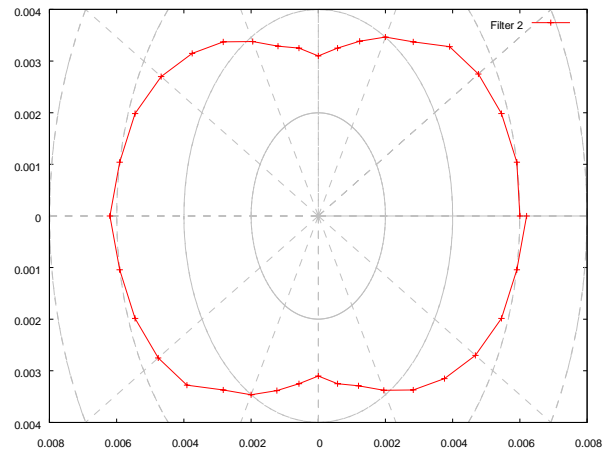
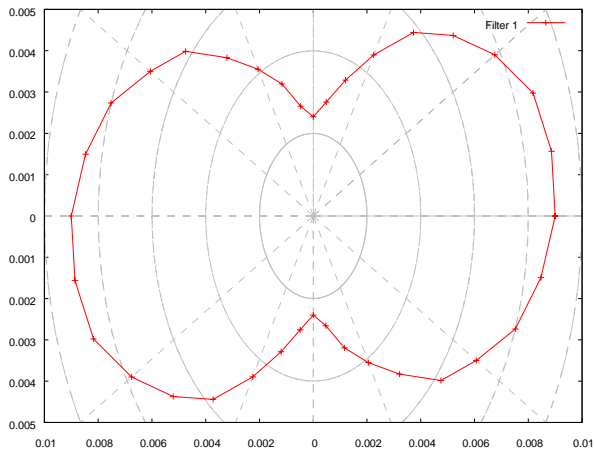
Fit: $f(x) = (7,05 \cdot 10^7 \pm 3,47 \cdot 10^7) \cdot x^{-2,14 \pm 0,08}$

Die erwartete $\frac{1}{\lambda^2}$ -Abhängigkeit zwischen Wellenlänge und der Verschiebung des Minimums kann mithilfe unserer Fitfunktion ($b = -2,14 \pm 0,08$) in guter Näherung bestätigt werden.

2.3. Aufgabe 3

In diesem Aufgabenteil wurde das doppelbrechende Glimmerplättchen um 45° verdreht zwischen Polarisator und Analysator in den Versuchsaufbau eingefügt. Für jeden Farbfilter wurde die Intensität abhängig vom Winkel φ gemessen. Aufgrund der Symmetrie mussten nur die Werte für $0^\circ < \varphi < 180^\circ$ vermessen werden und auf die übrigen Werte $180^\circ < \varphi < 360^\circ$ übertragen werden.

Zur leichteren Interpretation der Darstellungen wurden die Messdaten (siehe Anhang) in Polarkoordinaten dargestellt. Linear polarisiertes Licht weist dabei die Form einer 8 auf, die Form von zirkular polarisiertem Licht ist kreisförmig, da die Intensität unabhängig vom eingestellten Winkel ist.



Bei Filter 1 war das Licht am stärksten linear polarisiert, bei Filter 6 war das Licht sehr eindeutig zirkular polarisiert. Das Licht der übrigen Filter konnte als elliptisch polarisiert angenommen werden.

Die Phasenverschiebung des Glimmerplättchens ergibt sich aus:

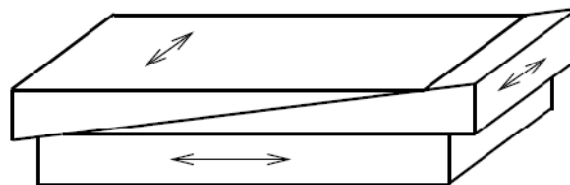
$$\Delta\varphi = 2 \cdot \arctan \left(\sqrt{\frac{U_{max}}{U_{min}}} \right)$$

Der Fehler ergibt sich nach Gauß'scher Fehlerrechnung zu:

Filter	U_{min} / V	U_{max} / V	$\Delta\varphi / ^\circ$
1	0,0024	0,0090	125,38
2	0,0031	0,0062	109,47
3	0,1400	0,3600	116,10
4	0,1900	0,3400	106,44
5	0,2200	0,3400	102,37
6	0,0040	0,0044	92,73

2.4. Aufgabe 4

Zwischen Polarisator und Analysator wurde um 45° zur Schwingungsrichtung verdreht ein Soleil'scher Kompensator eingefügt. Dieser entspricht in seiner Funktionsweise einem $\frac{\lambda}{n}$ -Plättchen mit variabler Dicke, so dass die Phasenverschiebung zwischen ordentlichem und außerordentlichem Strahl justiert werden kann.



Prinzipieller Aufbau des Soleil'schen Kompensators
(Quelle: Anleitungsblatt)

In diesem Aufgabenteil sollte eine Eichung vorgenommen werden, die darauf basiert, dass zwischen zwei aufeinanderfolgenden Minima eine Phasenverschiebung von $\Delta\varphi = 180^\circ$ besteht.

Entsprechend lässt sich der jeweilige Eichfaktor berechnen zu:

$$\lambda = \frac{180^\circ}{\langle r \rangle}$$

Ordnung	Filter 1	Filter 2	Filter 3	Filter 4	Filter 5	Filter 6
-1	67,8	76,6	78,2	79,4	76,6	82,3
0	56,5	54,7	66,1	67,8	67,1	76,2
1	44,9	44	54	52	50,8	49,1
$\langle \Delta x_0 \rangle /$ Skalenteile	11,45	16,3	12,1	13,7	12,9	16,6
$\lambda / ^\circ$	15,72	11,04	14,88	13,14	14,95	10,84

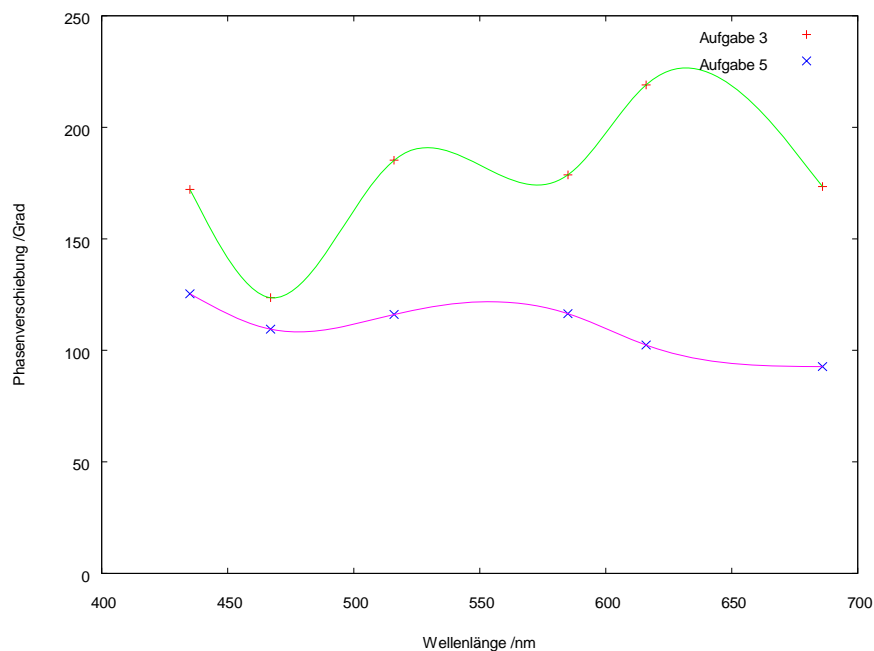
2.5. Aufgabe 5

In diesem Aufgabenteil sollte die Phasenverschiebung des Glimmerplättchens mithilfe des Soleil'schen Kompensators und der zuvor durchgeführten Eichung bestimmt werden. Die Vorgehensweise ist dabei analog zur Vorgehensweise bei der Eichung, mit dem Unterschied, dass nun das Glimmerplättchen in den Aufbau integriert wurde.

Ordnung	Filter 1	Filter 2	Filter 3	Filter 4	Filter 5	Filter 6
-1	62,6	61,5	73,9	75	75,9	76,6
0	50,8	50,3	62,8	62	60,4	61,1
1	40,7	39,1	49	47,8	46,6	44,6
$\langle \Delta x \rangle /$ <i>Skalenteile</i>	10,95	11,2	12,45	13,6	14,65	16
$\lambda \cdot \langle \Delta x \rangle / ^\circ$	172,13	123,65	185,26	178,70	219,02	173,44

Zum Vergleich die ermittelten Werte aus Aufgabe 3:

$\Delta \varphi / ^\circ$	125,38	109,47	116,10	116,44	102,37	92,73
---------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	-------



Wie im graphischen Vergleich (die Interpolierenden dienen lediglich einer groben Orientierung!) der Ergebnisse aus Aufgabe 3 und Aufgabe 5 zu erkennen ist, gibt es deutliche Abweichungen in den Ergebnissen. Bei der Bestimmung der Phasenverschiebung mit Hilfe des Soleil'schen Kompensators traten sehr große Probleme beim Ablesen der Skalenteile auf, da der Bereich der Minima sehr breit war. Somit erhielten wir bei dieser Bestimmung (Aufgabe 5) sehr große Fehler. Dies erklärt auch die großen Schwankungen der Ergebnisse.

2.6. Anhang

2.6.1. Messdaten zu Aufgabe 3

Filter 1

$\varphi / ^\circ$	U / V
0	0,0090
10	0,0090
20	0,0087
30	0,0078
40	0,0068
50	0,0058
60	0,0045
70	0,0035
80	0,0028
90	0,0024
100	0,0027
110	0,0034
120	0,0041
130	0,0050
140	0,0062
150	0,0070
160	0,0080
170	0,0086

Filter 2

$\varphi / ^\circ$	U / V
0	0,00600
10	0,00600
20	0,00580
30	0,00550
40	0,00510
50	0,00440
60	0,00400
70	0,00360
80	0,00330
90	0,00310
100	0,00330
110	0,00350
120	0,00390
130	0,00440
140	0,00490
150	0,00540
160	0,00580
170	0,00600

Filter 3

$\varphi / ^\circ$	U / V
0	0,3600
10	0,3600
20	0,3400
30	0,3200
40	0,2800
50	0,2400
60	0,2000
70	0,1700
80	0,1400
90	0,1400
100	0,1400
110	0,1600
120	0,1800
130	0,2200
140	0,2500
150	0,2900
160	0,3200
170	0,3500

Filter 4

$\varphi / ^\circ$	U / V
0	0,3400
10	0,3300
20	0,3200
30	0,2900
40	0,2600
50	0,2300
60	0,2100
70	0,2000
80	0,1900
90	0,1900
100	0,1900
110	0,2000
120	0,2200
130	0,2400
140	0,2700
150	0,3000
160	0,3200
170	0,3300

Filter 5

$\varphi / ^\circ$	U / V
0	0,34000
10	0,34000
20	0,32000
30	0,30000
40	0,29000
50	0,26000
60	0,24000
70	0,23000
80	0,22000
90	0,22000
100	0,24000
110	0,25000
120	0,26000
130	0,28000
140	0,30000
150	0,32000
160	0,33000
170	0,34000

Filter 6

$\varphi / ^\circ$	U / V
0	0,0044
10	0,0044
20	0,0044
30	0,0043
40	0,0043
50	0,0042
60	0,0041
70	0,0040
80	0,0040
90	0,0040
100	0,0040
110	0,0040
120	0,0040
130	0,0040
140	0,0041
150	0,0042
160	0,0042
170	0,0043