Untersuchungen zur Erfassung der polarisierten Strahlung mit Hilfe eines nematischen Flüssigkristalls und einer NIR-Kamera

von
Norbert Filep, Mat.- Nr. 01025793

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom- Ingenieur

eingereicht an der
Technischen Universität Wien

Betreuer
a.o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Liedl

Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

Wien, Oktober 2019

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters an Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, am 23.10.2019

Unterschrift

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Fertigstellung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank vor allem Prof. Gerhard Liedl, der meine Arbeit betreut und begutachtet hat. Für die hilfreichen Anregungen und seine stets freundliche und professionelle Art möchte ich mich herzlich Bedanken.

Einen wichtigen Beitrag leistete auch Dipl.-Ing. Gerald Humenberger, der sehr viel Zeit investiert hat, um mir beim Bewältigen von Problemen oder bei der Umsetzung meiner Ideen zu helfen.

Selbstverständlich möchte ich mich auch bei meiner Familie bedanken, die mich all die Jahre unterstützt hat.

Zu guter Letzt gilt mein besonderer Dank Dipl.-Ing. Fabian Holzmüller. Ich danke ihm vor allem für seine Freundschaft und seinen Beistand in all den Jahren.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, den Winkel, unter dem die Emission linear polarisierter Strahlung erfolgt, zu ermitteln. Mit Hilfe eines nematischen Flüssigkristalls und einer NIR-Kamera sollte die Erfassung der Polarisationszustände einer emittierenden Fläche bei 1500 nm bewerkstelligt werden. Dazu wurde die von einem Emitter ausgesendete Strahlung mittels Polarisator linear polarisiert. Dieser Polarisationszustand wurde mit einem Flüssigkristall durch Teilung der Strahlung und unterschiedliche Phasenverschiebung in Abhängigkeit der angelegten Spannung verändert und durch den darauf folgenden Analysator wieder linear polarisiert. Die resultierende Strahlung wurde anschließend von der Kamera erfasst (**Versuch 2**).

Um den Winkel bestimmen zu können, wurden drei Aufnahmen gemacht und der Grauwert über die Bildfläche gemittelt. Ein Bild wurde ohne Analysator (S_{LC}) aufgenommen, die anderen bei unterschiedlichen Spannungen (S_{out1} und S_{out2}). Konstruktiv wurde dies durch einen aus- und einschwenkbaren Analysator gelöst. Bevor allerdings mit der eigentlichen Aufgabe begonnen werden konnte, musste das Verhalten des Flüssigkristalls bzw. die Phasenverschiebung in Abhängigkeit der Spannung ermittelt werden (**Versuch 1**). Dies erfolgte jedoch nicht wie geplant bei einer Wellenlänge von 1500, sondern bei 1070 nm. Da die Empfindlichkeit der vorgesehenen Kamera nicht ausreichend war, wurde auf ein Ersatzgerät zurückgegriffen.

Die Aufnahme der Bilder erfolgte über ein Programm des Kameraherstellers. Die Auswertung und anschließende Berechnung des Winkels führte dann ein Python-Programm durch. Versuche, die Kamera über eigene Programme anzusprechen, blieben erfolglos. Daher konnte eine Synchronisation von Flüssigkristall und Kamera nicht realisiert werden.

Da der ermittelte Winkel kaum Rückschlüsse über mögliche Einflüsse und Fehlerquellen ermöglicht, wurden Soll-Grauwerte bestimmt, die für das verwendete Setup und die Ausrichtungen der Komponenten gültig sind. Die Analyse der Grauwerte zeigte, dass die Fehlstelllug der Komponenten Flüssigkristall und Analysator maßgeblich zu den Abweichungen beitragen. Selbst eine fehlerhafte Ausrichtung des Polarisators, mit dem der zu bestimmende Winkel eingestellt wurde, ist nicht auszuschließen. Durch Einsatz einer Blende konnte eine Abschattung der Aufnahmen zum Bildrand hin vermieden werden. Die Apertur und Position der Blende beeinflussten jedoch die Ergebnisse. Mögliche Fehler bei den Resultaten aus Versuch 1, bei dem das Verhalten des Flüssigkristalls ermittelt wurde, konnten nicht nachgewiesen werden. Die Auswirkungen wären jedoch sehr gering gewesen. Auch die Zeit spielt eine gewisse Rolle. Kurzfristig kommt es durch einen Temperaturanstieg der elektronischen Komponenten, zu einer Zunahme der

Grauwerte. Langfristig gesehen, kann es zu einer Änderung der Phasenverschiebung durch den Flüssigkristall kommen. Der Analysator brachte neben einer möglichen Fehlstellung, eine leichte Vergrößerung der Abbildung und einen Transmissionswert, der ebenfalls über Aufnahmen der Kamera ermittelt wurde. Aufgrund der Bildvergrößerung wurden die Grauwerte zunächst über die gesamte bzw. über einzelne Bereiche der Aufnahme gemittelt. Eine pixelweise Auswertung brachte trotz des Abbildungsfehlers gute Ergebnisse. Somit wäre auch eine ortsauflösende Bestimmung des Winkels möglich.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**
1.1 Motivation . . . 1
1.2 Aufgabenstellung . . . 2
1.3 Aufbau der Arbeit . . . 2

2 Theoretische Grundlagen **3**
2.1 Elektromagnetische Wellen . . . 3
2.1.1 Wärmestrahlung . . . 5
2.2 Polarisation . . . 9
2.2.1 Stokes-Formalismus . . . 12
2.2.2 Müller-Matrix-Formalismus . . . 14
2.3 Flüssigkristalle . . . 15

3 Geräte **19**
3.1 Emitter . . . 19
3.2 Bandpassfilter . . . 20
3.3 Polarisatoren . . . 22
3.4 Linse . . . 22
3.5 Flüssigkristall . . . 23
3.6 Kamera . . . 25
3.6.1 CamIR^{1550} . . . 25
3.6.2 TXG03 . . . 26
3.7 Arduino UNO R3 . . . 27

4 Versuchsdurchführung **28**
4.1 Allgemeiner Versuchsaufbau . . . 29
4.2 Versuch 1: Ermittlung der Kennlinie des Flüssigkristalls . . . 31
4.2.1 Datenerfassung und -verarbeitung: Versuch 1 . . . 33
4.3 Versuch 2: Ermittlung des Winkels . . . 33
4.3.1 Aufbau Versuch 2 . . . 33
4.3.2 Datenerfassung und -verarbeitung: Versuch 2 . . . 38
4.4 Spannungsversorgung und -messung . . . 40

5 Versuchsergebnisse **41**
5.1 Versuch 1 . . . 41
5.2 Versuch 2 . . . 43
5.2.1 Durchgang 1 (D1) . . . 44
5.2.2 Durchgang 2 (D2) . . . 45
5.2.3 Durchgang 3 (D3) . . . 47

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.2.4 Durchgang 4 (D4) 49
5.2.5 Durchgang 5 (D5) 51
5.2.6 Durchgang 6 (D6) 53

6 Diskussion **55**
6.1 Empfindlichkeit der CamIR^{1550} 55
6.2 Bildqualität 57
6.3 Ergebnisse Versuch 1 58
6.4 Ergebnisse Versuch 2 59
6.4.1 Einfluss der Blende 63
6.4.2 Einfluss des Analysators 67
6.4.3 Einfluss der Transmission t_A 67
6.4.4 Einfluss der Zeit 70
6.4.5 Einfluss der Kameraeinstellungen 72
6.4.6 Reproduzierbarkeit 73
6.4.7 Art der Auswertung 75

7 Ausblick **79**

8 Anhang **80**
8.1 Programme 80
8.1.1 Bildauswertung 80
8.1.2 Arduino 83
8.2 Zusätzliche Gerätedaten 84
8.3 Ergebnisse 85
8.3.1 Durchgang 1 86
8.3.2 Durchgang 2 91
8.3.3 Durchgang 3 97
8.3.4 Durchgang 4 103
8.3.5 Durchgang 5 109
8.3.6 Durchgang 6 115
8.3.7 Durchgang 7 121
8.3.8 Durchgang 8 127
8.3.9 Durchgang 9 134

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

1 Einleitung

1.1 Motivation

Das Wort *LASER*, ein Akronym für **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, beschreibt die Lichtverstärkung durch stimulierte Emission, welche bereits 1905 von *Albert Einstein* zur Erklärung des *Plankschen Strahlungsgesetzes* postuliert wurde. Seit der Realisierung des ersten Lasers im Jahr 1960 durch den US-amerikanischen Physiker *Theodore Harold Maiman* gewinnen Laserbearbeitungssysteme zunehmend an Bedeutung und etablieren sich als wichtiges Werkzeug in der industriellen Fertigungstechnik.[1]

Die stetig höher werdenden Qualitätsanforderungen, sowie das Streben nach einer wirtschaftlichen Fertigung, stellen die Industrie vor immer neue Herausforderungen. Der daraus resultierende, hohe Automatisierungsgrad hat zur Folge, dass eine Prozessüberwachung zur Qualitätssicherung unumgänglich wird. Um Laserprozesse effizient nutzen zu können, wird eine „Online Prozessüberwachung“ angestrebt, die den laufenden Bearbeitungsprozess sensorisch erfasst und bewertet, um so Rückschlüsse auf die Qualität des Outputs zu erhalten. Die hohe Prozessgeschwindigkeit bei der Bearbeitung mit Lasern erfordert zudem eine zeitlich hochauflösende Messtechnik. Da durch die kraftfreie Energieeinbringung taktile Sensorsysteme ausgeschlossen sind, müssen andere Ansätze gewählt werden. Diese Ansätze richten sich insbesondere nach den aus dem Laserprozess induzierten, akustischen und optischen Emissionen.
Akustische Emissionen haben den Nachteil, dass sie sich nur schwer aus Umgebungsgeräuschen herausfiltern lassen. In der industriellen Praxis setzen sich vor allem optische Emissionen als Indikator für die Prozessqualität durch. Sie bieten den Vorteil, dass sie in verschiedenen Wellenlängenbereichen entstehen. So können beispielsweise Emissionen des Plasmas/Metalldampfes über dem Werkstück im sichtbaren Bereich oder Wärmestrahlungsanteile aus den Wechselwirkungszonen im infraroten Bereich des Spektrums gemessen werden.
Bei der Prozessüberwachung mittels optischen Ansätzen unterscheidet man generell zwischen integrierenden und ortsaufgelösten Systemen. Bei integrierenden Systemen kommen Photodioden in Kombination mit optischen Filtern in einem Wellenlängenbereich von etwa 200 bis 1100 nm zum Einsatz. Für diese Art von Systemen spricht die Einfachheit des optischen Aufbaus und der Informationsverarbeitung. Kamerabasierte Systeme liefern hingegen weitaus mehr Informationen in Form von Ortsauflösung.[2]

[1] vgl. Eichler et al., 2006, S.53
[2] vgl. Deininger, 2006, S.30f

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Polarisierte Strahlung kann in vielen Bereichen zur Detektion eingesetzt werden, so befassen sich verwandte Projekte mit der Detektion polarisierter Strahlung mit Hilfe von Photodioden bzw. mit der Erfassung infraroter Strahlung bei der Lasermaterialbearbeitung. Im gegenständlichen Projekt sollen Grundlagen zur flächigen Erfassung polarisierter Strahlung im infraroten Bereich des Spektrums erarbeitet werden.

1.2 Aufgabenstellung

Im Rahmen vorangegangener Arbeiten wurde bereits ein nematischer Flüssigkristall in Kombination mit einem Analysator und einer Photodiode zur Erfassung unterschiedlicher Polarisationszustände eingesetzt. Damit wird eine Bestimmung des Winkels, unter dem die Emission der Strahlung erfolgte, ermöglicht. Durch den Einsatz einer Kamera sollen nun die Polarisationszustände einer emittierenden Fläche erfasst werden. Die Aufgabenstellung beinhaltet folgende Teilaufgaben:

- Auswahl und Aufbau der erforderlichen Optiken und Filter zur Beobachtung von NIR-Strahlung mit Hilfe des Flüssigkristalls und der Kamera
- Ansteuerung des Flüssigkristalls zur Synchronisation mit der Kamera
- Ausbau eines Testsystems zur flächigen Emission unterschiedlicher Polarisationszustände
- Aufzeichnung und anschließende Analyse des Kamerastreams und Auswertung durch Zuordnung von Polarisationsrichtungen zu unterschiedlichen Farben

1.3 Aufbau der Arbeit

Nachdem zuvor die Motivation und Aufgabenstellung, auf der diese Arbeit basiert, vorgestellt wurden, beinhaltet das nachfolgende Kapitel eine Beschreibung der theoretischen Grundlagen. Dabei stehen zunächst elektromagnetische Wellen, insbesondere die Wärmestrahlung, im Mittelpunkt. Danach widmet sich ein Abschnitt dem für diese Arbeit wesentlichen Begriff der Polarisation und deren mathematische Beschreibung in Form des Stokes- bzw. Müller-Matrix-Formalismus. Kapitel 2.3 verschafft einen Überblick über Aufbau, Funktionsweise und Eigenschaften von Flüssigkristallen.
In Kapitel 3 werden die bei den Versuchen verwendeten Geräten und Komponenten beschrieben. Anschließend folgt ein Abschnitt, der das grundsätzliche Vorgehen bei der Versuchsdurchführung erläutert. Dabei wird hauptsächlich auf den Versuchsaufbau, sowie die Datenerfassung und -verarbeitung mittels *Python* eingegangen. Die nachfolgenden zwei Kapitel beinhalten Analysen, Darstellungen und Diskussion der gesammelten Ergebnisse. Den Abschluss bilden ein Ausblick, welche Arbeiten in nächster Zukunft, aufbauend auf diese, durchgeführt werden sollten und Ratschläge bezüglich Verbesserungsmöglichkeiten im gegenständlichen Projekt.
Eine Beschreibung der Programmierung ist anschließend im Anhang zu finden. Dieser beinhaltet zudem sämtliche Ergebnisse inklusive Grauwerte, normierte Grauwerte, Stokes-Parameter und deren Abweichungen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Elektromagnetische Wellen

Als elektromagnetische Welle bzw. Strahlung bezeichnet man eine transversale Welle, in der die elektrische Feldstärke $\boldsymbol{E}$ und eine damit gekoppelte magnetische Flussdichte $\boldsymbol{B}$ periodisch mit der gleichen Frequenz f oszillieren. Dabei bedeutet transversal, dass die Vektoren $\boldsymbol{E}$ und $\boldsymbol{B}$, sowie die Ausbreitungsrichtung der Welle orthogonal zueinander stehen (siehe Abbildung 2.1).[2]

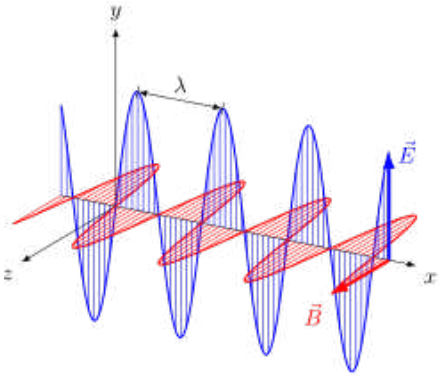


Abb. 2.1: Elektromagnetische Welle[1]

Elektromagnetische Wellen werden je nach Wellenlänge in verschiedene Bereiche unterteilt. Gammastrahlung reicht dabei bis zu einer Wellenlänge von 500 pm, Röntgenstrahlung bis 50 nm und Ultraviolett bis 400 nm. Der sichtbare Teil des Spektrums reicht von etwa 380 bis zu 780 nm. Anschließend folgen Infrarot bis 100 μm, Mikrowellen bis 1 cm und Radiowellen bis 1 km.

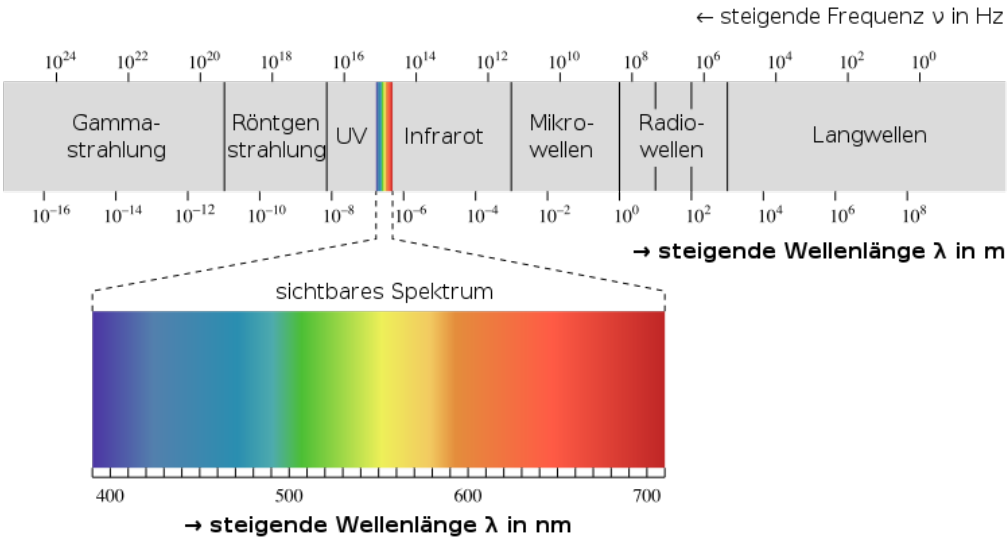


Abb. 2.2: Elektromagnetisches Spektrum[3]

[1] URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische_Welle (20.03.2018)
[2] vgl. Eichler et al., 2006, S.2
[3] URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:EM-Spektrum.svg (19.03.2018)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Elektromagnetische Wellen unterscheiden sich hinsichtlich Frequenz f, Wellenlänge λ und Ausbreitungsgeschwindigkeit u, wobei folgender Zusammenhang zwischen diesen drei Größen besteht:

$$u = \lambda \cdot f. \tag{2.1}$$

Dabei hängt die Geschwindigkeit u davon ab, in welchem Medium sich die Strahlung ausbreitet. Im Vakuum[1] gilt $u = c_0$. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit u ist ebenfalls durch

$$u = \frac{c_0}{n} \tag{2.2}$$

gegeben.

Die dimensionslose Materialkonstante n wird als Brechzahl bzw. Brechungsindex bezeichnet und bildet die Grundlage für das *Snelliussche Brechungsgesetz*, welches den Zusammenhang zwischen Einfallswinkel α_1 und Brechungswinkel α_2 beim Übergang von einem Medium in ein anderes beschreibt.

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \tag{2.3}$$

Eine ebene, sich in z-Richtung ausbreitende elektromagnetische Welle kann mittels Wellenfunktion $E(z,t)$ beschrieben werden.

$$E(z,t) = E_0 \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} z - \delta\right) \tag{2.4}$$

Da die Feldstärke E nicht direkt messbar ist, wird stattdessen die Intensität oder Leistungsdichte I, die durch den zeitlichen Mittelwert des Quadrats der Feldstärkeamplitude $\overline{E_0^2}$ gegeben ist, bestimmt.

$$I = \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}}\overline{E_0^2} = \frac{1}{2Z}E_0^2 \tag{2.5}$$

Hierbei ist $\varepsilon_0 = 8,858 \cdot 10^{-12}$ As/Vm, ε die relative Dielektrizitätskonstante, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am und μ die relative Permeabilität. Die Proportionalitätskonstante $Z = \sqrt{\mu\mu_0/\varepsilon\varepsilon_0}$ wird als Wellenwiderstand[2] bezeichnet.[3]

[1] Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, $c_0 = 299792458$ m/s
[2] Für Vakuum und Luft ($\varepsilon = 1$, $\mu = 1$) gilt $Z = 377\Omega$
[3] vgl. Eichler et al., 2006, S.2ff

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

2.1.1 Wärmestrahlung

Alle materiellen Körper mit einer Temperatur $T > 0K$ emittieren und absorbieren Energie in Form von Wärmestrahlung. Wärmeübertragung in Form von Strahlung ist nicht an Materie gebunden, d.h. sie erfolgt auch durch den leeren Raum. Als Wärmestrahlung wird elektromagnetische Strahlung in einem Wellenlängenbereich von etwa 0,1 μm bis zu 1000 μm bezeichnet, und umfasst UV-Strahlung (0,01 μm bis 0,38 μm), sichtbares Licht (0,38 μm bis 0,78 μm), sowie Infrarot-Strahlung (0,78 μm bis 1000 μm). In diesem Bereich liegt die Temperatur der emittierenden Körper zwischen wenigen Kelvin und etwa $2 \cdot 10^4 K$.[1]

Bei der quantitativen Beschreibung von Wärmestrahlung gilt es, neben der Wellenlänge, auch die Verteilung auf die Richtungen im Raum zu beachten. Daher wurden vier strahlungsphysikalische Größen zur Charakterisierung eingeführt.

- *Gerichtete spektrale Größen* beschreiben die Richtungs- und Wellenlängenverteilung von Strahlungsenergie.
- *Hemisphärische spektrale Größen* hängen nur von der Wellenlänge ab, da sie die Strahlung aller Richtungen des Halbraumes zusammenfassen.
- *Gerichtete Gesamtgrößen* fassen die Strahlung aller Wellenlängen zusammen und sind richtungsabhängig.
- *Hemisphärische Gesamtgrößen* beschreiben die Stahlungsenergie sämtlicher Wellenlängen und Richtungen.

Durch Integration der gerichteten spektralen Größen über die Wellenlängen bzw. über die Richtung lassen sich die jeweiligen Größen herleiten.[2]

Der Schwarze Körper

Der Schwarze Körper ist ein idealisierter Strahler, der einerseits sämtliche Strahlung absorbiert, und andererseits in Abhängigkeit der Temperatur einen charakteristischen Maximalwert der Strahlungsenergie emittiert. Diese Strahlung dient als Bezugsgröße bei der Berechnung von Wärmestrahlung realer Körper.[3]

Die spektrale flächenspezifische Ausstrahlung M_λ^S ist der auf die Oberfläche des Schwarzen Körpers bezogene Energiestrom, der in einem infinitesimalen Wellenlängenbereich $d\lambda$ bei einer Wellenlänge λ in den Halbraum emittiert wird. Berechnet wird M_λ^S nach dem *Planckschen Strahlungsgesetz*:

$$M_\lambda^S(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5(e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1)} \tag{2.6}$$

[1] vgl. VDI-Wärmeatlas, 2006, S.Ka1 und Baehr et al., 2006, S.560f
[2] vgl. Baehr et al., 2006, S.562
[3] vgl. VDI-Wärmeatlas, 2006, S.Ka1

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

mit der Einheit $W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$. Die Konstanten c_1 und c_2 ergeben sich aus Naturkonstanten. Mit dem Planckschen Wirkungsquantum h, der Boltzmann-Konstante k und der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum c_0 erhält man für

$$c_1 = 2\pi h c_0^2 = (3,74177107 \pm 0,00000029) \cdot 10^{-16} W m^2 \tag{2.7}$$

und für

$$c_2 = \frac{h \cdot c_0}{k} = (14387,752 \pm 0,024) \mu m K. \tag{2.8}$$

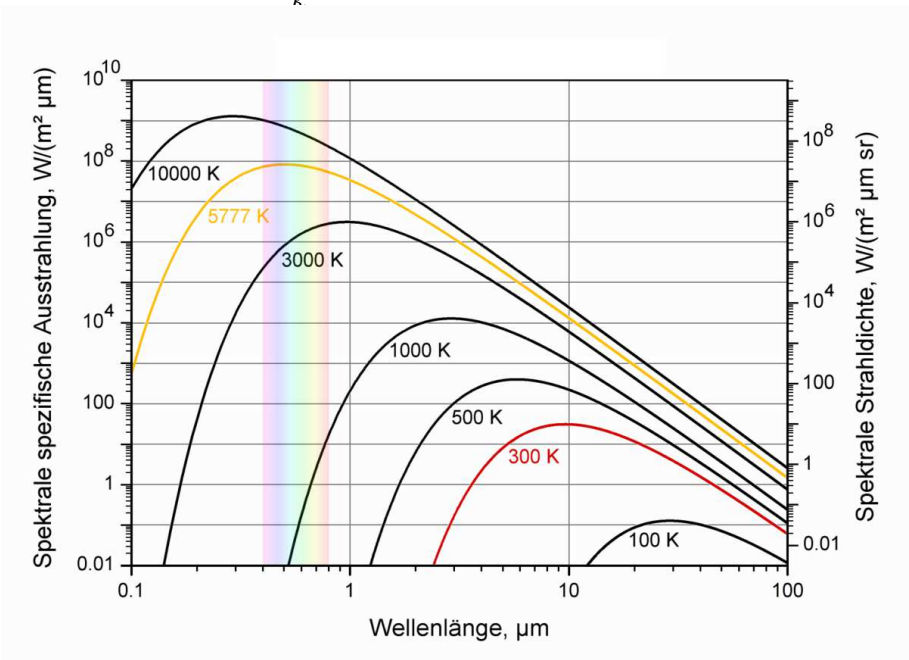


Abb. 2.3: Plancksches Strahlungsgesetz[1]

In Abbildung 2.3 ist das Plancksche Strahlungsgesetz mit einer logarithmischen Auftragung für einige Isothermen dargestellt. Der farbige Balken im Hintergrund markiert den Bereich des sichtbaren Lichts. Es ist ersichtlich, dass nur bei genügend hohen Temperaturen, genauer gesagt ab dem sogenannten *Draper-Punkt* (798 K), Strahlung in diesem Wellenlängenbereich emittiert wird. Zum Vergleich sind die Umgebungstemperatur (rot) und die Sonnenstrahlung (beige) gekennzeichnet. Die emittierte Strahlung der Sonne entspricht in etwa der spektralen spezifischen Ausstrahlung eines Schwarzen Körpers mit einer Temperatur von 5777 K.

Charakteristisch für das *Plancksche Strahlungsgesetz* ist die Verschiebung des Maximums zu kleinen Wellenlängen bei steigender Temperatur. Mit der Bedingung

$$\frac{\partial M_{\lambda S}}{\partial \lambda} = 0 \ , \ T = \text{const}$$

[1] URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Plancksches_Strahlungsgesetz (20.03.2018)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

erhält man die transzendente Gleichung

$$\left(1 - \frac{c_2}{5\lambda T}\right) e^{\frac{c_2}{\lambda T}} = 1 \tag{2.9}$$

mit der Lösung

$$\lambda_{max} T = (2897,7686 \pm 0,0048)\mu m K \ . \tag{2.10}$$

Gleichung 2.10 ist eine Form des *Wienschen Verschiebungsgesetzes*, das besagt, dass die Wellenlänge λ_{max}, bei der ein Schwarzer Körper mit der Temperatur T die intensivste Strahlung abgibt, umgekehrt proportional zur Temperatur ist.

Durch Integration von 2.6 über die Wellenlänge erhält man die spezifische Ausstrahlung des Schwarzen Körpers gemäß der Gleichung von *Stefan-Boltzmann*.

$$M^S = \int_0^\infty M_\mu^S(\mu, T) d\lambda = \sigma \cdot T^4 \ . \tag{2.11}$$

M^S hat die Einheit W/m^2, und für die *Stefan-Boltzmann-Konstante* σ gilt $\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$.[1]

Ausstrahlung realer Körper

Ausgangspunkt bei der Berechnung der Emission realer Körper ist die spektrale Strahldichte L_λ, welche durch

$$L_\lambda = \frac{\Delta^3 \Phi}{\cos\beta \Delta A \Delta\Omega \Delta\lambda} \tag{2.12}$$

gegeben ist und die Einheit $W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-2} \cdot sr^{-1}$ besitzt. $\Delta^3\Phi$ ist die Strahlungsleistung, die im Wellenlängenbereich zwischen λ und $\lambda + \Delta\lambda$ in den Raumwinkel $\Delta\Omega$ von einem Flächenelement ΔA eines Körpers mit der Temperatur T abgestrahlt wird. Der Ausdruck $\cos\beta \cdot \Delta A$ beschreibt die projizierte Fläche und der Raumwinkel $\Delta\Omega$ berechnet sich aus dem Polarwinkel β, sowie dem Azimutwinkel φ gemäß $\Delta\Omega = \sin\beta \Delta\beta \Delta\varphi$.

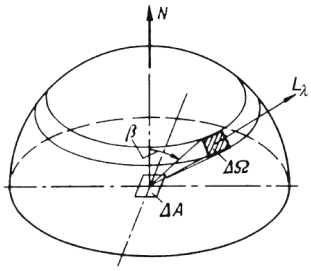


Abb. 2.4: Strahlung eines Flächenelements[2]

Durch Integration der spektralen Strahldichte L_λ über den Halbraum und über die Wellenlängen ergibt sich die flächenspezifische Ausstrahlung $M(T)$.

$$M(T) = \int_0^\infty \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} L_\lambda(\lambda, T, \beta, \varphi) \cos\beta \Delta\Omega \Delta\lambda \tag{2.13}$$

[1] vgl. VDI-Wärmeatlas, 2006, S.Ka1 und Baehr et al., 2006, S.587ff
[2] VDI-Wärmeatlas, 2006, S.Ka2

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Die Ausstrahlung von Oberflächen realer Körper wird durch den Emissionsgrad ε auf die Ausstrahlung des Schwarzen Körpers zurückgeführt.[1]

$$\varepsilon(T) = \frac{M(T)}{M^S(T)} = \frac{M(T)}{\sigma \cdot T^4} \tag{2.14}$$

Absorption, Reflexion und Transmission

Trifft Strahlung auf einen Körper, so wird diese teilweise an seiner Oberfläche reflektiert (Reflexion). Der nicht reflektierte Teil der Strahlung dringt entweder in den Körper ein und wird in innere Energie umgewandelt (Absorption), oder wird zum Teil durchgelassen (Transmission).

Die auftreffende Strahlung kann durch die Bestrahlstärke E charakterisiert werden. Diese hemisphärische Gesamtgröße berechnet sich gemäß

$$E = \frac{d\Phi_b}{dA} \tag{2.15}$$

und beschreibt den Strahlungsfluss $d\Phi_b$, der auf die Fläche dA des Körpers trifft.

Der absorbierte Anteil $d\Phi_{b,abs}$ des Strahlungsflusses $d\Phi_b$ ist gegeben durch den Absorptionsgrad $a(T)$.

$$a(T) = \frac{d\Phi_{b,abs}}{d\Phi_b} \tag{2.16}$$

Der Reflexionsgrad $r(T)$ berechnet sich mittels Quotienten aus reflektierter Strahlung $d\Phi_{b,ref}$ und auftreffender Strahlung $d\Phi_b$.

$$r(T) = \frac{d\Phi_{b,ref}}{d\Phi_b} \tag{2.17}$$

Bei der Beschreibung der durchgelassenen Strahlung ist es zweckmäßig den spektralen Transmissionsgrad τ_λ als Bezugsgröße zu verwenden. Dies liegt daran, dass Strahlung nur selektiv in einem bestimmten Wellenlängenbereich hindurch gelassen wird.

$$\tau_\lambda(\lambda, T) = \frac{d^2\Phi_{b,dgl}}{d^2\Phi_b} \tag{2.18}$$

Zusammen mit dem spektralen Absorptionsgrad $a_\lambda(\lambda, T)$ und dem spektralen Reflexionsgrd $r_\lambda(\lambda, T)$ erhält man die Bilanz[2]

$$a_\lambda(\lambda, T) + r_\lambda(\lambda, T) + \tau_\lambda(\lambda, T) = 1 \ . \tag{2.19}$$

[1] vgl. VDI-Wärmeatlas, 2006, S.Ka2f
[2] vgl. Baehr et al., 2006, S.572ff

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

2.2 Polarisation

Dass es sich bei Licht um rein transversale Wellen handelt, wurde zu Beginn des 19. Jahrhunderts von *Augustin Jean Fresnel* und *François Arago* experimentell bewiesen. Die sich in z-Richtung ausbreitenden Wellen lassen sich aus zwei orthogonalen Komponenten, eine in x-Richtung und eine in y-Richtung, zusammensetzen:

$$\vec{E}(z,t) = \begin{pmatrix} E_x(z,t) \\ E_y(z,t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{0x}\cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}z - \delta_x\right) \\ E_{0y}\cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}z - \delta_y\right) \end{pmatrix} \tag{2.20}$$

E_x wird als s-polarisierte (senkrechte) und E_y als p-polarisierte (parallele) Komponente bezeichnet.[1]

Bei einer Phasenverschiebung $\delta = \delta_y - \delta_x$ von 0 bzw. π erfolgt die Schwingung in einer Ebene und man spricht in diesem Fall von linearer Polarisation. Zirkulare Polarisation tritt auf bei $\delta = \pm\frac{\pi}{2}$, sowie $E_{0x} = E_{0y} = E_0$. Die Bewegung des Feldstärkevektors erfolgt dann schraubenförmig durch den Raum und die Projektion auf die x-y-Ebene ergibt einen Kreis. Dabei ist der Drehsinn der Schraube abhängig von der Phasenverschiebung zwischen der x- und y-Komponente. Bei elliptischer Polarisation ($\delta \neq \frac{\pi}{2}$, $E_{0x} \neq E_{0y}$) ergibt die Projektion auf die x-y-Ebene eine Ellipse. Die Form und Größe der Ellipse werden durch die vier Parameter E_{0x}, E_{0y}, δ_x sowie δ_y beschrieben.

Eliminiert man aus Gleichung 2.20 die Zeit- und Ortsabhängigkeit, erhält man eine Ellipsengleichung in einer nicht standardisierten Form:

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} - \frac{2E_xE_y}{E_{0x}E_{0y}}\cos\delta = \sin^2\delta\ . \tag{2.21}$$

Bei einer Phasenverschiebung von $\delta = 0$ oder $\delta = \pi$ ergibt sich daher eine Gerade mit einer Steigung, die abhängig von den Amplituden der Schwingungen ist.

$$E_y = \pm\frac{E_{0y}}{E_{0x}}E_x \tag{2.22}$$

Setzt man die Werte $\delta = \pm\frac{\pi}{2}$ und $E_{0x} = E_{0y} = E_0$ in die Ellipsengleichung ein, so erhält man die Kreisgleichung.[2]

$$\frac{E_x^2}{E_0^2} + \frac{E_y^2}{E_0^2} = 1 \tag{2.23}$$

[1] vgl. Collett, 2005, S.5f
[2] URL: http://www.iap.tu-darmstadt.de/fileadmin/iap/fp/a/3.3-B_Anleitung.pdf (02.11.2017)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Charakteristiken der Ellipse sind ihre Orientierung ψ, ihre Elliptizität χ und der Winkel α. Sie lassen sich mit Hilfe der Parameter der Schwingungen (E_{0x}, E_{0y}, δ_x, δ_y) bestimmen.

$$\tan(2\psi) = \frac{2E_{0x}E_{0y}}{E_{0x}^2 - E_{0y}^2}\cos\delta \tag{2.24}$$

$$\tan(\chi) = \frac{b}{a} \tag{2.25}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{E_{0y}}{E_{0x}} \tag{2.26}$$

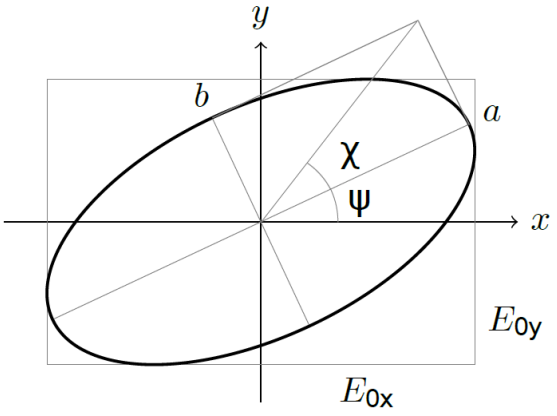


Abb. 2.5: Polarisationsellipse[1]

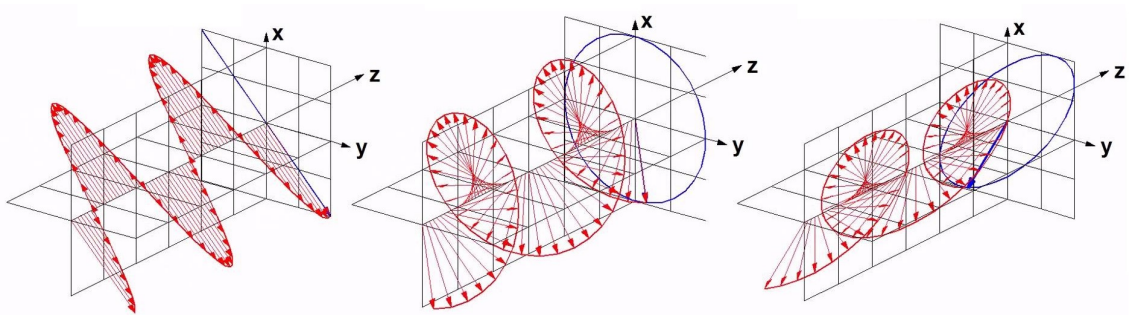


Abb. 2.6: Beispiele für Polarisationszustände (von links nach rechts): lineare Polarisation, zirkulare Polarisation, elliptische Polarisation[2]

Existiert kein zeitlich konstantes Phasen- oder Amplitudenverhältnis, so spricht man von unpolarisiertem Licht. Eine Projektion unterscheidet sich nicht von jener des zirkular polarisiertem Lichts. Überlagern sich polarisiertes und unpolarisiertes Licht, so erscheint es wie elliptisch polarisiertes Licht.[3]

Polarisierte Strahlung kann durch verschiedene physikalische Prozesse, wie *Reflexion*, *Doppelbrechung* und *Dichroismus* entstehen. Diese Mechanismen werden hier nun kurz vorgestellt. Bauteile, die diese physikalischen Effekte, gezielt nutzen, werden als *Polarisatoren* bezeichnet. Eine Beschreibung der Polarisation durch *Doppelbrechung* finden Sie in Kapitel 2.3 im Zusammenhang mit Flüssigkristallen.

[1]URL: http://www.iap.tu-darmstadt.de/fileadmin/iap/fp/a/3.3-B_Anleitung.pdf (02.11.2017)
[2]URL: https://electronicsforu.com/resources/beginners-guide-em-waves-polarisation (20.03.2018)
[3]URL: http://www.iap.tu-darmstadt.de/fileadmin/iap/fp/a/3.3-B_Anleitung.pdf (02.11.2017)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Polarisation durch Reflexion

Trifft beispielsweise ein elektromagnetisches Strahlenbündel auf eine Glasfläche, so wird ein Anteil reflektiert und der andere tritt unter Brechung in das Medium ein. Analysen der reflektierten Wellen zeigen, dass diese teilweise polarisiert sind. Der Polarisationsgrad ist dabei vom Einfallswinkel α des Strahls abhängig und erreicht sein Maximum (vollständig lineare Polarisation), beim sogenannten *Brewster*-Winkel α_B. Aus dem *Snelliusschen Brechungsgesetz* erhält man für den *Brewster*-Winkel α_B:

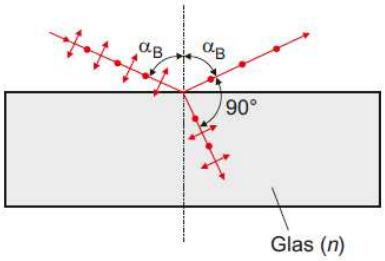


Abb. 2.7: Polarisation durch Reflexion[1]

$$\tan \alpha_B = n \tag{2.27}$$

Wenn wiederum linear polarisierte Strahlung auf eine Glasplatte trifft, so hängt die Intensität des reflektierten Strahlung, neben dem Einfallswinkel α und der Brechzahl des Glases, vor allem von der Polarisationsrichtung ab. Mit Hilfe der *Fresnelschen Formeln* lassen sich die Intensitäten quantitativ bestimmen[2]:

$$I_{\parallel}^{ref} = I_{ein} \left(\frac{n \cos \alpha - \cos \beta}{n \cos \alpha + \cos \beta} \right)^2 \tag{2.28}$$

$$I_{\perp}^{ref} = I_{ein} \left(\frac{\cos \alpha - n \cos \beta}{\cos \alpha + n \cos \beta} \right)^2 \tag{2.29}$$

Polarisation durch Dichroismus

Die Polarisation durch *Dichroismus* basiert darauf, dass die Teilwellen (ordentlicher und außerordentlicher Strahl) der Strahlung unterschiedlich stark absorbiert werden (daher auch der Name selektive Absorption). Polarisatoren in Form von Polarisationsfolien arbeiten mit diesem Prinzip. Sie bestehen wie z.B. Flüssigkristalle aus einem optisch anisotropen Material.[4]

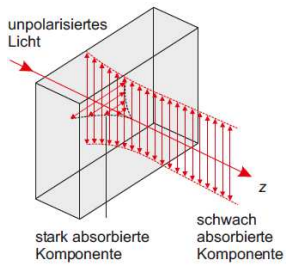


Abb. 2.8: Polarisation durch Dichroismus[3]

[1] Eichler et al., 2016, S.337
[2] vgl. ebenda
[3] ebenda, S.338
[4] vgl. ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.2.1 Stokes-Formalismus

Stokes-Parameter dienen zur Beschreibung des Polarisationszustandes elektromagnetischer Wellen und wurden 1852 von George Gabriel Stokes eingeführt. Diese Werte können durch Messung der Intensität der Strahlung nach Passieren verschiedener Polarisatoren berechnet und somit der Polarisationszustand bestimmt werden.[1]

Die Stokes-Parameter können in Form eines Spaltenvektors dargestellt werden, obwohl es sich mathematisch gesehen nicht um einen Vektor handelt. Dies ist im Hinblick auf die Beschreibung von unpolarisiertem Licht, sowie den in Kapitel 2.2.2 vorgestelltem *Müller-Matrix-Formalismus* zweckmäßig.

Ersetzt man die zeitlich veränderlichen E-Feldterme in der Polarisationsellipse durch ihre zeitlichen Mittelwerte, so erhält man folgende Gleichung:

$$(E_{0x}^2 + E_{0y}^2)^2 - (E_{0x}^2 - E_{0y}^2)^2 - (2E_{0x}^2 E_{0y}^2 \cos(\delta))^2 = (2E_{0x}^2 E_{0y}^2 \sin(\delta))^2 \tag{2.30}$$

Mit dieser Gleichung erhält man vier direkt messbare Größen, um den Polarisationszustand von Licht mathematisch zu beschreiben.

$$S_0 = E_{0x}^2 + E_{0y}^2 \tag{2.31}$$

$$S_1 = E_{0x}^2 - E_{0y}^2 \tag{2.32}$$

$$S_2 = 2E_{0x}^2 E_{0y}^2 \cos(\delta) \tag{2.33}$$

$$S_3 = 2E_{0x}^2 E_{0y}^2 \sin(\delta) \tag{2.34}$$

$$S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 \tag{2.35}$$

$$S_0^2 \leq S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 \tag{2.36}$$

Gleichung 2.35 gilt für vollständig polarisiertes Licht. Handelt es sich jedoch nicht um vollständig polarisiertes Licht, so gilt die Ungleichung 2.36. Der Grad der Polarisation *DOP* lässt sich über den folgenden Quotienten ermitteln:

$$DOP = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0} \tag{2.37}$$

Anhand der Komponenten des Stokes-Vektors lassen sich unterschiedliche Polarisationszustände bestimmen. Der Stokes-Parameter S_0 gibt die Gesamtintensität der Strahlung an. S_1 und S_2 beschreiben den linear polarisierten Anteil des Lichts, wobei S_1 den horizontalen bzw. vertikalen und S_2 den um $\pm 45°$ polarisierten Anteil angeben. Den links- bzw. rechtsdrehenden, zirkular polarisierten Anteil der Strahlung wird mittels S_3 vermerkt. In Tabelle 2.1 sind Beispiele für verschiedene Stokes-Vektoren angeführt.[2]

[1] https://de.wikipedia.org/wiki/Stokes-Parameter (15.11.2017)
[2] URL: http://www.iap.tu-darmstadt.de/fileadmin/iap/fp/a/3.3-B_Anleitung.pdf (02.11.2017)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Stokes-Vektor	Abbildung	Beschreibung
$S_{LVP} = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$		Lineare vertikale Polarisation
$S_{LHP} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$		Lineare horizontale Polarisation
$S_{L+45P} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$		Lineare +45° Polarisation
$S_{L-45P} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}$		Lineare −45° Polarisation
$S_{LZP} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$		Zirkulare linksdrehende Polarisation
$S_{RZP} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$		Zirkulare rechtsdrehende Polarisation

Tab. 2.1: Stokes-Vektoren für verschiedene Polarisationszustände

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Mit Hilfe der Komponononten des Stokes-Vektors lassen sich vice versa die Parameter der Polarisationsellipse herleiten:

$$\tan(2\psi) = \frac{S_2}{S_1} \tag{2.38}$$

$$\sin(2\chi) = \frac{S_3}{S_0} \tag{2.39}$$

$$S = \begin{pmatrix} 1 \\ \cos(2\chi)\cos(2\psi) \\ \cos(2\chi)\sin(2\psi) \\ \sin(2\psi) \end{pmatrix} \tag{2.40}$$

2.2.2 Müller-Matrix-Formalismus

Mit Hilfe des Müller-Matrix-Formalismus ist es möglich, die Auswirkungen von polarisationsoptischen Komponenten auf einen Stokes-Vektor mathematisch zu beschreiben. Trifft ein Lichtstrahl mit Stokes-Vektor S auf eine Polarisationsoptik mit Müller-Matrix M, so ergibt sich ein resultierender Stokes-Vektor S'.[1]

$$S' = \begin{pmatrix} S'_0 \\ S'_1 \\ S'_2 \\ S'_3 \end{pmatrix} = M \cdot S = \begin{pmatrix} m_{00} & m_{01} & m_{02} & m_{03} \\ m_{10} & m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{20} & m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{30} & m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} \tag{2.41}$$

Beispiele für Müller-Matrizen sind in Tabelle 2.2 zu finden. Weitere Matrizen, wie die der Flüssigkristalle, werden im Verlauf der Arbeit vorgestellt.

Horizontale Transmission	**Vertikale Transmission**
$\frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
$+45°$ **Transmission**	$-45°$ **Transmission**
$\frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

Tab. 2.2: Beispiele für Müller-Matrizen

[1] URL: http://www.iap.tu-darmstadt.de/fileadmin/iap/fp/a/3.3-B_Anleitung.pdf (02.11.2017)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.3 Flüssigkristalle

Flüssigkristalle wurden erstmals 1888 von Friedrich Reinitzer beschrieben. Bei der Analyse von pflanzlichen Inhaltsstoffen beobachtete er, dass Cholesterylbenzoat bei einer Temperatur von 145°C zunächst in eine trübe Flüssigkeit und erst bei 178°C in eine klare Flüssigkeit übergeht.[1] Damals sah man jedoch keine praktischen Anwendungen für flüssige Kristalle. Heutzutage kommen sie in verschiedensten Bereichen zum Einsatz.

Flüssigkristalle verhalten sich makroskopisch gesehen wie Flüssigkeiten, d.h. sie nehmen beispielsweise die Form von Behältern an. Der Orientierungszustand der Moleküle, sowie die räumliche Anisotropie vieler physikalischer Größen gleichen jedoch jenen Eigenschaften von Kristallen.[2]

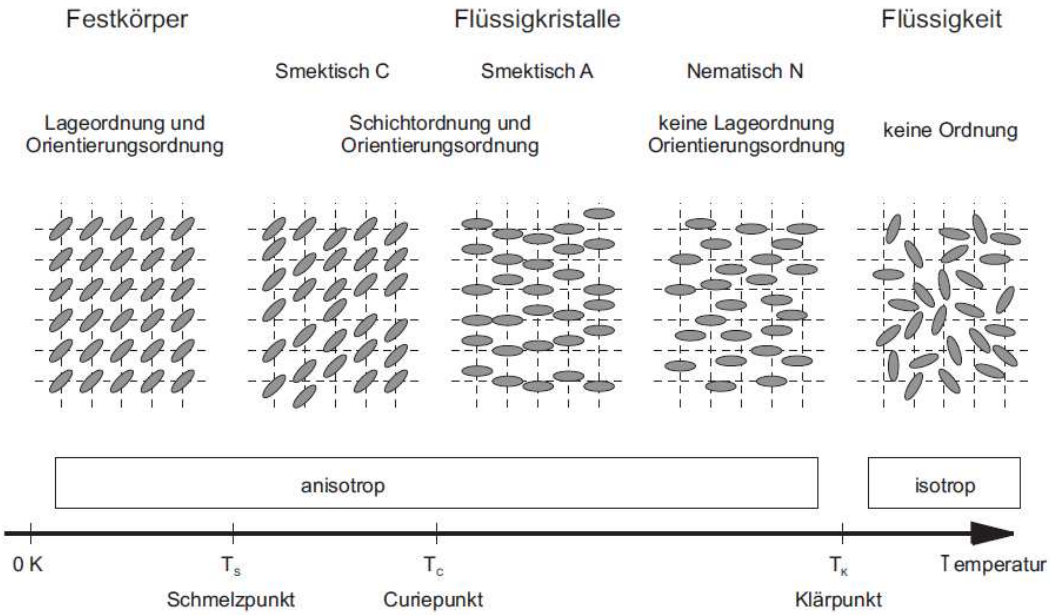


Abb. 2.9: Unterschiedliche Phasen eines Flüssigkristalls[3]

Die Moleküle in einem Flüssigkristall sind entweder stab- oder scheibenförmig und zwischen den einzelnen Molekülen wirken Anziehungskräfte, wobei sie sich aufgrund der energetisch günstigeren Position längsseitig zueinander anordnen. Daher besitzen Flüssigkristalle eine Vorzugsrichtung, die für die anisotropen Eigenschaften verantwort-

[1] vgl. Haberlag et al., 2006, S.2
[2] vgl. Demtröder, 2010, S.535
[3] Frühauf, S.6

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

lich ist.[1] Der Einheitsvektor $\vec{n}$ (Direkor) kennzeichnet die Längsachse des Moleküls, wobei die Gesamtheit aller Direktorausrichtungen die Orientierungsordnung des Flüssigkristalls beschreibt. Der Ordnungsparameter

$$S = \frac{1}{2}(3\cos^2\theta - 1) \tag{2.42}$$

beschreibt den Mittelwert der Orientierungsrichtungen aller Moleküle gegenüber dem Direktor. In einer isotropen flüssigen Phase ist die Wahrscheinlichkeit für jede Richtung gleich, was einem Ordnungsparameter von $S = 0$ entspricht. Bei Flüssigkristallen ergibt sich ein Wert von etwas kleiner als 1, wobei S mit zunehmender Temperatur sinkt.

Nematische Flüssigkristalle haben einen Ordnungsparameter nur wenig kleiner als 1 und bestehen aus einer Anordnung von länglichen Molekülen.
Cholesterinische Flüssigkristalle weisen, wie nematische Flüssigkristalle, Ebenen auf, in denen die Moleküle parallel zueinander liegen. Die Direktoren zweier benachbarter Ebenen sind durch einen kleinen Winkel φ verdreht, sodass die Direktoren eine Schraubenlinie mit einer bestimmten Ganghöhe bilden (daher auch die Bezeichnung chiral nematische Struktur).
Die Molekülanordnung in einem smektischen Flüssigkristall ähnelt am meisten der Struktur eines festen Kristalls, mit dem Unterschied, dass die Moleküle innerhalb einer Ebene verschiebbar sind.[2]

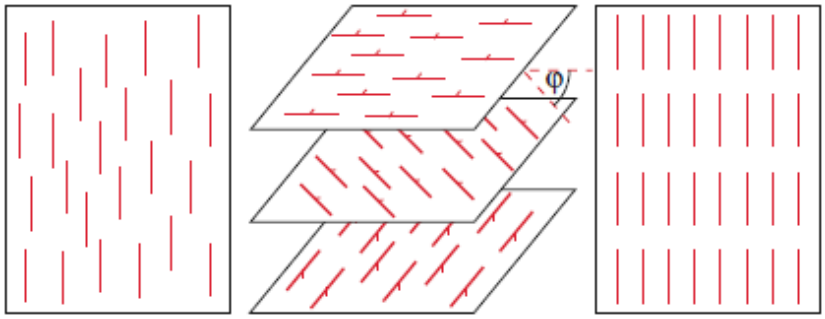


Abb. 2.10: Strukturtypen von Flüssigkristallen (von links nach rechts): nematisch, cholesterinisch, smektisch[3]

[1] vgl. Bäker, 2014, S.4
[2] vgl. Demtröder, 2010, S.536f
[3] ebenda, S.537

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Eine richtungsabhängige Eigenschaft des Flüssigkristalls ist die *dielektrische Anisotropie*. Sie ist durch die Differenz $\Delta\varepsilon$ zwischen den relativen Dielektrizitätskonstanten parallel und senkrecht zur Molekülachse gegeben:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp} \tag{2.43}$$

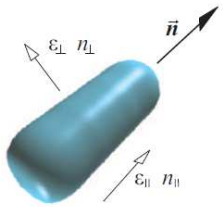


Abb. 2.11: LC-Molekül[1]

Die Ausrichtung der Moleküle beim Anlegen eines elektrischen Feldes ist abhängig vom Vorzeichen von $\Delta\varepsilon$. Bei einem positiven Wert richten sich die Moleküle parallel aus. Eine senkrechte Ausrichtung folgt bei $\Delta\varepsilon < 0$.

Eine weitere wichtige Eigenschaft des Flüssigkristalls ist die optische Anisotropie, welche durch die Differenz

$$\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp} \text{ bzw. } \Delta n = n_e - n_o, \tag{2.44}$$

mit $n_{\parallel} = n_e$ und $n_{\perp} = n_o$, definiert ist. $n_{\parallel}$ ist der Brechungsindex für parallel und $n_{\perp}$ jener für senkrecht zum Direktor polarisiertes Licht. Trifft eine elektromagnetische Welle auf den Flüssigkristall, so wird diese in zwei Teilwellen aufgeteilt. Teilwelle E_o (der Index o steht für ordinary), die senkrecht zu $\vec{n}$ oszilliert, wird ordentlicher Strahl genannt und hat den Brechungsindex n_o. Die parallel zu $\vec{n}$ schwingende Teilwelle E_e (der Index e steht für extraordinary) mit dem Brechungsindex n_e heißt außerordentlicher Strahl.[2]

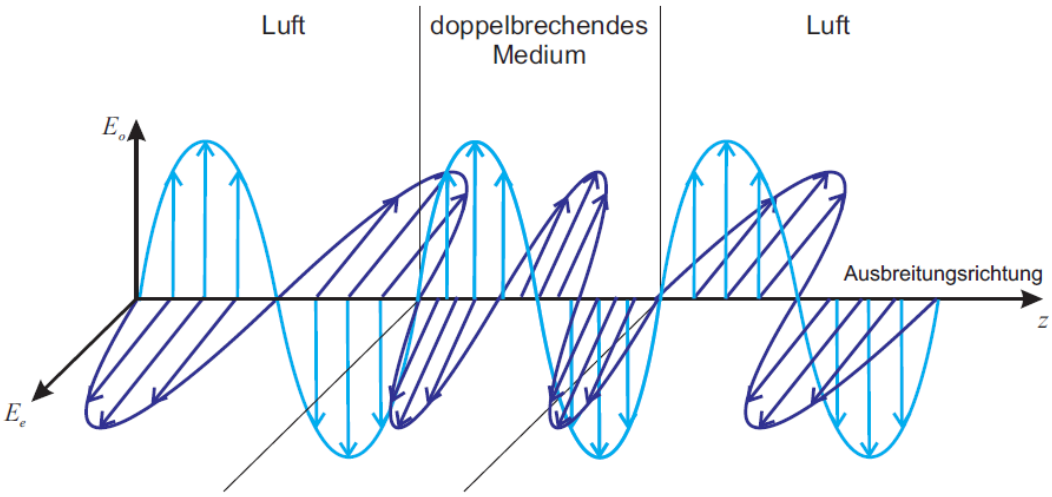


Abb. 2.12: Phasenverschiebung durch Doppelbrechung[3]

[1] Frühauf, S.7
[2] vgl. ebenda, S.6f
[3] ebenda, S.8

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Die unterschiedlichen Brechungsindizes mit Gleichung 2.2 haben zur Folge, dass sich die Teilwellen mit unterschiedliche Geschwindigkeiten ausbreiten. Da im Allgemeinen $n_e > n_o$ gilt, ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit des ordentlichen größer als jene des außerordentlichen Strahls. Dieser als *Doppelbrechung* bezeichneter Effekt, führt zur Änderung des Polarisationszustandes.

Abb. 2.13: Orientierung der Moleküle mit steigendem elektrischen Feld[1]

Durch Steuerung des elektrischen Feldes, und somit des Anstellwinkels der Flüssigkristallmoleküle, kann der Polarisationszustand gezielt beeinflusst werden. Anders ausgedrückt, variiert der effektive Brechungsindex des außerordentlichen Strahls zwischen n_o und n_e. Der effektive Brechungsindex der ordentlichen Teilwelle ist hingegen immer n_o.[2]

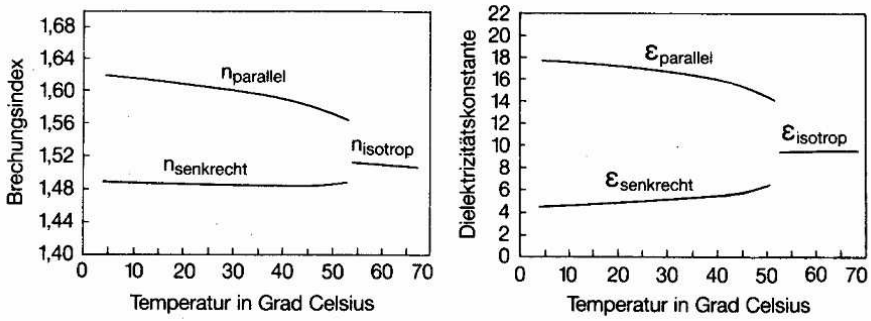


Abb. 2.14: Temperaturabhängigkeit der Brechungsindizes und Dielektrizitätskonstanten[3]

Wie in Abbildung 2.14 dargestellt, nehmen sowohl die dielektrische als auch die optische Anisotropie mit steigender Temperatur ab, und sind nach dem Übergang in eine flüssige Phase nicht mehr vorhanden.

[1] vgl. Demtröder, 2010, S.538
[2] vgl. Frühauf, S.7f
[3] Haberlag, 2006, S.13

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

3 Geräte

Von den theoretischen Bestandteilen dieser Arbeit geht es nun in Richtung Anwendung. Dazu werden in diesem Kapitel die verwendeten Geräte und Komponenten vorgestellt und deren technischen Spezifikationen besprochen.

3.1 Emitter

Bei den Versuchen dient der Infrarot-Emitter EK-3430 der Firma *HelioWorks*, Inc. als Strahlungsquelle. Er kann mit einer maximalen Leistung von ungefähr 12 Watt (Maximum 4V) bei einer Temperatur von ca. 950 $°C$ betrieben werden.
Die spektrale flächenspezifische Ausstrahlung des Emitters ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

Abb. 3.1: EK-3430[1]

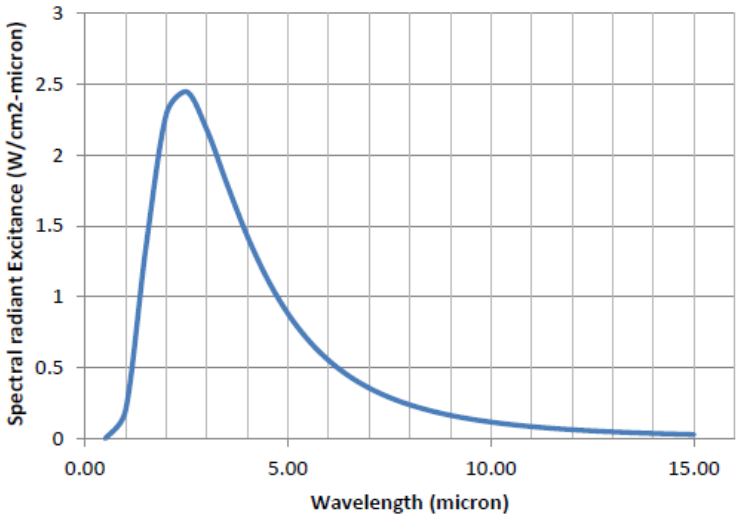


Abb. 3.2: Spektrale flächenspezifische Ausstrahlung des Emitters[2]

Die maximale spektrale flächenspezifische Ausstrahlung liegt bei etwa 2500 nm mit einem Wert von 2.4 W/cm^{-2} μm. Die für die Versuche relevanten Werte sind 1.5 W/cm^{-2} μm bei 1500 nm und 0.4 W/cm^{-2} μm bei 1070 nm.
Die Konstruktionsdaten des Emitters sind im Anhang zu finden.

[1]URL: https://helioworks.com/products/ek3430-no-window/ (04.01.2018)
[2]HelioWorks Datenblatt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

3.2 Bandpassfilter

Um Strahlung mit einer bestimmten Wellenlänge (eher Wellenlängenbereich) zu erhalten, benötigt man optische Filter. Bei den Versuchen werden hierfür die Bandpassfilter *FB 1070-10* von *THORLABS*, sowie der *BK 1500-090-B* von *Interferenz Optik* verwendet.
Der *FB 1070-10* ist für eine Wellenlänge von 1070 ±2 nm ausgelegt und hat in diesem Bereich einen Transmissionswert von ungefähr 85%. Das Spektrum der Strahlung nach Passieren des Bandpassfilters *BK 1500-090-B* liegt zwischen 1470 *nm* und 1550 *nm*. Die Transmission liegt hier bei ca. 70 %.

(a) FB 1070-10[1]

(b) BK 1500-090-B[2]

Abb. 3.3: Bandpassfilter

Die Transmissionswerte der beiden Bandpassfilter sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

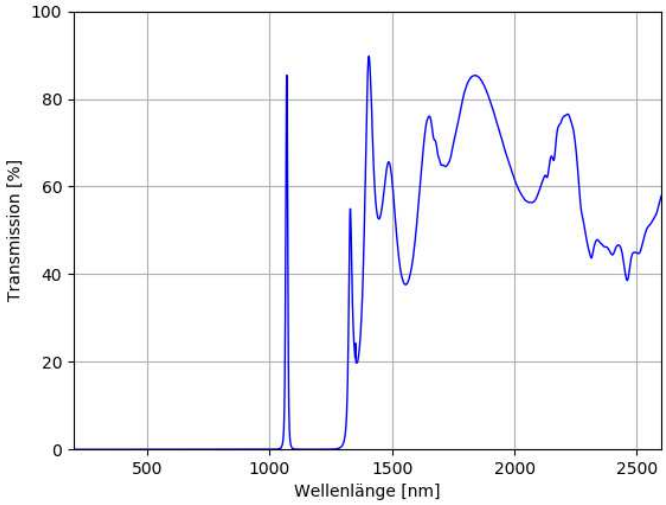


Abb. 3.4: Transmissionswerte des FB 1070-10[3]

[1]URL: https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=FB1070-10 (22.03.2018)
[2]Drobniak, 2016, S.29
[3]Daten aus THORLABS Datenblatt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Der Transmissionsverlauf des *FB 1070-10* (Abbildung 3.4) zeigt einen Peak bei einer Wellenlänge von 1070 nm. In einem Bereich von 0 bis etwa 1300 nm ist dies die einzige Stelle an der der Bandpassfilter Strahlung durchlässt. In höheren Abschnitten des Spektrums sind unterschiedliche Transmissionswerte zu erkennen, die im Allgemeinen über 40% liegen. Der *BK 1500-090-B* hat hingegen einen Bereich (in Abbildung 3.5 grün markiert), in dem der Transmissionswert nahezu konstant bei 80% liegt.

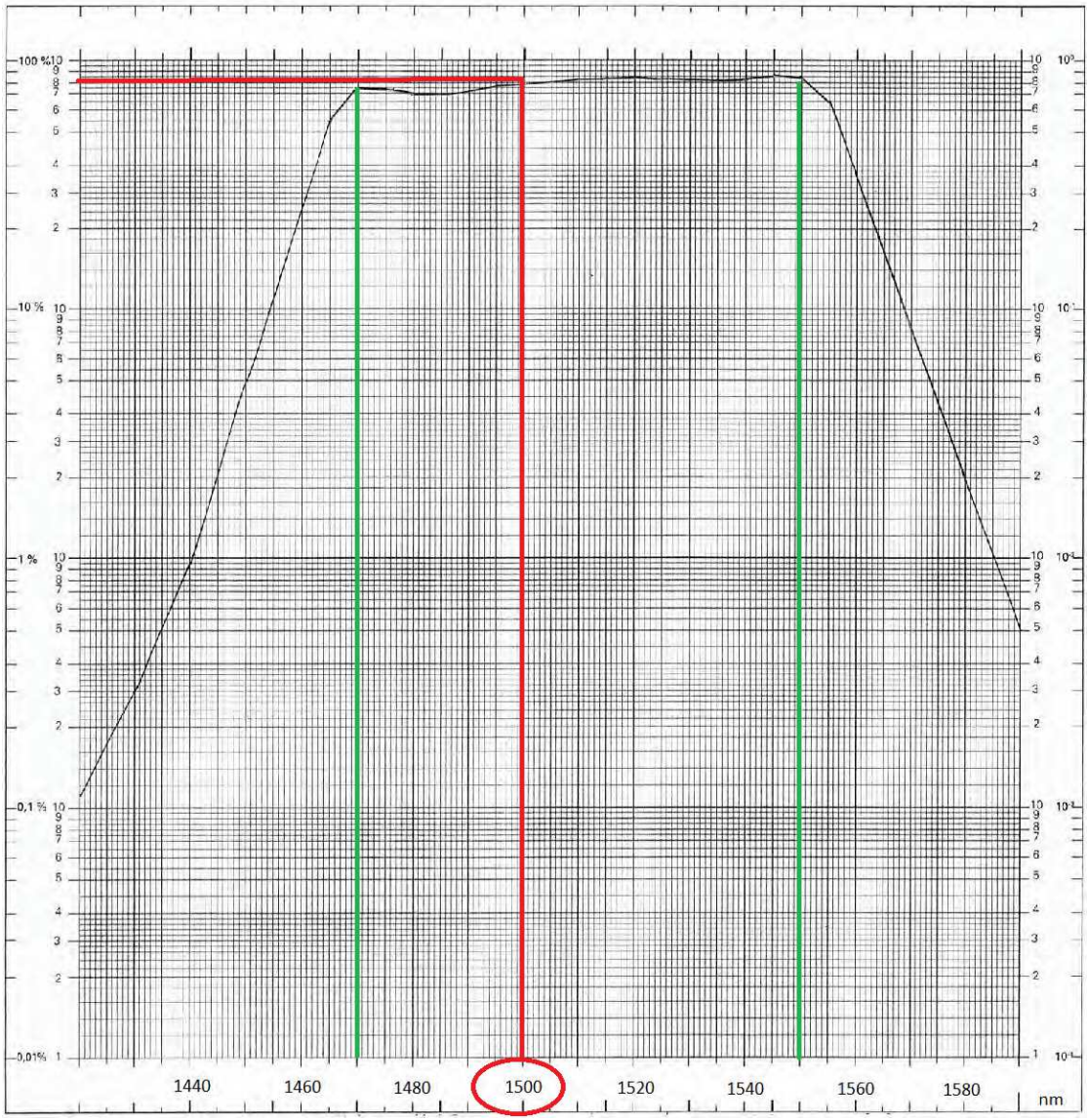


Abb. 3.5: Transmissionswerte des BK 1500-090-B[1]

[1]vgl. Drobniak, 2016, S.30

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

3.3 Polarisatoren

Bei den Versuchen dient ein Polarisator zur Erzeugung von linear polarisierter Strahlung und ein anderer als Analysator. Beide sind Glan-Thompson Polarisatoren und bestehen aus zwei miteinander verkitteten Kalkspatprismen, an dessen Übergang der ordentlich polarisierte Teilstrahl (o) totalreflektiert wird. Das dabei erreichte Löschungsverhältnis erstreckt sich über einen breiten Spektralbereich.

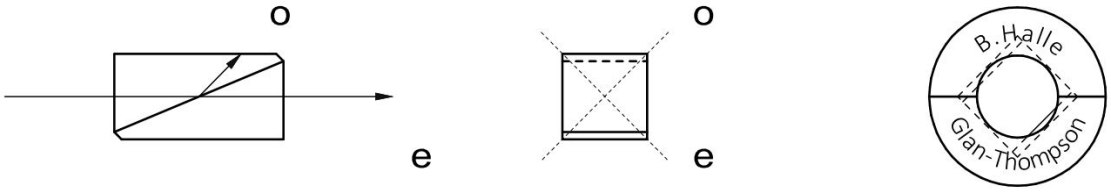


Abb. 3.6: Glan-Thompson Polarisationsprisma[1]

3.4 Linse

Zur Fokusierung der Strahlung auf den Kamerasensor kommt eine plan-konvexe Linse von Thorlabs mit einer Brennweite von $f = 90$ mm zum Einsatz.

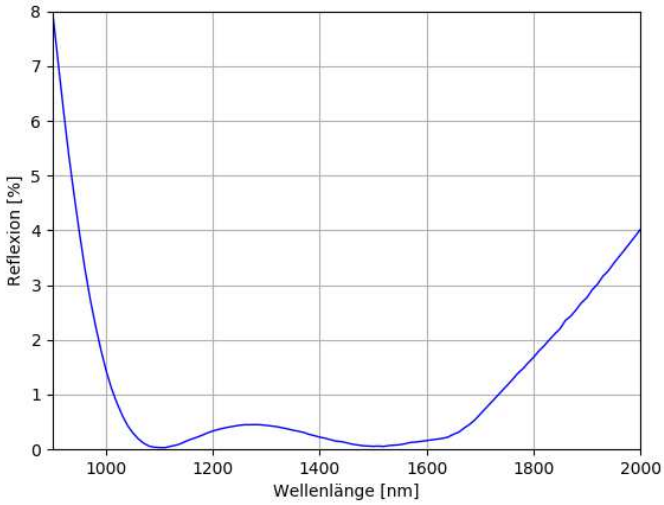


Abb. 3.7: Reflexionsgrad der AR-beschichteten Linse[2]

Der Reflexionsgrad beträgt, wie in Abbildung 3.7 zu sehen ist, bei einer Wellenlänge von 1070 nm 11.5% und bei 1500 nm 5.6%.

[1] URL: http://www.b-halle.de/produkte/Polarisatoren/Glan-Thompson_Polarisationsprismen.html (05.04.2018)
[2] Daten aus THORLABS Datenblatt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

3.5 Flüssigkristall

Der nematische Flüssigkristall *LCC1111-C LCVR* von *THORLABS* dient als variable Verzögerungsplatte (Liquid Crystal Variable Retarder – LCVR) der Einstellung des Polarisationszustandes in einem Wellenlängenbereich von 1050 nm bis 1700 nm. Wobei die Verzögerung in einem Bereich von ∼30 nm bis $\lambda/2$ liegt.

Abb. 3.8: LCC1111-C LCVR[1]

Der *LCC1111-C* besteht aus einer transparenten Schicht, die mit Lösung aus Flüssigkristall-Molekülen gefüllt ist. Die Orientierung der Moleküle ist gegeben durch eine Ordnungsschicht bei einer Spannung von 0V. Aufgrund der doppelbrechenden Eigenschaften des Flüssigkristall-Materials dient der *LCC1111-C* als optisch anisotrope Verzögerungsplatte. Die langsame Achse des Flüssigkristalls ist am Gehäuse markiert.

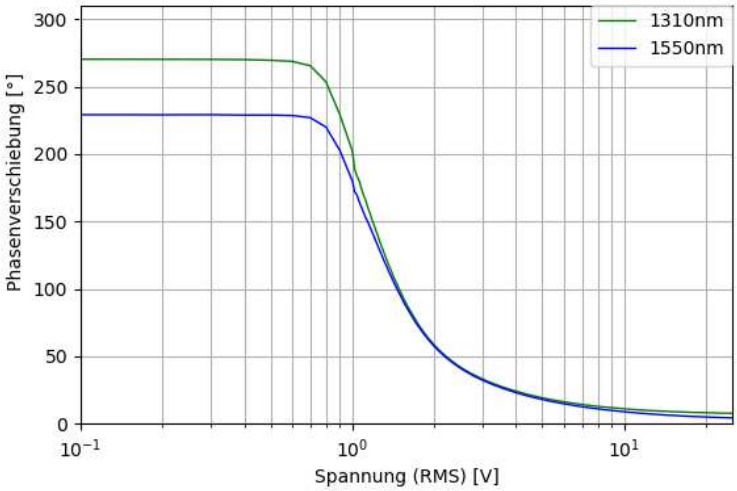


Abb. 3.9: Phasenverschiebung in Abhängigkeit der Spannung bei unterschiedlichen Wellenlängen[2]

[1] URL: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=6179 (04.01.2018)
[2] Daten aus THORLABS Datenblatt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

In Abbildung 3.9 ist die Abhängigkeit der Phasenverschiebung von der angelegten Spannungsamplitude (RMS) für verschiedene Wellenlängen dargestellt. Bis zu einer Spannung von 0.6 V bleibt die Phasenverschiebung nahezu konstant, wobei sie bei geringeren Wellenlängen höher ausfällt. Mit steigender Spannung sinkt die Phasenverschiebung und die Unterschiede zwischen den Wellenlängen werden immer geringer. Diese Kennlinien wurden bei einer Temperatur von 24°C ermittelt und sind aufgrund der Temperatur- und Wellenlängenabhängigkeit des Flüssigkristalls nur bedingt zu gebrauchen.

Die Transmission des LC's in Abhängigkeit von der Wellenlänge ist in Abbildung 3.10 ersichtlich.

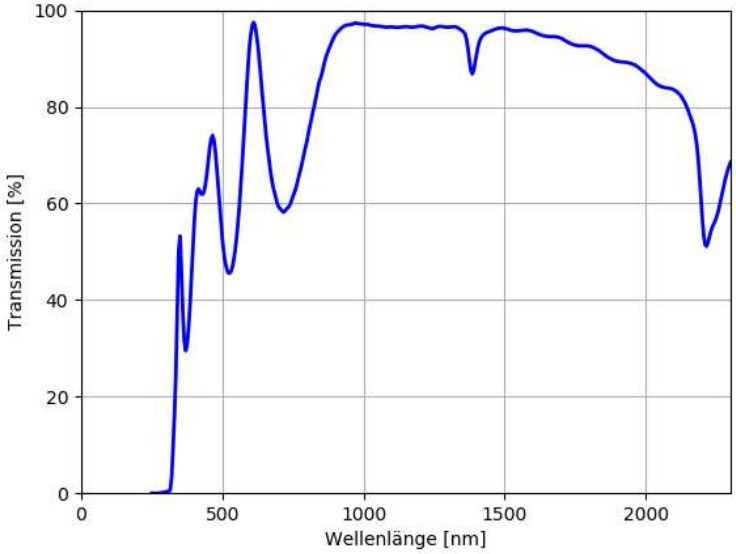


Abb. 3.10: Transmission des *LCC1111-C*[1]

Die Transmission beträgt bei 1070 nm 96.6% und bei 1500 nm 96.3%.

[1]Daten aus THORLABS Datenblatt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.6 Kamera

3.6.1 CamIR^{1550}

Die erste Kamera die für die Versuche verwendet wird, ist die CamIR^{1550} 463125 von *scintacor*. Eine Phosphorschicht auf dem Sensor der Kamera, die im nahen Infrarot regiert, ermöglicht Aufnahmen in Bereichen des Spektrums, die in Abbildung 3.12 dargestellt sind.
Laut Herstellerangaben eignet sich diese Kamera für Aufnahmen bei einer Wellenlänge von 1500 nm, wie sie für diese Arbeit benötigt werden. Über die Empfindlichkeit der Kamera können jedoch keine genaueren Aussagen getroffen werden, da sie in *arb* (steht für arbitrary unit, also für eine willkürliche Einheit) und nur für einen bestimmten Bereich des Spektrums angegeben ist.

Abb. 3.11: CamIR^{1550} [1]

CamIR^{1550}	
Modell	Chameleon CMLN-1352M
Bildsensormodell	Sony progressiv scan interline transfer ICX445 1/3” Exview HAD CCD^{TM}
Maximale Auflösung	1296 x 964
Pixelgröße	3.75 x 3.75 μm
Gain-Steuerung	0 dB bis 24 dB
Belichtungszeit	0.01 ms bis >10 s
Mount	CS-Mount

Tab. 3.1: Auszug aus den technischen Daten der CamIR^{1550} [2]

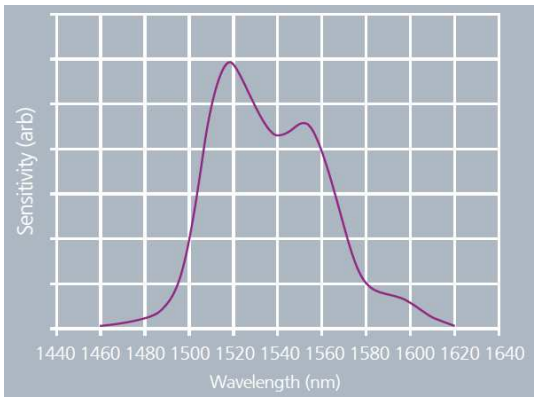


Abb. 3.12: Empfindlichkeit der CamIR^{1550} [3]

[1] URL: https://www.optoscience.com/maker/scintacor/ (03.01.2018)
[2] scintacor CamIR Datenblatt
[3] ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zur Steuerung der Kamera kann die Software *FlyCap2* von *Point Grey* verwendet werden. Mit diesem Programm können neben Einzelbildern und Bildserien, auch Videoaufnahmen erstellt werden. Zudem gibt es die Möglichkeit die Kameraeinstellungen anzupassen. Dabei sollte beachtet werden, dass es einen Modus gibt, welcher die Werte automatisch regelt. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Aufnahmen sollte dieser Modus deaktiviert werden.

Der *FlyCapture 2 Python Wrapper* bietet eine weitere Möglichkeit der Steuerung. So können die Funktionen der Kamera mit einem *Python*-Code ausgeführt werden. Die Kameraeinstellungen lassen sich bei Verwendung des Wrappers ebenfalls über die Software *FlyCap2* ändern. Für die Versuchsdurchführung werden lediglich Belichtungszeit und Verstärkung angepasst, da sich diese beiden Parameter am deutlichsten auf die Helligkeit der Aufnahmen auswirken.

3.6.2 TXG03

Die *TXG03* von Baumer ist im Gegensatz zur *CamIR*[1550] nicht für Aufnahmen bei einer Wellenlänge von 1500 nm ausgelegt. Die Empfindlichkeit dieser Kamera ist, wie man in Abbildung 3.14 sehen kann, bei 500 nm maximal und nimmt dann stetig ab. Somit eignet sich die *TXG03* vor allem für den Einsatz im sichtbaren Bereich des Spektrums. Für diese Arbeit wird sie jedoch für Aufnahmen bei 1070 nm verwendet. Hier liegt die relative Empfindlichkeit bei etwa 5%.

Abb. 3.13: TXG Kamera[1]

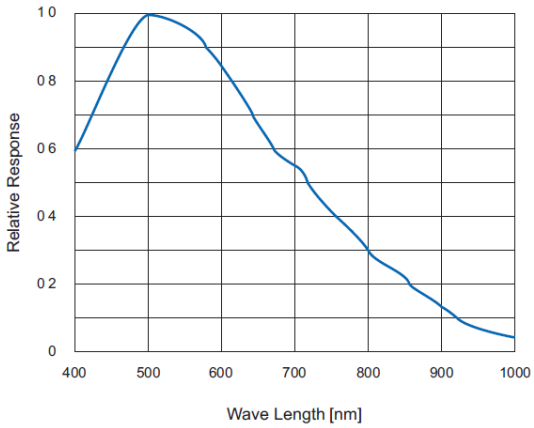


Abb. 3.14: Empfindlichkeit der *TXG03*[2]

TXG03	
Sensor	Sony ICX424
Bildsensortyp	1/3” CCD
Auflösung	656 x 494
Pixelgröße	7.4 x 7.4 μm
Verstärkung	0 dB bis 20 dB
Belichtungszeit	0.004 ms bis 60 s
Mount	C-Mount

Tab. 3.3: Auszug aus den technischen Daten der *TXG03*[3]

[1] Baumer TXG03 Datenblatt
[2] ebenda
[3] ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Kamera kann über den *Baumer Camera Explorer* bedient werden. Um eine Verbindung mit dem Gerät herstellen zu können, muss zunächst die IP neu konfiguriert werden. Dazu öffnet man das *IP Config Tool*, wählt die angeschlossene Kamera aus und durch anschließendes Klicken auf *Force-IP* sollte nun eine Verbindung bestehen. Diese Prozedur muss manchmal öfter wiederholt werden. Eine weitere Möglichkeit der Ansteuerung ist die über eigene Programme in C#.

Anmerkung: Über eigene Programme konnte keine Verbindung mit der Kamera hergestellt werden. Selbst Versuche die Kamera zuerst mit dem *Baumer Camera Explorer* zu verbinden und anschließend über die C#-Programmierung zu steuern, blieben erfolglos.

3.7 Arduino UNO R3

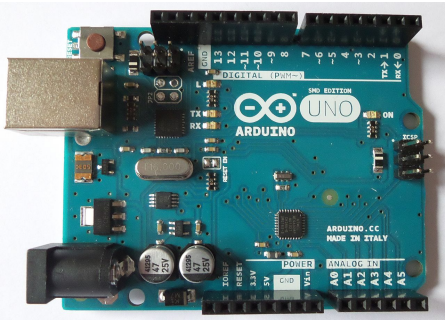


Abb. 3.15: *Arduino UNO R3*[1]

Der *Arduino UNO R3* ist ein Mikrocontroller-Board, das mit einem *Atmel Atmega 328* bestückt ist. Über diverse Pins lässt sich der *Arduino* mit externen elektronischen Komponenten verbinden. Die analogen Pins (A0 bis A5) können zur Spannungsmessung eingesetzt werde. Ein eingebauter AD-Wandler bildet die Spannungswerte auf einen Zahlenbereich von 0 (keine Spannung) bis 1023 (maximale Spannung von 5 V) ab. Bei den digitalen Pins 0 bis 13, die ebenfalls als Sensoreingänge verwendet werden können, wird eine angelegte Spannung von > 2.5 V als HIGH (Zahlenwert 1) und eine geringer Spannung als LOW (Zahlenwert 0) interpretiert. Die digitalen Pins können jedoch auch als Spannungsausgänge fungieren. Der Modus HIGH entspricht einer Ausgabe von 5 V, bei LOW wird keine Spannung ausgegeben. Die Stromstärke ist dabei auf 40 mA begrenzt (Pin 13 ist auf 20 mA begrenzt). Pins, die mit einem Tilde-Zeichen versehen sind(3, 5, 6, 9, 10 und 11), können über eine Pulsweiten-Modulation (PWM) sehr schnell zwischen 0 V und 5 V hin und her wechseln.[2]

Der Mikrocontroller kann über die gleichnamige Software *Arduino* programmiert werden. Die Programmierung selbst erfolgt in einer C bzw. C++ ähnlichen Programmiersprache. Die als "Sketch" bezeichneten Programme können per USB-Kabel auf die Hardware übertrgen werden.

Für die im folgendem Kapitel beschriebene Versuchsdurchführung wird der *Arduino* zunächst für die Erzeugung eines Rechtecksignals verwendet. Die Amplitude wird dabei mittel Potentiometer verändert und die Spannung, die letztendlich am Flüssigkristall anliegt, wird über den *Arduino* gemessen.

[1] URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Arduino_(Plattform) (06.04.2018)
[2] vgl. URL: https://www.grund-wissen.de/elektronik/arduino/aufbau.html (06.04.2018) sowie http://bs-niebuell-projekt.de/index.php?id=120 (07.04.2018)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4 Versuchsdurchführung

Nachdem die verwendeten Geräte und Komponenten vorgestellt wurden, geht es nun darum deren Anordnung und Orientierung im Versuchsaufbau zu besprechen. Im Wesentlichen wird hier zwischen zwei Versuchen unterschieden. Zunächst wird das Verhalten des Flüssigkristalls bei einer bestimmten Wellenlänge (**Versuch 1**) analysiert. Dabei geht es darum, die Phasenverschiebung in Abhängigkeit der angelegten Spannung zu ermitteln. Anschließend wird der eigentlichen Aufgabenstellung dieser Arbeit, die Bestimmung des Winkels (**Versuch 2**) unter dem die Emission der Strahlung erfolgt, nachgegangen. Da bei beiden Versuchen der gleiche optische Versuchsaufbau vorhanden ist, wird im folgenden Abschnitt der allgemeine Aufbau diskutiert und danach auf die versuchsspezifischen Eigenheiten eingegangen. Für die mathematische Beschreibung kommt der in Abschnitt 2.2.1, sowie 2.2.2 erläuterte Stokes- bzw. Müller-Formalismus zur Anwendung. Im Anschluss an die jeweilige Beschreibung des Aufbaus folgt eine Erklärung der Datenerfassung und -verarbeitung. Die dazugehörigen Programm-Codes sind im Anhang zu finden.

Die aus Versuch 1 gewonnenen Ergebnisse sind die Basis für die Durchführung von Versuch 2. Als Input für die Berechnungen dienen jeweils die Grauwerte der Aufnahmen. In Versuch 1 kann über die Grauwerte in Abhängigkeit der Spannung auf eine Phasenverschiebung geschlossen werden. Mit Hilfe der Grauwerte lassen sich in Versuch 2 nicht nur der Emissionswinkel bestimmen, sondern die Grauwerte selbst können als Indikatoren für mögliche Fehler und Abweichungen im Versuch dienen. Dazu werden in diesem Kapitel Soll-Grauwerte und Darstellungsformen vorgestellt, die die Beurteilungsmöglichkeiten der Ergebnisse erweitern.

Zum Abschluss des Kapitels wird auf die Generierung des Rechtecksignals und dessen Messung mittels *Arduino*, sowie auf die verwendete Schaltung eingegangen. Die Programme für den *Arduino* mit einer kurzen Beschreibung sind ebenfalls im Anhang zu finden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4.1 Allgemeiner Versuchsaufbau

Bei der Ermittlung der Kennlinie des Flüssigkristalls, sowie bei der Bestimmung des Winkels der linear polarisierten Strahlung, kommt der gleiche optische Versuchsaufbau zum Einsatz. Die einzige Anpassung die erfolgt, ist die der Ausrichtung der Komponenten Polarisator, Flüssigkristall und Analysator.

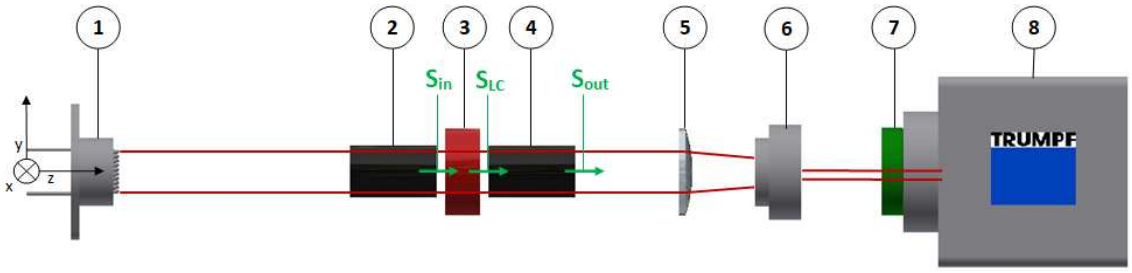


Abb. 4.1: Allgemeiner Versuchsaufbau

1	Emitter	5	Linse
2	Polarisator	6	Blende
3	Flüssigkristall	7	Bandpassfilter
4	Analysator	8	Kamera

Für eine bessere Orientierung wird an dieser Stelle ein kartesisches Koordinatensystem, mit den Achsen x, y und z, eingeführt. Die z-Achse zeigt in Richtung des Strahlenganges, die y-Achse zeigt nach oben und die x-Achse ergibt sich durch den mathematisch positiven Drehsinn.

Die vom Emitter ausgehende elektromagnetische Strahlung wird durch den Polarisator in linear polarisierte Strahlung umgewandelt. Der Polarisationszustand dieser Strahlung wird anschließend vom Flüssigkristall in Abhängigkeit der angelegten Spannung und Ausrichtung verändert. Mit Hilfe des Analysators erfolgt eine erneute Umwandlung in einen linear polarisierten Zustand. Um ein Bild mit der richtigen Schärfe zu erhalten, projiziert eine Linse das Bild auf den Sensor der Kamera. Der vor der Kamera platzierte Bandpassfilter ist dafür zuständig, dass hauptsächlich Strahlung mit der gewünschten Wellenlänge erfasst wird.
Die Position des Bandpassfilters ist vor allem beim Einsatz der *TRUMPF*-Kamera zu beachten. Wie in Abbildung 3.14 ersichtlich, reagiert diese Kamera vor allem auf Wellenlängen der Umgebungsstrahlung. Daher ist es wichtig, diese weitestgehend herauszu filtern, indem der Bandpassfilter direkt vor der Kamera platziert wird.
Die optische Blende hat die Aufgabe eine Vignettierung, also eine Abschattung zum Bildrand hin (Randlichtabfall) zu vermeiden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Ausrichtung der einzelner Komponenten wird in weiterer Folge durch die Winkel α, β und γ beschrieben. Sie gehen, wie Abbildung 4.2 zu sehen, von der negativen x-Achse aus.

α: Ausrichtung des Polarisators
β: Ausrichtung der schnellen Achse des LC's
γ: Ausrichtung des Analysators

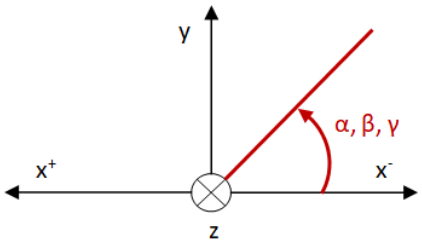


Abb. 4.2: Definition der Winkel α, β und γ

Mathematische Beschreibung

Der Stokes-Vektor S_{in} beschreibt die durch den Polarisator polarisierte Strahlung.

$$S_{in} = \begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} \tag{4.1}$$

Da es sich um linear polarisierte Strahlung handelt, gilt für die Größe $S_3 = 0$.

Die Müller-Matrix M_{LC} des Flüssigkristalls ist gegeben durch

$$M_{LC} = t_{LC} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C^2 + S^2\cos(\delta(U)) & SC(1-\cos(\delta(U))) & -S\sin(\delta(U)) \\ 0 & SC(1-\cos(\delta(U))) & S^2 + C^2\cos(\delta(U)) & C\sin(\delta(U)) \\ 0 & S\sin(\delta(U)) & -C\sin(\delta(U)) & \cos(\delta(U)) \end{pmatrix}, \tag{4.2}$$

mit $S = \sin(2\beta)$, sowie $C = \cos(2\beta)$, und beschreibt die spannungsabhängige Phasenverschiebung $\delta(U)$ der Teilwelle auf der langsamen Achse in Abhängigkeit der Ausrichtung β der schnellen Achse. t_{LC} berücksichtigt die Transmission des Flüssigkristalls.

Der Analysator wird ebenfalls durch eine Müller-Matrix M_A charakterisiert.

$$M_A(\gamma) = 0.5 \cdot t_A \cdot \begin{pmatrix} 1 & \cos(2\gamma) & \sin(2\gamma) & 0 \\ \cos(2\gamma) & \cos^2(2\gamma) & \sin(2\gamma)\cos(2\gamma) & 0 \\ \sin(2\gamma) & \sin(2\gamma)\cos(2\gamma) & \sin^2(2\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \tag{4.3}$$

Durch Multiplikation der Müller-Matrix M_{LC} mit dem Vektors S_{in} erhält man den Stokes-Vektor S_{LC} der Strahlung nach dem Flüssigkristall.

$$S_{LC} = M_{LC} \cdot S_{in} \tag{4.4}$$

Das Produkt aus M_A und S_{LC} ergibt schließlich den Stokes-Vektor S_{out}, die die Strahlung nach dem Analysator charakterisiert.

$$S_{out} = M_A \cdot S_{LC} \tag{4.5}$$

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4.2 Versuch 1: Ermittlung der Kennlinie des Flüssigkristalls

Um das Verhalten des Flüssigkristalls bei unterschiedlichen Wellenlängen zu beschreiben, wird das in Abbildung 4.3 dargestellte Prinzip angewendet.

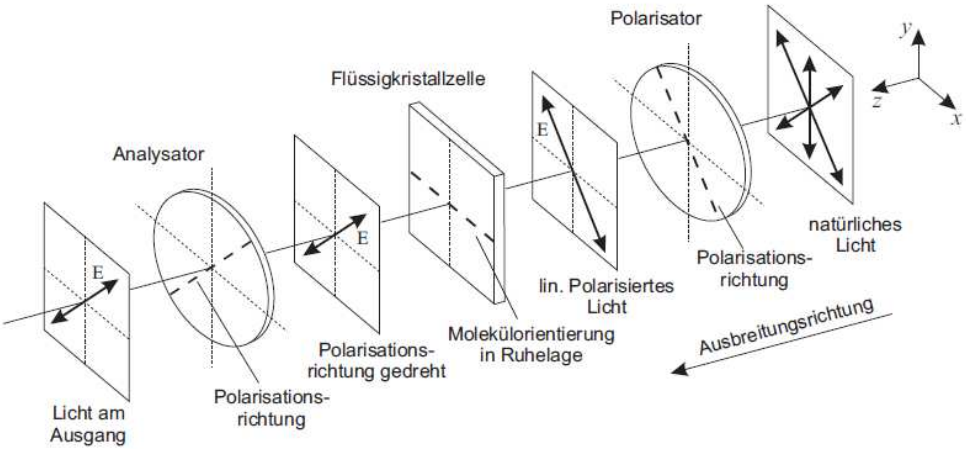


Abb. 4.3: Prinzip von Versuch 1[1]

Die vom Emitter ausgesendete Strahlung wird vom Polarisator ($\alpha = 0°$) linear polarisiert. Dieser Polarisationszustand wird vom Flüssigkristall, der um 45° ($\beta = 135°$) zum Polarisator gedreht ist, durch die Doppelbrechung hervorgerufene Phasenverschiebung verändert. Je nach Spannung, mit dem der LC angesteuert wird, fällt diese unterschiedlich aus. Anschließend trifft die Strahlung auf den um 90° zum Polarisator orientierten Analysator. Die Ausgangsintensität der Strahlung ist von der Phasenverschiebung abhängig. Diese Abhängigkeit ermöglicht es Rückschlüsse auf die Phasenverschiebung bei einerbestimmten Wellenlänge zu ziehen.

Mathematische Beschreibung

Der Stokes-Vektor S_{in} der vom horizontal ausgerichteten Polarisator ($\alpha = 0°$) ausgehenden Strahlung hat in diesem Fall die Form

$$S_{in} = S_0 \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} . \tag{4.6}$$

Mit Gleichung 4.4 und 4.6 erhält man für S_{LC},

$$S_{LC} = t_{LC} \cdot S_0 \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ C^2 + S^2 \cos(\delta(U)) \\ SC(1 - \cos(\delta(U))) \end{pmatrix} . \tag{4.7}$$

[1] Frühauf, S.9

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Für den vertikal ausgerichteten Analysator $\gamma = 90°$ gilt die Müller-Matrix M_A in folgender Form:

$$M_A = 0.5 \cdot t_A \cdot \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \tag{4.8}$$

Mit Gleichung 4.5, 4.7 und 4.8 erhält man schließlich für S_{out},

$$S_{out} = k \cdot \begin{pmatrix} 1 - C^2 - S^2 \cos(\delta(U)) \\ -1 + C^2 + S^2 \cos(\delta(U)) \\ 0 \end{pmatrix} = S_{0out} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}. \tag{4.9}$$

Da für die Bestimmung der Kennlinie die absoluten Werte der Ausgangsintensität S_{0out} nicht relevant sind, kann der Faktor $k = 0,5 \cdot t_A \cdot t_{LC} \cdot S_0$ vernachlässigt werden. Dies führt zur Gleichung

$$S_{0out}(\delta(U)) = 1 - C^2 - S^2 \cos(\delta(U)) \tag{4.10}$$

und unter Berücksichtigung der Ausrichtung des Flüssigkristalls ($\beta = 135°$) zu

$$S_{0out}(\delta(U)) = 1 - \cos(\delta(U)). \tag{4.11}$$

Diese Funktion ist in Abbildung 4.4 dargestellt. Das Maximum der Ausgangsintensität S_{0out} befindet sich, wie hier zu sehen, bei einer Phasenverschiebung von $\delta(U) = 180°$. Dies liegt daran, dass für $\alpha = 0°$ und $\beta = 135°$ wieder ein linearer Polarisationszustand vorliegt, der wie der Analysator um 90° geneigt ist.

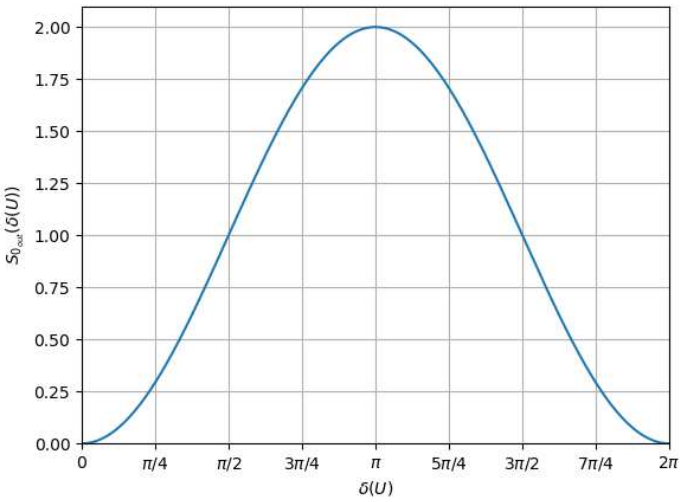


Abb. 4.4: Ausgangsintensität $S_{0out}(\delta(U))$

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

4.2.1 Datenerfassung und -verarbeitung: Versuch 1

Um die Abhängigkeit der Phasenverschiebung δ von der Spannung U zu erhalten, wird die Amplitude des Rechtecksignal mit der, der Flüssigkristall angesteuert wird, mittels Potentiometer schrittweise erhöht und über den *Arduino* erfasst. Die resultierende Phasenverschiebung spiegelt sich in Form von unterschiedlichen Helligkeitsstufen des Kamerastreams wieder.

Für jede eingestellte Spannung werden n Bilder aufgenommen und ein Helligkeitswert über die gesamte Bildfläche gemittelt. Die durchschnittliche Helligkeit der n Bilder dient anschließend als Anhaltspunkt für die Ausgangsintensität $S_{0out}(U)$. Durch die Mittelung mehrerer Grauwerte soll vermieden werden, dass Schwankungen das Ergebnis zu stark beeinflussen. Die Auswertung der Aufnahmen erfolgt über einen *Python*-Code, der im Anhang mit einer kurzen Beschreibung der einzelnen Funktionen zu finden ist.

4.3 Versuch 2: Ermittlung des Winkels

Nachdem das Verhalten des Flüssigkristalls ermittelt wurde, geht es nun um die Bestimmung des Winkels α. Aus den Ergebnissen von Versuch 1 werden in weiterer Folge zwei verschiedene Spannungen bzw. Phasenverschiebungen ausgewählt. Bei beiden Spannungswerten wird, wie die nachfolgende Berechnung zeigt, ein Grauwert benötigt. Dabei dient der Grauwert einer Aufnahme ohne Analysator als Referenz. Letzteres Bild kann bei einer beliebigen Spannung aufgenommen werden.

4.3.1 Aufbau Versuch 2

Anders als bei der Ermittlung der Kennlinie des Flüssigkristalls ist hier die Ausrichtung des Polarisators unbekannt. Die Ausrichtung des LC's β darf aus mathematischen Gründen, welche im folgendem Abschnitt erläutert werden, nicht 45° oder ein ganzzahliges Vielfaches von 45° betragen. Bei diesem Versuch wurde 60° gewählt. Aufgrund die horizontale Ausrichtung des Analysators gilt für $\gamma = 0°$.

Mathematische Beschreibung

Da der Winkel α, unter dem die Emission der Strahlung erfolgt, bestimmt werden soll, sind auch die Stokes-Parameter S_0, S_1 und S_2 des Vektors S_{in} unbekannt.

$$S_{in} = \begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \end{pmatrix} \tag{4.12}$$

Durch Multiplikation von S_{in} mit der Müller-Matrix aus Gleichung 4.2 erhält man in diesem Fall für S_{LC}

$$S_{LC} = \begin{pmatrix} S_{LC0} \\ S_{LC1} \\ S_{LC2} \end{pmatrix} = t_{LC} \cdot \begin{pmatrix} S_0 \\ S_1(C^2 + S^2\cos(\delta(U))) + S_2(SC(1-\cos(\delta(U)))) \\ S_1(SC(1-\cos(\delta(U)))) + S_2(S^2 + C^2\cos(\delta(U))) \end{pmatrix}. \tag{4.13}$$

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Strahlung mit dem Stokes-Vektor S_{out}, die vom Analysator mit der Müller-Matrix

$$M_A = 0.5 \cdot t_A \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \tag{4.14}$$

ausgeht, hat die Form

$$S_{out} = S_{out} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{4.15}$$

und ist gegeben durch

$$S_{out} = k \cdot \begin{pmatrix} S_0 + S_1(C^2 + S^2\cos(\delta(U))) + S_2(SC(1-\cos(\delta(U)))) \\ S_0 + S_1(C^2 + S^2\cos(\delta(U))) + S_2(SC(1-\cos(\delta(U)))) \\ 0 \end{pmatrix} . \tag{4.16}$$

Man erhält eine Gleichung mit den drei unbekannten Stokes-Parametern. Wählt man den Lösungsansatz, drei Gleichungen durch drei verschiedene Spannungen zu bekommen, so sieht das Gleichungssystem folgendermaßen aus:

$$k \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & C^2 + S^2\cos(\delta_1(U_1))) & SC(1-\cos(\delta_1(U_1))) \\ 1 & C^2 + S^2\cos(\delta_2(U_2))) & SC(1-\cos(\delta_2(U_2))) \\ 1 & C^2 + S^2\cos(\delta_3(U_3))) & SC(1-\cos(\delta_3(U_3))) \end{pmatrix}}_{D} \cdot \begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{out0} \\ S_{out1} \\ S_{out2} \end{pmatrix} \tag{4.17}$$

Die Matrix D ist jedoch nicht invertierbar und somit das Gleichungssystem nicht eindeutig lösbar. Daher muss einer der Stokes-Paramter über einen anderen Weg ermittelt werden. In Gleichung 4.13 sieht man, dass für $S_{LC0} = t_{LC} \cdot S_0$ gilt. Durch Bestimmung von S_{LC0} enthält Gleichung 4.16 nur noch zwei Unbekannte. Das Gleichungssystem, das durch zwei verschiedene Phasenverschiebungen entsteht, ist gegeben durch

$$\underbrace{\begin{pmatrix} C^2 + S^2\cos(\delta_1(U_1))) & SC(1-\cos(\delta_1(U_1))) \\ C^2 + S^2\cos(\delta_2(U_2))) & SC(1-\cos(\delta_2(U_2))) \end{pmatrix}}_{M} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \end{pmatrix}}_{S_{in}} = \frac{1}{t_{LC}} \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{S_{out1}}{0{,}5 \cdot t_A} - S_{LC0} \\ \frac{S_{out2}}{0{,}5 \cdot t_A} - S_{LC0} \end{pmatrix}}_{S'} \tag{4.18}$$

Die Bedingung für die Invertierbarkeit der Matrix M und somit eine eindeutige Lösung des Gleichungssystems lautet $\beta \neq n \cdot \frac{\pi}{4}$ mit $n \in \mathbb{Z}$.

$$M^{-1} \cdot S' = S_{in} \tag{4.19}$$

Mit Hilfe der Stokes-Parametern S_1 und S_2, sowie Gleichung 2.38, kann der Winkel α, der linear polarisierten Strahlung, berechnet werden[1].

[1] Der Faktor t_{LC} kann vernachlässigt werden, da laut Gleichung 2.38 nur das Verhältnis von S_2 zu S_1 relevant ist.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \arctan\left(\frac{S_2}{S_1}\right) \tag{4.20}$$

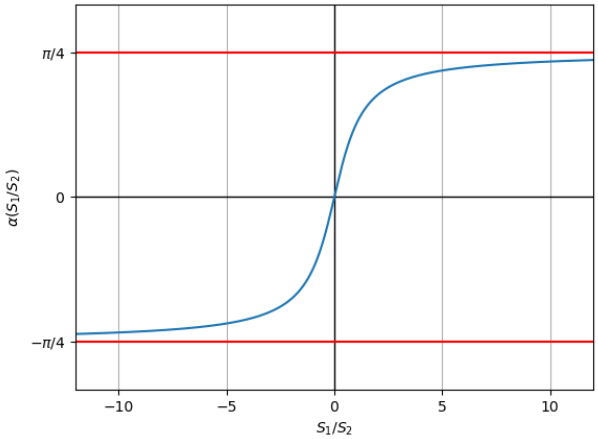


Abb. 4.5: $\alpha\left(\frac{S_2}{S_1}\right)$

Um den Versuch nicht gänzlich auf Basis des berechneten Winkels α zu bewerten und auch die Grauwerte in die Analyse miteinzubeziehen, wird die Berechnung etwas angepasst. Ausgehend vom Winkel α (Gleichung 4.20) werden die Stokes-Parameter S_1 und S_2 ermittelt. Mit Gleichung 4.18, den Stokes-Parametern und $S_{LC0} = 1$ erhält man dann die Funktionen

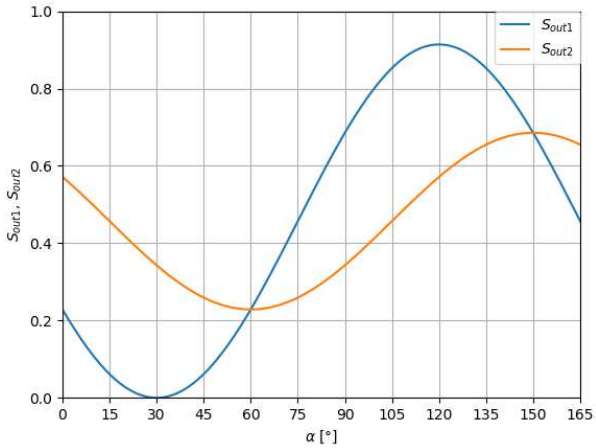


Abb. 4.6: $S_{out1}(\alpha)$ und $S_{out2}(\alpha)$

$$S_{out1}(\alpha) = 0.457 \cdot (1 + \cos(\frac{\alpha \cdot \pi}{90} - \frac{4}{3}\pi)) \tag{4.21}$$

und

$$S_{out1}(\alpha) = 0.2285 \cdot (2 + \cos(\frac{\alpha \cdot \pi}{90} - \frac{5}{3}\pi)). \tag{4.22}$$

für die Soll-Grauwerte. Diese Funktionen sind periodisch mit π, haben eine Mittellage von 0.457 und sind zueinander um 30° phasenverschoben. Die Amplitude von S_{out1} beträgt 0.457 und ist somit doppelt so groß, wie jene von S_{out2}. Diese Funktionen und ihre Parameter sind nur für die gewählten Phasenverschiebungen und Ausrichtungen der Komponenten gültig.
Um die Auswirkungen von Fehlern bzw. Abweichungen zu verdeutlichen, werden nun die Grauwerte systematisch um einen Betrag von ΔS_{out} verringert bzw. erhöht. Die so

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

erhaltenen Ergebnisse sind für 0°, 105° und 150° in den folgenden Tabellen zu finden. Felder mit Lösungen, die kleiner als der Sollwert ausfallen, sind grün und jene, bei denen die Werte größer ausfallen, blau gekennzeichnet.

ΔS_{out2} \ ΔS_{out1}	-0.1	-0.01	0	0.01	0.1
0.1	-2.18	-4.67	-4.98	-5.31	-8.64
0.01	2.29	-0.34	-0.69	-1.06	-5.21
0	2.96	0.35	0	-0.37	-4.59
-0.01	3.68	1.11	0.76	0.39	-3.9
-0.1	12.94	12.21	12.1	11.97	10.1

Tab. 4.1: Variation der Grauwerte bei 0°

Bei beinahe sämtlichen Winkeln zeigt sich, dass eine Abweichung von S_{out2} vom Sollwert, einen größeren Einfluss auf das Endergebnis hat, als eine von S_{out1}. Dies ist auf die geringere Schwingungsbreite von S_{out2} zurückzuführen, da die kleinere Steigung $k = \Delta S_{out}/\Delta\alpha$, bei gleicher Abweichung ΔS_{out}, eine größere Differenz $\Delta\alpha$ bedeutet.

ΔS_{out2} \ ΔS_{out1}	-0.1	-0.01	0	0.01	0.1
0.1	125.75	120.61	120.18	119.76	116.82
0.01	106.73	106.32	106.29	106.25	106.02
0	105	105	105	105	105
-0.01	103.38	103.75	103.78	103.81	104.02
-0.1	93.18	95.19	95.37	95.55	96.9

Tab. 4.2: Variation der Grauwerte bei 105°

Beträgt einer der Grauwerte exakt 0.457, also der Mittellage der Schwingungen, so kann der andere Grauwert, innerhalb eines bestimmten Wertebereichs, beliebig, ohne Änderung des Winkels variiert werden. Der zweite Grauwert beeinflusst an diesen Stellen lediglich die Länge und Richtung des Stokes-Vektors. S_{out1} nimmt diesen Wert bei 75°, sowie 165° an, und S_{out1} bei 15° und wie in Tabelle 4.2 zu sehen ist, bei 105°.

ΔS_{out2} \ ΔS_{out1}	-0.1	-0.01	0	0.01	0.1
0.1	159.68	155.47	154.98	154.4	150
0.01	157.46	151.39	150.69	150	143.85
0	157.09	150.72	150	149.28	142.91
-0.01	156.69	150	149.24	148.49	141.9
-0.1	150	138.99	137.9	136.85	129.03

Tab. 4.3: Variation der Grauwerte bei 150°

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Sind beide Grauwerte identisch, so können sich nur zwei verschiedene Winkel ergeben, 60° und 150°[1]. Ändern sich beide Größen um den selben Wert, dann hat dies nur Auswirkungen auf die Länge und Richtung des Stokes-Vektors. Für $S_{out1} = S_{out2} = 0.457$ existiert keine Lösung.

Wie man anhand dieser Beispiele sehen konnte, wirken sich Abweichungen abhängig vom Winkel unterschiedlich aus. Der Grund hierfür wird ersichtlich, wenn man aus den Funktionen 4.21 und 4.22 eine Ellipse bildet, wie sie in Abbildung 4.7 zu sehen ist.

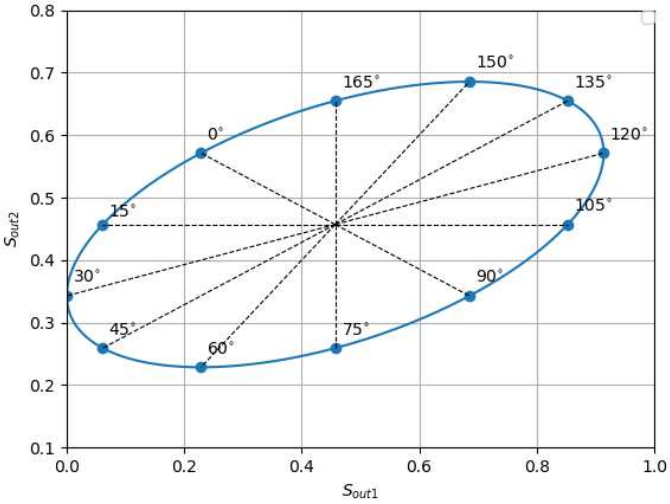


Abb. 4.7: Lösungsellipse

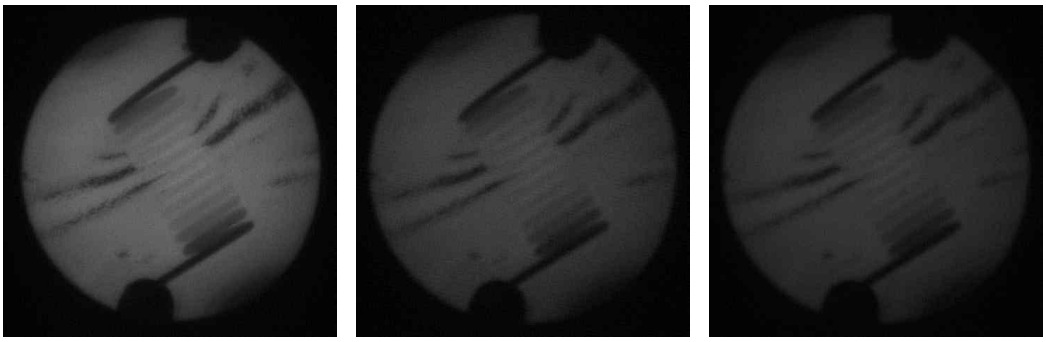
Entlang der Ellipse sind Werte mit Markierungen für den Winkel α eingetragen. Die Linien, die vom Zentrum der Ellipse (0.457/0.457) ausgehen, beschreiben Wertepaare für die Grauwerte S_{out1} und S_{out2}, die einen bestimmten Winkel als Lösung haben. Das heißt, dass je näher die ermittelten Grauwerte an einer solchen Gerade liegen, desto geringer ist die Abweichung $\Delta\alpha$. Es ist auch zu erkennen, dass einige Sektoren, die von diesen Linien gebildet werden, größer sind als andere. In diesen Bereichen wirkt sich eine Grauwert-Abweichung weniger stark aus.

[1]Bei Werten von $S_{out1} = S_{out2} < 0.457$ erhält man 60°, $S_{out1} = S_{out2} > 0.457$ ergibt 150°

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

4.3.2 Datenerfassung und -verarbeitung: Versuch 2

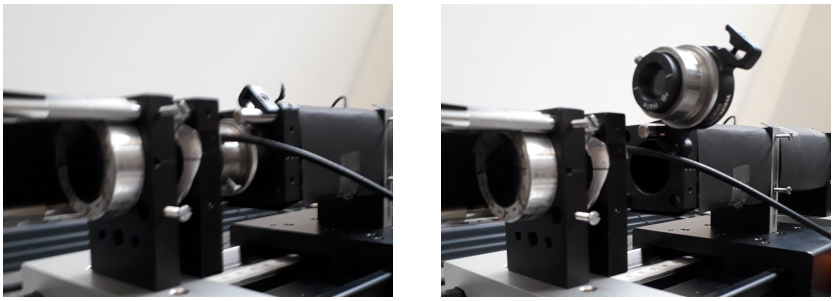
Wie man anhand der mathematischen Beschreibung sehen kann, werden zur Bestimmung des Winkels, unter der die Strahlung erfolgt, die drei Intensitäten S_{LC0}, S_{out1} und S_{out2} benötigt. S_{LC0} entspricht der Intensität vor und S_{out1}, sowie S_{out2} der nach dem Analysator. S_{out1} und S_{out2} werden bei zwei unterschiedlichen Ausrichtungen der LC-Moleküle erfasst. Der Grauwert der Aufnahmen, der über die gesamte Bildfläche oder über einzelne Bildbereiche gemittelt wird, dient als Ersatzgröße für die Intensität. Eine Beschreibung des Algorithmus zur Ermittlung des Grauwertes und Berechnung des Winkels ist im Anhang zu finden.



(a) S_{LC0} **(b)** S_{out1} **(c)** S_{out2}

Abb. 4.8: Aufnahmen zur Bestimmung des Winkels α

Um eine Aufnahme mit der Strahlung vor dem Analysator zu erhalten, wird der Analysator, wie in Abbildung 4.9 zu sehen ist, ausgeschwenkt.

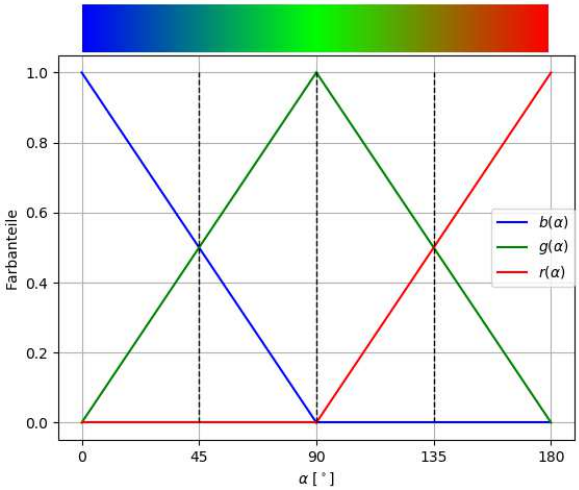


(a) Stellung des Analysators zur Aufnahme von S_{out1} und S_{out2} **(b)** Stellung des Analysators zur Aufnahme von S_{LC0}

Abb. 4.9: Ausschwenkbarer Analysator

Nach der Bestimmung der Grauwerte erfolgt die Berechnung des Winkels α nach dem zuvor vorgestellten Rechenweg. Anschließend werden den Polarisationsrichtungen unterschiedlichen Farben zugeordnet. Der Farbverlauf reicht von blau bei $\alpha = 0°$, über grün bei $\alpha = 90°$, bis hinzu rot bei $\alpha = 180°$, wobei die Farbanteile über die Funktionen $b(\alpha)$, $g(\alpha)$, sowie $r(\alpha)$ beschrieben werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN



$0° \leq \alpha \leq 90°$:

$$b(\alpha) = 1 - \frac{1}{90}\alpha$$
$$g(\alpha) = \frac{1}{90}\alpha$$
$$r(\alpha) = 0$$

$90° \leq \alpha \leq 180°$:

$$b(\alpha) = 0$$
$$g(\alpha) = 2 - \frac{1}{90}\alpha$$
$$r(\alpha) = \frac{1}{90} - 1$$

Abb. 4.10: Farbanteile in Abhängigkeit von α

Um den richtigen Farbton auch in den Bildern zu erhalten, benötigt man Faktoren mit denen die Pixelwerten multipliziert werden. Jeder Pixel enthält ein Tripel aus RGB-Werten für die additive Farbmischung, die diskret in 8 Bit (0 bis 255) angegeben sind. Die Faktoren $B(\alpha)$, $G(\alpha)$ und $R(\alpha)$ berechnen sich in Abhängigkeit des ermittelten Winkels folgendermaßen:

$0° \leq \alpha \leq 45°$:

$$B(\alpha) = 1$$
$$G(\alpha) = \frac{g(\alpha)}{b(\alpha)}$$
$$R(\alpha) = 0$$

$45° \leq \alpha \leq 90°$:

$$B(\alpha) = \frac{b(\alpha)}{g(\alpha)}$$
$$G(\alpha) = 1$$
$$R(\alpha) = 0$$

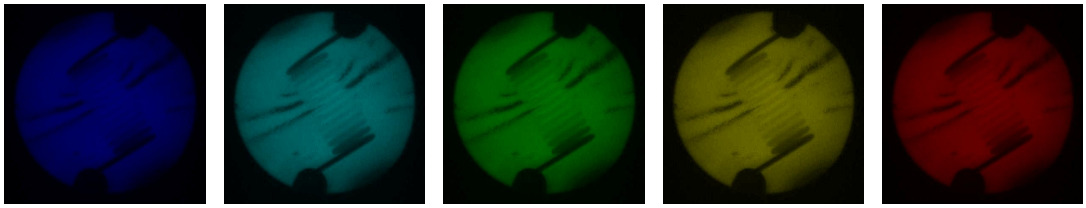
$90° \leq \alpha \leq 135°$:

$$B(\alpha) = 0$$
$$G(\alpha) = 1$$
$$R(\alpha) = \frac{r(\alpha)}{g(\alpha)}$$

$135° \leq \alpha \leq 180°$:

$$B(\alpha) = 0$$
$$G(\alpha) = \frac{g(\alpha)}{r(\alpha)}$$
$$R(\alpha) = 1$$

Der entsprechende Python-Code ist im Anhang angeführt. Beispiele für gefärbte Bilder sind in Abbildung 4.11 ersichtlich.



(a) $\alpha = 0°$ **(b)** $\alpha = 45°$ **(c)** $\alpha = 90°$ **(d)** $\alpha = 135°$ **(e)** $\alpha = 180°$

Abb. 4.11: Färbung der Bilder bei unterschiedlichen Winkeln α

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4.4 Spannungsversorgung und -messung

Das Rechtecksignal zur Ansteuerung des Flüssigkristalls wird mit einem Signalgenerator über die *Arduino*-Platine erzeugt und über den digitalen Ausgangspin 13 ausgegeben. Die Amplitude der Spannung kann anschließend über ein Potentiometer auf den gewünschten Wert eingestellt werden. Dabei erfolgt die Messung der Spannung wiederum über den analogen Eingangspin A1. Die Pinbelegung ist gegeben durch die Programmierung, die im Anhang ersichtlich ist.

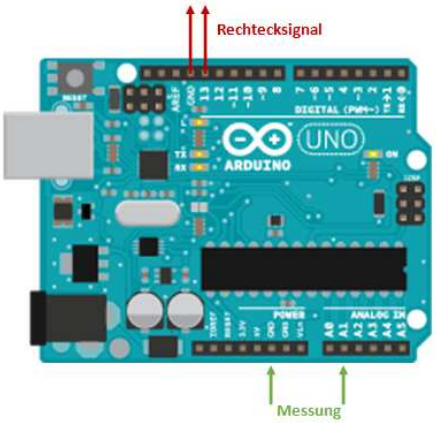


Abb. 4.12: Spannungsversorgung und -messung mittels Arduino

Die verwendete Schaltung ist in Abbildung 4.13 ersichtlich. Da bei der Ermittlung des Winkels der linear polarisierten Strahlung zwei verschiedene Spannungen benötigt werden, kann mit Hilfe der Schalter S1 und S2 zwischen den Potentiometern P1 und P2 umgeschaltet werden. Der Widerstand muss auf diese Weise jeweils nur einmal eingestellt werden. Dadurch erhält man eine höhere Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und die Einstellung der Amplitude erfolgt schneller.

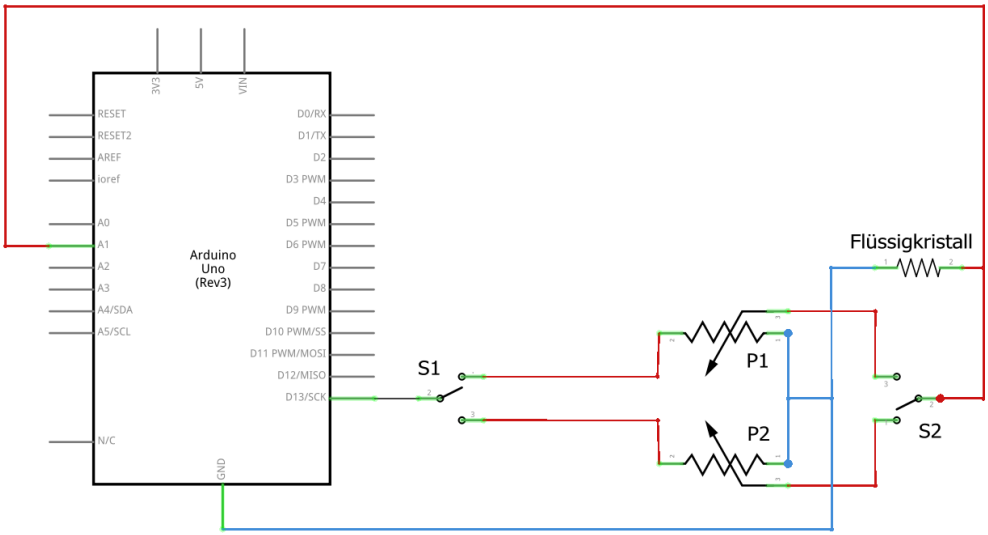


Abb. 4.13: Schaltung

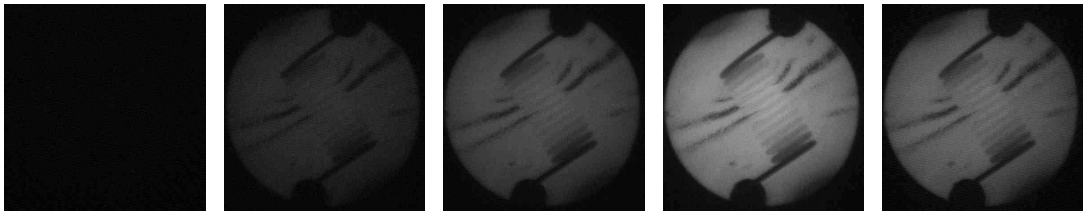
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5 Versuchsergebnisse

In diesem Kapitel sind die wichtigsten Ergebnisse, die während der Versuchsdurchführung gesammelt wurden, dargestellt. Zunächst wird kurz auf die ermittelte Kennlinie des Flüssigkristalls in Versuch 1 eingegangen. Diese ist schließlich grundlegend für die weiteren Untersuchungen. Versuch 2 ist in mehrere Durchgänge gegliedert, die sich jeweils durch Anpassungen am Setup unterscheiden. Sämtliche Ergebnisse stammen aus Aufnahmen bei einer Wellenlänge von 1070 nm. Brauchbare Bilder im angestrebten Bereich von 1500 nm aufzunehmen, war mit dem zur Verfügung stehenden Equipment nicht möglich.

5.1 Versuch 1

Bei der Ermittlung der Kennlinie des Flüssigkristalls bei 1070 nm wurde die *TXG03* in Kombination mit dem Bandpassfilter *FB 1070-10* eingesetzt, da hier die Transmissionswerte des Bandpassfilters am besten zur Empfindlichkeit der Kamera passt. Die Kamera weist eine Sensibilität auf, die Aufnahmen vom sichtbaren Teil des Spektrums bis hinzu etwas 1200 nm ermöglicht. Der Bandpassfilter hat in diesem Bereich nur einen Peak bei 1070 nm. Somit ist der Einfluss anderer Wellenlängen weitestgehend ausgeschlossen. Bei der Kamera wurde eine konstante Belichtung (Exposure) von 20000 μs eingestellt und die Verstärkung (Gain) für jede Kennlinie variiert.

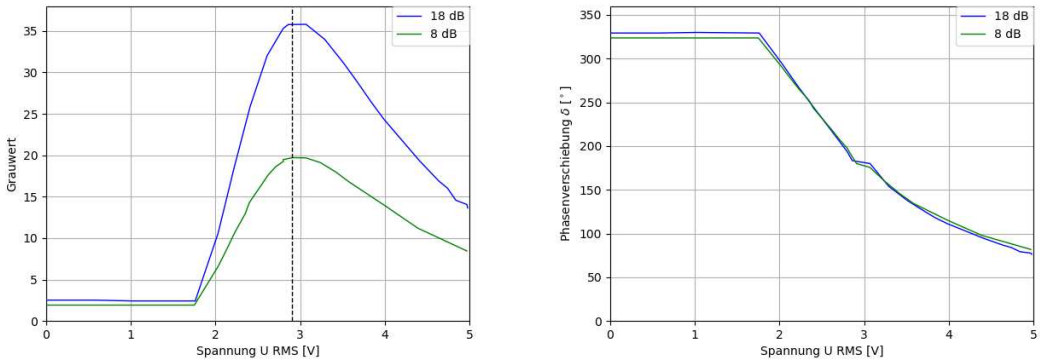


(a) 0 V **(b)** 2.03 V **(c)** 2.23 V **(d)** 2.91 V **(e)** 4 V

Abb. 5.1: Aufnahmen bei verschiedenen Spannungen bei 1070 nm

Für jede Spannung, die mittels Potentiometer schrittweise erhöht wurde, wurden 50 Aufnahmen gemacht und ein Grauwert über die gesamte Bildfläche gemittelt. Beispiele für diese Aufnahmen sind in Abbildung 5.1 zu sehnen. Es ist zu erkennen, dass mit steigender Spannung die Intensität bzw. der Grauwert der Bilder steigt, ein Maximum erreicht und anschließend wieder sinkt. Der durch die gemittelten Grauwerte, resultierende Verlauf ist für eine Verstärkungen von 8, sowie 18 dB in Abbildung 5.2a zu sehen. Der Versuch wurde mehrfach wiederholt und die Ergebnisse bestätigt. Auf eine Darstellung von weiteren Daten wurde jedoch verzichtet, da sich die Resultate kaum unterscheiden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub



(a) Grauwerte in Abhängigkeit der Spannung

(b) Phasenverschiebung δ in Abhängigkeit der Spannung

Abb. 5.2: Ermittelte Kennlinien des Flüssigkristalls bei 1070 nm

Mit Hilfe der ermittelten Werte lässt sich anschließend, wie in Abbildung 5.2b zu sehen ist, die Phasenverschiebung δ in Abhängigkeit der Spannung ableiten. Dabei sollte man beachten, dass bei geringeren Spannungen höhere Phasenverschiebungen vorliegen. Dieses Verhalten ist in den Herstellerangaben (siehe Abbildung 3.9) ersichtlich. Das Maximum der Grauwerte liegt bei etwa 2.9 $\pm$ 0.02 V und entspricht einer Phasenverschiebung von $\delta = 180°$. In diesem Spannungsbereich entstehen in weiterer Folge die Aufnahmen für S_{out1}. Etwa 50% des maximalen Grauwertes liegt bei 2.2 $\pm$ 0.02 V und entspricht 270° Phasenverschiebung. Hier werden die Bilder für S_{out2} aufgenommen. Da die Intensität von S_{LC} durch eine Phasenverschiebung nicht verändert wird, kann die Spannung bei diesen Aufnahmen beliebig gewählt werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.2 Versuch 2

Bei der Bestimmung des Winkels α, unter dem die Emission der Strahlung erfolgt, gilt es einige Einflüsse zu beachten. Die steuerbaren Einflussfaktoren bei der Ermittlung des Winkels α sind einerseits die optische Blende, sowie deren Apertur und Position, andererseits die am Flüssigkristall angelegte Spannung. Aber auch der ausgewertete Bildbereich spielt eine gewisse Rolle. Daher wurden, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erhalten, verschiedene Einstellungen am Versuchsaufbau vorgenommen und unterschiedliche Bereiche der Aufnahmen ausgewertet.

Bei der Berechnung des Winkels kommt zudem der Faktor t_A vor, also der Transmissionswert des Analysators, zu dem keine Herstellerangaben vorhanden waren. Als Schätzwert wurde deswegen der Quotient aus zwei Grauwerten verwendet. Ein Grauwert stammt von einem Bild ohne und der andere von einem Bild mit Analysator. Der Grauwert mit Analysator geteilt durch den Grauwert ohne Analysator ergab einen Wert von 91.4%.

Die festgelegten Bildbereiche sind in Abbildung 5.3 ersichtlich. Es werden Bereiche ausgewertet, die um 50, 100, sowie 150 Pixel pro Seite verkleinert wurden. Zum Vergleich wird ebenfalls das gesamte Bild ausgewertet. Da die Ergebnisse bei einer Verkleinerung des Bildbereichs um 150 Pixel überwiegend die geringsten mittleren Abweichungen $\overline{|\Delta\alpha|}$ hatten, sind anschließend die dazugehörigen Grauwerte zusätzlich in einem Soll-/Ist- Vergleich dargestellt.

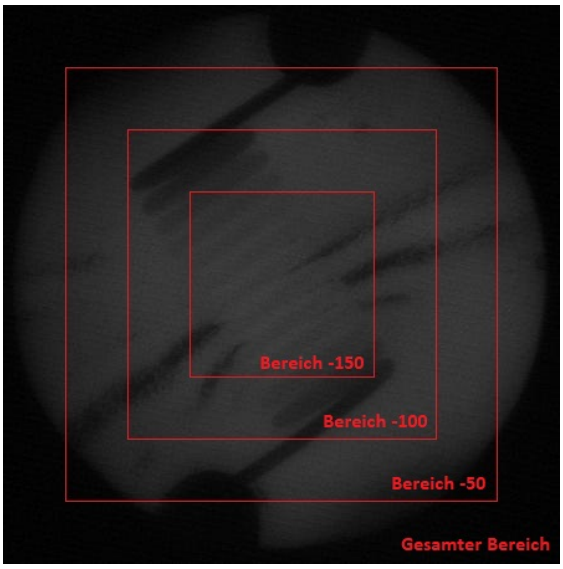


Abb. 5.3: Analysierte Bereiche

Die folgenden Ergebnisse sind mehrere in Durchgänge gegliedert, die jeweils andere Anpassungen des Versuchsaufbaus enthalten. Bei jedem Durchgang wurden 12 Winkel (ausgenommen Durchgang 1) ermittelt, wobei der Winkel α um ein Inkrement von 15° verstellt wurde. Der ermittelte Winkel wird mit α_e, der Betrag der Abweichung $|\alpha - \alpha_e|$ zum eingestellten Winkel mit $|\Delta\alpha|$ angegeben. Die Werte mit den geringsten Abweichungen sind blau markiert. Bei den folgenden Daten handelt es sich lediglich um einen Auszug. Im Anhang sind sämtliche Werte, samt Abweichungen, für jeden Durchgang und für jeden ausgewerteten Bereich aufgelistet.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.2.1 Durchgang 1 (D1)

Bei diesem Durchgang wird, um ihren Einfluss auf die Ergebnisse zu verdeutlichen, auf die Verwendung der Blende verzichtet. Die Bilder werden bei einer Belichtung von 20000 μs und einer Verstärkung von 6 dB aufgenommen. Der Flüssigkristall wird bei den Aufnahmen S_{LC}, sowie S_{out1} mit 2.91 ± 0.01 V und S_{out2} mit 2.19 ± 0.01 V betrieben.

	Gesamt		Bereich -50		Bereich -100		Bereich -150	
α	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$
0	21.7	21.7	27.5	27.5	36.3	36.3	46.3	46.3
15	29.6	14.6	33.8	18.8	40.0	25.0	43.8	28.8
30	38.9	8.9	41.7	11.7	46.0	16.0	48.7	18.7
45	51.2	6.2	52.4	7.4	54.2	9.2	55.3	10.3
60	63.8	3.8	63.3	4.0	62.6	2.6	62.2	2.2
75	73.7	1.3	71.9	3.1	69.4	5.6	67.9	7.1
90	82.2	7.8	79.4	10.6	75.3	14.8	72.7	17.3
105	87.8	17.2	84.0	21.0	78.4	26.6	75.0	33.0
120	93.5	26.5	87.6	32.4	79.4	40.6	74.9	45.1
135	100.1	34.9	86.8	48.2	74.1	60.9	69.5	65.5
$\overline{\lvert\Delta\alpha\rvert}$	**14.3**		**18.5**		**23.8**		**27.4**	

Tab. 5.1: Ergebnisse D1

Wie man anhand der Ergebnisse in Tabelle 5.1 sehen kann, ergeben sich ohne Blende sehr hohe mittlere Abweichungen, die sich mit Verkleinerung des ausgewerteten Bereichs vergrößern.

In Abbildung 5.4 sind ermittelten Winkel α_e des Durchgangs graphisch dargestellt. In einem Bereich von 0° bis 135° ergibt sich ein nahezu linearer Verlauf mit unterschiedlichen Steigungen für die verschiedenen Auswertungsbereiche. Danach würde ein sprunghafter Anstieg erfolgen, um in den Bereich der Ausgangswerte zu kommen.

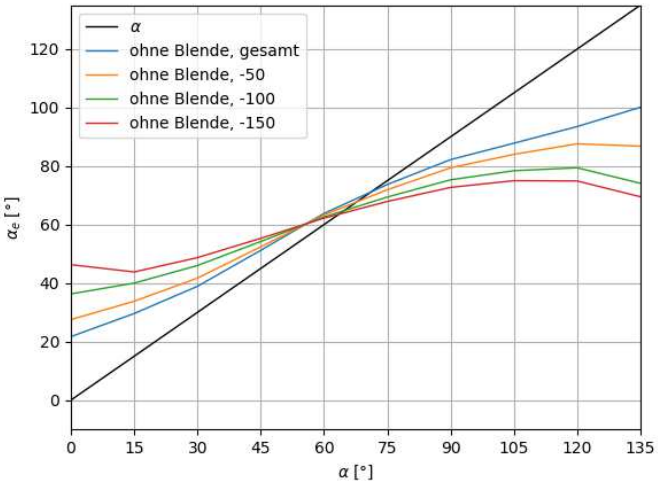


Abb. 5.4: Ergebnisse D1

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.2.2 Durchgang 2 (D2)

Nun wird die Blende mit einer Apertur von 12 mm in einem Abstand von etwa 25 mm vor die Linse positioniert. Die Einstellung der Kamera und die Spannung, mit der der Flüssigkristall angesteuert wird, sind ident mit jenen von Durchgang 1.

	Gesamt		Bereich -50		Bereich -100		Bereich -150	
α	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$
0	6.3	6.3	8.4	8.4	9.7	9.7	9.4	9.4
15	13.2	1.8	15.4	0.4	16.7	1.7	16.3	1.3
30	23.9	6.1	26.2	3.8	27.5	2.5	26.9	3.1
45	38.1	6.9	40.6	4.4	42.0	3.0	41.7	3.3
60	53.1	6.9	57.9	2.1	59.1	0.9	59.8	0.2
75	90.1	15.1	86.6	11.6	85.1	10.1	85.4	10.4
90	93.1	3.1	91.9	1.9	91.1	1.1	91.8	1.8
105	109.3	4.3	105.9	0.9	104.3	0.7	104.6	0.4
120	113.8	6.2	111.3	8.7	109.8	10.2	110.6	9.4
135	140.2	5.2	137.3	2.3	135.5	0.5	135.6	0.6
150	154.3	4.3	155.0	5.0	155.4	5.4	155.1	5.1
165	174.7	9.7	176.8	11.8	178.1	13.1	177.1	12.1
$\overline{\lvert\Delta\alpha\rvert}$	**6.3**		**5.1**		**4.9**		**4.8**	

Tab. 5.2: Ergebnisse D2

Im Vergleich zu den Ergebnissen ohne Blende konnte die mittlere Abweichung des Winkels deutlich reduziert werden. In einem Bereich von 0° bis 15°, 150° bis 180°, sowie bei 120° hatten die Ergebnisse der Auswertung des gesamten Bereichs geringere Abweichungen. Bei allen anderen Werten war der Bereich, der auf allen Seiten um 100 Pixel reduziert wurde, am ehesten am Sollwert dran. Die größten Abweichungen sind bei 75 bzw. 165° erkennbar. Dass sich Fehler in den Grauwerten bei verschiedenen Winkeln unterschiedlich auswirken, konnte man bereits in Abschnitt 4.3.1 sehen. Wieso ausgerechnet diese Winkel so hohe Abweichungen aufweisen, wird deutlich, wenn man sich den Verlauf der Grauwerte bzw. die Lösungsellipse auf der folgenden Seite ansieht.

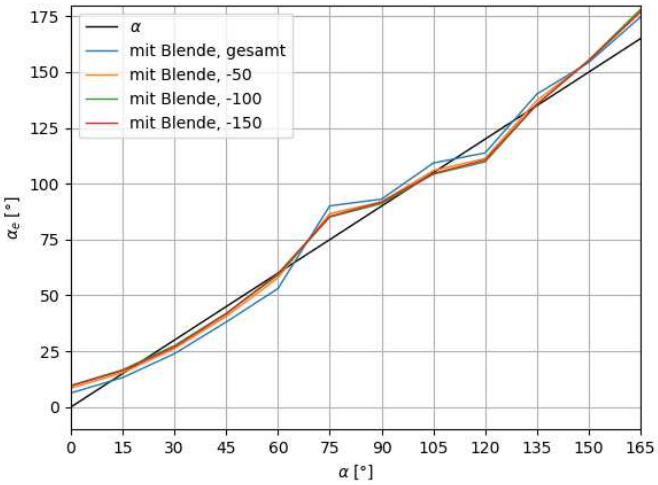


Abb. 5.5: Ergebnisse D2

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Vergleicht man die ermittelten Grauwerte mit den Sollwerten (Abbildung 5.6), so erkennt man, dass diese für S_{out1} um etwa 5 bis 10° nach links phasenverschoben sind. Abgesehen von dieser Phasenverschiebung fallen die Amplituden der Schwingungen, geringer aus als jene der Sollkurven. Diese Verkleinerung fällt bei S_{out2} größer aus als bei S_{out1}. Bei S_{out2} ist zudem in einem Bereich von 45 bis 90° ein nahezu gleichbleibender Grauwert auffällig.

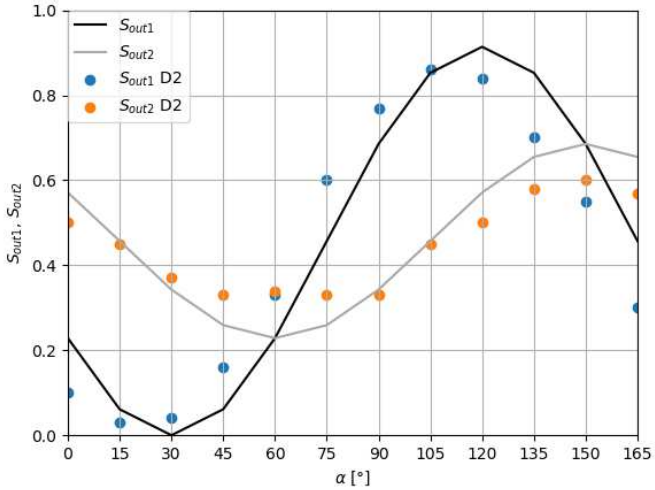


Abb. 5.6: Gegenüberstellung der Grauwerte D2

Auch anhand der Lösungsellipse (Abbildung 5.7) sieht man sehr deutliche Abweichungen der Grauwerte. Die Wertepaare liegen jedoch meist in der Nähe der Geraden, sodass die Winkelabweichungen allgemein geringer ausfallen. Bei 75 und 165° hängt das Resultat vor allem von S_{out1} ab und dadurch, dass die Phasenverschiebung genau diesen Grauwert betrifft, ist die Abweichung hier besonders stark ausgeprägt. Der gleichbleibende Grauwertverlauf zwischen 45 und 90° sorgt sogar dafür, dass bei 60° der Fehler durch die Phasenverschiebung ausgeglichen wird.

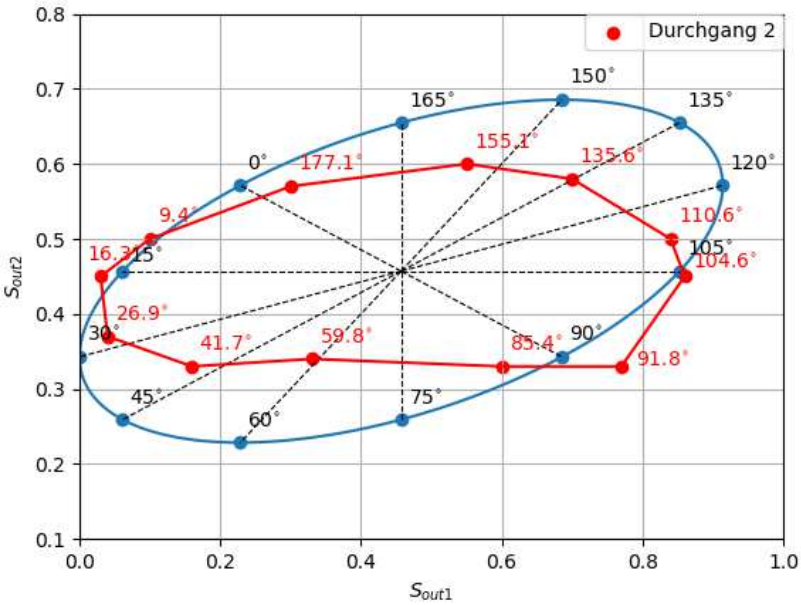


Abb. 5.7: Lösungsellipse D2

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.2.3 Durchgang 3 (D3)

Bei diesem Durchgang wurden S_{LC}, sowie S_{out1} auf 2.94 ± 0.01 V und S_{out2} auf 2.21 ± 0.01 V eingestellt. Die Apertur der Blende beträgt wie schon zuvor 12 mm. Da der nachfolgende Durchgang bei einer geringeren Apertur erfolgt, werden die Bilder diesmal bei einer Belichtung von 40000 μs und einer Verstärkung von 10 dB aufgenommen. Bis auf die Kameraeinstellungen und Spannung hat sich im Vergleich zu Durchgang 2 nichts verändert[1].

	Gesamt		Bereich -50		Bereich -100		Bereich -150	
α	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$
0	-1.8	1.8	1.1	1.1	2.6	2.6	2.7	2.7
15	8.7	6.3	12.4	2.6	14.4	0.6	14.5	0.5
30	18.8	11.2	23.4	6.6	25.5	4.5	25.4	4.6
45	35.4	9.6	40.2	4.8	42.0	3.0	41.9	3.1
60	69.9	9.9	67.8	7.8	67.2	7.2	67.4	7.4
75	91.9	16.9	86.7	12.6	85.8	10.8	86.2	11.2
90	102.3	12.3	98.2	8.2	96.3	6.3	96.6	6.6
105	113.3	8.3	109.5	4.5	107.6	2.6	107.8	2.8
120	123.4	3.4	119.9	0.1	117.9	2.1	118.2	1.8
135	138.1	3.1	136.1	1.1	134.7	0.3	134.7	0.3
150	154.9	4.9	155.6	5.6	156.0	6.0	155.8	5.8
165	168.9	3.9	171.5	6.5	172.9	7.9	172.7	7.7
$\overline{\lvert\Delta\alpha\rvert}$	**7.6**		**5.1**		**4.5**		**4.5**	

Tab. 5.3: Ergebnisse D3

Wertet man den gesamten Bereich aus, so hat man im Vergleich zu Durchgang 2 eine leichte Erhöhung der mittleren Abweichung. Verkleinert man hingegen den auszuwertenden Bereich, kommt es zu einer minimalen Reduzierung der mittleren Abweichung. Vor allem die Abweichungen im Bereich von 165 bis 180° konnten deutlich gesenkt werden. Die Abweichungen von 60 bis 90° sind diesmal jedoch höher.

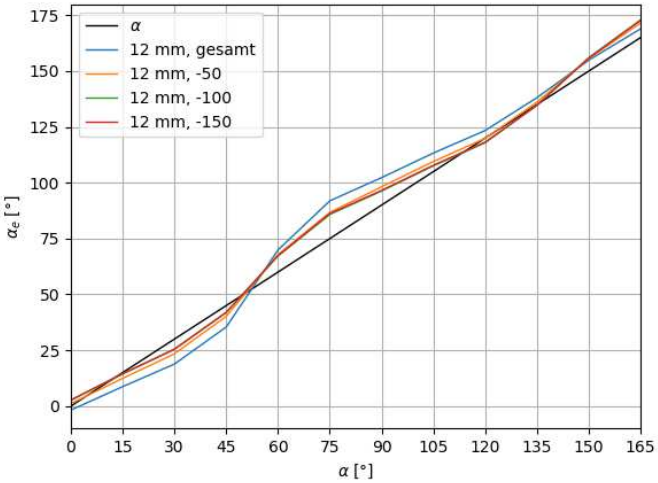


Abb. 5.8: Ergebnisse D3

[1] Die Einstellung eines genauen Wertes war dahingehend problematisch, als dass die Einstellung über einen Potentiometer erfolgte und die Spannung durch geringe Schwankungen beeinflusst wurde.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Die Grauwerte für S_{out1} sind hier ebenfalls phasenverschoben. Sowohl S_{out1}, als auch S_{out2} weisen wieder einen zu geringen Ausschlag auf. Ausreißer sind in diesem Durchgang nicht zu erkennen, sodass sich gleichmäßige Verläufe ergeben.

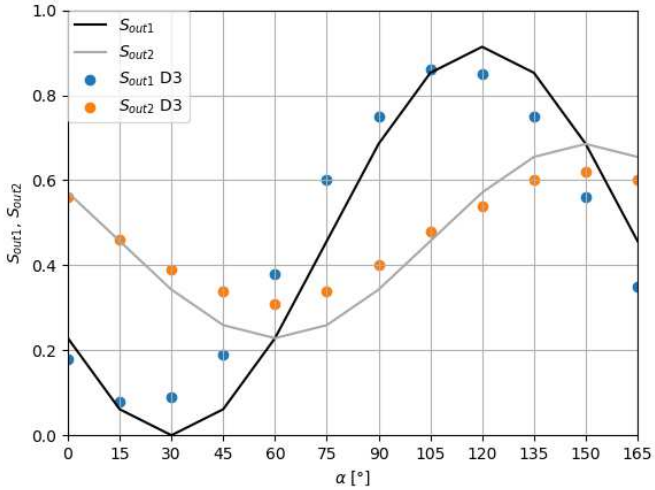


Abb. 5.9: Gegenüberstellung der Grauwerte D3

Aus den Grauwerten folgt eine Lösungsellipse mit besseren Proportionen als zuvor in Durchgang 2. Die Abweichungen sind hier nur auf die Phasenverschiebung, sowie die kleinere Amplitude zurückzuführen und werden nicht durch andere Fehler, wie einen gleichbleibenden Grauwertverlauf ausgeglichen. Daher ist $\Delta\alpha$ in einem Bereich von 60 bis 90° auch vergleichsweise höher.

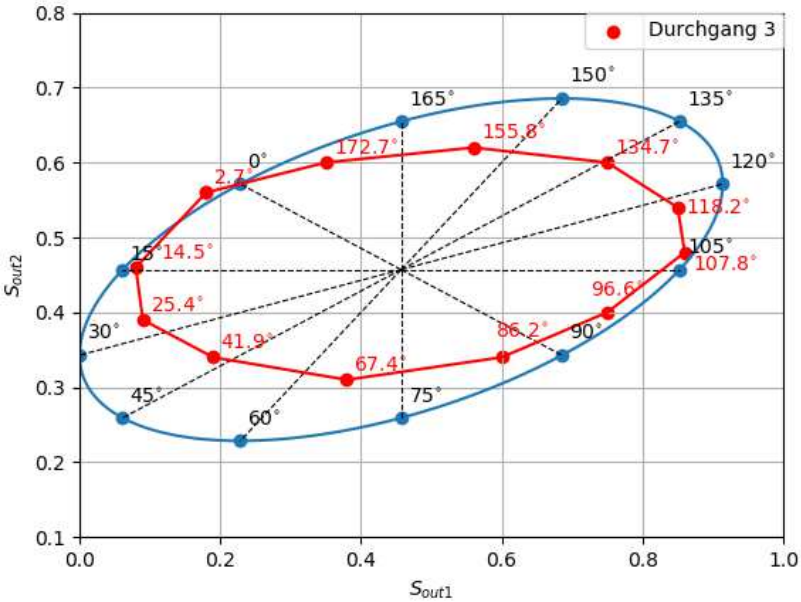


Abb. 5.10: Lösungsellipse D3

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.2.4 Durchgang 4 (D4)

Hält man die Einstellungen aus Durchgang 3 bei und verändert lediglich die Apertur der Blende auf 8 mm, so erhält man die Ergebnisse in Tabelle 5.4.

	Gesamt		Bereich -50		Bereich -100		Bereich -150	
α	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$
0	-7.9	7.9	-4.9	4.9	-4.0	4.0	-3.8	3.8
15	0.0	15.0	4.4	10.6	5.8	9.2	6.1	8.9
30	9.5	20.5	16.50	13.5	18.4	11.6	18.9	11.1
45	21.7	23.3	33.2	11.8	35.5	9.5	36.1	8.9
60	76.9	16.9	69.0	9.0	68.2	8.2	68.1	8.1
75	103.8	28.8	95.4	20.4	93.5	18.5	93.4	18.4
90	114.7	24.7	109.0	19.0	107.6	17.6	107.6	17.6
105	123.3	18.3	119.3	14.3	118.4	13.4	118,6	13.6
120	132.1	12.1	129.4	9.4	128.8	8.8	128.9	8.9
135	142.6	7.6	141.4	6.4	141.2	6.2	141.5	6.5
150	152.9	2.9	153.3	3.3	153.5	3.5	153.6	3.6
165	162.8	2.2	164.7	0.3	165.3	0.3	165.4	0.4
$\overline{\lvert\Delta\alpha\rvert}$	**15.0**		**10.2**		**9.2**		**9.2**	

Tab. 5.4: Ergebnisse D4

Die verringerte Apertur der Blende hat zur Folge, dass die mittlere Abweichung deutlich ansteigt. Die Unterschiede je nach ausgewerteten Bereich werden ebenfalls merklich größer. $\overline{\lvert\Delta\alpha\rvert}$ beträgt bei einer Auswertung des gesamten Bereichs 15.0° und bei einem um jeweils 150 Pixel pro Seite reduzierten Bereich 9.4°.

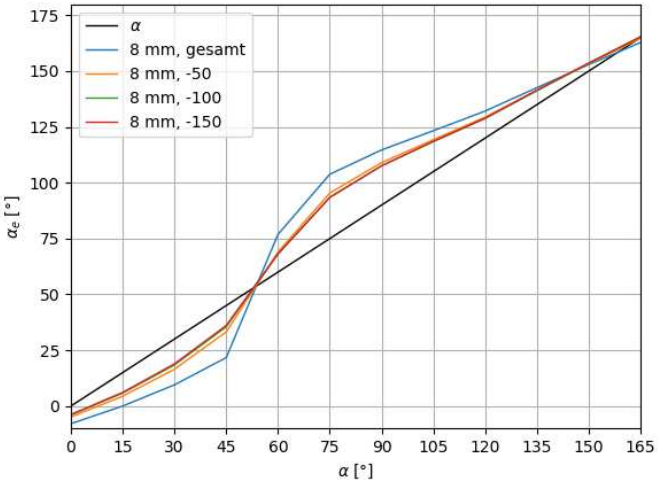


Abb. 5.11: Ergebnisse D4

Ähnliche Ergebnisse erhält man für andere Einstellungen der Apertur. Im Anhang sind unter Durchgang 9 zusätzlich Ergebnisse bei einer Apertur von 10mm zu finden. Versuche, bei denen die Blende zwischen Analysator und Linse positioniert war, haben gezeigt, dass eine Verkleinerung der Apertur, einen Anstieg der mittleren Abweichung $\overline{\lvert\Delta\alpha\rvert}$ nach sich zieht.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Wie schon in Durchgang 3 zeigt der Grauwertverlauf (Abbildung 5.12) eine Phasenverschiebung von S_{out1}, zu geringe Amplituden bei beiden Kurven und keine Ausreißer. Der einzige Unterschied liegt in der Mittellage, die hier sowohl bei S_{out1}, als auch bei S_{out2} höher liegt als zuvor.

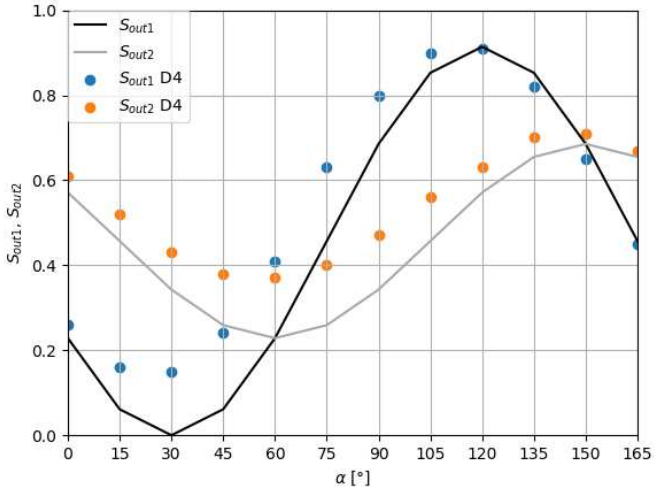


Abb. 5.12: Gegenüberstellung der Grauwerte D4

Auch die Darstellung der Ergebnisse in ellipsenform (Abbildung 5.13) zeigt deutlich die Verschiebung der Mittellage, die durch, im Verhältnis zu S_{LC}, zu hohe Grauwerte S_{out1} und S_{out2} verursacht wird. Ein direkter Vergleich von Durchgang 3, 4 und 9, bei denen bis auf die Apertur der Blende nichts am Versuchsaufbau verändert wurde, ist in Abschnitt 6.4.1 zu finden.

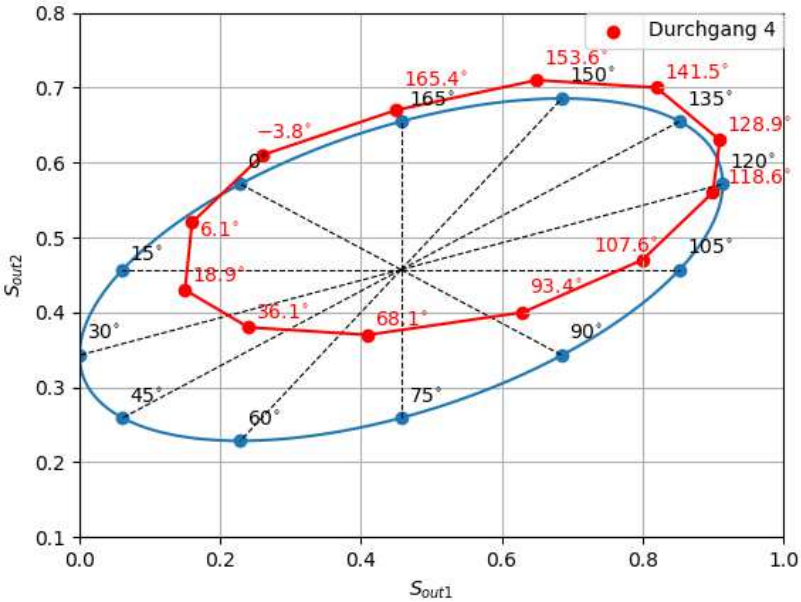


Abb. 5.13: Lösungsellipse D4

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.2.5 Durchgang 5 (D5)

Bei sämtlichen Durchgängen zuvor wurde die Position der Blende nicht verändert (25 mm vor der Linse). Bei diesem Durchgang beträgt der Abstand zwischen Blende und Linse in etwa 125 mm. S_{LC}, sowie S_{out1} mit 2.94 $\pm$ 0.01 V, S_{out2} mit 2.21 $\pm$ 0.01 V und eine Apertur der Blende von 12 mm wurden wie in Durchgang 3 gewählt. Die Belichtung beträgt 20000 μs und die Verstärkung 10 dB.

	Gesamt		Bereich -50		Bereich -100		Bereich -150	
α	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$
0	3.9	3.9	6.6	6.6	7.7	7.7	6.5	6.5
15	13.8	1.2	16.5	1.5	17.7	2.7	16.4	1.4
30	21.3	8.7	24.7	5.3	25.9	4.1	24.3	5.7
45	34.6	10.4	38.4	6.6	39.5	5.5	38.0	7.0
60	69.9	9.9	67.8	7.8	67.2	7.2	68.0	8.0
75	95.0	20.0	91.0	16.0	89.9	14.9	92.0	17.0
90	100.7	10.7	98.0	8.0	97.3	7.3	98.9	8.9
105	112.8	7.8	110.1	5.1	109.5	4.5	111.5	6.5
120	137.7	17.7	136.7	16.7	136.5	16.5	137.5	17.5
135	143.1	8.1	142.4	7.4	142.3	7.3	143.1	8.1
150	155.1	5.1	156.1	6.1	156.6	6.6	156.1	6.1
165	173.1	8.1	175.2	10.2	176.1	11.1	174.5	9.5
$\overline{\lvert\Delta\alpha\rvert}$	**9.3**		**8.1**		**8.0**		**8.5**	

Tab. 5.5: Ergebnisse D5

Die mittlere Abweichung fällt verglichen mit Durchgang 3 höher aus. Die Unterschiede zwischen den ausgewerteten Bereichen sind jedoch in diesem Fall geringer. Auffällig sind vor allem die großen Abweichungen bei 75 und 120°.

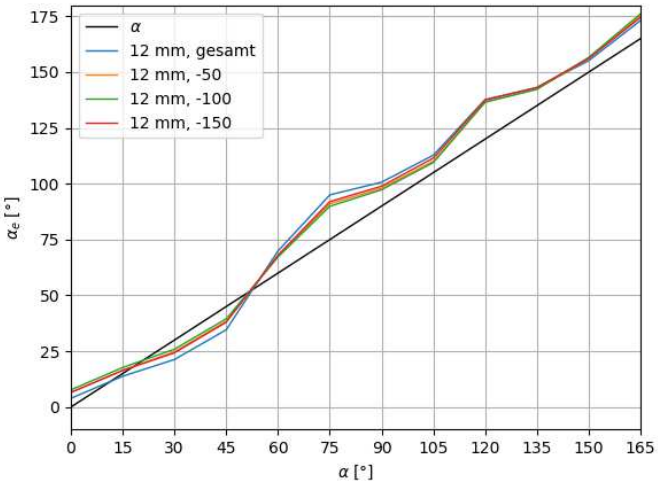


Abb. 5.14: Ergebnisse D5

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Der Grauwertverlauf zeigt mehrere Ausreißer und leichte Schwankungen bei S_{out2}. S_{out1} ist wie in allen anderen Durchgängen phasenverschoben. Beide Kurven haben eine geringere Amplitude als benötigt. Die hohe Abweichung bei 120° ist auf einen deutlichen Ausreißer zurück- zuführen. Bei 75° liegt die Ursache wiederum vor allem bei der Phasenverschiebung von S_{out1}.

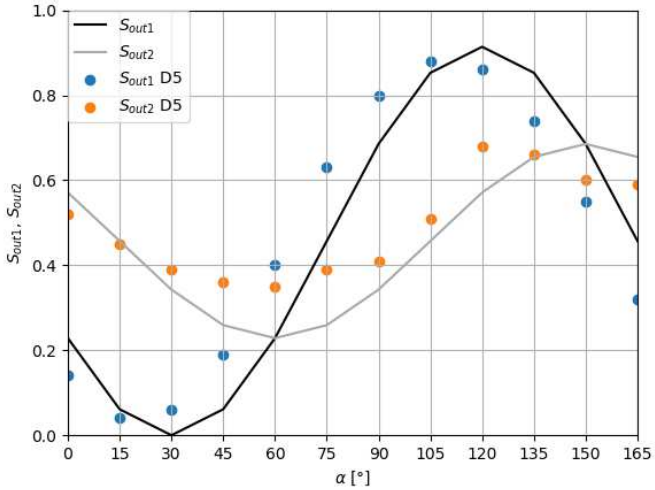


Abb. 5.15: Gegenüberstellung der Grauwerte D5

Die Ausreißer werden noch deutlicher bei der Darstellung mittels Lösungsellipse. Diese ist in Abbildung 5.16 zu sehen.

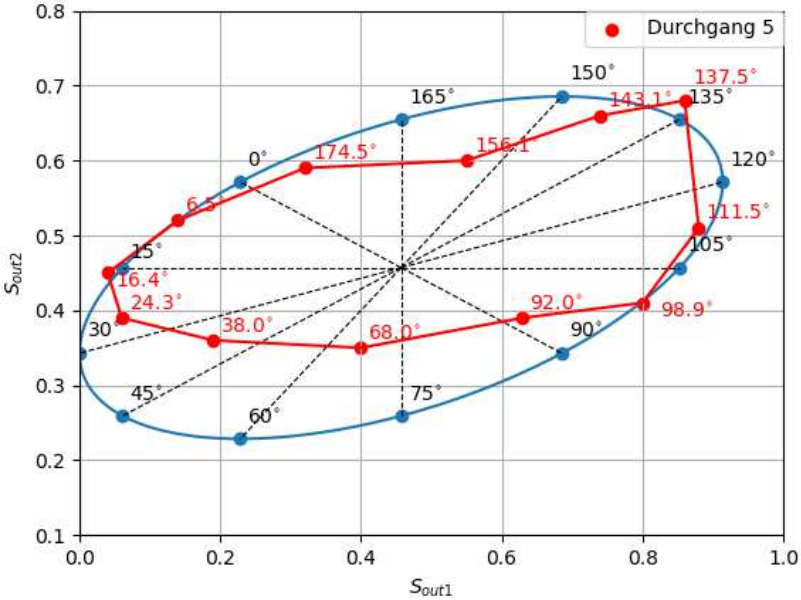


Abb. 5.16: Lösungsellipse D5

Bei den bisher betrachteten Durchgängen konnte man bereits deutliche Unterschiede erkennen. Dabei waren vor allem Position und Apertur der Blende entscheidende Faktoren. Die Blende befand sich zudem immer auf der planen Seite. Bei den nachfolgenden Untersuchungen wurde die Blende auf der konvexen Seite der Linse positioniert.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.2.6 Durchgang 6 (D6)

Die Blende befindet sich in diesem Fall etwa 18 mm hinter der Linse. Da sich auf der konvexen Seite die Strahlung verjüngt, beträgt die Apertur der Blende 7 mm. Die angelegte Spannung und die Kameraeinstellungen sind ident mit jenen aus Durchgang 5.

	Gesamt		Bereich -50		Bereich -100		Bereich -150	
α	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$	α_e	$\lvert\Delta\alpha\rvert$
0	7.2	7.2	9.2	9.2	8.9	8.9	5.5	5.5
15	17.3	2.3	19.3	4.3	19.2	4.2	15.5	0.5
30	31.4	1.4	33.1	3.1	33.0	3.0	29.1	0.9
45	46.8	1.8	47.2	2.7	47.7	2.7	45.3	0.3
60	64.6	4.6	64.2	4.2	64.2	4.2	65.0	5.0
75	81.0	6.0	79.6	4.6	79.7	4.7	82.6	7.6
90	91.3	1.8	89.7	0.3	89.9	0.1	93.4	3.4
105	111.2	6.2	109.0	4.0	109.7	4.7	114.5	9.5
120	116.7	3.3	114.8	5.2	115.6	4.4	120.5	0.5
135	135.1	0.1	133.7	1.3	134.4	0.6	137.6	2.6
150	156.5	6.5	157.3	7.3	157.4	7.4	156.1	6.1
165	177.0	12.0	179.5	14.5	179.2	14.2	174.4	9.4
$\overline{\lvert\Delta\alpha\rvert}$	**4.4**		**5.1**		**4.9**		**4.3**	

Tab. 5.6: Ergebnisse D6

Im Vergleich zu den bisherigen Ergebnissen unterscheiden sich die mittleren Abweichungen der verschiedenen Bereiche nur noch kaum. Größere Abweichungen sind bei 0, 75, 105, 150 und 165° zu erkennen.

Es wurden weitere Versuche mit geringeren Aperturen durchgeführt, die jedoch höhere mittlere Abweichungen aufwiesen. Die Ergebnisse zu diesen Versuchen (Apertur 4 und 6 mm) sind im Anhang (Durchgang 7 und 8) zu finden.

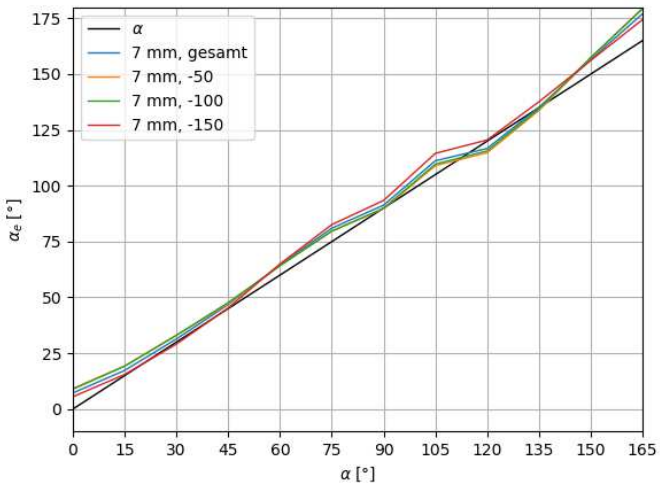


Abb. 5.17: Ergebnisse D6

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Bei den Grauwerten zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei sämtlichen Durchgängen zuvor. S_{out1} ist phasenverschoben und die Amplitude ist etwas zu gering. S_{out2} weist neben der üblichen Amplitudenverkleinerung, einen Ausreißer bei 105° auf. Der Unterschied zu den bisherigen Ergebnissen ist, dass diese Abweichungen geringer ausfallen.

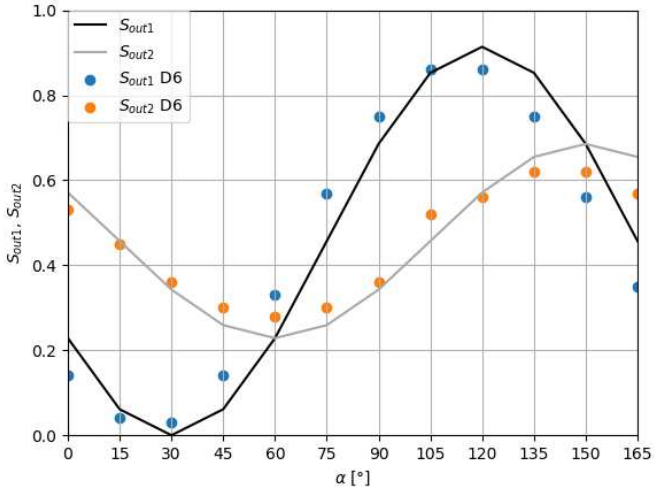


Abb. 5.18: Gegenüberstellung der Grauwerte D6

Die größeren Abweichungen sind, wie man in Abbildung 5.19 sehen kann, vor allem wieder auf den Fehler von S_{out1} zurückzuführen.

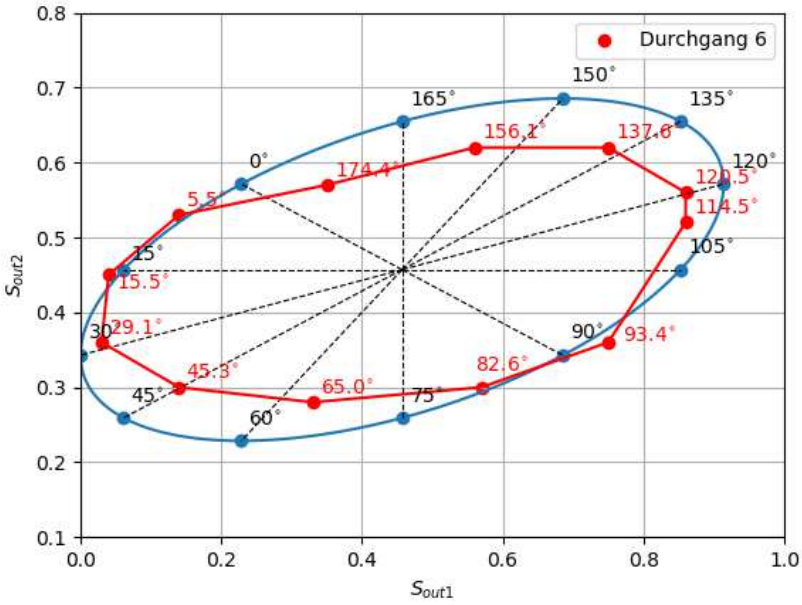


Abb. 5.19: Lösungsellipse D6

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

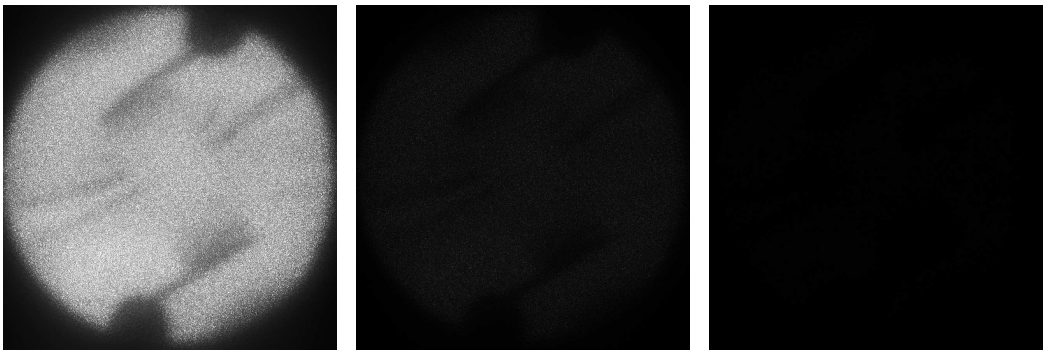
6 Diskussion

Dieser Abschnitt der Arbeit befasst sich mit der Analyse und Interpretation der Ergebnisse. Dabei sollen neben bereits berücksichtigten Faktoren, wie Position und Apertur der Blende, angelegte Spannung und Kameraeinstellungen, auch der Transmissionswert des Analysators, der Analysator selbst und der Einfluss der Zeit untersucht werden. Zudem wird eine andere Art der Auswertung vorgestellt, bei der nicht über einen bestimmten Bildbereich gemittelt wird, sondern die Pixel einzeln analysiert werden.

Das Ziel war es den Winkel unter dem die Emission der Strahlung bei einer Wellenlänge von 1500 nm erfolgt, zu bestimmen. Obwohl es mit Hilfe der CamIR^{1550} laut Herstellerangaben möglich sein sollte, konnte weder ein passendes Setup der optischen Komponenten, noch Einstellungen der Kamera gefunden werden, die ansprechende Ergebnisse geliefert hätten. Daher wurden sämtliche Versuche auf eine Wellenlänge von 1070 nm ausgelegt und die *TXG03* verwendet. Die Abschnitte 6.1 und 6.2 enthalten Aufnahmen der CamIR^{1550} und sollen zeigen, dass weder die Empfindlichkeit, noch die Bildqualität der Kamera für eine Bestimmung des Winkels ausgereicht hat.

6.1 Empfindlichkeit der CamIR^{1550}

Für die folgenden Aufnahmen wurde ein vereinfachter Versuchsaufbau[1] verwendet. Im Gegensatz zum allgemeinen Versuchsaufbau (siehe Kapitel 4.1) bestand das optische Setup nur aus einer Linse und einem Bandpassfilter.



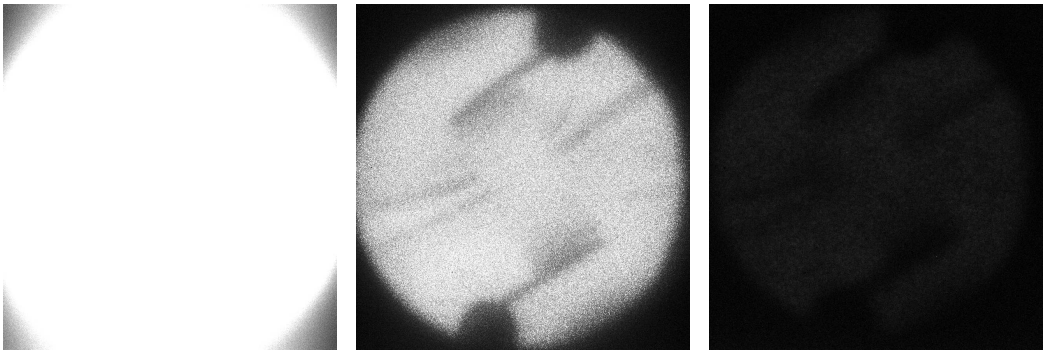
(a) Ohne Filter **(b)** 1070 nm **(c)** 1500 nm

Abb. 6.1: Verstärung 0 dB

[1]Kameraeinstellungen: Brightness (0,0), Exposure (0,415), Gamma (1,0), Shutter (25,016), Frame Rate (16,274)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bei einer Verstärkung von 0 dB erhält man ohne Filter eine ausreichende Helligkeit. Platziert man hingegen, bei den selben Einstellungen, einen Bandpassfilter in den Strahlengang, so erkennt man mit freiem Auge kaum bis gar keinen Kontrast. Jede weitere polarisationsoptische Komponente würde den Grauwert zusätzlich reduzieren.



(a) Ohne Filter **(b)** 1070 nm **(c)** 1500 nm

Abb. 6.2: Verstärung 24 dB

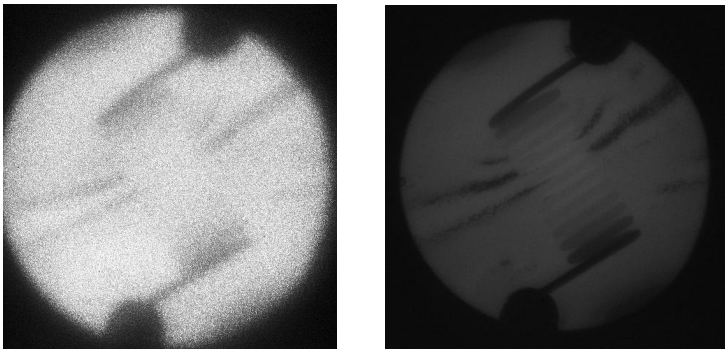
Eine Erhöhung der Verstärkung auf den Maximalwert von 24 dB führt dazu, dass die Helligkeit, ohne einen Filter, für weitere Versuche zu stark wird (Abbildung 6.2a). Die Aufnahmen mit einem Bandpassfilter für 1070 nm wäre da schon besser geeignet. Man muss jedoch beachten, dass einige optische Komponenten im Versuchsaufbau fehlen und sich die Intensität bei den regulären Versuchen noch senken würde. Zudem weist der Bandpassfilter ab einer Wellenlänge von etwa 1300 nm erhöhte Transmissionswerte auf, sodass eine Bestimmung des Winkels bei einer bestimmten Wellenlänge nicht möglich wäre.

Die angegebene Empfindlichkeit der CamIR^{1550}, bei einer Wellenlänge von 1500 nm, konnte nicht bestätigt werden. Der Kontrast der Aufnahmen war bereits beim vereinfachten Versuchsaufbau schlichtweg zu gering. Aus diesem Grund wurden keine Versuche in diesem Wellenlängenbereich durchgeführt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

6.2 Bildqualität

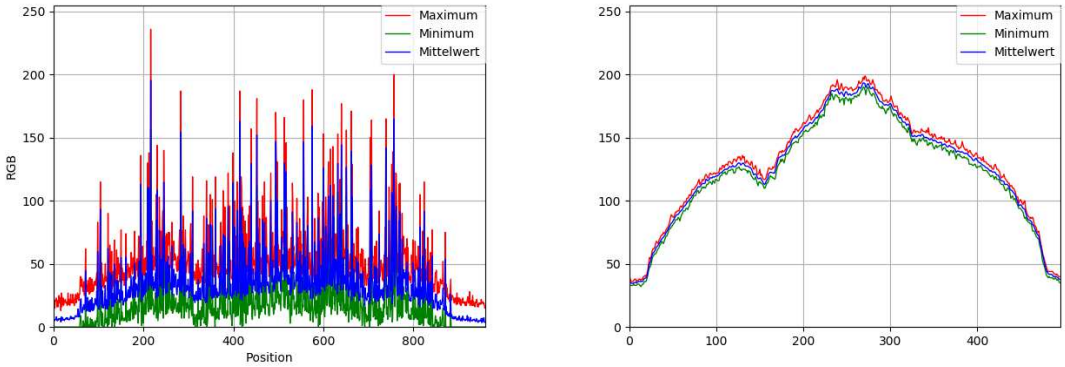
Vergleicht man die Aufnahmen der CamIR^{1550} mit jenen der *TXG03*, so kann man auch hier deutliche Unterschiede erkennen. Die Aufnahmen der *TXG03* sind, wie in Abbildung 6.3 zu sehen, wesentlich schärfer und detailreicher.



(a) CamIR^{1550} **(b)** TXG03

Abb. 6.3: Vergleich der Aufnahmen bei 1070 nm

Außerdem war beim Kamerastream der CamIR^{1550} ein auffällig starkes Rauschen zu beobachten. Um dies zu verdeutlichen, wurden 100 Bilder mit der Kamera gemacht und jeweils die gleiche Pixelreihe ausgewertet. In Abbildung 6.4 sind Maxima (rot), Minima (grün), sowie Mittelwerte (blau) der Pixelwerte für eine Reihe dargestellt.



(a) CamIR^{1550} **(b)** *TXG03*

Abb. 6.4: Auswertung der Pixelreihen

Zum Vergleich wurden 20 Bilder der *TXG03* (siehe Abbildung 6.4b) ausgewertet. Hier fällt der Schwankungsbereich wesentlich geringer aus. Das starke Rauschen der CamIR^{1550} hätte sich in Form einer breiteren Streuung der Ergebnisse bemerkbar gemacht.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6.3 Ergebnisse Versuch 1

Da die Kennlinien des Flüssigkristalls, die vom Hersteller angegeben sind, für andere Wellenlängen ermittelt wurden, war es notwendig, das Verhalten des Flüssigkristalls zu beschreiben. Erste Versuche mit einer Diode bei 1500 nm haben zudem gezeigt, dass die Phasenverschiebungen bei höheren Spannungen auftreten. Grund hierfür könnten die geänderten Umgebungseinflüsse, wie Temperatur und Umgebungsstrahlungen sein. Aber auch die Zeit spielt laut Hersteller eine gewisse Rolle. Wie man in Abbildung 6.5 sehen kann, schwankt die Spannung, die für eine Phasenverschiebung von 180° benötigt wird. Oder anders ausgedrückt, kann sich die Phasenverschiebung bei gegebener Spannung mit der Zeit ändern.

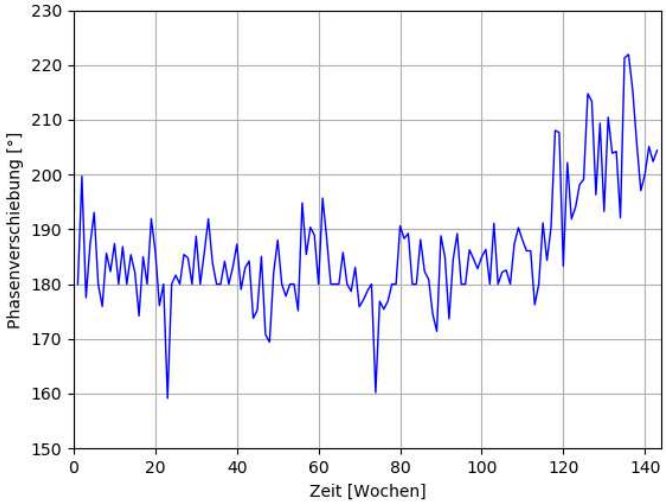


Abb. 6.5: Phasenverschiebung in Abhängigkeit der Zeit bei konstanter Spannung[1]

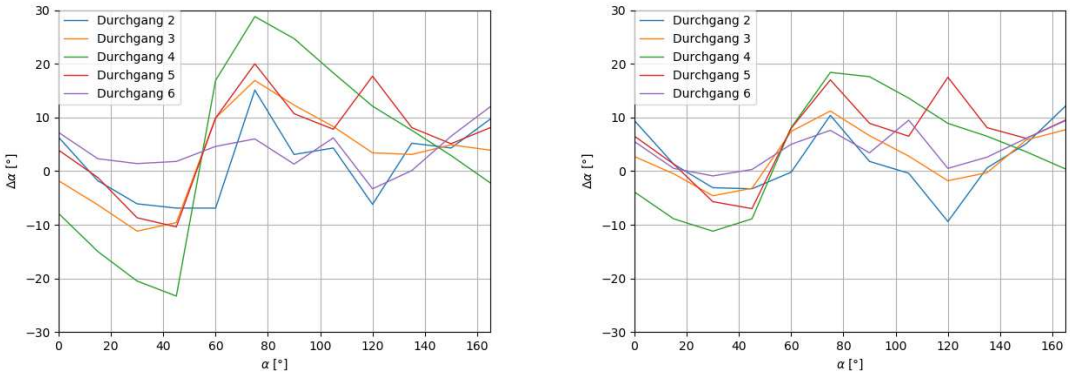
Der Einfluss der Zeit betrifft nicht nur den Flüssigkristall, sondern auch die Kamera. Wie man anhand der Daten in Abschnitt 6.4.4 sehen kann, nimmt der Grauwert mit der Zeit zu. Aber auch eine gewisse Grundintensität der Bilder verursacht eine Verschiebung der Kennlinien nach oben. Die Ausrichtung der Komponenten Polarisator, Flüssigkristall und Analysator war ebenfalls, aufgrund des Fehlens präziser Messmittel bzw. Einstellmöglichkeiten, mit Ungenauigkeiten verbunden. Die in Kapitel 5.1 dargelegten Ergebnisse aus Versuch 1 wurden in weiterer Folge für die Ermittlung des Winkels α verwendet. In welchem Ausmaß sich die Fehler und Ungenauigkeiten im folgenden Versuch ausgewirkt haben, ist schwer zu sagen, aber die beobachtete Phasenverschiebung von S_{out1} in allen Durchgängen könnte eine mögliche Folge sein.

[1] Daten aus THORLABS Datenblatt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

6.4 Ergebnisse Versuch 2

Abgesehen von Durchgang 1 (ohne Blende) konnten die Ergebnisse durch die Verkleinerung des ausgewerteten Bildbereichs allgemein verbessert werden. Ein Überblick über die Abweichungen sind in Abbildung 6.6 zu sehen. Vor allem in Durchgang 4, bei der die Apertur auf 8 mm verkleinert wurde, konnte die mittlere Abweichung von 15 auf etwa 9° reduziert werden. Auffällig waren die Werte bei 75, sowie 165°. Diese Winkel liegen auf einer senkrechten Geraden der Lösungsellipse und Abweichungen von S_{out1} wirken sich hier besonders stark aus. Das, in Kombination mit der Phasenverschiebung von S_{out1}, führt zu größeren Abweichungen.



(a) Gesamter Bereich **(b)** Bereich -150

Abb. 6.6: Abweichungen der Ergebnisse

Bei 120° erkennt man eine Abweichungsspitze für Durchgang 5. Wie man anhand des Grauwertverlaufes (Abbildung 5.15) deutlich sehen kann, handelt es sich hierbei um das Ergebnis eines zufälligen Ausreißers. Weitere auffällige Werte waren bei 150° zu beobachten. Hier liegen die Abweichungen sämtlicher Durchgänge innerhalb eines bestimmten Wertebereichs. Um als Ergebnis 150° zu erhalten, müssen beide Grauwerte gleich groß, sowie größer als 0.457 sein. Diese Bedingung ist vor allem in dunklen Bereichen der Aufnahmen, wie z.B. den Randbereichen, erfüllt.

Bei der Gegenüberstellung von Grauwerten und deren Sollwerten konnte man Ausreißer, Phasenverschiebungen, Abweichungen der Mittellage und kleinere Amplituden feststellen. Mögliche Ursachen sollen nun durch Variation der Parameter β (Ausrichtung des Flüssigkristalls), γ (Ausrichtung des Analysators), sowie δ_1 (Phasenverschiebung in Abhängigkeit der Spannung), identifiziert werden. Da die beobachtete Phasenverschiebung der Grauwerte nur S_{out1} betrifft, ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse aus Versuch 1 nicht die realen Gegebenheiten widerspiegeln. Ändert man daher δ_1 um einen Betrag $|\Delta\delta_1|$ von 5 bzw. 10°, so erhält man die in Abbildung 6.7 dargestellten Sollkurven für die Grauwerte[1].

[1] Eine Änderung von δ_1 hat keine Auswirkungen auf die Sollwerte von S_{out2} und ist daher nicht abgebildet.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

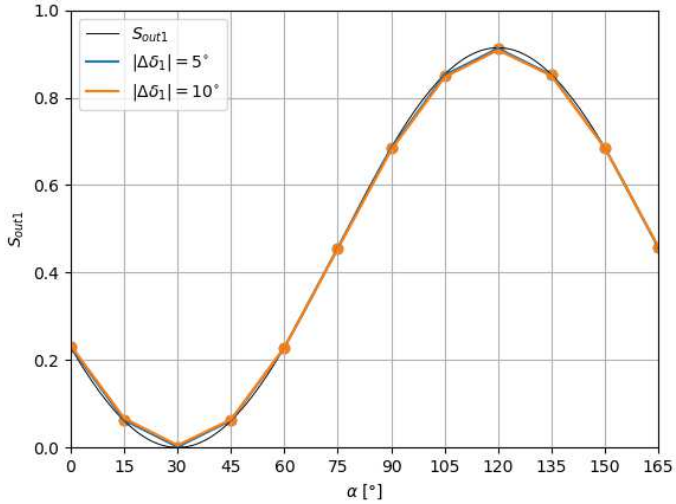


Abb. 6.7: Grauwerte bei Variation von δ_1

Wie man sehen kann, wirkt sich eine Änderung von δ_1 kaum auf die Sollwerte von S_{out1} aus. Bei 60, sowie 150° bleiben sie sogar gleich. Daher ist der Einfluss der Ergebnisse aus Versuch 1 nicht so ausgeprägt wie zuvor angenommen. Die Phasenverschiebung der Grauwerte S_{out1} muss demnach eine andere Ursache haben.

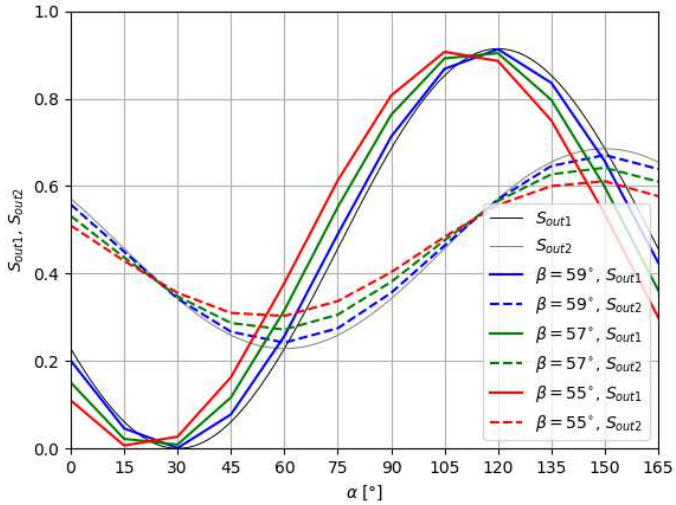


Abb. 6.8: Grauwerte bei Variation von β

Die Ausrichtung der optischen Komponenten im Versuchsaufbau führt aufgrund von mangelnder Genauigkeit ebenso zu Fehlern. Um die Auswirkungen quantitativ einschätzen zu können, wird zunächst die Ausrichtung des Flüssigkristalls β untersucht. Bei der bisherigen Berechnung des Winkels α wurde von $\beta = 60°$ ausgegangen. Für eine Ausrichtung der schnellen Achse des Flüssigkristalls von 55, 57 und 59° ergeben sich

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die in Abbildung 6.8 dargestellten Grauwerte. Mit der Änderung von β erhält man die Phasenverschiebung von S_{out1}, die in Ergebnissen zu beobachten ist. Auch die geringere Amplitude von S_{out2} deutet darauf hin, dass eine Fehlstellung des Flüssigkristalls für die Abweichungen sorgen könnte. Die Phasenverschiebung bei S_{out2} ist hier jedoch stärker ausgeprägt, als in den Versuchsergebnissen.

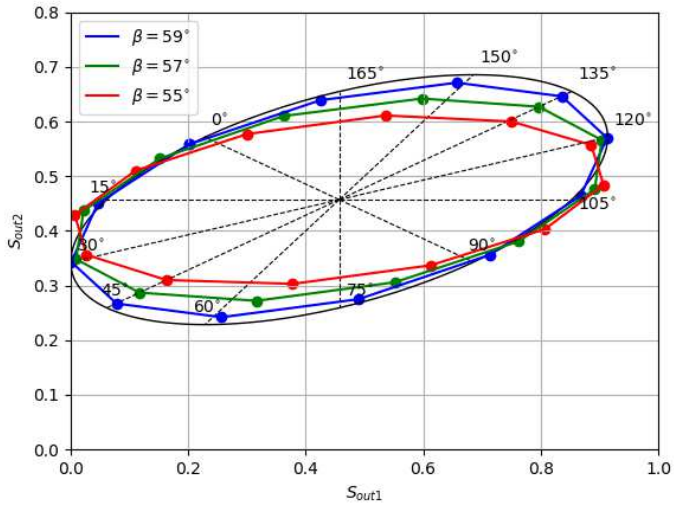


Abb. 6.9: Lösungsellipse bei Variation von β

Bei der Darstellung der Grauwerte mit Hilfe der Lösungsellipse (Abbildung 6.9) sieht man wieder, dass sich die Grauwert-Abweichungen bei verschiedenen Winkeln unterschiedlich stark auswirken. Bei $\beta = 55°$ liegt die mittlere Abweichung $\overline{\Delta\alpha}$ bei 5.4°. Die maximale Abweichung $\Delta\alpha$ ist bei 75, sowie 165° zu beobachten und beträgt 11.5°.

Um die Auswirkungen einer fehlerhaften Ausrichtung des Analysators γ zu ermitteln, muss die Berechnung aus Abschnitt 4.1 etwas angepasst werden. Die in Gleichung 4.3 zu sehende Müller-Matrix M_A des Analysators ergibt zusammen mit den weiteren Rechenschritten und ohne einen konkreten Wert für γ einzusetzen

$$\begin{aligned}\frac{2 \cdot S_{out}}{t_{LC} \cdot t_A} = {} & S_1 \cdot [\cos(2\gamma)(C^2 + S^2\cos(\delta)) + \sin(2\gamma)SC(1-\cos(\delta))] \\ & + S_2 \cdot [\cos(2\gamma)SC(1-\cos(\delta)) + \sin(2\gamma)(S^2 + C^2\cos(\delta))].\end{aligned} \tag{6.1}$$

Mit dieser Gleichung lässt sich wieder mit zwei unterschiedlichen Phasenverschiebungen δ ein Gleichungssystem aufstellen. Für $\gamma = 1$, 3 und 5° sind die resultierenden Grauwerte in Abbildung 6.10 dargestellt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

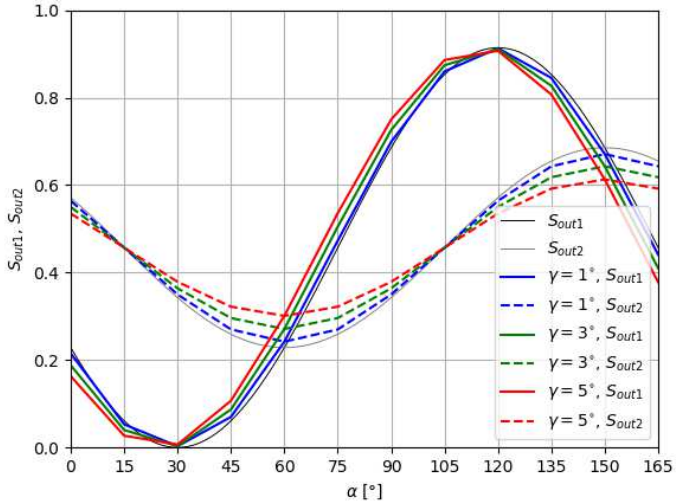


Abb. 6.10: Grauwerte bei Variation von γ

Im Gegensatz zur Variation von β fällt die Phasenverschiebung bei einer Änderung von γ geringer aus. Ein Ausrichtungsfehler des Analysators verursacht zudem keine Phasenverschiebung von S_{out2}, sondern nur eine Verkleinerung der Amplitude. Dieses Verhalten entspricht eher den gesammelten Versuchsergebnissen.

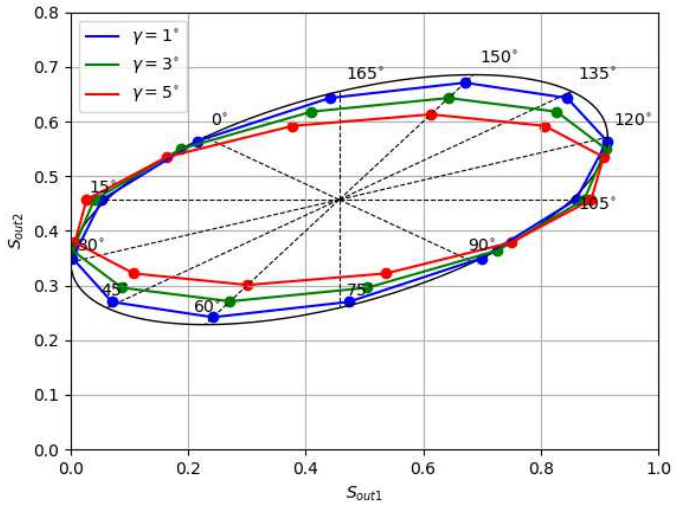


Abb. 6.11: Lösungsellipse bei Variation von γ

Die Kombination aus Phasenverschiebung von S_{out1}, sowie Amplitudenverkleinerung von S_{out2} fällt so aus, dass bei 60 und 150 ° die Grauwerte S_{out1} und S_{out2} wie den Sollwerte ident sind, und die Abweichung $\Delta\alpha = 0°$ beträgt. Bei 15 und 105° nimmt S_{out2} einen Wert von 0.457 an, sodass hier die Abweichung ebenfalls 0° ist. Bei $\gamma = 5°$ liegt die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

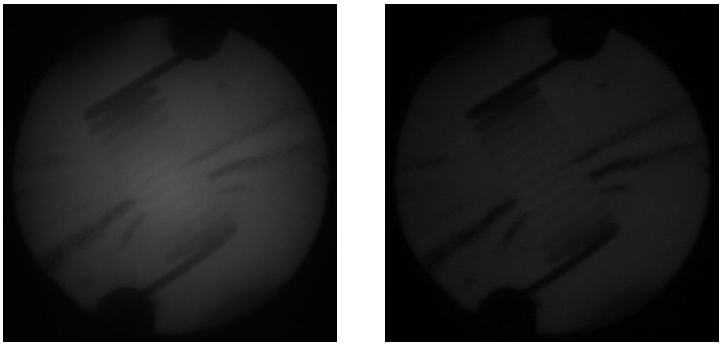
mittlere Abweichung $\overline{\Delta\alpha}$ bei 3.8°. Die maximale Abweichung $\Delta\alpha$ ist bei 45, 75, 135, sowie 165° zu sehen und beträgt 6.3°.

Vergleicht man die Versuchsergebnisse mit den Werten, die sich bei einer Fehlstellung von β und γ ergeben, kann man davon ausgehen, dass die fehlerhafte Ausrichtung der Komponenten großteils für die Abweichungen verantwortlich ist. Anhand der Ergebnisse konnte man ebenfalls sehen, dass durch minimale Änderungen am Setup, deutliche Unterschiede am Versuchsausgang entstehen können. Vor allem die Apertur und Position der Blende waren dabei anscheinend entscheidende Faktoren. Aber auch die Art der Auswertung war für die Ergebnisse maßgeblich. Diese und andere mögliche Einflüsse sollen in den nächsten Abschnitten des Kapitels erörtert werden.

6.4.1 Einfluss der Blende

Vergleicht man die Werte aus sämtlichen Durchgängen, so wird deutlich, dass die Blende den größten, beobachteten Einfluss auf das Ergebnis hat. Dabei gibt es eine Vielzahl an möglichen Änderungen, die vorgenommen werden können.

Sieht man sich die Aufnahmen ohne Blende (Abbildung 6.12a) genauer an, so fällt eine Abschattung zum Bildrand hin auf. Dieser Effekt wird in der Fototechnik als Vignettierung bezeichnet und durch eine Anordnung von zwei oder mehr Öffnungen verursacht. Beim vorhandenem Versuchsaufbau wird diese Abschattung wahrscheinlich durch die Aperturen von Polarisator und Flüssigkristall hervorgerufen.



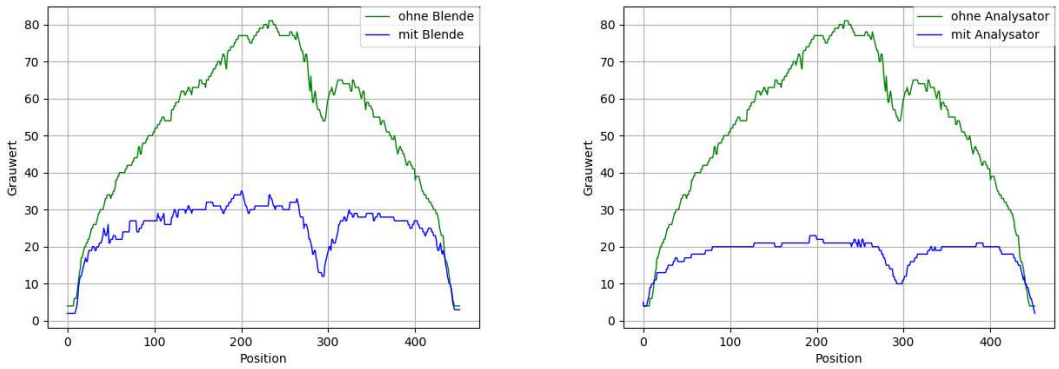
(a) ohne Blende **(b)** mit Blende

Abb. 6.12: Einfluss der Blende auf die Aufnahmen

Mit Hilfe der Blende konnte die Vignettierung, wie man in Abbildung 6.12b sehen kann, aufgehoben werden. Wertet man die gleichen Pixelreihen (aus Abbildung 6.12) aus, erhält man die in Abbildung 6.13a dargestellten Grauwertverläufe. Die Abflachung der Kurve lässt hier auf eine Reduzierung bzw. Vermeidung der Abschattung schließen.

Durch Einschwenken des Analysator kommt es, wie in Abbildung 6.13b zu sehen, ebenfalls zu Aufhebung der Vignettierung. Das heißt, dass sämtliche Bilder (S_{LC}) aus

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub



(a) Mit und ohne Blende

(b) Ohne Blende, mit und ohne Analysator

Abb. 6.13: Vignettierung

Durchgang 1, die ohne Analysator aufgenommen wurden, eine Abschattung zum Bildrand hin vorweisen. Jene Bilder die nach Einschwenken des Analysators entstanden sind (S_{out1}, S_{out2}), zeigen diesen Effekt nicht. Daher wird der Grauwert S_{LC} im Verhältnis zu S_{out1} und S_{out2} zu hoch und es kommt zu den deutlichen Abweichungen. Verkleinert man zudem den auszuwertenden Bereich, erhöht sich dieser Unterschied zusätzlich. Einerseits konnte mit Hilfe der Blende die Vignettierung aufgehoben werden, andererseits bringt sie, mit ihrer Positionierung und Apertur, zwei zusätzliche Faktoren, die die Ergebnisse beeinflussen. Stellt man die Apertur, bei Positionierung der Blende vor der Linse, auf 12 mm (maximal mögliche Apertur, Durchgang 3), 10 mm (Durchgang 9, siehe Anhang) und 8 mm (Durchgang 4), dann erhält man die Grauwertpaare, welche in Abbildung 6.14 zu sehen sind.

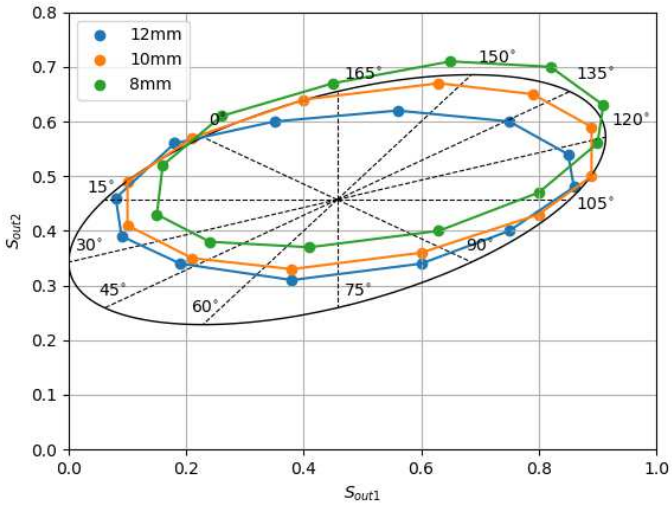


Abb. 6.14: Lösungsellipse bei verschiedenen Aperturen der Blende

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Durch die Verringerung der Apertur kommt es zu einer Verschiebung der Mittellage nach oben. Amplitude und Phasenverschiebung bleiben dabei, wie in Abbildung 6.15 zu sehen ist, nahezu gleich[1]. Vergleicht man die Grauwerte S_{LC}, S_{out1} und S_{out2} bei einer Apertur von 12mm mit jenen bei 8 bzw. 10mm (Abbildung 6.16), so lässt sich ein linearer Zusammenhang erkennen.

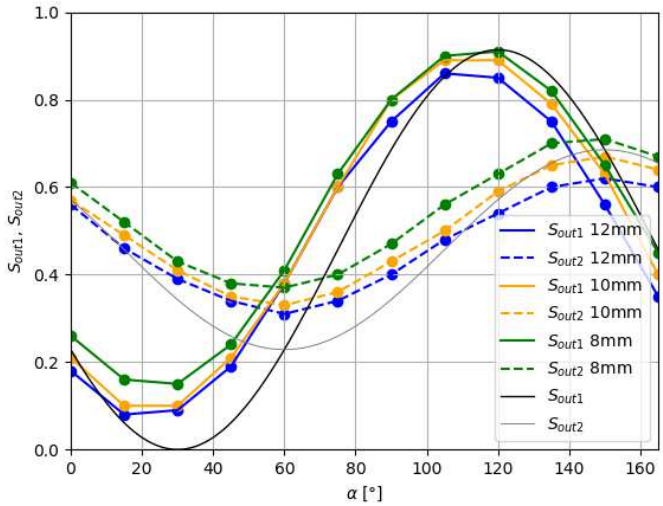


Abb. 6.15: Grauwertverläufe bei verschiedenen Aperturen der Blende

Die Regressionsgerade für die Grauwerte bei 8mm (GW_{8mm}), in Abhängigkeit der Grauwerte bei 12mm (GW_{12mm}), ist gegeben durch

$$GW_{8mm}(GW_{12mm}) = 0.5 \cdot GW_{12mm} + 3.926 \tag{6.2}$$

und jene der Grauwerte bei 10mm (GW_{10mm}) durch

$$GW_{10mm}(GW_{12mm}) = 0.79 \cdot GW_{12mm} + 1.675. \tag{6.3}$$

Würden die Grauwerte bei Änderung der Apertur lediglich mit einem Faktor multipliziert werden, so müssten annähernd die gleichen Resultate wie bei der Ausgangsapertur von 12mm folgen. Die berechneten Geraden aus Gleichung 6.2 und 6.3 weisen neben diesen Faktoren, auch additive Konstanten auf. Beide Geraden haben einen Schnittpunkt bei einem Grauwert von etwa 7. Es ist anzunehmen, dass dieser Wert der Mindesthelligkeit bei Aufnahmen mit diesen Kameraeinstellungen[1] entspricht. Dieser Wert führt in weiterer Folge, je nach Apertur der Blende, zu verschiedenen Ordinatenabständen und trägt letztendlich mit einem gewissen Anteil zu einer Verschiebung der Mittellage bei.

[1] Ähnliche Ergebnisse sind in Abschnitt 6.4.3 zu sehen. Hier kommt es durch eine Anpassung des Transmissionswertes t_A ebenfalls zu einer Verschiebung der Mittellage.
[1] Belichtung: 40000 μs, Verstärkung: 10 dB

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

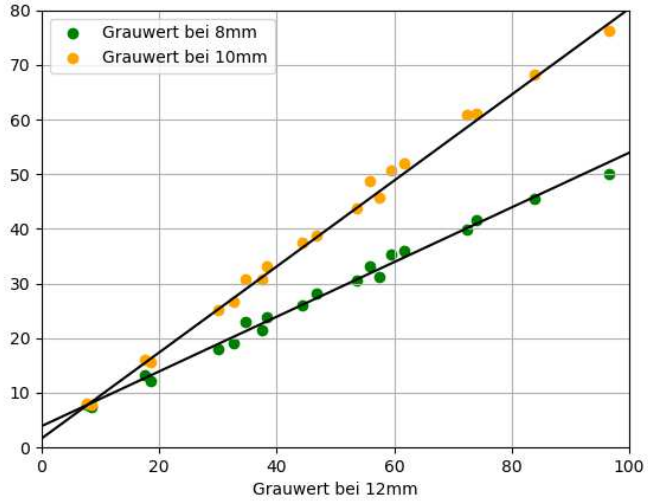


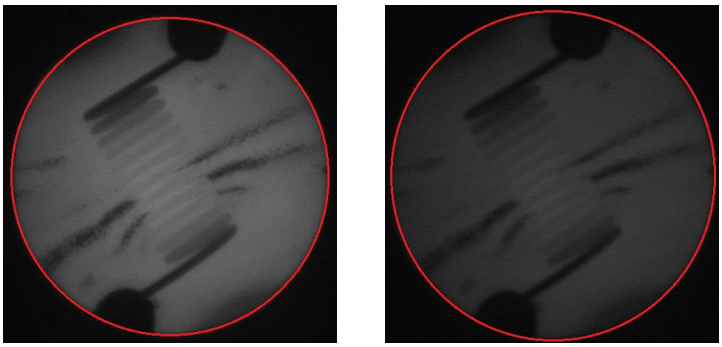
Abb. 6.16: Grauwertänderung durch die Apertur der Blende

Die Positionierung der Blende auf der konvexen Seite der Linse, also zwischen Kamera und Linse, hat sich während den Versuchen als praktikabel herausgestellt. Da es hier zu einer Verjüngung des Strahlenganges kommt, überwiegt der Einfluss der Blendenapertur. Die Apertur muss hier jedoch klein genug sein, da es sonst zu einer Vignettierung in den Aufnahmen kommen würde.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

6.4.2 Einfluss des Analysators

Da für die Berechnung des Winkels eine Aufnahme ohne Analysator benötigt wurde, kommen durch die konstruktive Lösung (Ein- und Ausschwenken des Analysators) zusätzliche Einflussfaktoren zum Tragen. Einerseits muss der Transmissionswert in der Berechnung berücksichtigt werden. Anderseits führt eine bewegliche Komponente in der Optik zu Ungenauigkeiten.



(a) Aufnahme ohne Analysator **(b)** Aufnahme mit Analysator

Abb. 6.17: Vergleich der Aufnahmen mit und ohne Analysator

Wie man in Abbildung 6.17 sehen kann, führt das Einschwenken des Analysators dazu, dass sich die Bildfläche, auf der der Emitter abgebildet wird, vergrößert. Wie sich diese Vergrößerung letztendlich auf das Ergebnis auswirkt, ist an dieser Stelle schwer zu sagen, da für die Versuche keine weiteren Polarisatoren zur Verfügung standen, und somit vergleichbare Werte fehlen. Aufgrund dieses Fehlers wurden die Bilder über gemittelte Grauwerte ausgewertet. Beispiele für eine pixelweise Auswertung sind in Abschnitt 6.4.7 zu finden.

6.4.3 Einfluss der Transmission t_A

Da die Transmission des Analysators über die Grauwerte der Aufnahmen ermittelt wurde, soll an dieser Stelle überprüft werden, ob eine Anpassung des Transmissionswertes t_A, zu signifikanten Änderungen der Ergebnisse führt. Dazu wurde ausgehend von $t_A = 0.89$ der Wert schrittweise um $\Delta t_A = 0.01$ erhöht. Zur Auswertung wurden die Aufnahmen aus Durchgang 6 (Bereich -150) herangezogen. Die erhaltenen Ergebnisse sind in Tabelle 6.1 zu sehen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

t_A	0,89		0,90		0,91		0,92		0,93	
α	α_M	$\Delta\alpha$	α_M	$\Delta\alpha$	α_M	$\Delta\alpha$	α_M	$\Delta\alpha$	α_M	$\Delta\alpha$
0	4.2	4.2	4.7	4.7	5.3	5.3	5.9	5.9	6.5	6.5
15	14.1	0.9	14.7	0.3	15.3	0.3	15.9	0.9	16.5	1.5
30	27.7	2.3	28.3	1.7	28.9	1.1	29.5	0.5	30.1	0.1
45	44.3	0.7	44.7	0.3	45.1	0.1	45.5	0.5	45.9	0.9
60	65.3	5.3	65.1	5.1	65.0	5.0	64.9	4.9	64.7	4.7
75	83.7	8.7	83.2	8.2	82.7	7.7	82.3	7.3	81.8	6.8
90	94.7	4.7	94.1	4.1	93.6	3.6	93.0	3.0	92.5	2.5
105	116.1	11.1	115.4	10.4	114.8	9.8	114.1	9.1	113.4	8.4
120	121.9	1.9	121.3	1.3	120.7	0.7	120.1	0.1	119.5	0.5
135	138.3	3.3	138.0	3.0	137.7	2.7	137.4	2.4	137.0	2.0
150	155.7	5.7	155.9	5.9	156.0	6.0	156.2	6.2	156.4	6.4
165	172.9	7.9	173.5	8.5	174.1	9.1	174.8	9.8	175.4	10.4
Mittlere Abweichung $\overline{\Delta\alpha}$										
$\overline{\Delta\alpha}$	4.7		4.5		4.3 (4.28)		4.2 (4.22)		4.2 (4.23)	

Tab. 6.1: Einfluss des Transmissioswertes t_A

In einem Bereich von 0° bis 45°, sowie 150° bis 180°, führt eine Erhöhung von t_A zu höheren Ergebnissen. Umgekehrt verhält es sich bei Winkeln, die zwischen 45° und 150° liegen. Die mittlere Abweichung $\overline{\Delta\alpha}$ ist bei einem Transmissionswert $t_A = 0,92$ am geringsten. Dies entspricht in etwa dem Wert, der über die Grauwerte ermittelt wurde. Eine Anpassung des Transmissionswertes führt also in diesem Fall nicht zu einer Verbesserung des Ergebnisses und wurde daher allgemein nicht durchgeführt.

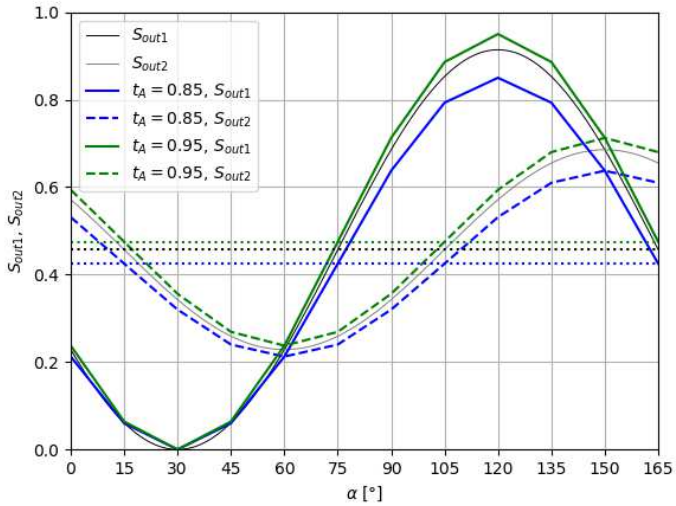


Abb. 6.18: Grauwerte bei Variation von t_A

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Allgemein lässt sich mit der Variation von t_A, wie in Abbildung 6.18 zu sehen ist, Amplitude und Mittellage der Soll-Grauwerte beeinflussen. Eine Verkleinerung des Wertes, ausgehend vom ermittelten $t_A = 0.914$, führt dazu, dass die Amplitude, sowie die Mittellage gesenkt werden. Bei einer Vergrößerung verhält sich wiederum umgekehrt.

Stellt man die, durch die Variation von t_A erhaltenen Soll-Grauwerte als Ellipse dar, so sieht man, dass es zu einer Verschiebung kommt. Trägt man zusätzlich die Ergebnisse aus Durchgang 6 ein, so kann man sehen, wie es zu den Ergebnissen aus Tabelle 6.1 gekommen ist. In einem Bereich von 0° bis 45°, sowie 150° bis 180°, führt eine geringerer Wert für t_A zu besseren Ergebnissen, da die Grauwert-Abweichungen kleiner werden. Eine Vergrößerung von t_A bei Winkeln zwischen 45° und 150° führen zu dem gleichen Effekt. Der ermittelte Transmissionswert $t_A = 0.914$ brauchte im Mittel in den meisten Durchgängen die geringsten Abweichungen . Wie genau dieser Näherungswert ist, kann aufgrund der Einflüsse anderer Fehler, wie z.B. der Phasenverschiebung von S_{out1}, schwer beurteilt werden.

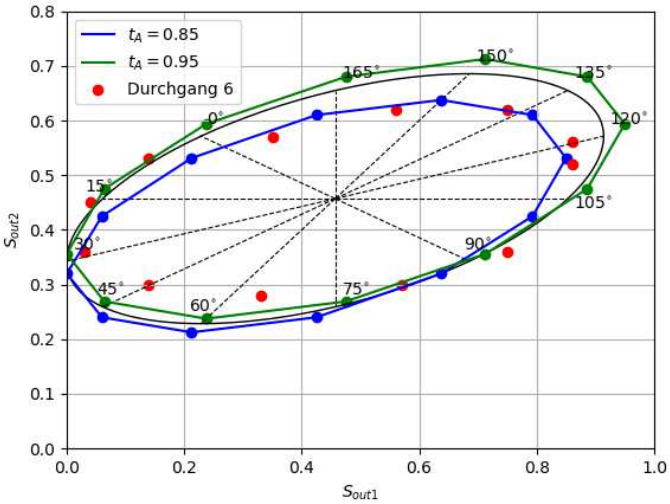


Abb. 6.19: Lösungsellipse bei Variation von t_A

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6.4.4 Einfluss der Zeit

Nimmt man Bilder über einen gewissen Zeitraum auf und stellt die Grauwerte dieser Aufnahmen in Abhängigkeit der Zeit dar, so ergibt sich der in Abbildung 6.20 zu sehende Verlauf. Ausgehend von der Inbetriebnahme des Emitters liefert die Kamera bei diesem Versuch über 29 Minuten lang Bilder. Nach einem Anstieg mit großer Steigung innerhalb der ersten paar Sekunden münden die Werte scheinbar in eine, sich einer Asymptote nähernden Kurve.

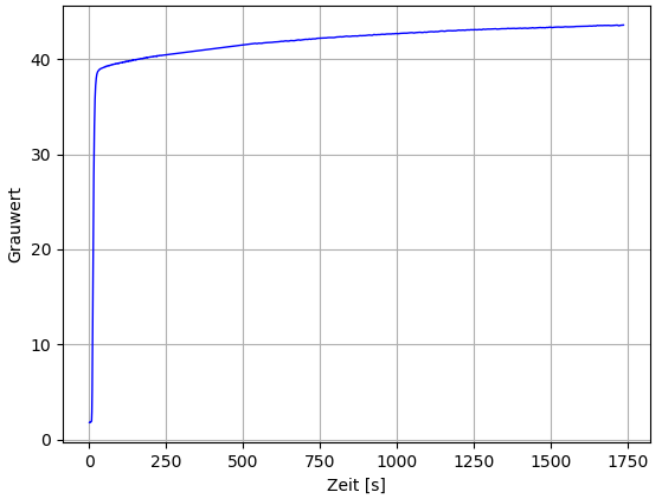
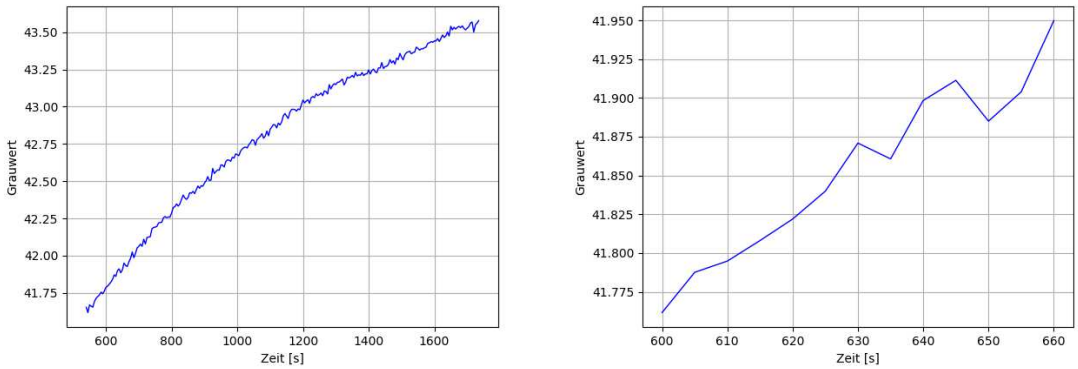


Abb. 6.20: Grauwerte in Abhängigkeit der Zeit

Ursache für dieses Verhalten ist neben der Erwärmung des Emitters, vermutlich der Temperaturanstieg der Kamera. Für die Versuchsdurchführung bedeutet das, dass je kürzer der Zeitraum, in dem die Bilder für die Winkelbestimmung aufgenommen werden, ist, desto geringer wird dieser zeitliche Einfluss. Bei sämtlichen Versuchen wurde darauf geachtet, dass der Emitter eine Zeit lang im Betrieb ist, bevor mit den Aufnahmen begonnen wurde. In der Regel waren dies 10 bis 20 Minuten. Die Aufnahme der drei Bilder selbst erfolgte dann immer in unterschiedlichen Zeitabständen, innerhalb von etwa 10 bis 30 Sekunden (in Ausnahmefällen auch länger). Die Abfolge war jedoch immer die Selbe. Zunächst wurde S_{LC} bei einer Spannung von etwa 2,9 V, nach Einschwenken des Analysators S_{out1} und anschließend S_{out2}, nach einer Anpassung der Spannung auf etwa 2,2V, aufgenommen.

Sieht man sich den Zeitraum von 600 bis 1600s an, so steigert sich der Grauwert von 41.75 auf ca. 43.5. Das ergibt einen Differenzenquotienten $\Delta G/\Delta t$ von 0.00175 $1/s$ und normiert $4.2 \cdot 10^{-5}$ $1/s$. Nimmt man beispielsweise an, das zwischen den Aufnahmen von S_{LC} und S_{out1} 5s und zwischen S_{LC} und S_{out1} 15s vergehen, so erhält man bei einem Winkel von 75° und dem berechneten Grauwert-Anstieg ein Ergebnis von 75,01°. Bedenkt man, dass die Zeitabstände größer ausfallen können, und dass lokale

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN



(a) 600 - 1600s **(b)** 600 - 660s

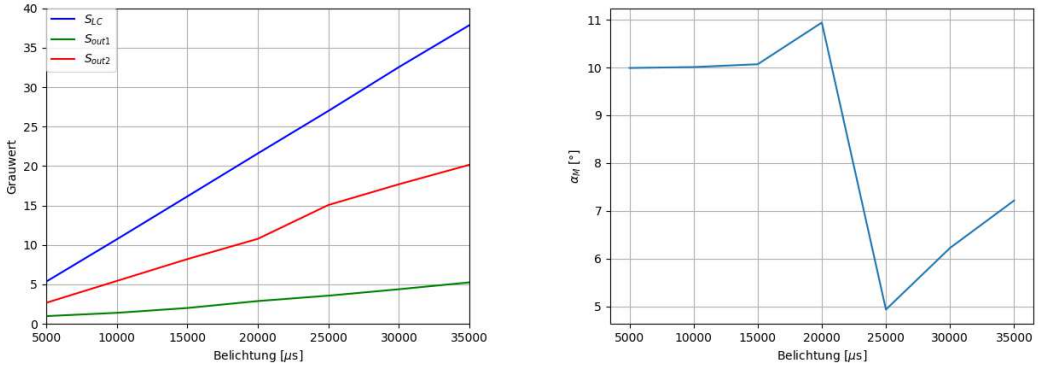
Abb. 6.21: Grauwerte in Abhängigkeit der Zeit

Schwankungen der Grauwerte (siehe Abbildung 6.21b) die Ergebnisse beeinflussen, kann man davon ausgehen, dass die Abweichung, die durch den Einfluss der Zeit entsteht, höchstens im Zehntelbereich liegt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6.4.5 Einfluss der Kameraeinstellungen

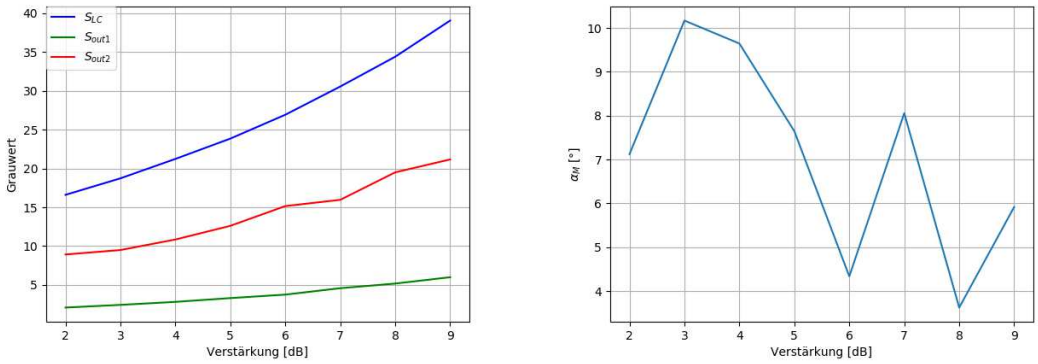
Bei der Einstellung der Kamera wurde lediglich darauf geachtet, dass der Kontrast der Aufnahmen für eine Auswertung ausreicht. Dabei handelt es sich genauer gesagt um Belichtung und Verstärkung der Bilder. Um deren Einfluss auf die Ergebnisse zu ermitteln, wurde zunächst die Belichtung bei einer konstanten Verstärkung von 10 dB variiert. Die Grauwertverläufe und die daraus resultierenden Ergebnisse sind für $\alpha = 0°$ in Abbildung 6.22 dargestellt.



(a) S_{LC}, S_{out1}, S_{out2} **(b)** Ergebnisse in Abhängigkeit der Belichtung

Abb. 6.22: Variation der Belichtung

Die Verläufe von S_{LC} und S_{out1} sind linear und ohne auffällige Abweichungen. Die Schwankungen im Verlauf für S_{out2}, die zu den unterschiedlichen Ergebnissen führen, sind durch Störungen in der Spannungsversorgung entstanden. Näheres dazu in Abschnitt 6.4.6. Geht man von idealen Geraden aus, so würden nur die Steigungen und deren Verhältnis zueinander, die Ergebnisse beeinflussen. Daher spielt die Belichtung für die Resultate keine Rolle.



(a) S_{LC}, S_{out1}, S_{out2} **(b)** Ergebnisse in Abhängigkeit der Verstärkung

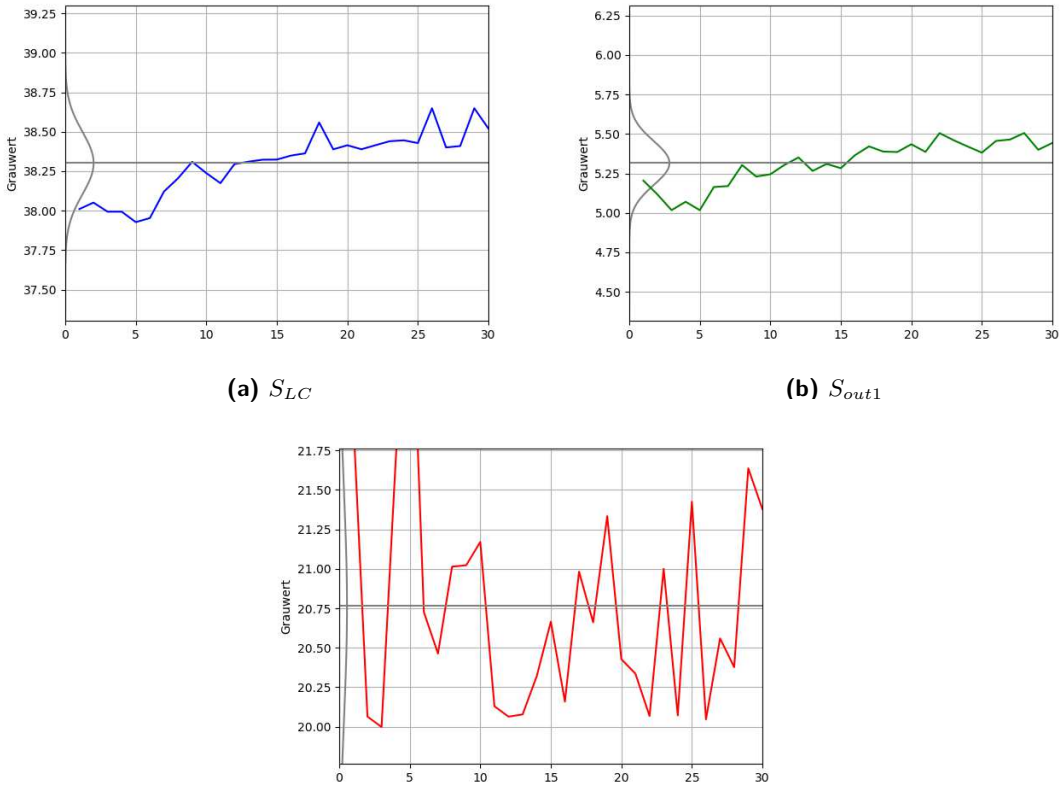
Abb. 6.23: Variation in Abhängigkeit der Verstärkung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die gleichen Überlegungen gelten die Verstärkung. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Verläufe exponentiell anwachsen. Für eine konstante Belichtung von 20000μs ergeben sich die in Abbildung 6.23 dargestellten Grauwertverläufe und Ergebnisse. Auch hier kommt es durch Schwankungen von S_{out2} zu unterschiedlichen Resultaten.

6.4.6 Reproduzierbarkeit

An dieser Stelle soll gezeigt werden, ob sich die Ergebnisse reproduzieren lassen und wie groß ihre Schwankungsbreite ausfällt. Die Aufnahmen, für diese und die zuvor gezeigten Untersuchungen, entstanden nachdem der Versuchsaufbau neu zusammengestellt werden musste. Der Aufbau ist zwar jener aus Durchgang 6, hat jedoch etwas geänderte Abstände zwischen den Komponenten. Es wurden 30 Aufnahmen bei einem Winkel α



(a) S_{LC} **(b)** S_{out1} **(c)** S_{out2}

Abb. 6.24: Verteilung und zeitlicher Verlauf der Grauwerte

von 0° gemacht und statistische Kenngrößen ermittelt. Der Flüssigkristall wird bei den Aufnahmen S_{LC}, sowie S_{out1} mit 2.9 ± 0.01 V und S_{out2} mit 2.2 ± 0.01 V betrieben. Die Bilder werden bei einer Belichtung von 40000 μs und einer Verstärkung von 10 dB aufgenommen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

In Abbildung 6.24 sind die zeitlichen Verläufe, sowie die Verteilungen der Grauwerte (jeweils auf der linken Seite in grau) dargestellt. Bei den Werten für S_{LC} und S_{out1} erkennt man einen leichten Anstieg in Abhängigkeit der Zeit. Die Standardabweichung beträgt für S_{LC} 0.2 und für S_{out1} 0.14. Sehr große Schwankungen sind hingegen für die Werte von S_{out2} zu beobachten. Hier liegt die Standardabweichung bei 0.72. Die berechneten Kennwerte, wie Mittelwerte und Standardabweichung, sind in Tabelle 6.2 angeführt.

	S_{LC}	S_{out1}	S_{out2}	α_e [°]
Mittelwert	38.3	5.3	20.8	6.4
Standardabweichung	0.2	0.1	0.7	1.8
Maximum	38.6	5.5	23.1	8.6
Minimum	37.9	5.0	19.9	0.7

Tab. 6.2: Statistische Kennwerte

Die Schwankungsbreite von etwa 0.5 bis 0.7 bei S_{LC} und S_{out1} ist auf den zeitlichen Anstieg und lokale Schwankungen der Grauwerte zurückzuführen. Die starken Streuungen bei S_{out2} und die daraus resultierende hohe Schwankungsbreite des Ergebnisses α_e wurden durch eine Störung in der Spannungsversorgung verursacht. Die Schaltung wurde nicht gelötet, sondern nur über eine Steckplatine aufgebaut. Daher kam es vermutlich zu Wackelkontakten, die sich auch über einen flackernden Kamerastream bemerkbar machten. Ohne diese Störungen würde die Schwankungsbreite der Ergebnisse mit etwa 2° deutlich geringer ausfallen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

6.4.7 Art der Auswertung

Durch Wahl des auszuwertenden Bereichs konnten bereits verschiedene Ergebnisse mit unterschiedlichen Abweichungen ermittelt werden. Beispiele für diese Resultate sind in Abbildung 6.25 in Ellipsenform dargestellt.

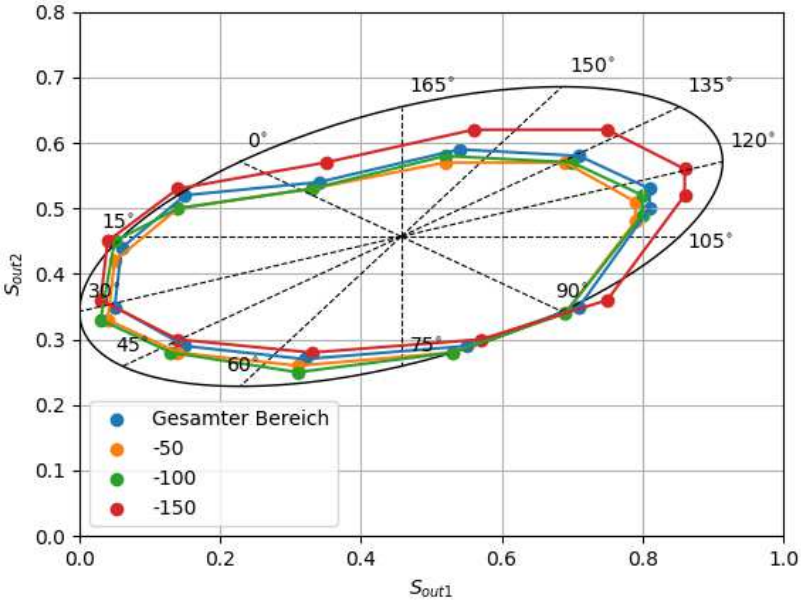


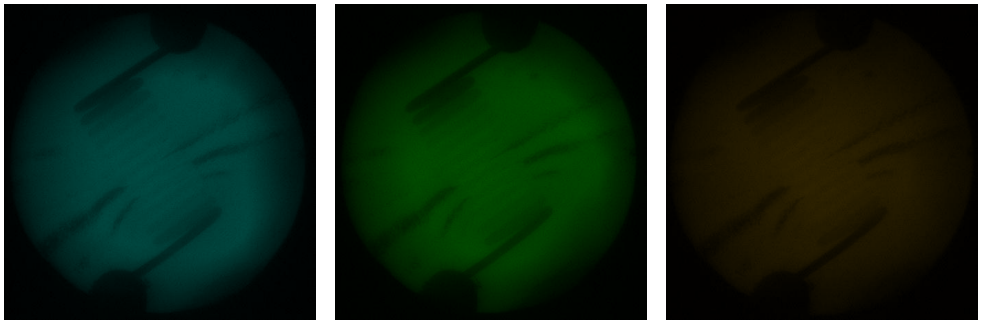
Abb. 6.25: Lösungsellipse für verschiedene ausgewertete Bereiche aus Durchgang 6

Die in Abschnitt 6.4.2 gezeigte, durch den Analysator induzierte Vergrößerung führt dazu, dass sich die Aufnahmen mit und ohne Analysator nicht mehr genau decken. Daher wurde die Auswertung bisher über gemittelte Grauwerte durchgeführt. Im folgendem Abschnitt wird eine ortsauflösende Auswertung der Bilder vorgestellt. Dazu wird für jeden Pixel des Bildes der Winkel, unter dem die Emission der Strahlung erfolgt, ermittelt.

Zum Vergleich werden in weiterer Folge die Aufnahmen aus Durchgang 6 bei 45, 90 und 135 herangezogen. Färbt man diese in Abhängigkeit der Ergebnisse[1], mit den berechneten Farbwerten (siehe Kapitel 4.3.2), erhält man die in Abbildung 6.26 dargestellten Bilder. Eine ortsauflösende Auswertung führt zu einer Färbung, die in Abbildung 6.27 zu sehen ist.

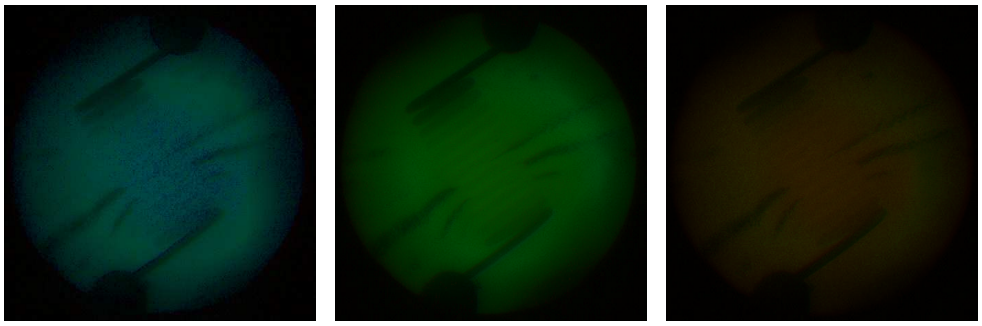
[1]Ergebnisse: $\alpha_e = 45.3°$ bei $\alpha = 45°$, $\alpha_e = 93.4°$ bei $\alpha = 90°$ und $\alpha_e = 137.6°$ bei $\alpha = 135°$

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN



(a) 45° **(b)** 90° **(c)** 135°

Abb. 6.26: Auswertung über den gesamten Bildbereich



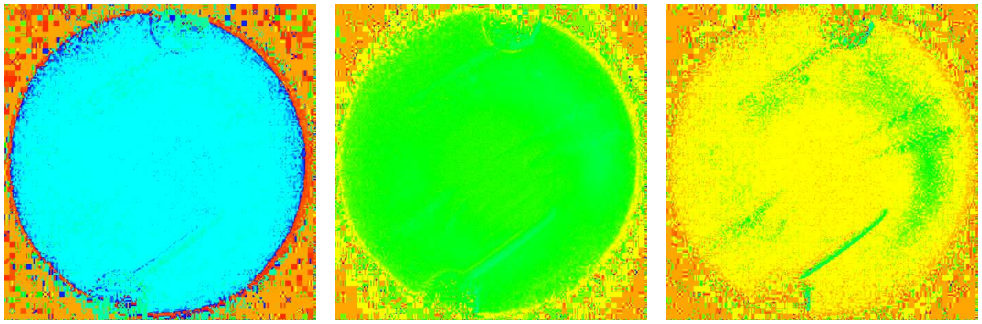
(a) 45° **(b)** 90° **(c)** 135°

Abb. 6.27: Auswertung über einzelne Pixel (Originalintensität)

Obwohl der Analysator die Abbildung des Emitters auf den Aufnahmen vergrößert, sieht man kaum farbliche Unterschiede zwischen den Auswertungsmethoden. Über das Ausmaß der Abweichungen lässt sich anhand dieser Bilder nur schwer Rückschlüsse ziehen. Man kann jedoch davon ausgehen, dass diese in dunklen Bereichen wesentlich höher ausfallen. Da die Intensität der Aufnahmen beibehalten wird, und nur die Farbgebung verändert wird, werden nun, um diese Vermutung zu bestätigen, die Pixelwerte auf das Maximum gesetzt und anschließend eingefärbt. Das Resultat dieser Vorgehensweise ist in Abbildung 6.28 zu sehen.

In den Bereichen, in denen der Emitter abgebildet ist, sieht man den für den jeweiligen Winkel, gewünschten Farbton. Innerhalb der Kreisfläche gibt es nur einzelne farbliche Abweichungen, die dort auftreten, wo zuvor die Bilder noch dunkel waren. Die Randgebiete haben großteils einen orangen Farbton, der einem Winkel von etwa 150° entspricht. Die Unterschiede zwischen den zuvor dunklen Bereichen beruhen wahrscheinlich auf der vom Analysator verursachten Vergrößerung.

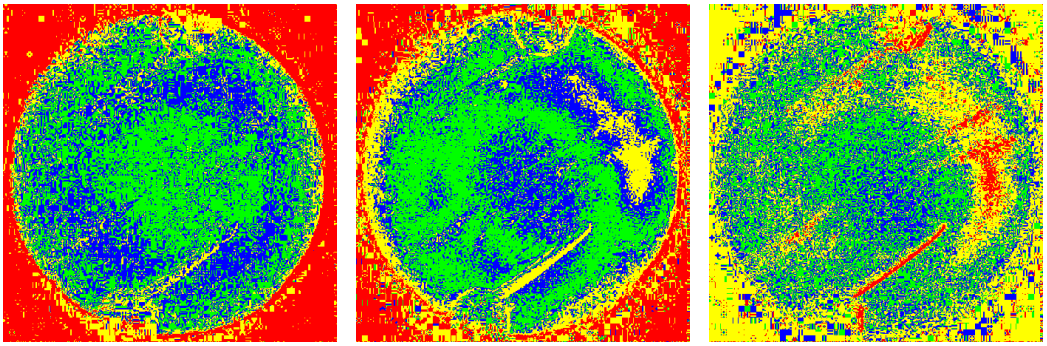
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN



(a) 45° **(b)** 90° **(c)** 135°

Abb. 6.28: Auswertung über einzelne Pixel (einheitliche Intensität)

Um quantitative Aussagen über die Abweichungen treffen zu können, werden die Bilder in weiterer Folge, in Abhängigkeit der Abweichung, gefärbt (siehe Abbildung 6.29). Grüne Bereiche haben eine Abweichung von $\Delta\alpha \leq 5°$, blaue zwischen 5° und 10°, gelbe zwischen 10° und 30°, und liegt eine rote Einfärbung vor, so beträgt die Differenz zwischen tatsächlichem und ermitteltem Winkel mehr als 30°.



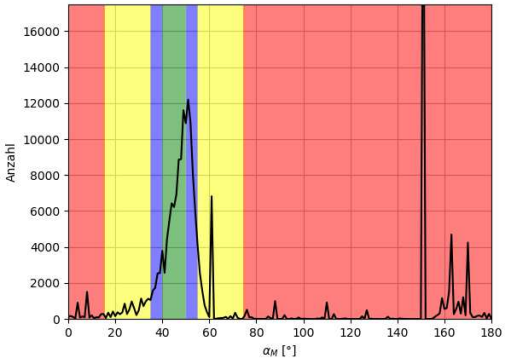
(a) 45° **(b)** 90° **(c)** 135°

Abb. 6.29: Auswertung über einzelne Pixel (Abweichungen)

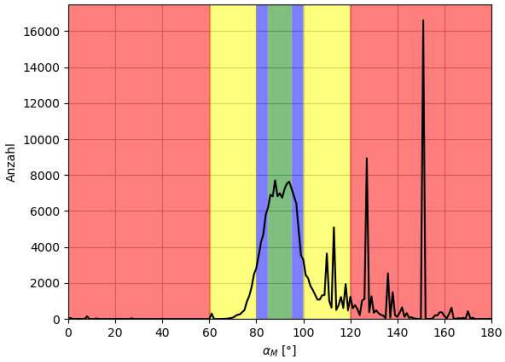
In Bereichen, in denen der Emitter abgebildet ist, beträgt die Abweichung überwiegend weniger als 10° und ist somit grün bzw. blau gefärbt. Ermittelt man die prozentualen Anteile der Farben für die Aufnahmen bei 45°, so entfallen 36,9% auf grün, 24,8% auf blau, 11% auf gelb und 27,2% auf rot, wobei gelbe bzw. rote Anteile hauptsächlich am Rand zu sehen sind. Eine ähnliche Farbverteilung zeigt die Aufnahme bei 90° (37,7% grün, 22,4% blau, 19,4% gelb, 20,6% rot). Die Verringerung des Rotanteils bei 135° auf 4,6% ist damit zu begründen, dass man für die Randbereiche in etwa einen Wert von 150° erhält und somit die Abweichungen geringer ausfallen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

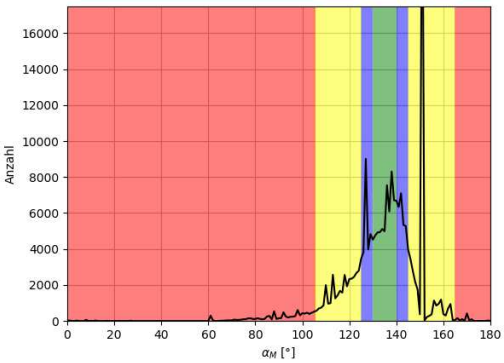
Stellt man sich die Ergebnisse in Form eines Histogrammes dar, so erhält man, die in Abbildung 6.30 gezeigten Verteilungen. Die Farben im Hintergrund entsprechen jenen, die zuvor für die Visualisierung der Abweichungen verwendet wurden. Auffällig ist hier, dass unabhängig vom tatsächlichen Winkel, ein Peak bei 150° auftritt. Wie bereits zu sehen war, kommt dieser durch den Randbereich der Abbildungen zustande.



(a) 45°



(b) 90°



(c) 135°

Abb. 6.30: Verteilung der Ergebnisse

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

7 Ausblick

Sieht man sich die Ergebnisse dieser Arbeit an, so steckt das größte Verbesserungspotential in der Wahl der Geräte und Komponenten. Angefangen bei den Polarisatoren, die eine Vergrößerung der Abbildung verursachten, bis hin zur verwendeten Kamera, die für die angestrebte Wellenlänge nicht ausgelegt war, gibt es einige Bestandteile, die optimiert werden können. Selbst die Aufnahme der optischen Komponenten kann durch genauere Einstellmöglichkeiten der Ausrichtung zu besseren Ergebnissen beitragen. Bei der Spannungsversorgung und -messung kam es durch Schwankungen zu einigen Ungenauigkeiten. Können diese Probleme beseitigt bzw. vermieden werden, so bietet die Ansteuerung des Flüssigkristalls über den *Arduino* vor allem den Vorteil, dass der Mikrocontroller in eigene Programme eingebunden werden kann. Auf die Programmierbarkeit sollte auch bei der Auswahl der Kamera geachtet werden. Ein weiterer wichtiger Schritt in Richtung Automatisierung des Systems wäre es, wenn das Ein- und Ausschwenken des Analysators nicht mehr manuell erfolgen müsste.

Diese Arbeit könnte als Ausgangspunkt für weitere künftige Arbeiten verwendet werden. Durch Integration der Datenaufnahme mit Hilfe der Kamera, Ansteuerung von Kamera, Flüssigkristall, sowie einer automatischen Schwenkvorrichtung für den Analysator und Datenverarbeitung in einem System, könnte die Grundlage für spätere technische Anwendungen bilden. Denkbar wäre auch ein Versuchsaufbau, bei dem mit Hilfe von zwei Kameras der Winkel der linear polarisierten Strahlung ermittelt wird. Dieser hätte jedoch den Nachteil, dass er zu einem teurer wäre und zum anderen, dass hierbei ein sehr hoher Genauigkeitsgrad erforderlich ist. Von Vorteil wäre hingegen, dass der Schwenkvorgang des Analysators wegfallen würde und man somit einer Erfassung in Echtzeit näher kommt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

8 Anhang

8.1 Programme

8.1.1 Bildauswertung

Der im folgendem Abschnitt beschriebene Algorithmus ermittelt zunächst die Grauwerte der Aufnahmen und berechnet anschließend den Winkel, unter dem die Strahlung erfolgt.

```
import numpy as np
import math
from PIL import Image
```

Zuerst werden die benötigten Programmbibliotheken aufgerufen. *NumPy* ist eine Programmbibliothek, die eine Berechnungen mit Vektoren und Matrizen ermöglicht. Mathematische Funktionen werden durch das Importieren von *math* zu Verfügung gestellt. Mit Hilfe von *Image* aus der der Programmbibliothek *PIL* (Python Imaging Library) lassen sich Bilddateien öffnen, manipulieren und abspeichern. Als nächster Schritt folgt die Definition von Funktionen, mit denen der gemittelte Grauwerte einzelner Bilder bzw. Bildbereiche bestimmt werden kann.

```
def Histogramm (Bild):
  w, h = Bild.size
  hist = np.zeros(256, dtype = int)
  for x in range (w):
    for y in range (h):
      hist[max(Bild.getpixel((x, y)))] = \
        hist[max(Bild.getpixel((x, y)))] + 1
  return hist, w, h
```

Die Funktion *Histogramm* hat als Eingangsgröße eine Bilddatei (Bild), deren Größe (w und h) in Pixel über den Befehl *size* ermittelt wird. Zudem wird der Nullvektor *hist* mit 256 (für die Grauwerte 0 bis 255) Einträgen erstellt. Die Schleifen innerhalb der Funktion greifen über den Befehl *getpixel* auf jeden einzelnen Pixel- bzw. Grauwert zu und erhöhen jenen Vektoreintrag um 1, dessen Index dem Grauwert entspricht. Als Ausgangsgrößen liefert die Funktion den Vektor *hist* sowie die Bildgröße (w, h).

```
def RGB_schnitt (hist, w, h):
  z = 0
  for x in range (256):
    z = z + x * hist[x]
  z = z / (w * h)
  return z
```

Die Ausgangsgrößen der Funktion *Histogramm* bildet die Eingangsgröße für die Funktion *RGB_schnitt*, die den mittleren Grauwert z mt Hilfe des Histogramms berechnet.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

```
def RGB_Wert (Bild):
  a, b, c = Histogramm(Bild)
  z = RGB_schnitt(a,b,c)
  return z
```

Die Funktion *RGB_Wert* kombiniert beide zuvor gezeigten Funktionen, hat als Eingangsgröße eine Bilddatei und als Ausgangsgröße den mittleren Grauwert. Alle drei beschriebenen Funktionen hätten auch in einer programmiert werden können. Da diese aber in unterschiedlichen Anwendungen (z.B. Erstellung der Histogramme in Abbildung 6.30 oder die pixelweise Auswertung in Abschnitt 6.4.7) zum Einsatz kamen, die jeweils andere Adaptionen benötigten, blieb die Programmierung in dieser Form. Des Weiteren wurde dieser Abschnitt des Programms für die Auswertung in Versuch 1 verwendet.

```
Bild1 = Image.open('C:/pfad/bild1.jpg', 'r')
Bild2 = Image.open('C:/pfad/bild2.jpg', 'r')
Bild3 = Image.open('C:/pfad/bild3.jpg', 'r')
```

Mit Hilfe dieser Befehle werden die Aufnahmen, wie sie beispielsweise in Abbildung 4.8 zu sehen sind, geöffnet und mit einem Namen versehen.

```
w, h = Bild1.size
c = 0
box = (c, c, w - c, h - c)
Bild1 = Bild1.crop(box)
Bild2 = Bild2.crop(box)
Bild3 = Bild3.crop(box)
S_LC = RGB_Wert(Bild1)
S_out1 = RGB_Wert(Bild2)
S_out2 = RGB_Wert(Bild3)
```

Da das Programm auch die Auswertung einzelner Bildbereiche ermöglichen soll, werden die Bilder über diesen Abschnitt gestutzt. c ist dabei die Breite in Pixel, die pro Seite reduziert werden soll. *box* stellt also den neu definierten Bildbereich dar. Anschließend erfolgt die Ermittlung der gemittelten Grauwerte (S_{LC}, S_{out1} und S_{out2}).

```
delta1 = math.pi
delta2 = math.pi/180*270
t_A = 0.914
k = t_A * 0.5
beta = math.pi/3
C = math.cos(2*beta)
S = math.sin(2*beta)
M = np.array([[C**2 + S**2 *  math.cos(delta1), S * C * (1 - math.cos(
    delta1))],[C**2 + S**2 *  math.cos(delta2), S * C * (1 - math.cos(
    delta2))]])
M_I = np.linalg.inv(M)
S_strich = np.array([S_out1 / k - S_LC, S_out2 / k - S_LC])
S_in = M_I.dot(S_strich)
S_1 = S_in[0]
S_2 = S_in[1]
alpha = 0.5 * math.atan(S_2 / S_1)
alpha = alpha * 180 / math.pi
```


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Um die Berechnung laut Abschnitt 4.3.1 durchführen zu können, werden zunächst die konstanten Faktoren wie die Phasenverschiebungen δ_1 und δ_2, der Transmissionswert des Analysators t_A und die Ausrichtung des Flüssigkristalls β angegeben. Die Zeilen 39 bis 47 sind dann für die Ermittlung des Winkels α zuständig.

```
49 if 180 >= alpha >= 135:
50   R = 1
51   G = (2 - 1 / 90 * alpha) / (1 / 90 * alpha - 1)
52   B = 0
53 elif 135 > alpha >= 90:
54   R = (1 / 90 * alpha - 1) / (2 - 1 / 90 * alpha)
55   G = 1
56   B = 0
57 elif 90 > alpha >= 45:
58   R = 0
59   G = 1
60   B = (1 - 1 / 90 * alpha) / (alpha / 90)
61 elif 45 > alpha >= 0:
62   R = 0
63   G = (alpha / 90) / (1 - 1 / 90 * alpha)
64   B = 1
```

Mit Hilfe einer bedingten Anweisung (if - else) werden hier die Faktoren bestimmt, mit deren Hilfe sich die Aufnahmen in Abhängigkeit des Winkels α einfärben lassen (siehe Abschnitt 4.3.2).

```
65 def Farbe(bild, r, g, b):
66   w, h = bild.size
67   for x in range(w):
68     for y in range(h):
69       r_b, g_b, b_b = bild.getpixel((x, y))
70       Rn, Gn, Bn = int(round(r_b*r,0)), int(round(g_b*g, 0)), int(round(b_b
     *b, 0))
71       bild.putpixel((x, y), (Rn, Gn, Bn))
72   return image
```

Die Funktion *Farbe* hat als Eingangsgröße die Aufnahme, die eingefärbt werden soll, und die Faktoren für die Farbgebung. Die einzelnen Pixelwerte werden mit Hilfe von Schleifen aufgerufen,die Farbwerte mit den entsprechenden Faktoren multipliziert und anschließend wieder an das Bild übergeben. Als Ausgangsgröße erhält man das eingefärbte Bild.

```
73 Bild = Farbe(Bild1, R, G, B)
74 Bild.save('C:/pfad/name.png')
```

Die eingefärbte Aufnahme wird schließlich mit Hilfe des Befehls *save* gespeichert.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

8.1.2 Arduino

Der folgende Algorithmus dient einerseits der Erzeugung eines Rechtecksignals und anderseits der Spannungsmessung.

```
#include<Tone.h>
#define MaxFreq 65535
#define Ausgangspin 13
unsigned int Frequenz = 1000;
Tone Generator;
```

Um ein Rechtecksignal mit Hilfe der *Arduino*-Platine erzeugen zu können, wird zunächst die Programmbibliothek Tone.h aufgerufen. Als Ausgangspin für das Signal mit einer Amplitude von 5 V wurde Pin 13 gewählt. Die Frequenz bei den Versuchen beträgt 1000 Hz.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, LOW);
  Generator.begin(Ausgangspin);
}
```

Die Befehle in der Funktion *void setup()* werden einmal ausgeführt.

```
void loop()
{
  Generator.play(Frequenz);
  messung();
}
```

Die Befehle in der Funktion *void loop()* werden hingegen in einer Schleife ständig wiederholt. In diesem Fall sind es die Funktionen zur Signalerzeugung und zur Spannungsmessung.

```
void messung()
{
  int sensorValue = analogRead(A1);
  if (sensorValue > 0.00)
  {
    float voltage = sensorValue * (5.00 / 1023.00);
    Serial.println(voltage);
  }
  delay(1000);
}
```

Als Eingangspin für die Spannungsmessung wird hier A1 gewählt. Die bedingte Anweisung soll hier sicherstellen, dass nur die größer als Null sind, erfasst werden. Da die Spannungswerte auf einem Zahlenbereich von 0 bis 1023 abgebildet werden, wird der erfasste Wert noch umgewandelt und ausgegeben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

8.2 Zusätzliche Gerätedaten

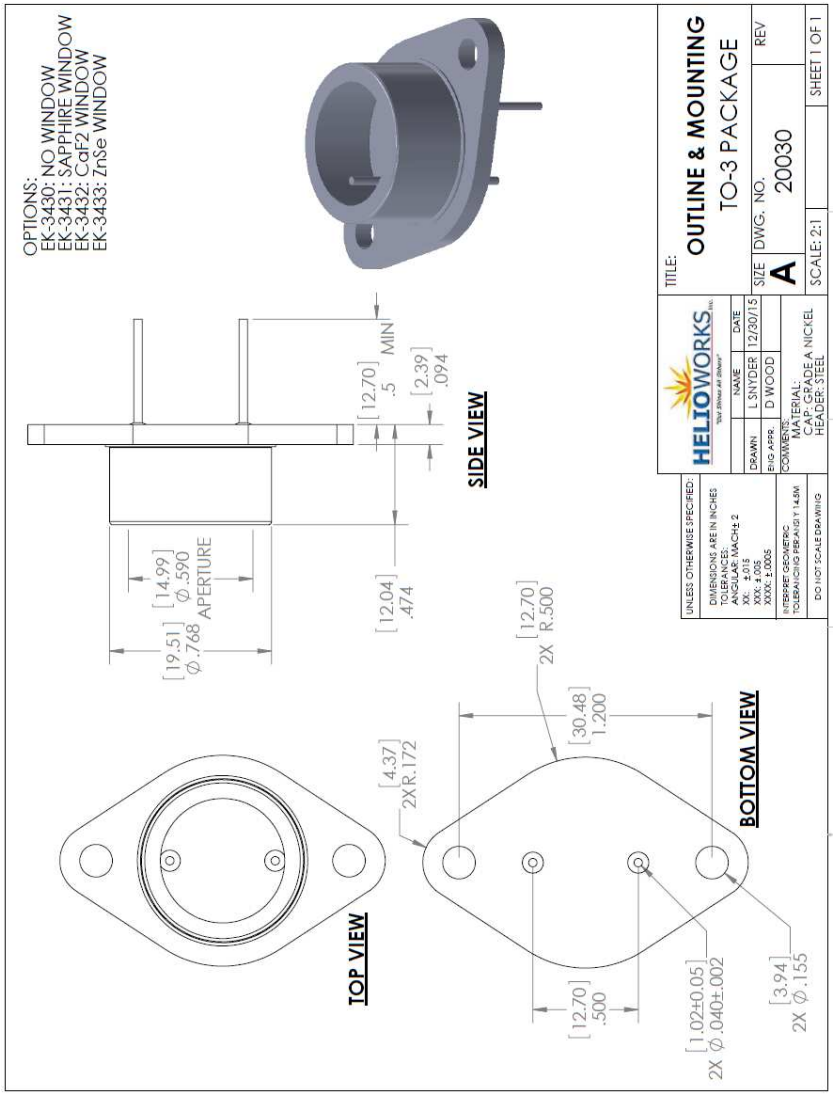


Abb. 8.1: Konstruktionsdaten des EK-3430[1]

[1] HelioWorks Datenblatt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

8.3 Ergebnisse

Im folgendem Abschnitt sind alle erfassten und berechneten Werte sämtlicher Versuchsdurchgänge aufgelistet. Dabei sind zusätzlich zu den bereits bekannten, drei weitere Durchgänge (7 bis 9) angeführt. Zu jedem eingestelltem Winkel α (0° bis 165° mit 15°-Inkrement) sind die Grauwerte GW, die normierten Grauwerte[1] GW^n der drei Aufnahmen S_{LC}, S_{out1} und S_{out2}, die berechneten Stokes-Parameter S_1 und S_2, sowie der berechnete Winkel α_e dargelegt.

α	S_1	S_2	S_{out1}	S_{out2}
0	1	0	0.2285	0.57125
15	$\sqrt{3}/2$	0.5	0.06123	0.457
30	0.5	$\sqrt{3}/2$	0.0	0.34275
45	0	1	0.06123	0.2591
60	-0.5	$\sqrt{3}/2$	0.2285	0.2285
75	-$\sqrt{3}/2$	0.5	0.457	0.2591
90	-1	0	0.6855	0.34275
105	-$\sqrt{3}/2$	-0.5	0.8528	0.457
120	-0,5	-$\sqrt{3}/2$	0.914	0.57125
135	0	-1	0.8528	0.6549
150	0.5	-$\sqrt{3}/2$	0.6855	0.6855
165	$\sqrt{3}/2$	-0.5	0.457	0.6549

Tab. 8.1: Sollwerte für Stokes-Parameter und Grauwerte bei den eingestellten Winkeln

Sämtliche erfassten Werte werden mit den Sollwerten aus Tabelle 8.1 verglichen. ΔGW entspricht dabei der Differenz zwischen erfassten Grauwert GW^n und dem Sollgrauwert S_out. ΔS_n gibt die Abweichung der Stokes-Parameter und $\Delta\alpha$ jene des Winkels an.

[1] Die Grauwerte werden dabei durch S_{LC} dividiert, da die Sollwerte für S_{out1} und S_{out2} mit einem Grauwert S_{LC} von 1 bestimmt wurden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

8.3.1 Durchgang 1

0°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.14	1	0	S_1	0.53	-0.47
S_{out1}	4.19	0.14	-0.09	S_2	0.5	0.5
S_{out2}	12.62	0.42	-0.15	α_e	21.69	21.69

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.82	1	0	S_1	0.43	-0.57
S_{out1}	5.14	0.12	-0.11	S_2	0.61	0.61
S_{out2}	16.87	0.38	-0.19	α_e	27.5	27.5

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	55.87	1	0	S_1	0.24	-0.76
S_{out1}	5.55	0.1	-0.13	S_2	0.77	0.77
S_{out2}	18.59	0.33	-0.24	α_e	36.34	36.34

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	66.47	1	0	S_1	0.1	-0.9
S_{out1}	5.78	0.09	-0.14	S_2	0.88	0.88
S_{out2}	19.65	0.3	-0.28	α_e	41.63	41.63

15°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.09	1	0	S_1	0.44	-0.43
S_{out1}	2.05	0.07	0.01	S_2	0.73	0.23
S_{out2}	10.9	0.36	-0.09	α_e	29.6	14.6

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.73	1	0	S_1	0.35	-0.52
S_{out1}	2.08	0.05	-0.01	S_2	0.83	0.33
S_{out2}	14.49	0.33	-0.13	α_e	33.75	18.75

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	55.79	1	0	S_1	0.17	-0.69
S_{out1}	2.06	0.04	-0.02	S_2	0.96	0.46
S_{out2}	15.96	0.29	-0.17	α_e	39.95	24.95

Bereich -150

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	66.4	1	0	S_1	0.04	-0.82
S_{out1}	2.03	0.03	-0.03	S_2	1.05	0.55
S_{out2}	16.86	0.25	-0.2	α_e	43.8	28.8

30°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.02	1	0	S_1	0.19	-0.31
S_{out1}	2.14	0.07	0.07	S_2	0.87	0.0
S_{out2}	9.21	0.31	-0.04	α_e	38.93	8.93

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.6	1	0	S_1	0.11	-0.39
S_{out1}	2.24	0.05	0.05	S_2	0.96	0.1
S_{out2}	12.17	0.28	-0.06	α_e	41.74	11.74

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	55.6	1	0	S_1	-0.04	-0.54
S_{out1}	2.35	0.04	0.04	S_2	1.07	0.2
S_{out2}	13.4	0.24	-0.1	α_e	46.02	16.02

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	66.24	1	0	S_1	-0.15	-0.65
S_{out1}	2.42	0.04	0.04	S_2	1.15	0.28
S_{out2}	14.12	0.21	-0.13	α_e	48.66	18.66

45°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.01	1	0	S_1	-0.2	-0.2
S_{out1}	4.51	0.15	0.09	S_2	0.89	-0.11
S_{out2}	7.77	0.26	-0.0	α_e	51.21	6.21

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.59	1	0	S_1	-0.26	-0.26
S_{out1}	5.62	0.13	0.07	S_2	0.98	-0.02
S_{out2}	10.2	0.23	-0.03	α_e	52.4	7.4

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	55.63	1	0	S_1	-0.36	-0.36
S_{out1}	6.12	0.11	0.05	S_2	1.08	0.08
S_{out2}	11.19	0.2	-0.06	α_e	54.19	9.19

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	66.31	1	0	S_1	-0.43	-0.43
S_{out1}	6.48	0.1	0.04	S_2	1.16	0.16
S_{out2}	11.83	0.18	-0.08	α_e	55.26	10.26

60°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.99	1	0	S_1	-0.59	-0.09
S_{out1}	8.64	0.29	0.06	S_2	0.77	-0.1
S_{out2}	7.1	0.24	0.01	α_e	63.83	3.83

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.62	1	0	S_1	-0.64	-0.14
S_{out1}	11.41	0.26	0.03	S_2	0.86	0.0
S_{out2}	9.27	0.21	-0.02	α_e	63.31	3.31

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	55.69	1	0	S_1	-0.7	-0.2
S_{out1}	12.57	0.23	-0.0	S_2	0.99	0.12
S_{out2}	10.16	0.18	-0.05	α_e	62.6	2.6

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	66.41	1	0	S_1	-0.73	-0.23
S_{out1}	13.29	0.2	-0.03	S_2	1.07	0.21
S_{out2}	10.71	0.16	-0.07	α_e	62.17	2.17

75°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.17	1	0	S_1	-0.87	-0.0
S_{out1}	13.12	0.43	-0.02	S_2	0.56	0.06
S_{out2}	7.45	0.25	-0.01	α_e	73.66	-1.34

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.93	1	0	S_1	-0.91	-0.04
S_{out1}	17.63	0.4	-0.06	S_2	0.67	0.17
S_{out2}	9.73	0.22	-0.04	α_e	71.89	-3.11

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.03	1	0	S_1	-0.93	-0.06
S_{out1}	19.48	0.35	-0.11	S_2	0.81	0.31
S_{out2}	10.64	0.19	-0.07	α_e	69.41	-5.59

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	66.71	1	0	S_1	-0.94	-0.07
S_{out1}	20.66	0.31	-0.15	S_2	0.92	0.42
S_{out2}	11.24	0.17	-0.09	α_e	67.89	-7.11

90°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.29	1	0	S_1	-0.98	0.02
S_{out1}	17.34	0.57	-0.19	S_2	0.28	0.28
S_{out2}	8.79	0.29	-0.16	α_e	82.16	-7.84

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.14	1	0	S_1	-1.02	-0.02
S_{out1}	23.5	0.53	-0.23	S_2	0.4	0.4
S_{out2}	11.59	0.26	-0.19	α_e	79.36	-10.64

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.28	1	0	S_1	-1.02	-0.02
S_{out1}	25.99	0.46	-0.3	S_2	0.58	0.58
S_{out2}	12.69	0.23	-0.22	α_e	75.25	-14.75

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	66.96	1	0	S_1	-1.03	-0.03
S_{out1}	27.54	0.41	-0.35	S_2	0.71	0.71
S_{out2}	13.39	0.2	-0.25	α_e	72.7	-17.3

105°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.42	1	0	S_1	-0.89	-0.03
S_{out1}	19.29	0.63	-0.22	S_2	0.07	0.57
S_{out2}	10.4	0.34	-0.12	α_e	87.84	-17.16

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.3	1	0	S_1	-0.93	-0.06
S_{out1}	26.19	0.59	-0.26	S_2	0.2	0.7
S_{out2}	13.82	0.31	-0.15	α_e	84.01	-20.99

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.54	1	0	S_1	-0.95	-0.08
S_{out1}	28.98	0.51	-0.34	S_2	0.41	0.91
S_{out2}	15.18	0.27	-0.19	α_e	78.39	-26.61

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	67.32	1	0	S_1	-0.96	-0.09
S_{out1}	30.76	0.46	-0.4	S_2	0.55	1.05
S_{out2}	16.01	0.24	-0.22	α_e	74.99	-30.01

120°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.52	1	0	S_1	-0.63	-0.13
S_{out1}	19.3	0.63	-0.28	S_2	-0.08	0.79
S_{out2}	12.2	0.4	-0.17	α_e	93.48	-26.52

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.39	1	0	S_1	-0.68	-0.18
S_{out1}	26.2	0.59	-0.32	S_2	0.06	0.92
S_{out2}	16.33	0.37	-0.2	α_e	87.61	-32.39

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.66	1	0	S_1	-0.73	-0.23
S_{out1}	29.01	0.51	-0.4	S_2	0.28	1.15
S_{out2}	17.98	0.32	-0.25	α_e	79.42	-40.58

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	67.47	1	0	S_1	-0.77	-0.27
S_{out1}	30.77	0.46	-0.46	S_2	0.44	1.31
S_{out2}	19.01	0.28	-0.29	α_e	74.94	-45.06

135°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.64	1	0	S_1	-0.27	-0.27
S_{out1}	17.09	0.56	-0.29	S_2	-0.1	0.9
S_{out2}	13.66	0.45	-0.21	α_e	100.12	-34.88

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.51	1	0	S_1	-0.34	-0.34
S_{out1}	23.09	0.52	-0.33	S_2	0.04	1.04
S_{out2}	18.31	0.41	-0.24	α_e	86.8	-48.2

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.81	1	0	S_1	-0.43	-0.43
S_{out1}	25.56	0.45	-0.4	S_2	0.27	1.27
S_{out2}	20.18	0.36	-0.3	α_e	74.13	-60.87

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	67.77	1	0	S_1	-0.5	-0.5
S_{out1}	27.11	0.4	-0.45	S_2	0.43	1.43
S_{out2}	21.34	0.31	-0.34	α_e	69.54	-65.46

8.3.2 Durchgang 2

0°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW^n		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	16.02	1	0	S_1	1.07	0.07
S_{out1}	1.89	0.12	-0.11	S_2	0.24	0.24
S_{out2}	8.52	0.53	-0.04	α_e	6.3	6.3

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW^n		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	22.65	1	0	S_1	1.01	0.01
S_{out1}	2.36	0.1	-0.12	S_2	0.31	0.31
S_{out2}	11.6	0.51	-0.06	α_e	8.4	8.4

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW^n		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	25.93	1	0	S_1	0.97	-0.03
S_{out1}	2.61	0.1	-0.13	S_2	0.34	0.34
S_{out2}	12.96	0.5	-0.07	α_e	9.7	9.7

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW^n		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	28.51	1	0	S_1	0.99	-0.01
S_{out1}	2.84	0.1	-0.13	S_2	0.33	0.33
S_{out2}	14.36	0.5	-0.07	α_e	9.4	9.4

15°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	16.0	1	0	S_1	0.95	0.08
S_{out1}	0.88	0.06	-0.1	S_2	0.47	-0.03
S_{out2}	7.55	0.47	0.01	α_e	13.2	-1.8

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	22.63	1	0	S_1	0.89	0.03
S_{out1}	0.96	0.04	-0.11	S_2	0.53	0.03
S_{out2}	10.27	0.45	-0.01	α_e	15.4	0.4

Bereich -100

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	25.93	1	0	S_1	0.85	-0.01
S_{out1}	0.98	0.04	-0.11	S_2	0.57	0.07
S_{out2}	11.48	0.44	-0.02	α_e	16.7	1.7

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	28.52	1	0	S_1	0.88	0.01
S_{out1}	0.99	0.03	-0.03	S_2	0.56	0.06
S_{out2}	12.73	0.45	-0.01	α_e	16.3	1.3

30°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	15.97	1	0	S_1	0.6	0.1
S_{out1}	0.92	0.06	0.06	S_2	0.66	-0.2
S_{out2}	6.3	0.39	0.05	α_e	23.9	-6.1

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	22.59	1	0	S_1	0.56	0.06
S_{out1}	0.99	0.04	0.04	S_2	0.72	-0.14
S_{out2}	8.53	0.38	0.03	α_e	26.2	-3.8

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	25.89	1	0	S_1	0.53	0.03
S_{out1}	1.0	0.04	0.04	S_2	0.75	-0.11
S_{out2}	9.54	0.37	0.03	α_e	27.5	-2.5

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	28.44	1	0	S_1	0.55	0.05
S_{out1}	1.0	0.04	0.04	S_2	0.75	-0.12
S_{out2}	10.56	0.37	0.03	α_e	26.9	-3.1

45°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.52	1	0	S_1	0.15	0.15
S_{out1}	3.09	0.18	0.12	S_2	0.62	-0.38
S_{out2}	6.16	0.35	0.09	α_e	38.1	-6.9

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.17	1	0	S_1	0.11	0.11
S_{out1}	3.97	0.16	0.1	S_2	0.68	-0.32
S_{out2}	8.09	0.33	0.08	α_e	40.6	-4.4

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	27.47	1	0	S_1	0.07	0.07
S_{out1}	4.43	0.16	0.1	S_2	0.7	-0.3
S_{out2}	8.95	0.33	0.07	α_e	42.0	-3.0

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.97	1	0	S_1	0.08	0.08
S_{out1}	4.83	0.16	0.1	S_2	0.7	-0.3
S_{out2}	9.82	0.33	0.07	α_e	41.7	-3.3

60°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	16.91	1	0	S_1	-0.1	0.4
S_{out1}	5.86	0.35	0.12	S_2	0.34	-0.53
S_{out2}	6.41	0.38	0.15	α_e	53.1	-6.9

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	23.55	1	0	S_1	-0.21	0.29
S_{out1}	7.9	0.34	0.11	S_2	0.43	-0.44
S_{out2}	8.22	0.35	0.12	α_e	57.9	-2.1

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	26.82	1	0	S_1	-0.25	0.25
S_{out1}	8.85	0.33	0.1	S_2	0.46	-0.4
S_{out2}	9.03	0.34	0.11	α_e	59.1	-0.9

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.28	1	0	S_1	-0.26	0.24
S_{out1}	9.81	0.33	0.11	S_2	0.46	-0.41
S_{out2}	9.85	0.34	0.11	α_e	59.8	-0.2

75°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.62	1	0	S_1	-0.75	0.12
S_{out1}	11.1	0.63	0.17	S_2	0.0	-0.5
S_{out2}	6.55	0.37	0.11	α_e	90.1	15.1

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.37	1	0	S_1	-0.81	0.06
S_{out1}	14.7	0.6	0.15	S_2	0.1	-0.4
S_{out2}	8.42	0.35	0.09	α_e	86.6	11.6

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	27.6	1	0	S_1	-0.83	0.04
S_{out1}	16.29	0.59	0.13	S_2	0.14	-0.36
S_{out2}	9.23	0.33	0.08	α_e	85.1	10.1

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.06	1	0	S_1	-0.84	0.02
S_{out1}	17.9	0.6	0.14	S_2	0.14	-0.36
S_{out2}	10.03	0.33	0.07	α_e	85.4	10.4

90°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.76	1	0	S_1	-1.25	-0.25
S_{out1}	14.14	0.8	0.03	S_2	-0.14	-0.14
S_{out2}	6.05	0.34	-0.11	α_e	93.1	3.1

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.56	1	0	S_1	-1.23	-0.23
S_{out1}	18.89	0.77	0.01	S_2	-0.08	-0.08
S_{out2}	8.17	0.33	-0.12	α_e	91.9	1.9

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	27.8	1	0	S_1	-1.22	-0.22
S_{out1}	20.96	0.75	-0.01	S_2	-0.05	-0.05
S_{out2}	9.1	0.33	-0.12	α_e	91.1	1.1

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.19	1	0	S_1	-1.21	-0.21
S_{out1}	23.1	0.77	0.0	S_2	-0.08	-0.08
S_{out2}	10.08	0.33	-0.11	α_e	91.8	1.8

105°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.78	1	0	S_1	-0.8	0.07
S_{out1}	15.84	0.89	0.04	S_2	-0.64	-0.14
S_{out2}	8.74	0.49	0.03	α_e	109.3	4.3

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.65	1	0	S_1	-0.85	0.01
S_{out1}	21.21	0.86	0.01	S_2	-0.53	-0.03
S_{out2}	11.44	0.46	0.01	α_e	105.9	0.9

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	27.93	1	0	S_1	-0.87	-0.01
S_{out1}	23.58	0.84	-0.01	S_2	-0.48	0.02
S_{out2}	12.6	0.45	-0.01	α_e	104.3	-0.7

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.34	1	0	S_1	-0.89	-0.02
S_{out1}	26.0	0.86	0.0	S_2	-0.5	0.0
S_{out2}	13.77	0.45	0.0	α_e	104.6	-0.4

120°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	16.48	1	0	S_1	-0.61	-0.11
S_{out1}	14.21	0.86	-0.05	S_2	-0.67	0.2
S_{out2}	8.56	0.52	-0.05	α_e	113.78	-6.22

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	23.31	1	0	S_1	-0.64	-0.14
S_{out1}	19.5	0.84	-0.08	S_2	-0.59	0.28
S_{out2}	11.67	0.5	-0.07	α_e	111.31	-8.69

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	26.62	1	0	S_1	-0.66	-0.16
S_{out1}	21.88	0.82	-0.09	S_2	-0.54	0.32
S_{out2}	13.03	0.49	-0.08	α_e	109.83	-10.17

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.04	1	0	S_1	-0.66	-0.16
S_{out1}	24.32	0.84	-0.08	S_2	-0.58	0.29
S_{out2}	14.4	0.5	-0.08	α_e	110.56	-9.44

135°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	18.07	1	0	S_1	0.13	0.13
S_{out1}	12.94	0.72	-0.14	S_2	-0.73	0.27
S_{out2}	11.16	0.62	-0.04	α_e	140.21	5.21

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.95	1	0	S_1	0.05	0.05
S_{out1}	17.42	0.7	-0.15	S_2	-0.64	0.36
S_{out2}	14.7	0.59	-0.07	α_e	137.26	2.26

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	28.29	1	0	S_1	0.01	0.01
S_{out1}	19.45	0.69	-0.17	S_2	-0.59	0.41
S_{out2}	16.26	0.57	-0.08	α_e	135.5	0.5

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.73	1	0	S_1	0.01	0.01
S_{out1}	21.51	0.7	-0.15	S_2	-0.62	0.38
S_{out2}	17.87	0.58	-0.07	α_e	135.6	0.6

150°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	18.19	1	0	S_1	0.48	-0.02
S_{out1}	10.65	0.59	-0.1	S_2	-0.6	0.27
S_{out2}	11.47	0.63	-0.06	α_e	154.27	4.27

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	25.08	1	0	S_1	0.42	-0.08
S_{out1}	14.02	0.56	-0.13	S_2	-0.5	0.36
S_{out2}	15.16	0.6	-0.08	α_e	155.03	5.03

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	28.41	1	0	S_1	0.39	-0.11
S_{out1}	15.53	0.55	-0.14	S_2	-0.45	0.42
S_{out2}	16.78	0.59	-0.09	α_e	155.39	5.39

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.87	1	0	S_1	0.4	-0.1
S_{out1}	17.09	0.55	-0.13	S_2	-0.48	0.39
S_{out2}	18.44	0.6	-0.09	α_e	155.1	5.1

165°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	16.46	1	0	S_1	0.88	0.02
S_{out1}	5.27	0.32	-0.14	S_2	-0.17	0.33
S_{out2}	9.73	0.59	-0.06	α_e	174.71	9.71

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	23.29	1	0	S_1	0.83	-0.04
S_{out1}	7.08	0.3	-0.15	S_2	-0.09	0.41
S_{out2}	13.28	0.57	-0.08	α_e	176.84	11.84

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	26.6	1	0	S_1	0.79	-0.08
S_{out1}	7.91	0.3	-0.16	S_2	-0.05	0.45
S_{out2}	14.83	0.56	-0.1	α_e	178.1	13.1

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.04	1	0	S_1	0.81	-0.05
S_{out1}	8.83	0.3	-0.15	S_2	-0.08	0.42
S_{out2}	16.43	0.57	-0.09	α_e	177.12	12.12

8.3.3 Durchgang 3

0°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.49	1	0	S_1	1.13	0.13
S_{out1}	12.79	0.23	-0.0	S_2	-0.07	-0.07
S_{out2}	33.95	0.6	0.03	α_e	178.18	-1.82

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	77.63	1	0	S_1	1.07	0.07
S_{out1}	15.23	0.2	-0.03	S_2	0.04	0.04
S_{out2}	44.37	0.57	0.0	α_e	1.07	1.07

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	88.12	1	0	S_1	1.03	0.03
S_{out1}	16.34	0.19	-0.04	S_2	0.09	0.09
S_{out2}	48.98	0.56	-0.02	α_e	2.6	2.6

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	96.49	1	0	S_1	1.04	0.04
S_{out1}	17.48	0.18	-0.05	S_2	0.1	0.1
S_{out2}	53.7	0.56	-0.01	α_e	2.66	2.66

15°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.32	1	0	S_1	0.94	0.07
S_{out1}	7.1	0.13	0.06	S_2	0.29	-0.21
S_{out2}	28.51	0.51	0.05	α_e	8.67	-6.33

Bereich -50

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	77.38	1	0	S_1	0.88	0.01
S_{out1}	7.38	0.1	0.03	S_2	0.41	-0.09
S_{out2}	36.89	0.48	0.02	α_e	12.43	-2.57

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	87.88	1	0	S_1	0.83	-0.03
S_{out1}	7.52	0.09	0.02	S_2	0.46	-0.04
S_{out2}	40.6	0.46	0.0	α_e	14.35	-0.65

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	96.17	1	0	S_1	0.84	-0.02
S_{out1}	7.66	0.08	0.02	S_2	0.47	-0.03
S_{out2}	44.35	0.46	0.0	α_e	14.46	-0.54

30°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.12	1	0	S_1	0.61	0.11
S_{out1}	7.49	0.13	0.13	S_2	0.47	-0.4
S_{out2}	24.35	0.43	0.09	α_e	18.81	-11.19

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	77.1	1	0	S_1	0.55	0.05
S_{out1}	7.94	0.1	0.1	S_2	0.58	-0.29
S_{out2}	31.19	0.4	0.06	α_e	23.38	-6.62

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	87.59	1	0	S_1	0.51	0.01
S_{out1}	8.15	0.09	0.09	S_2	0.63	-0.24
S_{out2}	34.27	0.39	0.05	α_e	25.45	-4.55

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	95.71	1	0	S_1	0.52	0.02
S_{out1}	8.38	0.09	0.09	S_2	0.63	-0.23
S_{out2}	37.4	0.39	0.05	α_e	25.36	-4.64

45°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.18	1	0	S_1	0.16	0.16
S_{out1}	13.33	0.24	0.18	S_2	0.46	-0.54
S_{out2}	21.57	0.38	0.12	α_e	35.39	-9.61

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	77.17	1	0	S_1	0.1	0.1
S_{out1}	16.02	0.21	0.15	S_2	0.57	-0.43
S_{out2}	27.37	0.35	0.1	α_e	40.15	-4.85

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	87.66	1	0	S_1	0.07	0.07
S_{out1}	17.28	0.2	0.14	S_2	0.62	-0.38
S_{out2}	29.99	0.34	0.08	α_e	41.97	-3.03

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	95.66	1	0	S_1	0.07	0.07
S_{out1}	18.58	0.19	0.13	S_2	0.62	-0.38
S_{out2}	32.65	0.34	0.08	α_e	41.85	-3.15

60°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.31	1	0	S_1	-0.35	-0.85
S_{out1}	23.63	0.42	0.19	S_2	0.3	1.16
S_{out2}	20.14	0.36	0.13	α_e	69.91	9.91

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	77.39	1	0	S_1	-0.42	-0.92
S_{out1}	30.23	0.39	0.16	S_2	0.41	1.27
S_{out2}	25.41	0.33	0.1	α_e	67.8	7.8

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	87.78	1	0	S_1	-0.44	-0.94
S_{out1}	33.23	0.38	0.15	S_2	0.45	1.32
S_{out2}	27.75	0.32	0.09	α_e	67.18	7.18

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	95.73	1	0	S_1	-0.45	-0.95
S_{out1}	36.39	0.38	0.15	S_2	0.46	1.32
S_{out2}	30.14	0.31	0.09	α_e	67.42	7.42

75°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.68	1	0	S_1	-0.69	-1.56
S_{out1}	35.9	0.63	0.18	S_2	-0.05	0.45
S_{out2}	21.94	0.39	0.13	α_e	91.91	16.91

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	77.97	1	0	S_1	-0.76	-1.62
S_{out1}	47.15	0.6	0.15	S_2	0.06	0.56
S_{out2}	27.88	0.36	0.1	α_e	87.56	12.56

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	88.3	1	0	S_1	-0.78	-1.65
S_{out1}	52.14	0.59	0.13	S_2	0.12	0.62
S_{out2}	30.43	0.34	0.09	α_e	85.82	10.82

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	96.13	1	0	S_1	-0.8	-1.67
S_{out1}	57.39	0.6	0.14	S_2	0.11	0.61
S_{out2}	33.09	0.34	0.09	α_e	86.15	11.15

90°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	57.16	1	0	S_1	-0.79	0.21
S_{out1}	44.7	0.78	0.02	S_2	-0.36	-0.36
S_{out2}	25.04	0.44	-0.01	α_e	102.27	12.27

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	78.62	1	0	S_1	-0.86	0.14
S_{out1}	59.27	0.75	-0.01	S_2	-0.25	-0.25
S_{out2}	32.13	0.41	-0.04	α_e	98.18	8.18

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	89.0	1	0	S_1	-0.89	0.11
S_{out1}	65.69	0.74	-0.03	S_2	-0.2	-0.2
S_{out2}	35.18	0.4	-0.05	α_e	96.34	6.34

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	96.82	1	0	S_1	-0.9	0.1
S_{out1}	72.4	0.75	-0.02	S_2	-0.21	-0.21
S_{out2}	38.33	0.4	-0.05	α_e	96.63	6.63

105°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	57.66	1	0	S_1	-0.67	0.2
S_{out1}	51.35	0.89	0.04	S_2	-0.71	-0.21
S_{out2}	30.01	0.52	0.06	α_e	113.28	8.28

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	79.31	1	0	S_1	-0.74	0.13
S_{out1}	68.42	0.86	0.01	S_2	-0.6	-0.1
S_{out2}	38.93	0.49	0.03	α_e	109.48	4.48

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	89.78	1	0	S_1	-0.77	0.1
S_{out1}	76.04	0.85	-0.01	S_2	-0.54	-0.04
S_{out2}	42.77	0.48	0.02	α_e	107.59	2.59

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	97.61	1	0	S_1	-0.79	0.08
S_{out1}	83.97	0.86	0.01	S_2	-0.56	-0.06
S_{out2}	46.74	0.48	0.02	α_e	107.84	2.84

120°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	57.98	1	0	S_1	-0.37	0.13
S_{out1}	51.15	0.88	-0.03	S_2	-0.86	0.01
S_{out2}	33.92	0.59	0.01	α_e	123.37	3.37

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	79.68	1	0	S_1	-0.44	0.06
S_{out1}	68.08	0.85	-0.06	S_2	-0.75	0.11
S_{out2}	44.27	0.56	-0.02	α_e	119.88	-0.12

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	90.27	1	0	S_1	-0.47	0.03
S_{out1}	75.72	0.84	-0.08	S_2	-0.69	0.17
S_{out2}	48.8	0.54	-0.03	α_e	117.94	-2.06

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	98.15	1	0	S_1	-0.48	0.02
S_{out1}	83.64	0.85	-0.06	S_2	-0.72	0.14
S_{out2}	53.48	0.54	-0.03	α_e	118.17	-1.83

135°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	58.31	1	0	S_1	0.09	0.09
S_{out1}	45.61	0.78	-0.07	S_2	-0.88	0.12
S_{out2}	37.38	0.64	-0.01	α_e	138.07	3.07

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	80.08	1	0	S_1	0.03	0.03
S_{out1}	60.33	0.75	-0.1	S_2	-0.77	0.23
S_{out2}	48.98	0.61	-0.04	α_e	136.07	1.07

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	90.78	1	0	S_1	-0.01	-0.01
S_{out1}	67.01	0.74	-0.11	S_2	-0.71	0.29
S_{out2}	54.12	0.6	-0.06	α_e	134.74	-0.26

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	98.82	1	0	S_1	-0.01	-0.01
S_{out1}	73.93	0.75	-0.1	S_2	-0.73	0.27
S_{out2}	59.37	0.6	-0.05	α_e	134.71	-0.29

150°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	58.31	1	0	S_1	0.59	0.09
S_{out1}	35.12	0.6	-0.08	S_2	-0.71	0.16
S_{out2}	38.69	0.66	-0.02	α_e	154.85	4.85

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	80.06	1	0	S_1	0.52	0.02
S_{out1}	45.91	0.57	-0.11	S_2	-0.6	0.27
S_{out2}	50.79	0.63	-0.05	α_e	155.61	5.61

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	90.78	1	0	S_1	0.48	-0.02
S_{out1}	50.75	0.56	-0.13	S_2	-0.54	0.33
S_{out2}	56.12	0.62	-0.07	α_e	155.98	5.98

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	98.7	1	0	S_1	0.49	-0.01
S_{out1}	55.76	0.56	-0.12	S_2	-0.56	0.31
S_{out2}	61.58	0.62	-0.06	α_e	155.76	5.76

165°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	58.15	1	0	S_1	0.94	0.07
S_{out1}	22.89	0.39	-0.06	S_2	-0.38	0.12
S_{out2}	37.21	0.64	-0.02	α_e	168.93	3.93

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	79.88	1	0	S_1	0.87	0.01
S_{out1}	29.06	0.36	-0.09	S_2	-0.27	0.23
S_{out2}	48.7	0.61	-0.05	α_e	171.45	6.45

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	90.54	1	0	S_1	0.83	-0.04
S_{out1}	31.77	0.35	-0.11	S_2	-0.21	0.29
S_{out2}	53.71	0.59	-0.06	α_e	172.88	7.88

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	98.57	1	0	S_1	0.84	-0.02
S_{out1}	34.58	0.35	-0.11	S_2	-0.22	0.28
S_{out2}	58.83	0.6	-0.06	α_e	172.72	7.72

8.3.4 Durchgang 4

0°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	33.76	1	0	S_1	1.16	0.16
S_{out1}	10.86	0.32	0.09	S_2	-0.33	-0.33
S_{out2}	22.12	0.66	0.08	α_e	-7.92	-7.92

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.21	1	0	S_1	1.11	0.11
S_{out1}	12.34	0.28	0.05	S_2	-0.19	-0.19
S_{out2}	27.52	0.62	0.05	α_e	-4.93	-4.93

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.55	1	0	S_1	1.09	0.09
S_{out1}	12.79	0.27	0.04	S_2	-0.15	-0.15
S_{out2}	29.06	0.61	0.04	α_e	-3.99	-3.99

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.02	1	0	S_1	1.1	0.1
S_{out1}	13.22	0.26	0.04	S_2	-0.15	-0.15
S_{out2}	30.63	0.61	0.04	α_e	-3.85	-3.85

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

15°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	33.54	1	0	S_1	1.03	0.16
S_{out1}	7.46	0.22	0.16	S_2	-0.0	-0.5
S_{out2}	19.27	0.57	0.12	α_e	-0.02	-15.02

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.02	1	0	S_1	0.97	0.1
S_{out1}	7.74	0.18	0.11	S_2	0.15	-0.35
S_{out2}	23.69	0.54	0.08	α_e	4.4	-10.6

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.27	1	0	S_1	0.94	0.08
S_{out1}	7.82	0.17	0.1	S_2	0.19	-0.31
S_{out2}	24.9	0.53	0.07	α_e	5.75	-9.25

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.7	1	0	S_1	0.95	0.08
S_{out1}	7.91	0.16	0.1	S_2	0.2	-0.3
S_{out2}	26.08	0.52	0.07	α_e	6.1	-8.9

30°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	33.47	1	0	S_1	0.67	0.17
S_{out1}	7.07	0.21	0.21	S_2	0.23	-0.63
S_{out2}	16.34	0.49	0.15	α_e	9.51	-20.49

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.99	1	0	S_1	0.6	0.1
S_{out1}	7.22	0.16	0.16	S_2	0.39	-0.47
S_{out2}	19.74	0.45	0.11	α_e	16.45	-13.55

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.14	1	0	S_1	0.58	0.08
S_{out1}	7.27	0.15	0.15	S_2	0.43	-0.43
S_{out2}	20.64	0.44	0.09	α_e	18.35	-11.65

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.5	1	0	S_1	0.58	0.08
S_{out1}	7.27	0.15	0.15	S_2	0.45	-0.42
S_{out2}	21.5	0.43	0.09	α_e	18.88	-11.12

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

45°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	33.53	1	0	S_1	0.25	0.25
S_{out1}	10.18	0.3	0.24	S_2	0.24	-0.76
S_{out2}	14.7	0.44	0.18	α_e	21.71	-23.29

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.06	1	0	S_1	0.17	0.17
S_{out1}	11.41	0.26	0.2	S_2	0.4	-0.6
S_{out2}	17.53	0.4	0.14	α_e	33.19	-11.81

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.2	1	0	S_1	0.15	0.15
S_{out1}	11.75	0.25	0.19	S_2	0.44	-0.56
S_{out2}	18.28	0.39	0.13	α_e	35.53	-9.47

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.57	1	0	S_1	0.15	0.15
S_{out1}	12.06	0.24	0.18	S_2	0.46	-0.54
S_{out2}	19.01	0.38	0.12	α_e	36.13	-8.87

60°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	33.58	1	0	S_1	-0.17	0.33
S_{out1}	15.54	0.46	0.23	S_2	0.08	-0.78
S_{out2}	14.14	0.42	0.19	α_e	76.9	16.9

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.09	1	0	S_1	-0.26	0.24
S_{out1}	18.66	0.42	0.19	S_2	0.24	-0.63
S_{out2}	16.74	0.38	0.15	α_e	69.01	9.01

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.21	1	0	S_1	-0.29	0.21
S_{out1}	19.53	0.41	0.19	S_2	0.28	-0.59
S_{out2}	17.44	0.37	0.14	α_e	68.15	8.15

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.5	1	0	S_1	-0.3	0.2
S_{out1}	20.39	0.41	0.18	S_2	0.29	-0.58
S_{out2}	18.12	0.37	0.14	α_e	68.12	8.12

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

75°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	33.76	1	0	S_1	-0.48	0.38
S_{out1}	22.55	0.67	0.21	S_2	-0.25	-0.75
S_{out2}	15.26	0.45	0.19	α_e	103.84	28.84

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.26	1	0	S_1	-0.58	0.28
S_{out1}	28.1	0.63	0.18	S_2	-0.11	-0.61
S_{out2}	18.25	0.41	0.15	α_e	95.41	20.41

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.42	1	0	S_1	-0.61	0.26
S_{out1}	29.63	0.62	0.17	S_2	-0.07	-0.57
S_{out2}	19.08	0.4	0.14	α_e	93.49	18.49

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.7	1	0	S_1	-0.62	0.25
S_{out1}	31.22	0.63	0.17	S_2	-0.07	-0.57
S_{out2}	19.93	0.4	0.14	α_e	93.43	18.43

90°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	34.01	1	0	S_1	-0.54	0.46
S_{out1}	28.27	0.83	0.07	S_2	-0.63	-0.63
S_{out2}	17.7	0.52	0.07	α_e	114.72	24.72

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.56	1	0	S_1	-0.65	0.35
S_{out1}	35.81	0.8	0.04	S_2	-0.5	-0.5
S_{out2}	21.52	0.48	0.03	α_e	108.98	18.98

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.74	1	0	S_1	-0.66	0.34
S_{out1}	37.9	0.79	0.03	S_2	-0.47	-0.47
S_{out2}	22.63	0.47	0.03	α_e	107.62	17.62

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.1	1	0	S_1	-0.67	0.33
S_{out1}	39.94	0.8	0.03	S_2	-0.47	-0.47
S_{out2}	23.76	0.47	0.03	α_e	107.63	17.63

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

105°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	34.21	1	0	S_1	-0.41	0.45
S_{out1}	31.82	0.93	0.08	S_2	-0.96	-0.46
S_{out2}	20.49	0.6	0.14	α_e	123.32	18.32

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.88	1	0	S_1	-0.51	0.36
S_{out1}	40.63	0.91	0.05	S_2	-0.84	-0.34
S_{out2}	25.34	0.56	0.11	α_e	119.33	14.33

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.05	1	0	S_1	-0.53	0.34
S_{out1}	43.09	0.9	0.04	S_2	-0.81	-0.31
S_{out2}	26.74	0.56	0.1	α_e	118.43	13.43

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.39	1	0	S_1	-0.53	0.34
S_{out1}	45.55	0.9	0.05	S_2	-0.82	-0.32
S_{out2}	28.19	0.56	0.1	α_e	118.62	13.62

120°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	34.4	1	0	S_1	-0.12	0.38
S_{out1}	32.22	0.94	0.02	S_2	-1.14	-0.28
S_{out2}	23.04	0.67	0.1	α_e	132.06	12.06

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	45.17	1	0	S_1	-0.2	0.3
S_{out1}	41.17	0.91	-0.0	S_2	-1.03	-0.16
S_{out2}	28.8	0.64	0.07	α_e	129.39	9.39

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.33	1	0	S_1	-0.22	0.28
S_{out1}	43.61	0.9	-0.01	S_2	-1.0	-0.13
S_{out2}	30.41	0.63	0.06	α_e	128.77	8.77

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.6	1	0	S_1	-0.22	0.28
S_{out1}	46.05	0.91	-0.0	S_2	-1.02	-0.15
S_{out2}	32.05	0.63	0.06	α_e	128.92	8.92

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

135°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	34.5	1	0	S_1	0.32	0.32
S_{out1}	29.4	0.85	-0.0	S_2	-1.18	-0.18
S_{out2}	25.1	0.73	0.07	α_e	142.55	7.55

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	45.34	1	0	S_1	0.24	0.24
S_{out1}	37.37	0.82	-0.03	S_2	-1.07	-0.07
S_{out2}	31.55	0.7	0.04	α_e	141.39	6.39

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.49	1	0	S_1	0.23	0.23
S_{out1}	39.56	0.82	-0.04	S_2	-1.04	-0.04
S_{out2}	33.39	0.69	0.03	α_e	141.21	6.21

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.77	1	0	S_1	0.24	0.24
S_{out1}	41.74	0.82	-0.03	S_2	-1.06	-0.06
S_{out2}	35.29	0.7	0.04	α_e	141.45	6.45

150°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	34.53	1	0	S_1	0.73	0.23
S_{out1}	23.9	0.69	0.01	S_2	-1.02	-0.15
S_{out2}	25.64	0.74	0.06	α_e	152.9	2.9

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	45.3	1	0	S_1	0.67	0.17
S_{out1}	29.9	0.66	-0.03	S_2	-0.9	-0.03
S_{out2}	32.22	0.71	0.03	α_e	153.32	3.32

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.52	1	0	S_1	0.65	0.15
S_{out1}	31.51	0.65	-0.04	S_2	-0.86	0.0
S_{out2}	34.06	0.7	0.02	α_e	153.53	3.53

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.9	1	0	S_1	0.66	0.16
S_{out1}	33.15	0.65	-0.03	S_2	-0.87	-0.01
S_{out2}	35.92	0.71	0.02	α_e	153.6	3.6

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

165°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	34.41	1	0	S_1	1.03	0.17
S_{out1}	17.23	0.5	0.04	S_2	-0.71	-0.21
S_{out2}	24.59	0.71	0.06	α_e	162.8	-2.2

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	45.09	1	0	S_1	0.98	0.11
S_{out1}	20.81	0.46	0.0	S_2	-0.58	-0.08
S_{out2}	30.78	0.68	0.03	α_e	164.74	-0.26

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.35	1	0	S_1	0.95	0.09
S_{out1}	21.8	0.45	-0.01	S_2	-0.53	-0.03
S_{out2}	32.47	0.67	0.02	α_e	165.34	0.34

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.78	1	0	S_1	0.96	0.1
S_{out1}	22.85	0.45	-0.01	S_2	-0.54	-0.04
S_{out2}	34.21	0.67	0.02	α_e	165.4	0.4

8.3.5 Durchgang 5

0°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.96	1	0	S_1	1.03	0.03
S_{out1}	4.97	0.17	-0.06	S_2	0.14	0.14
S_{out2}	16.38	0.55	-0.02	α_e	3.9	3.9

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	41.98	1	0	S_1	0.97	-0.03
S_{out1}	6.13	0.15	-0.08	S_2	0.23	0.23
S_{out2}	21.94	0.52	-0.05	α_e	6.6	6.6

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.02	1	0	S_1	0.94	-0.06
S_{out1}	6.71	0.14	-0.09	S_2	0.26	0.26
S_{out2}	24.62	0.51	-0.06	α_e	7.74	7.74

Bereich -150

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	51.63	1	0	S_1	0.99	-0.01
S_{out1}	7.24	0.14	-0.09	S_2	0.23	0.23
S_{out2}	27.1	0.52	-0.05	α_e	6.5	6.5

15°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.35	1	0	S_1	0.89	0.02
S_{out1}	2.05	0.07	0.01	S_2	0.46	-0.04
S_{out2}	13.7	0.47	0.01	α_e	13.76	-1.24

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	41.37	1	0	S_1	0.84	-0.03
S_{out1}	2.1	0.05	-0.01	S_2	0.54	0.04
S_{out2}	18.4	0.44	-0.01	α_e	16.54	1.54

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.29	1	0	S_1	0.81	-0.06
S_{out1}	2.11	0.04	-0.02	S_2	0.57	0.07
S_{out2}	20.62	0.44	-0.02	α_e	17.65	2.65

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.77	1	0	S_1	0.86	-0.0
S_{out1}	2.1	0.04	-0.02	S_2	0.55	0.05
S_{out2}	22.64	0.45	-0.01	α_e	16.35	1.35

30°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.26	1	0	S_1	0.62	0.12
S_{out1}	2.66	0.09	0.09	S_2	0.57	-0.3
S_{out2}	12.14	0.41	0.07	α_e	21.33	-8.67

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	41.34	1	0	S_1	0.56	0.06
S_{out1}	2.95	0.07	0.07	S_2	0.65	-0.21
S_{out2}	16.2	0.39	0.05	α_e	24.71	-5.29

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.25	1	0	S_1	0.53	0.03
S_{out1}	3.08	0.07	0.07	S_2	0.68	-0.18
S_{out2}	18.11	0.38	0.04	α_e	25.93	-4.07

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.57	1	0	S_1	0.58	0.08
S_{out1}	3.18	0.06	0.06	S_2	0.66	-0.21
S_{out2}	19.86	0.39	0.05	α_e	24.33	-5.67

45°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.36	1	0	S_1	0.2	0.2
S_{out1}	6.12	0.21	0.15	S_2	0.52	-0.48
S_{out2}	11.08	0.38	0.12	α_e	34.62	-10.38

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	41.47	1	0	S_1	0.14	0.14
S_{out1}	7.83	0.19	0.13	S_2	0.6	-0.4
S_{out2}	14.71	0.35	0.1	α_e	38.41	-6.59

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.35	1	0	S_1	0.12	0.12
S_{out1}	8.65	0.18	0.12	S_2	0.62	-0.38
S_{out2}	16.45	0.35	0.09	α_e	39.52	-5.48

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.57	1	0	S_1	0.15	0.15
S_{out1}	9.42	0.19	0.13	S_2	0.6	-0.4
S_{out2}	17.98	0.36	0.1	α_e	38.02	-6.98

60°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.73	1	0	S_1	-0.31	0.19
S_{out1}	12.61	0.42	0.2	S_2	0.26	-0.61
S_{out2}	11.01	0.37	0.14	α_e	69.86	9.86

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	41.85	1	0	S_1	-0.36	0.14
S_{out1}	16.73	0.4	0.17	S_2	0.35	-0.52
S_{out2}	14.51	0.35	0.12	α_e	67.75	7.75

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.75	1	0	S_1	-0.37	0.13
S_{out1}	18.69	0.39	0.16	S_2	0.38	-0.48
S_{out2}	16.17	0.34	0.11	α_e	67.22	7.22

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.92	1	0	S_1	-0.36	0.14
S_{out1}	20.41	0.4	0.17	S_2	0.35	-0.51
S_{out2}	17.61	0.35	0.12	α_e	67.97	7.97

75°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.98	1	0	S_1	-0.63	0.24
S_{out1}	19.32	0.64	0.19	S_2	-0.11	-0.61
S_{out2}	12.2	0.41	0.15	α_e	95.0	20.0

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	42.12	1	0	S_1	-0.67	0.2
S_{out1}	26.06	0.62	0.16	S_2	-0.02	-0.52
S_{out2}	16.24	0.39	0.13	α_e	91.03	16.03

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.02	1	0	S_1	-0.67	0.19
S_{out1}	29.25	0.61	0.15	S_2	0.0	-0.5
S_{out2}	18.23	0.38	0.12	α_e	89.86	14.86

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	51.2	1	0	S_1	-0.66	0.2
S_{out1}	32.1	0.63	0.17	S_2	-0.05	-0.55
S_{out2}	19.99	0.39	0.13	α_e	92.01	17.01

90°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.18	1	0	S_1	-0.93	0.07
S_{out1}	24.55	0.81	0.05	S_2	-0.37	-0.37
S_{out2}	12.77	0.42	-0.03	α_e	100.74	10.74

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	42.37	1	0	S_1	-0.97	0.03
S_{out1}	33.33	0.79	0.02	S_2	-0.28	-0.28
S_{out2}	17.0	0.4	-0.05	α_e	97.96	7.96

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.29	1	0	S_1	-0.97	0.03
S_{out1}	37.56	0.78	0.01	S_2	-0.25	-0.25
S_{out2}	19.12	0.4	-0.05	α_e	97.26	7.26

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	51.51	1	0	S_1	-0.97	0.03
S_{out1}	41.29	0.8	0.04	S_2	-0.31	-0.31
S_{out2}	21.0	0.41	-0.04	α_e	98.88	8.88

105°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.37	1	0	S_1	-0.69	0.17
S_{out1}	27.24	0.9	0.04	S_2	-0.71	-0.21
S_{out2}	15.74	0.52	0.06	α_e	112.82	7.82

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	42.67	1	0	S_1	-0.73	0.14
S_{out1}	37.04	0.87	0.02	S_2	-0.62	-0.12
S_{out2}	21.15	0.5	0.04	α_e	110.09	5.09

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.68	1	0	S_1	-0.73	0.14
S_{out1}	41.75	0.86	0.0	S_2	-0.59	-0.09
S_{out2}	23.88	0.49	0.03	α_e	109.49	4.49

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	51.99	1	0	S_1	-0.71	0.15
S_{out1}	45.94	0.88	0.03	S_2	-0.67	-0.17
S_{out2}	26.37	0.51	0.05	α_e	111.49	6.49

120°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.59	1	0	S_1	0.11	0.61
S_{out1}	26.78	0.88	-0.04	S_2	-1.12	-0.25
S_{out2}	21.13	0.69	0.12	α_e	137.73	17.73

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.0	1	0	S_1	0.06	0.56
S_{out1}	36.44	0.85	-0.07	S_2	-1.02	-0.16
S_{out2}	28.65	0.67	0.09	α_e	136.7	16.7

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.12	1	0	S_1	0.05	0.55
S_{out1}	41.13	0.84	-0.08	S_2	-0.99	-0.12
S_{out2}	32.36	0.66	0.09	α_e	136.47	16.47

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	52.39	1	0	S_1	0.09	0.59
S_{out1}	45.28	0.86	-0.05	S_2	-1.08	-0.22
S_{out2}	35.72	0.68	0.11	α_e	137.45	17.45

135°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.84	1	0	S_1	0.27	0.27
S_{out1}	23.32	0.76	-0.1	S_2	-0.91	0.09
S_{out2}	20.58	0.67	0.01	α_e	143.13	8.13

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.32	1	0	S_1	0.21	0.21
S_{out1}	31.58	0.73	-0.12	S_2	-0.81	0.19
S_{out2}	27.81	0.64	-0.01	α_e	142.41	7.41

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.54	1	0	S_1	0.2	0.2
S_{out1}	35.63	0.72	-0.13	S_2	-0.78	0.22
S_{out2}	31.45	0.63	-0.02	α_e	142.34	7.34

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	52.71	1	0	S_1	0.25	0.25
S_{out1}	39.16	0.74	-0.11	S_2	-0.87	0.13
S_{out2}	34.64	0.66	0.0	α_e	143.05	8.05

150°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.95	1	0	S_1	0.44	-0.06
S_{out1}	17.42	0.56	-0.12	S_2	-0.52	0.34
S_{out2}	18.91	0.61	-0.07	α_e	155.13	5.13

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.42	1	0	S_1	0.39	-0.11
S_{out1}	23.38	0.54	-0.15	S_2	-0.43	0.43
S_{out2}	25.51	0.59	-0.1	α_e	156.11	6.11

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.62	1	0	S_1	0.38	-0.12
S_{out1}	26.31	0.53	-0.16	S_2	-0.4	0.46
S_{out2}	28.78	0.58	-0.11	α_e	156.56	6.56

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	52.83	1	0	S_1	0.43	-0.07
S_{out1}	28.89	0.55	-0.14	S_2	-0.48	0.39
S_{out2}	31.72	0.6	-0.09	α_e	156.09	6.09

165°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.39	1	0	S_1	0.9	0.03
S_{out1}	10.33	0.34	-0.12	S_2	-0.22	0.28
S_{out2}	18.34	0.6	-0.05	α_e	173.05	8.05

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	42.7	1	0	S_1	0.84	-0.03
S_{out1}	13.71	0.32	-0.14	S_2	-0.14	0.36
S_{out2}	24.79	0.58	-0.07	α_e	175.23	10.23

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.73	1	0	S_1	0.82	-0.05
S_{out1}	15.33	0.31	-0.14	S_2	-0.11	0.39
S_{out2}	27.91	0.57	-0.08	α_e	176.08	11.08

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	52.09	1	0	S_1	0.88	0.01
S_{out1}	16.84	0.32	-0.13	S_2	-0.17	0.33
S_{out2}	30.79	0.59	-0.06	α_e	174.53	9.53

8.3.6 Durchgang 6

0°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	33.83	1	0	S_1	0.92	-0.08
S_{out1}	5.24	0.15	-0.07	S_2	0.23	0.23
S_{out2}	17.43	0.52	-0.06	α_e	7.18	7.18

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.1	1	0	S_1	0.88	-0.12
S_{out1}	6.89	0.14	-0.09	S_2	0.29	0.29
S_{out2}	24.55	0.5	-0.07	α_e	9.15	9.15

Bereich -100

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	60.14	1	0	S_1	0.9	-0.1
S_{out1}	8.27	0.14	-0.09	S_2	0.29	0.29
S_{out2}	30.21	0.5	-0.07	α_e	8.93	8.93

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	65.86	1	0	S_1	1.02	0.02
S_{out1}	9.51	0.14	-0.08	S_2	0.2	0.2
S_{out2}	35.18	0.53	-0.04	α_e	5.54	5.54

15°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	33.95	1	0	S_1	0.78	-0.08
S_{out1}	2.17	0.06	0.0	S_2	0.54	0.04
S_{out2}	14.92	0.44	-0.02	α_e	17.3	2.3

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.42	1	0	S_1	0.75	-0.12
S_{out1}	2.47	0.05	-0.01	S_2	0.6	0.1
S_{out2}	20.97	0.42	-0.03	α_e	19.31	4.31

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	60.68	1	0	S_1	0.76	-0.11
S_{out1}	2.74	0.05	-0.02	S_2	0.6	0.1
S_{out2}	25.77	0.42	-0.03	α_e	19.2	4.2

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	66.12	1	0	S_1	0.88	0.02
S_{out1}	2.94	0.04	-0.02	S_2	0.53	0.03
S_{out2}	29.93	0.45	-0.0	α_e	15.53	0.53

30°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	33.84	1	0	S_1	0.4	-0.1
S_{out1}	1.85	0.05	0.05	S_2	0.78	-0.08
S_{out2}	11.77	0.35	0.01	α_e	31.39	1.39

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.49	1	0	S_1	0.37	-0.13
S_{out1}	2.0	0.04	0.04	S_2	0.84	-0.03
S_{out2}	16.49	0.33	-0.01	α_e	33.12	3.12

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	61.03	1	0	S_1	0.38	-0.12
S_{out1}	2.04	0.03	0.03	S_2	0.85	-0.02
S_{out2}	20.27	0.33	-0.01	α_e	32.96	2.96

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	65.98	1	0	S_1	0.49	-0.01
S_{out1}	2.08	0.03	0.03	S_2	0.79	-0.07
S_{out2}	23.51	0.36	0.01	α_e	29.12	-0.88

45°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	33.89	1	0	S_1	-0.05	-0.05
S_{out1}	5.08	0.15	0.09	S_2	0.81	-0.19
S_{out2}	9.88	0.29	0.03	α_e	46.84	1.84

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.68	1	0	S_1	-0.08	-0.08
S_{out1}	6.74	0.14	0.07	S_2	0.86	-0.14
S_{out2}	13.79	0.28	0.02	α_e	47.72	2.72

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	61.49	1	0	S_1	-0.08	-0.08
S_{out1}	8.15	0.13	0.07	S_2	0.87	-0.13
S_{out2}	16.97	0.28	0.02	α_e	47.7	2.7

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	66.21	1	0	S_1	-0.01	-0.01
S_{out1}	9.35	0.14	0.08	S_2	0.8	-0.2
S_{out2}	19.69	0.3	0.04	α_e	45.28	0.28

60°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	34.05	1	0	S_1	-0.53	-0.03
S_{out1}	10.91	0.32	0.09	S_2	0.65	-0.21
S_{out2}	9.11	0.27	0.04	α_e	64.58	4.58

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	49.92	1	0	S_1	-0.55	-0.05
S_{out1}	15.33	0.31	0.08	S_2	0.7	-0.17
S_{out2}	12.75	0.26	0.03	α_e	64.2	4.2

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	61.77	1	0	S_1	-0.55	-0.05
S_{out1}	18.91	0.31	0.08	S_2	0.7	-0.16
S_{out2}	15.74	0.25	0.03	α_e	64.17	4.17

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	66.49	1	0	S_1	-0.52	-0.02
S_{out1}	21.95	0.33	0.1	S_2	0.62	-0.25
S_{out2}	18.3	0.28	0.05	α_e	64.95	4.95

75°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	34.64	1	0	S_1	-0.91	-0.05
S_{out1}	18.96	0.55	0.09	S_2	0.3	-0.2
S_{out2}	10.18	0.29	0.03	α_e	80.95	5.95

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	50.64	1	0	S_1	-0.94	-0.07
S_{out1}	26.89	0.53	0.07	S_2	0.35	-0.15
S_{out2}	14.16	0.28	0.02	α_e	79.65	4.65

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	62.4	1	0	S_1	-0.94	-0.08
S_{out1}	33.23	0.53	0.08	S_2	0.35	-0.15
S_{out2}	17.45	0.28	0.02	α_e	79.73	4.73

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	67.51	1	0	S_1	-0.94	-0.07
S_{out1}	38.66	0.57	0.12	S_2	0.25	-0.25
S_{out2}	20.29	0.3	0.04	α_e	82.56	7.56

90°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	35.06	1	0	S_1	-1.02	-0.02
S_{out1}	24.81	0.71	-0.06	S_2	-0.05	-0.05
S_{out2}	12.27	0.35	-0.1	α_e	91.31	1.31

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	51.15	1	0	S_1	-1.04	-0.04
S_{out1}	35.3	0.69	-0.07	S_2	0.01	0.01
S_{out2}	17.18	0.34	-0.11	α_e	89.69	-0.31

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	62.76	1	0	S_1	-1.04	-0.04
S_{out1}	43.59	0.69	-0.07	S_2	0.0	0.0
S_{out2}	21.16	0.34	-0.11	α_e	89.92	-0.08

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	68.17	1	0	S_1	-1.05	-0.05
S_{out1}	50.79	0.75	-0.02	S_2	-0.12	-0.12
S_{out2}	24.66	0.36	-0.09	α_e	93.35	3.35

105°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	35.38	1	0	S_1	-0.6	0.27
S_{out1}	28.63	0.81	-0.04	S_2	-0.55	-0.05
S_{out2}	17.57	0.5	0.04	α_e	111.19	6.19

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	51.65	1	0	S_1	-0.62	0.25
S_{out1}	40.83	0.79	-0.06	S_2	-0.48	0.02
S_{out2}	24.9	0.48	0.03	α_e	109.01	4.01

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	63.27	1	0	S_1	-0.61	0.25
S_{out1}	50.45	0.8	-0.06	S_2	-0.5	-0.0
S_{out2}	30.79	0.49	0.03	α_e	109.7	4.7

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	68.82	1	0	S_1	-0.58	0.28
S_{out1}	58.85	0.86	0.0	S_2	-0.67	-0.17
S_{out2}	36.0	0.52	0.07	α_e	114.53	9.53

120°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	35.62	1	0	S_1	-0.46	0.04
S_{out1}	28.83	0.81	-0.1	S_2	-0.62	0.24
S_{out2}	18.79	0.53	-0.04	α_e	116.7	-3.3

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	52.19	1	0	S_1	-0.48	0.02
S_{out1}	41.3	0.79	-0.12	S_2	-0.57	0.3
S_{out2}	26.82	0.51	-0.06	α_e	114.77	-5.23

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	64.04	1	0	S_1	-0.47	0.03
S_{out1}	51.11	0.8	-0.12	S_2	-0.59	0.28
S_{out2}	33.27	0.52	-0.05	α_e	115.62	-4.38

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	69.63	1	0	S_1	-0.42	0.08
S_{out1}	59.56	0.86	-0.06	S_2	-0.76	0.1
S_{out2}	38.96	0.56	-0.01	α_e	120.5	0.5

135°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	35.78	1	0	S_1	0.0	0.0
S_{out1}	25.39	0.71	-0.14	S_2	-0.64	0.36
S_{out2}	20.88	0.58	-0.07	α_e	135.07	0.07

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	52.39	1	0	S_1	-0.03	-0.03
S_{out1}	36.27	0.69	-0.16	S_2	-0.58	0.42
S_{out2}	29.79	0.57	-0.09	α_e	133.71	-1.29

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	64.44	1	0	S_1	-0.01	-0.01
S_{out1}	44.91	0.7	-0.16	S_2	-0.6	0.4
S_{out2}	37.01	0.57	-0.08	α_e	134.44	-0.56

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	69.9	1	0	S_1	0.07	0.07
S_{out1}	52.43	0.75	-0.1	S_2	-0.78	0.22
S_{out2}	43.31	0.62	-0.04	α_e	137.56	2.56

150°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$	
S_{LC}	35.91	1	0	S_1	0.41	-0.09	-50
S_{out1}	19.28	0.54	-0.15	S_2	-0.44	0.43	
S_{out2}	21.19	0.59	-0.1	α_e	156.5	6.5	
	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$	
S_{LC}	52.54	1	0	S_1	0.37	-0.13	-100
S_{out1}	27.39	0.52	-0.16	S_2	-0.38	0.49	
S_{out2}	30.18	0.57	-0.11	α_e	157.32	7.32	

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

-150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	64.62	1	0	S_1	0.39	-0.11
S_{out1}	33.78	0.52	-0.16	S_2	-0.39	0.48
S_{out2}	37.36	0.58	-0.11	α_e	157.4	7.4
	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	70.14	1	0	S_1	0.5	-0.0
S_{out1}	39.33	0.56	-0.12	S_2	-0.55	0.32
S_{out2}	43.71	0.62	-0.06	α_e	156.11	6.11

165°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	35.95	1	0	S_1	0.63	-0.23
S_{out1}	12.18	0.34	-0.12	S_2	-0.07	0.43
S_{out2}	19.49	0.54	-0.11	α_e	177.01	12.01

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	52.47	1	0	S_1	0.59	-0.27
S_{out1}	17.07	0.33	-0.13	S_2	-0.01	0.49
S_{out2}	27.65	0.53	-0.13	α_e	179.49	14.49

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	64.38	1	0	S_1	0.61	-0.26
S_{out1}	20.94	0.33	-0.13	S_2	-0.02	0.48
S_{out2}	34.11	0.53	-0.13	α_e	179.17	14.17

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	70.04	1	0	S_1	0.73	-0.14
S_{out1}	24.35	0.35	-0.11	S_2	-0.15	0.35
S_{out2}	39.86	0.57	-0.09	α_e	174.38	9.38

8.3.7 Durchgang 7

0°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.09	1	0	S_1	1.05	0.05
S_{out1}	3.37	0.2	-0.03	S_2	0.05	0.05
S_{out2}	9.69	0.57	-0.0	α_e	1.35	1.35

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.13	1	0	S_1	1.02	0.02
S_{out1}	4.05	0.17	-0.06	S_2	0.14	0.14
S_{out2}	13.16	0.55	-0.03	α_e	3.96	3.96

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.05	1	0	S_1	1.03	0.03
S_{out1}	4.55	0.16	-0.07	S_2	0.17	0.17
S_{out2}	15.72	0.54	-0.03	α_e	4.62	4.62

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	31.93	1	0	S_1	1.05	0.05
S_{out1}	4.9	0.15	-0.07	S_2	0.16	0.16
S_{out2}	17.44	0.55	-0.03	α_e	4.26	4.26

15°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.04	1	0	S_1	0.99	0.12
S_{out1}	2.0	0.12	0.06	S_2	0.29	-0.21
S_{out2}	8.73	0.51	0.06	α_e	8.17	-6.83

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.14	1	0	S_1	0.96	0.09
S_{out1}	2.02	0.08	0.02	S_2	0.39	-0.11
S_{out2}	11.81	0.49	0.03	α_e	11.1	-3.9

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	28.94	1	0	S_1	0.97	0.1
S_{out1}	2.03	0.07	0.01	S_2	0.42	-0.08
S_{out2}	14.01	0.48	0.03	α_e	11.75	-3.25

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	31.31	1	0	S_1	1.01	0.15
S_{out1}	2.03	0.06	0.0	S_2	0.4	-0.1
S_{out2}	15.43	0.49	0.04	α_e	10.88	-4.12

30°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	16.67	1	0	S_1	0.64	0.14
S_{out1}	1.96	0.12	0.12	S_2	0.49	-0.38
S_{out2}	7.23	0.43	0.09	α_e	18.61	-11.39

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	23.85	1	0	S_1	0.61	0.11
S_{out1}	2.05	0.09	0.09	S_2	0.59	-0.28
S_{out2}	9.8	0.41	0.07	α_e	21.94	-8.06

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	28.75	1	0	S_1	0.61	0.11
S_{out1}	2.11	0.07	0.07	S_2	0.62	-0.25
S_{out2}	11.64	0.4	0.06	α_e	22.62	-7.38

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.77	1	0	S_1	0.66	0.16
S_{out1}	2.15	0.07	0.07	S_2	0.6	-0.27
S_{out2}	12.76	0.41	0.07	α_e	21.0	-9.0

45°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	16.8	1	0	S_1	0.14	0.14
S_{out1}	3.89	0.23	0.17	S_2	0.49	-0.51
S_{out2}	6.31	0.38	0.12	α_e	37.16	-7.84

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.07	1	0	S_1	0.09	0.09
S_{out1}	4.9	0.2	0.14	S_2	0.59	-0.41
S_{out2}	8.42	0.35	0.09	α_e	40.84	-4.16

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.08	1	0	S_1	0.08	0.08
S_{out1}	5.66	0.19	0.13	S_2	0.62	-0.38
S_{out2}	9.99	0.34	0.08	α_e	41.41	-3.59

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.92	1	0	S_1	0.12	0.12
S_{out1}	6.09	0.2	0.14	S_2	0.59	-0.41
S_{out2}	10.93	0.35	0.09	α_e	39.41	-5.59

60°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	16.93	1	0	S_1	-0.33	0.17
S_{out1}	7.19	0.42	0.2	S_2	0.27	-0.59
S_{out2}	6.18	0.37	0.14	α_e	70.25	10.25

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.18	1	0	S_1	-0.39	0.11
S_{out1}	9.7	0.4	0.17	S_2	0.37	-0.5
S_{out2}	8.23	0.34	0.11	α_e	68.36	8.36

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.2	1	0	S_1	-0.4	0.1
S_{out1}	11.54	0.4	0.17	S_2	0.39	-0.48
S_{out2}	9.78	0.34	0.11	α_e	67.94	7.94

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	31.14	1	0	S_1	-0.38	0.12
S_{out1}	12.66	0.41	0.18	S_2	0.34	-0.52
S_{out2}	10.76	0.35	0.12	α_e	68.79	8.79

75°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.05	1	0	S_1	-0.43	0.43
S_{out1}	10.96	0.64	0.19	S_2	-0.22	-0.72
S_{out2}	7.69	0.45	0.19	α_e	103.42	28.42

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.23	1	0	S_1	-0.49	0.38
S_{out1}	15.05	0.62	0.16	S_2	-0.13	-0.63
S_{out2}	10.36	0.43	0.17	α_e	97.65	22.65

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.15	1	0	S_1	-0.5	0.37
S_{out1}	18.06	0.62	0.16	S_2	-0.12	-0.62
S_{out2}	12.38	0.42	0.17	α_e	96.99	21.99

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	31.27	1	0	S_1	-0.48	0.39
S_{out1}	20.01	0.64	0.18	S_2	-0.19	-0.69
S_{out2}	13.73	0.44	0.18	α_e	100.61	25.61

90°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.26	1	0	S_1	-0.86	0.14
S_{out1}	13.86	0.8	0.04	S_2	-0.38	-0.38
S_{out2}	7.5	0.43	-0.01	α_e	102.0	12.0

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.46	1	0	S_1	-0.92	0.08
S_{out1}	19.18	0.78	0.02	S_2	-0.3	-0.3
S_{out2}	10.06	0.41	-0.04	α_e	99.03	9.03

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.3	1	0	S_1	-0.92	0.08
S_{out1}	23.03	0.79	0.02	S_2	-0.3	-0.3
S_{out2}	12.05	0.41	-0.04	α_e	99.03	9.03

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	31.57	1	0	S_1	-0.9	0.1
S_{out1}	25.56	0.81	0.05	S_2	-0.37	-0.37
S_{out2}	13.47	0.43	-0.02	α_e	101.09	11.09

105°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.4	1	0	S_1	-0.78	0.08
S_{out1}	15.36	0.88	0.03	S_2	-0.63	-0.13
S_{out2}	8.55	0.49	0.03	α_e	109.34	4.34

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.69	1	0	S_1	-0.84	0.03
S_{out1}	21.36	0.87	0.01	S_2	-0.55	-0.05
S_{out2}	11.59	0.47	0.01	α_e	106.56	1.56

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.51	1	0	S_1	-0.84	0.03
S_{out1}	25.66	0.87	0.02	S_2	-0.56	-0.06
S_{out2}	13.91	0.47	0.01	α_e	106.78	1.78

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	31.82	1	0	S_1	-0.81	0.05
S_{out1}	28.5	0.9	0.04	S_2	-0.64	-0.14
S_{out2}	15.61	0.49	0.03	α_e	109.08	4.08

120°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.52	1	0	S_1	-0.33	0.17
S_{out1}	15.15	0.86	-0.05	S_2	-0.84	0.03
S_{out2}	10.26	0.59	0.01	α_e	124.29	4.29

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	24.93	1	0	S_1	-0.38	0.12
S_{out1}	21.07	0.85	-0.07	S_2	-0.76	0.1
S_{out2}	14.1	0.57	-0.01	α_e	121.93	1.93

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.8	1	0	S_1	-0.36	0.14
S_{out1}	25.31	0.85	-0.06	S_2	-0.78	0.09
S_{out2}	16.98	0.57	-0.0	α_e	122.48	2.48

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	32.01	1	0	S_1	-0.31	0.19
S_{out1}	28.07	0.88	-0.04	S_2	-0.88	-0.02
S_{out2}	19.1	0.6	0.03	α_e	125.43	5.43

135°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.67	1	0	S_1	0.09	0.09
S_{out1}	13.1	0.74	-0.11	S_2	-0.77	0.23
S_{out2}	10.94	0.62	-0.04	α_e	138.26	3.26

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	25.13	1	0	S_1	0.05	0.05
S_{out1}	18.13	0.72	-0.13	S_2	-0.69	0.31
S_{out2}	15.06	0.6	-0.06	α_e	136.86	1.86

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.09	1	0	S_1	0.06	0.06
S_{out1}	21.71	0.72	-0.13	S_2	-0.7	0.3
S_{out2}	18.17	0.6	-0.05	α_e	137.55	2.55

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	32.23	1	0	S_1	0.14	0.14
S_{out1}	24.01	0.75	-0.11	S_2	-0.81	0.19
S_{out2}	20.38	0.63	-0.02	α_e	139.82	4.82

150°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.65	1	0	S_1	0.48	-0.02
S_{out1}	10.06	0.57	-0.12	S_2	-0.56	0.3
S_{out2}	10.99	0.62	-0.06	α_e	155.17	5.17

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	25.04	1	0	S_1	0.43	-0.07
S_{out1}	13.75	0.55	-0.14	S_2	-0.48	0.38
S_{out2}	15.06	0.6	-0.08	α_e	155.89	5.89

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.01	1	0	S_1	0.44	-0.06
S_{out1}	16.4	0.55	-0.14	S_2	-0.48	0.38
S_{out2}	18.11	0.6	-0.08	α_e	156.31	6.31

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	32.23	1	0	S_1	0.52	0.02
S_{out1}	18.13	0.56	-0.12	S_2	-0.56	0.3
S_{out2}	20.23	0.63	-0.06	α_e	156.21	6.21

165°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	17.72	1	0	S_1	0.47	-0.4
S_{out1}	10.15	0.57	0.12	S_2	-0.56	-0.06
S_{out2}	11.02	0.62	-0.03	α_e	154.86	-10.14

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	25.12	1	0	S_1	0.43	-0.44
S_{out1}	13.85	0.55	0.09	S_2	-0.49	0.01
S_{out2}	15.12	0.6	-0.05	α_e	155.69	-9.31

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.07	1	0	S_1	0.44	-0.42
S_{out1}	16.54	0.55	0.09	S_2	-0.49	0.01
S_{out2}	18.18	0.6	-0.05	α_e	156.02	-8.98

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	32.3	1	0	S_1	0.52	-0.35
S_{out1}	18.27	0.57	0.11	S_2	-0.57	-0.07
S_{out2}	20.35	0.63	-0.02	α_e	156.07	-8.93

8.3.8 Durchgang 8

0°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	29.86	1	0	S_1	0.9	-0.1
S_{out1}	5.2	0.17	-0.05	S_2	0.19	0.19
S_{out2}	15.58	0.52	-0.05	α_e	6.07	6.07

Bereich -50

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	42.61	1	0	S_1	0.86	-0.14
S_{out1}	6.7	0.16	-0.07	S_2	0.26	0.26
S_{out2}	21.5	0.5	-0.07	α_e	8.34	8.34

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	51.09	1	0	S_1	0.88	-0.12
S_{out1}	7.84	0.15	-0.08	S_2	0.26	0.26
S_{out2}	25.9	0.51	-0.06	α_e	8.13	8.13

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.16	1	0	S_1	0.98	-0.02
S_{out1}	8.92	0.16	-0.07	S_2	0.19	0.19
S_{out2}	29.92	0.53	-0.04	α_e	5.33	5.33

15°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.01	1	0	S_1	0.91	0.04
S_{out1}	2.13	0.07	0.01	S_2	0.45	-0.05
S_{out2}	14.15	0.47	0.01	α_e	13.19	-1.81

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.01	1	0	S_1	0.88	0.01
S_{out1}	2.23	0.05	-0.01	S_2	0.52	0.02
S_{out2}	19.57	0.45	-0.0	α_e	15.25	0.25

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	51.67	1	0	S_1	0.9	0.03
S_{out1}	2.35	0.05	-0.02	S_2	0.52	0.02
S_{out2}	23.55	0.46	-0.0	α_e	15.14	0.14

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	56.46	1	0	S_1	1.01	0.14
S_{out1}	2.57	0.05	-0.02	S_2	0.46	-0.04
S_{out2}	27.17	0.48	0.02	α_e	12.25	-2.75

30°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.3	1	0	S_1	0.53	0.03
S_{out1}	2.03	0.07	0.07	S_2	0.68	-0.19
S_{out2}	11.62	0.38	0.04	α_e	25.97	-4.03

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.68	1	0	S_1	0.49	-0.01
S_{out1}	2.12	0.05	0.05	S_2	0.75	-0.12
S_{out2}	15.97	0.37	0.02	α_e	28.26	-1.74

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	52.65	1	0	S_1	0.5	-0.0
S_{out1}	2.21	0.04	0.04	S_2	0.76	-0.11
S_{out2}	19.14	0.36	0.02	α_e	28.34	-1.66

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	57.15	1	0	S_1	0.59	0.09
S_{out1}	2.32	0.04	0.04	S_2	0.71	-0.16
S_{out2}	21.98	0.38	0.04	α_e	25.02	-4.98

45°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.38	1	0	S_1	0.0	0.0
S_{out1}	5.67	0.19	0.13	S_2	0.68	-0.32
S_{out2}	9.8	0.32	0.06	α_e	44.87	-0.13

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	43.83	1	0	S_1	-0.03	-0.03
S_{out1}	7.42	0.17	0.11	S_2	0.75	-0.25
S_{out2}	13.38	0.31	0.05	α_e	46.34	1.34

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	52.98	1	0	S_1	-0.04	-0.04
S_{out1}	8.77	0.17	0.1	S_2	0.76	-0.24
S_{out2}	16.03	0.3	0.04	α_e	46.43	1.43

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	57.1	1	0	S_1	0.03	0.03
S_{out1}	9.95	0.17	0.11	S_2	0.7	-0.3
S_{out2}	18.38	0.32	0.06	α_e	43.89	-1.11

60°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	30.61	1	0	S_1	-0.45	0.05
S_{out1}	11.38	0.37	0.14	S_2	0.48	-0.39
S_{out2}	9.52	0.31	0.08	α_e	66.77	6.77

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.11	1	0	S_1	-0.49	0.01
S_{out1}	15.66	0.36	0.13	S_2	0.54	-0.33
S_{out2}	12.99	0.29	0.07	α_e	66.08	6.08

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	53.31	1	0	S_1	-0.49	0.01
S_{out1}	18.86	0.35	0.13	S_2	0.55	-0.32
S_{out2}	15.6	0.29	0.06	α_e	66.05	6.05

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	57.5	1	0	S_1	-0.46	0.04
S_{out1}	21.65	0.38	0.15	S_2	0.47	-0.4
S_{out2}	17.92	0.31	0.08	α_e	67.22	7.22

75°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	31.04	1	0	S_1	-0.79	0.08
S_{out1}	17.77	0.57	0.12	S_2	0.16	-0.34
S_{out2}	10.38	0.33	0.08	α_e	84.13	9.13

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.56	1	0	S_1	-0.82	0.04
S_{out1}	24.67	0.55	0.1	S_2	0.23	-0.27
S_{out2}	14.15	0.32	0.06	α_e	82.17	7.17

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	53.64	1	0	S_1	-0.82	0.04
S_{out1}	29.81	0.56	0.1	S_2	0.23	-0.27
S_{out2}	17.05	0.32	0.06	α_e	82.32	7.32

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	58.1	1	0	S_1	-0.81	0.05
S_{out1}	34.37	0.59	0.13	S_2	0.13	-0.37
S_{out2}	19.67	0.34	0.08	α_e	85.48	10.48

90°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	31.31	1	0	S_1	-0.83	0.17
S_{out1}	24.07	0.77	0.01	S_2	-0.31	-0.31
S_{out2}	13.27	0.42	-0.02	α_e	100.26	10.26

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	44.93	1	0	S_1	-0.85	0.15
S_{out1}	33.62	0.75	-0.02	S_2	-0.24	-0.24
S_{out2}	18.3	0.41	-0.04	α_e	97.93	7.93

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	53.86	1	0	S_1	-0.85	0.15
S_{out1}	40.66	0.75	-0.01	S_2	-0.26	-0.26
S_{out2}	22.13	0.41	-0.04	α_e	98.48	8.48

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	58.68	1	0	S_1	-0.83	0.17
S_{out1}	47.04	0.8	0.04	S_2	-0.39	-0.39
S_{out2}	25.75	0.44	-0.01	α_e	102.52	12.52

105°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	31.76	1	0	S_1	-0.8	0.07
S_{out1}	26.73	0.84	-0.01	S_2	-0.51	-0.01
S_{out2}	14.84	0.47	0.01	α_e	106.33	1.33

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	45.6	1	0	S_1	-0.82	0.04
S_{out1}	37.39	0.82	-0.03	S_2	-0.44	0.06
S_{out2}	20.53	0.45	-0.01	α_e	104.08	-0.92

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	54.56	1	0	S_1	-0.82	0.04
S_{out1}	45.23	0.83	-0.02	S_2	-0.47	0.03
S_{out2}	24.84	0.46	-0.0	α_e	104.76	-0.24

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	59.47	1	0	S_1	-0.8	0.07
S_{out1}	52.38	0.88	0.03	S_2	-0.61	-0.11
S_{out2}	28.9	0.49	0.03	α_e	108.62	3.62

120°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	31.99	1	0	S_1	-0.48	0.02
S_{out1}	26.31	0.82	-0.09	S_2	-0.65	0.22
S_{out2}	16.98	0.53	-0.04	α_e	116.85	-3.15

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	45.96	1	0	S_1	-0.5	-0.0
S_{out1}	36.88	0.8	-0.11	S_2	-0.58	0.28
S_{out2}	23.66	0.51	-0.06	α_e	114.58	-5.42

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	55.05	1	0	S_1	-0.49	0.01
S_{out1}	44.66	0.81	-0.1	S_2	-0.61	0.25
S_{out2}	28.72	0.52	-0.05	α_e	115.6	-4.4

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	59.95	1	0	S_1	-0.44	0.06
S_{out1}	51.74	0.86	-0.05	S_2	-0.77	0.1
S_{out2}	33.49	0.56	-0.01	α_e	120.02	0.02

135°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	32.37	1	0	S_1	-0.04	-0.04
S_{out1}	22.8	0.7	-0.15	S_2	-0.6	0.4
S_{out2}	18.49	0.57	-0.08	α_e	133.06	-1.94

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	46.45	1	0	S_1	-0.07	-0.07
S_{out1}	31.8	0.68	-0.17	S_2	-0.53	0.47
S_{out2}	25.72	0.55	-0.1	α_e	131.0	-4.0

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	55.77	1	0	S_1	-0.06	-0.06
S_{out1}	38.49	0.69	-0.16	S_2	-0.56	0.44
S_{out2}	31.24	0.56	-0.09	α_e	131.97	-3.03

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	60.49	1	0	S_1	0.02	0.02
S_{out1}	44.51	0.74	-0.12	S_2	-0.72	0.28
S_{out2}	36.39	0.6	-0.05	α_e	135.89	0.89

150°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	32.36	1	0	S_1	0.39	-0.11
S_{out1}	17.69	0.55	-0.14	S_2	-0.45	0.41
S_{out2}	19.14	0.59	-0.09	α_e	155.44	5.44

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	46.46	1	0	S_1	0.35	-0.15
S_{out1}	24.57	0.53	-0.16	S_2	-0.39	0.48
S_{out2}	26.66	0.57	-0.11	α_e	156.27	6.27

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	55.78	1	0	S_1	0.38	-0.12
S_{out1}	29.65	0.53	-0.15	S_2	-0.41	0.46
S_{out2}	32.35	0.58	-0.11	α_e	156.41	6.41

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	60.59	1	0	S_1	0.48	-0.02
S_{out1}	34.26	0.57	-0.12	S_2	-0.55	0.31
S_{out2}	37.67	0.62	-0.06	α_e	155.58	5.58

165°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	32.23	1	0	S_1	0.77	-0.1
S_{out1}	10.61	0.33	-0.13	S_2	-0.12	0.38
S_{out2}	18.32	0.57	-0.09	α_e	175.57	10.57

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	46.17	1	0	S_1	0.73	-0.14
S_{out1}	14.45	0.31	-0.14	S_2	-0.06	0.44
S_{out2}	25.46	0.55	-0.1	α_e	177.78	12.78

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	55.33	1	0	S_1	0.75	-0.12
S_{out1}	17.27	0.31	-0.14	S_2	-0.07	0.43
S_{out2}	30.73	0.56	-0.1	α_e	177.49	12.49

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	60.34	1	0	S_1	0.87	0.0
S_{out1}	19.88	0.33	-0.13	S_2	-0.18	0.32
S_{out2}	35.67	0.59	-0.06	α_e	174.2	9.2

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

8.3.9 Durchgang 9

0°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.52	1	0	S_1	1.13	0.13
S_{out1}	12.27	0.26	0.03	S_2	-0.15	-0.15
S_{out2}	29.26	0.62	0.04	α_e	-3.78	-3.78

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	64.21	1	0	S_1	1.07	0.07
S_{out1}	14.4	0.22	-0.0	S_2	-0.03	-0.03
S_{out2}	37.57	0.59	0.01	α_e	-0.79	-0.79

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	71.12	1	0	S_1	1.04	0.04
S_{out1}	15.24	0.21	-0.01	S_2	0.01	0.01
S_{out2}	40.76	0.57	0.0	α_e	0.37	0.37

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	76.24	1	0	S_1	1.05	0.05
S_{out1}	16.07	0.21	-0.02	S_2	0.01	0.01
S_{out2}	43.82	0.57	0.0	α_e	0.37	0.37

15°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.37	1	0	S_1	1.0	0.14
S_{out1}	7.38	0.16	0.09	S_2	0.18	-0.32
S_{out2}	25.39	0.54	0.08	α_e	5.11	-9.89

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	64.05	1	0	S_1	0.94	0.08
S_{out1}	7.71	0.12	0.06	S_2	0.31	-0.19
S_{out2}	32.31	0.5	0.05	α_e	8.96	-6.04

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	70.93	1	0	S_1	0.91	0.05
S_{out1}	7.84	0.11	0.05	S_2	0.35	-0.15
S_{out2}	34.95	0.49	0.04	α_e	10.4	-4.6

Bereich -150

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	75.91	1	0	S_1	0.93	0.07
S_{out1}	7.96	0.1	0.04	S_2	0.35	-0.15
S_{out2}	37.54	0.49	0.04	α_e	10.27	-4.73

30°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.25	1	0	S_1	0.63	0.13
S_{out1}	7.29	0.15	0.15	S_2	0.4	-0.47
S_{out2}	21.25	0.45	0.11	α_e	16.22	-13.78

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	63.89	1	0	S_1	0.57	0.07
S_{out1}	7.6	0.12	0.12	S_2	0.53	-0.34
S_{out2}	26.69	0.42	0.07	α_e	21.42	-8.58

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	70.77	1	0	S_1	0.54	0.04
S_{out1}	7.75	0.11	0.11	S_2	0.57	-0.3
S_{out2}	28.78	0.41	0.06	α_e	23.17	-6.83

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	75.73	1	0	S_1	0.55	0.05
S_{out1}	7.85	0.1	0.1	S_2	0.57	-0.29
S_{out2}	30.77	0.41	0.06	α_e	23.08	-6.92

45°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.21	1	0	S_1	0.17	0.17
S_{out1}	12.0	0.25	0.19	S_2	0.41	-0.59
S_{out2}	18.66	0.4	0.14	α_e	33.6	-11.4

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	63.89	1	0	S_1	0.1	0.1
S_{out1}	14.01	0.22	0.16	S_2	0.54	-0.46
S_{out2}	23.13	0.36	0.1	α_e	39.53	-5.47

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	70.8	1	0	S_1	0.08	0.08
S_{out1}	14.8	0.21	0.15	S_2	0.58	-0.42
S_{out2}	24.87	0.35	0.09	α_e	41.09	-3.91

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	75.66	1	0	S_1	0.09	0.09
S_{out1}	15.57	0.21	0.14	S_2	0.58	-0.42
S_{out2}	26.57	0.35	0.09	α_e	40.78	-4.22

60°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.37	1	0	S_1	-0.26	0.24
S_{out1}	19.78	0.42	0.19	S_2	0.25	-0.61
S_{out2}	17.87	0.38	0.15	α_e	68.11	8.11

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	64.08	1	0	S_1	-0.35	0.15
S_{out1}	24.97	0.39	0.16	S_2	0.37	-0.5
S_{out2}	22.05	0.34	0.12	α_e	66.56	6.56

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	70.9	1	0	S_1	-0.37	0.13
S_{out1}	27.01	0.38	0.15	S_2	0.41	-0.46
S_{out2}	23.7	0.33	0.11	α_e	66.2	6.2

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	75.64	1	0	S_1	-0.38	0.12
S_{out1}	28.99	0.38	0.15	S_2	0.4	-0.46
S_{out2}	25.24	0.33	0.11	α_e	66.52	6.52

75°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	47.61	1	0	S_1	-0.61	0.25
S_{out1}	30.36	0.64	0.18	S_2	-0.1	-0.6
S_{out2}	19.37	0.41	0.15	α_e	94.7	19.7

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	64.36	1	0	S_1	-0.69	0.17
S_{out1}	39.12	0.61	0.15	S_2	0.02	-0.48
S_{out2}	24.08	0.37	0.11	α_e	89.22	14.22

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	71.1	1	0	S_1	-0.71	0.15
S_{out1}	42.46	0.6	0.14	S_2	0.06	-0.44
S_{out2}	25.87	0.36	0.1	α_e	87.67	12.67

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	75.86	1	0	S_1	-0.73	0.14
S_{out1}	45.74	0.6	0.15	S_2	0.05	-0.45
S_{out2}	27.6	0.36	0.1	α_e	87.99	12.99

90°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.05	1	0	S_1	-0.73	0.27
S_{out1}	39.55	0.82	0.06	S_2	-0.5	-0.5
S_{out2}	22.76	0.47	0.02	α_e	107.36	17.36

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	64.95	1	0	S_1	-0.81	0.19
S_{out1}	51.67	0.8	0.03	S_2	-0.39	-0.39
S_{out2}	28.69	0.44	-0.01	α_e	102.87	12.87

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	71.66	1	0	S_1	-0.83	0.17
S_{out1}	56.3	0.79	0.02	S_2	-0.35	-0.35
S_{out2}	30.92	0.43	-0.02	α_e	101.44	11.44

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	76.4	1	0	S_1	-0.84	0.16
S_{out1}	60.82	0.8	0.03	S_2	-0.37	-0.37
S_{out2}	33.12	0.43	-0.02	α_e	101.8	11.8

105°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.31	1	0	S_1	-0.62	0.25
S_{out1}	44.04	0.91	0.06	S_2	-0.79	-0.29
S_{out2}	26.21	0.54	0.09	α_e	115.93	10.93

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	65.33	1	0	S_1	-0.7	0.17
S_{out1}	57.82	0.89	0.03	S_2	-0.68	-0.18
S_{out2}	33.41	0.51	0.05	α_e	112.08	7.08

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	72.13	1	0	S_1	-0.72	0.14
S_{out1}	63.08	0.87	0.02	S_2	-0.64	-0.14
S_{out2}	36.12	0.5	0.04	α_e	110.73	5.73

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	76.84	1	0	S_1	-0.73	0.13
S_{out1}	68.22	0.89	0.04	S_2	-0.67	-0.17
S_{out2}	38.8	0.5	0.05	α_e	111.12	6.12

120°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.59	1	0	S_1	-0.26	0.24
S_{out1}	44.37	0.91	-0.0	S_2	-1.0	-0.14
S_{out2}	30.41	0.63	0.05	α_e	127.75	7.75

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	65.74	1	0	S_1	-0.33	0.17
S_{out1}	58.25	0.89	-0.03	S_2	-0.89	-0.03
S_{out2}	39.15	0.6	0.02	α_e	124.77	4.77

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	72.62	1	0	S_1	-0.36	0.14
S_{out1}	63.65	0.88	-0.04	S_2	-0.85	0.01
S_{out2}	42.48	0.58	0.01	α_e	123.62	3.62

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	77.25	1	0	S_1	-0.36	0.14
S_{out1}	68.82	0.89	-0.02	S_2	-0.89	-0.02
S_{out2}	45.71	0.59	0.02	α_e	123.98	3.98

135°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.57	1	0	S_1	0.22	0.22
S_{out1}	39.66	0.82	-0.04	S_2	-1.03	-0.03
S_{out2}	33.35	0.69	0.03	α_e	140.94	5.94

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	65.74	1	0	S_1	0.15	0.15
S_{out1}	51.79	0.79	-0.07	S_2	-0.92	0.08
S_{out2}	43.12	0.66	0.0	α_e	139.53	4.53

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	72.71	1	0	S_1	0.12	0.12
S_{out1}	56.53	0.78	-0.08	S_2	-0.88	0.12
S_{out2}	46.9	0.65	-0.01	α_e	138.94	3.94

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	77.35	1	0	S_1	0.13	0.13
S_{out1}	61.01	0.79	-0.06	S_2	-0.92	0.08
S_{out2}	50.55	0.65	-0.0	α_e	139.17	4.17

150°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.66	1	0	S_1	0.63	0.13
S_{out1}	32.21	0.66	-0.02	S_2	-0.88	-0.02
S_{out2}	34.26	0.7	0.02	α_e	152.81	2.81

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	65.77	1	0	S_1	0.57	0.07
S_{out1}	41.57	0.63	-0.05	S_2	-0.77	0.1
S_{out2}	44.36	0.67	-0.01	α_e	153.21	3.21

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	72.71	1	0	S_1	0.54	0.04
S_{out1}	45.2	0.62	-0.06	S_2	-0.73	0.14
S_{out2}	48.25	0.66	-0.02	α_e	153.34	3.34

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	77.41	1	0	S_1	0.56	0.06
S_{out1}	48.68	0.63	-0.06	S_2	-0.76	0.11
S_{out2}	52.01	0.67	-0.01	α_e	153.3	3.3

165°

Gesamter Bereich

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	48.55	1	0	S_1	0.98	0.11
S_{out1}	21.33	0.44	-0.02	S_2	-0.52	-0.02
S_{out2}	32.63	0.67	0.02	α_e	166.0	1.0

Bereich -50

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	65.54	1	0	S_1	0.92	0.05
S_{out1}	26.73	0.41	-0.05	S_2	-0.41	0.09
S_{out2}	42.12	0.64	-0.01	α_e	168.07	3.07

Bereich -100

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	72.39	1	0	S_1	0.89	0.02
S_{out1}	28.78	0.4	-0.06	S_2	-0.36	0.14
S_{out2}	45.67	0.63	-0.02	α_e	168.88	3.88

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereich -150

	GW	GW^n	ΔGW		Ergebnis	ΔS_n bzw. $\Delta\alpha$
S_{LC}	77.14	1	0	S_1	0.91	0.05
S_{out1}	30.77	0.4	-0.06	S_2	-0.38	0.12
S_{out2}	49.11	0.64	-0.02	α_e	168.69	3.69

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Formelzeichen

Lateinische Buchstaben

Zeichen	Bedeutung
a	Absorptionsgrad
A	Fläche
B	Bestrahlstärke
B	magnetische Flussdichte
c_0	Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
E	elektrische Feldstärke
$E(z,t)$	Wellenfunktion
$E_x(z,t)$	Wellenfunktion in x-Richtung
$E_y(x,t)$	Wellenfunktion in y-Richtung
E_0	Amplitude der Wellenfunktion
E_{0x}	Amplitude der Wellenfunktion in x-Richtung
E_{0y}	Amplitude der Wellenfunktion in y-Richtung
f	Frequenz
h	Planksches Wirkungsquantum
I	Intensität
I	Leistungsdichte
k	Boltzmann-Konstante
k	Konstante
L_λ	spektrale Strahldichte
M	flächenspezifische Ausstrahlung
M	Müller-Matrix
M^S	spezifische Ausstrahlung
M_λ^S	spektrale flächenspezifische Ausstrahlung
n	Brechzahl bzw. Brechungsindex
$\vec{n}$	Einheitsvektor (Direktor)
r	Reflexionsgrad
r, g, b	RGB-Farbwerte
R, G, B	Faktoren zur Berechnung der Farbwerte
S	Ordnungsparameter
S	Stokes-Vektor
S_0	Gesamtintensität
S_1	linear horizontal bzw. vertikal polarisierter Anteil
S_2	linear um $\pm$ 45° polarisierter Anteil
S_3	links- bzw. rechtsdrehender zirkular polarisierter Anteil
t	Transmissionsgrad

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

t	Zeit
T	Temperatur
u	Ausbreitungsgeschwindigkeit
U	elektrische Spannung
x, y, z	Kartesisches Koordinatensystem
Z	Wellenwiderstand

Griechische Buchstaben

Zeichen	**Bedeutung**
α	Ausrichtung des Polarisators
α	Hilfswinkel
α_B	Brewster-Winkel
α_1	Einfallswinkel
α_2	Brechungswinkel
β	Ausrichtung des Flüssigkristalls
β	Polarwinkel
γ	Ausrichtung des Analysators
δ	Phasenverschiebung
δ_x	Phasenverschiebung in x-Richtung
δ_y	Phasenverschiebung in y-Richtung
ε	Emissionsgrad
ε	relative Dielektrizitätskonstante
ε_0	elektrische Feldkonstante
θ	Orientierungswinkel
λ	Wellenlänge
μ	relative Permeabilität
μ_0	magnetische Feldkonstante
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante
τ	Transmissionsgrad
φ	Azimutwinkel
φ	Verdrehungswinkel des Direktors
Φ	Strahlungsleistung
χ	Elliptizität
ψ	Orientierungswinkel
Ω	Raumwinkel

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Indizes

Zeichen	Bedeutung
A	Analysator
abs	absorbiert
b	Bestrahlung
dgl	durchgelassen
e	extraordinary
ein	einfallend
in	eingehend
LC	Flüssigkristall
o	ordinary
out	ausgehend
ref	reflektiert

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abbildungsverzeichnis

2.1 Elektromagnetische Welle . . . 3
2.2 Elektromagnetisches Spektrum . . . 3
2.3 Plancksches Strahlungsgesetz . . . 6
2.4 Strahlung eines Flächenelements . . . 7
2.5 Polarisationsellipse . . . 10
2.6 Beispiele für Polarisationszustände . . . 10
2.7 Polarisation durch Reflexion . . . 11
2.8 Polarisation durch Dichroismus . . . 11
2.9 Unterschiedliche Phasen eines Flüssigkristalls . . . 15
2.10 Strukturtypen von Flüssigkristallen . . . 16
2.11 LC-Molekül . . . 17

3.1 EK-3430 . . . 19
3.2 Spektrale flächenspezifische Ausstrahlung des Emitters . . . 19
3.3 Bandpassfilter . . . 20
3.4 Transmissionswerte des FB 1070-10 . . . 20
3.5 Transmissionswerte des BK 1500-090-B . . . 21
3.6 Glan-Thompson Polarisationsprisma . . . 22
3.7 Reflexionsgrad der AR-beschichteten Linse . . . 22
3.8 LCC1111-C LCVR . . . 23
3.9 Phasenverschiebung in Abhängigkeit der Spannung bei unterschiedlichen Wellenlängen . . . 23
3.10 Transmission des *LCC1111-C* . . . 24
3.11 CamIR^{1550} . . . 25
3.12 Empfindlichkeit der CamIR^{1550} . . . 25
3.14 Empfindlichkeit der *TXG03* . . . 26
3.15 *Arduino UNO R3* . . . 27

4.1 Allgemeiner Versuchsaufbau . . . 29
4.2 Definition der Winkel α, β und γ . . . 30
4.4 Ausgangsintensität $S_{0out}(\delta(U))$ . . . 32
4.5 $\alpha\left(\frac{S_2}{S_1}\right)$ . . . 35
4.6 $S_{out1}(\alpha)$ und $S_{out2}(\alpha)$ . . . 35
4.7 Lösungsellipse . . . 37
4.8 Aufnahmen zur Bestimmung des Winkels α . . . 38
4.9 Ausschwenkbarer Analysator . . . 38
4.10 Farbanteile in Abhängigkeit von α . . . 39
4.11 Färbung der Bilder bei unterschiedlichen Winkeln α . . . 39

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

4.12 Spannungsversorgung und -messung mittels Arduino 40
4.13 Schaltung 40

5.1 Aufnahmen bei verschiedenen Spannungen bei 1070 nm 41
5.2 Ermittelte Kennlinien des Flüssigkristalls bei 1070 nm 42
5.3 Analysierte Bereiche 43
5.4 Ergebnisse D1 44
5.5 Ergebnisse D2 45
5.6 Gegenüberstellung der Grauwerte D2 46
5.7 Lösungsellipse D2 46
5.8 Ergebnisse D3 47
5.9 Gegenüberstellung der Grauwerte D3 48
5.10 Lösungsellipse D3 48
5.11 Ergebnisse D4 49
5.12 Gegenüberstellung der Grauwerte D4 50
5.13 Lösungsellipse D4 50
5.14 Ergebnisse D5 51
5.15 Gegenüberstellung der Grauwerte D5 52
5.16 Lösungsellipse D5 52
5.17 Ergebnisse D6 53
5.18 Gegenüberstellung der Grauwerte D6 54
5.19 Lösungsellipse D6 54

6.1 Verstärung 0 dB 55
6.2 Verstärung 24 dB 56
6.3 Vergleich der Aufnahmen bei 1070 nm 57
6.4 Auswertung der Pixelreihen 57
6.6 Abweichungen der Ergebnisse 59
6.7 Grauwerte bei Variation von δ_1 60
6.8 Grauwerte bei Variation von β 60
6.9 Lösungsellipse bei Variation von β 61
6.10 Grauwerte bei Variation von γ 62
6.11 Lösungsellipse bei Variation von γ 62
6.12 Einfluss der Blende auf die Aufnahmen 63
6.13 Vignettierung 64
6.14 Lösungsellipse bei verschiedenen Aperturen der Blende 64
6.15 Grauwertverläufe bei verschiedenen Aperturen der Blende 65
6.16 Grauwertänderung durch die Apertur der Blende 66
6.17 Vergleich der Aufnahmen mit und ohne Analysator 67
6.18 Grauwerte bei Variation von t_A 68
6.19 Lösungsellipse bei Variation von t_A 69
6.20 Grauwerte in Abhängigkeit der Zeit 70
6.21 Grauwerte in Abhängigkeit der Zeit 71
6.22 Variation der Belichtung 72

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

6.23 Variation in Abhängigkeit der Verstärkung 72
6.24 Verteilung und zeitlicher Verlauf der Grauwerte 73
6.25 Lösungsellipse für verschiedene ausgewertete Bereiche aus Durchgang 6 . . 75
6.26 Auswertung über den gesamten Bildbereich 76
6.27 Auswertung über einzelne Pixel (Originalintensität) 76
6.28 Auswertung über einzelne Pixel (einheitliche Intensität) 77
6.29 Auswertung über einzelne Pixel (Abweichungen) 77
6.30 Verteilung der Ergebnisse 78

8.1 Konstruktionsdaten des EK-3430 84

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Tabellenverzeichnis

2.1 Stokes-Vektoren für verschiedene Polarisationszustände 13
2.2 Beispiele für Müller-Matrizen 14

3.1 Auszug aus den technischen Daten der CamIR^{1550} 25
3.3 Auszug aus den technischen Daten der *TXG03* 26

4.1 Variation der Grauwerte bei 0° 36
4.2 Variation der Grauwerte bei 105° 36
4.3 Variation der Grauwerte bei 150° 36

5.1 Ergebnisse D1 44
5.2 Ergebnisse D2 45
5.3 Ergebnisse D3 47
5.4 Ergebnisse D4 49
5.5 Ergebnisse D5 51
5.6 Ergebnisse D6 53

6.1 Einfluss des Transmissioswertes t_A 68
6.2 Statistische Kennwerte 74

8.1 Sollwerte für Stokes-Parameter und Grauwerte bei den eingestellten Winkeln 85

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Literaturverzeichnis

Baehr, H., D.; Stephan, K.: *Wärme- und Stoffübertragung*; 5.Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006

Bäker, M.: *Funktionswerkstoffe: Physikalische Grundlagen und Prinzipien*; Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014

Collett, E.: *Field Guide to Polarization*; SPIE field guides, v. FG05, Bellinham Washington, 2005

Deininger, C.: *Prozessüberwachung in der Lasermaterialbearbeitung: Qualifizierung von Verfahren und Systemtechniken*; WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2006

Demtröder, W.: *Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper*; 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010

Drobniak, P.: *Measurement of the state of polarization of partially linear polarised infrared radiation by means of nematic liquid crystals*, Technische Universität Wien, 2016

Eichler, J.; Eichler, H., J.: *Laser: Bauformen, Strahlführung, Anwedungen*; 6. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006

Eichler, H., J.; Kronfeldt, H.- J.; Sahm, J.: *Das neue Physikalische Grundpraktikum*; 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016

Frühauf, N.: *Physikalische Eigenschaften von Flüssigkristall-Zellen - Arbeitsunterlagen zum Grundlagenpraktikum, Versuch 171*; Universität Stuttgart, Institut für Großflächige Mikroelektronik

Haberlag, B.; Lüttig, A., K.: *Flüssigkristalle - Seminararbeit im Fach Physikalische Chemie zur Vorlesung Kolloid- und Grenzflächenchemie im SS 2006 (PC V)*; Technische Universität Braunschweig, Fakultät für Lebenswissenschaften, Braunschweig, 2006

VDI-Wärmeatlas: *Strahlung technischer Oberflächen*; 10. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN