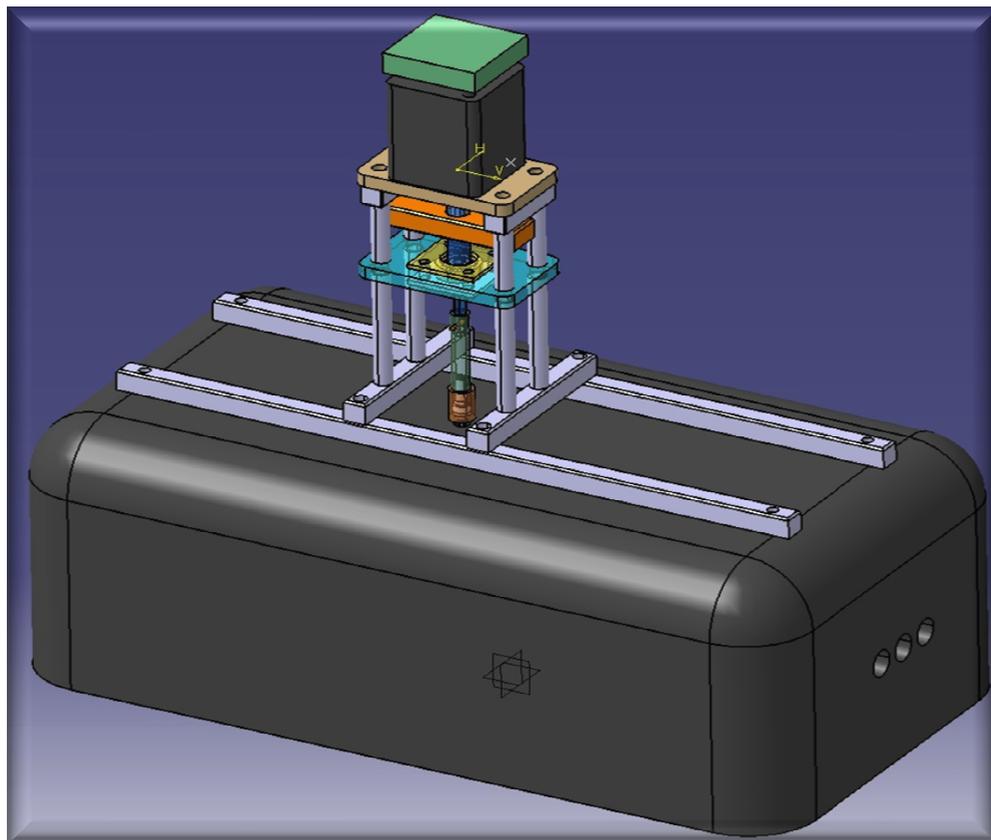


Automatisierung einer Kristallpositionseinstellung an einem OPO-Modul.

Diplomarbeit
Sebastian Meyn
Mat.Nr. 1803406



Kontakt:
Sebastian Meyn
Alter Zollweg 67b
22147 Hamburg

e-mail:
Sebmeyn@gmx.de
Sebastian.Meyn@haw-hamburg.de



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	viii
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 Laserspektroskopie	3
2.2 Das OPO-Modul	8
3 Die Aufgabe	12
3.1 Die Anforderungen an den Antrieb	13
3.2 Die Anforderungen an die Konstruktion	14
3.3 Die Anforderungen an die Steuerung	16
4 Die Lösung	18
4.1. Der Antrieb	19
4.2 Die Konstruktion	22
4.2.1 Das Grundgrüst	22
4.2.2 Das Gestell	24
4.2.3 Die Welle	25
4.2.4 Der mechanische Anschlag	27
4.2.5 Das Werkzeug mit Höhenausgleich	29
4.3 Die Steuerung	34
4.3.1 Die Modulsprache	34
4.3.2 Das Programm	37



5	Die Versuche	41
5.1	Die Versuchsbeschreibung	41
5.2	Die Versuchsdurchführung	43
5.3	Die Messungen	46
5.3.1	Die Messreihe 1	46
5.3.2	Die Messreihe 2	53
5.4	Das Versuchsergebnis	54
6	Fazit	55

Anhang

A	Literaturverzeichnis	
---	----------------------	--



Abbildungsverzeichnis

Abb.2.1 Funktionsprinzip Photoakustische Spektroskopie[3]	7
Abb. 2.2 Vereinfachter Grundaufbau eines OPO[4]	9
Abb. 2.3 Das OPO-Modul[5]	10
Abb. 4.1 Ein erster Lösungsansatz	18
Abb. 4.2 Der Antrieb	19
Abb. 4.3 Verbindung Antrieb/PC[6]	20
Abb. 4.4 Das Grundgerüst	23
Abb. 4.5 Das Gestell	24
Abb. 4.6 Die Welle als Einzelteil	26
Abb. 4.7 Die Welle in der Vorrichtung	26
Abb. 4.8 Der Schlitten	27
Abb. 4.9 Der mechanische Anschlag in der Vorrichtung	28
Abb. 4.10 Das Werkzeug mit seinen Komponenten	29
Abb. 4.11 Der Höhenausgleich	30
Abb. 4.12 Die Vorrichtung als CAD-Modell	31
Abb. 4.13 Die Vorrichtung	32
Abb. 4.14 Der mechanische Anschlag 2	33
Abb. 4.15 Der Höhenausgleich 2	34
Abb. 4.16 Das Frontpanel	38
Abb. 5.1 schematischer Versuchsaufbau	42

Abb. 5.2 Verlauf der Leistungsmaxima	42
Abb. 5.3 allgemeine Form der Messergebnisse	45
Abb. 5.4 allgemeine Form der Messergebnisse 2	45
Abb. 5.5 Spektrum bei 3,095mm 27.01.12	48
Abb. 5.6 Spektrum bei 3,095mm 30.01.12	48
Abb. 5.7 Spektrum bei 9,73mm 0-11,4mm	49
Abb. 5.8 Spektrum bei 9,73mm 11,4-0mm	49
Abb. 5.9 Spektrum bei 9,73mm 27.01.2012	51
Abb. 5.10 Spektrum bei 9,73mm 30.01.12	51
Abb. 5.11 Ergebnisse Nullpunktkalibrierung	54



Tebellenverzeichnis

Tab. 3.1 Anforderungen an die Aufgabe	17
Tab. 4.1 KP/AP	21
Tab. 4.2 Zusammensetzung eines Befehls [7]	35
Tab. 4.3 Zusammensetzung einer Antwort [7]	35
Tab. 4.4 Befehl "Move to Position" Dezimal [7]	36
Tab. 4.5 Befehl "Move to Position" Hexadezimal [7]	36
Tab. 4.6 Einstellparameter	39
Tab. 5.1 konstant gehaltene Variablen	42
Tab. 5.2 Messreihe1 Wellenlängen höchster Intensität	46
Tab. 5.3 Vergleich gleicher Versuchstag & ungleiche Anfahrriichtung	52
Tab. 5.4 Vergleich gleiche Anfahrriichtung & ungleiche Versuchstage	52
Tab. 5.5 Ergebnisse nach Nullkalibrierung	53

1 Einleitung

Die Erforschung und Entwicklung neuer Verfahren für die verschiedensten Bereiche der Industrie, Wirtschaft und Gesellschaft sind die Grundlage für den Fortschritt in der modernen Welt. Der Anspruch an solche Verfahren tendiert zu, immer schneller und immer genauer, denn Zeit ist Geld und über Genauigkeit lässt sich Qualität definieren. Beides ist die Basis für Erfolg. Solche Verfahren verbergen sich ebenfalls hinter dem Begriff der Spektroskopie. Auf Grund der vielfältigen Möglichkeiten unterteilt sich diese in mannigfaltige Gebiete, die vielerorts angewendet und weiterentwickelt werden.

Das "Institut für physikalische Sensorik", im weiteren IPS genannt, der Hochschule für angewandte Wissenschaften in Hamburg, beschäftigt sich neben der Ausbildung von Ingenieuren in den Grundlagen der experimentellen Physik, mit einem Verfahren der Laserspektroskopie, genauer der Photoakustischen Spektroskopie, deren Hauptanwendung in der Analyse von Gaszusammensetzungen liegt. Ziel ist die Optimierung dieser Methode, genauer die Entwicklung von Sensoren für einen Einsatz im medizinischen Bereich der Diagnostik. Da für bestimmte Krankheitsbilder die Zusammensetzung der Atemluft charakteristisch sein kann, ist deren Analyse für eine mögliche nichtinvasive Frühdiagnose sehr wertvoll. Von großem Vorteil ist dabei die hohe Sensitivität der Photoakustischen Spektroskopie, welche es ermöglicht schon minimale Anteile bestimmter Moleküle in einem Gas zu ermitteln. Auch in anderen Bereichen ist die Laserspektroskopie einsetzbar, so z.B. in der Abgasanalyse oder bei der Analyse von Schadstoffbelastungen in der Umgebungsluft

Die nachfolgend beschriebene Arbeit wurde im IPS der Hochschule für angewandte Wissenschaften in Hamburg durchgeführt und hatte die Optimierung des Versuchsaufbaus zur oben beschriebenen Thematik zum Ziel.

Im Kapitel 2 werden die Grundprinzipien der Laserspektroskopie, im speziellen der Photoakustischen Spektroskopie vorgestellt. Des weiteren wird die im IPS eingesetzte Laserquelle beschrieben. Die Schwachpunkte dieser führen zur eigentlichen Aufgabe dieser Diplomarbeit.



Einleitung

Im Kapitel 3 dieser Arbeit werden die Anforderungen an diese Arbeit hergeleitet und zusammengefasst. Es folgt im Kapitel 4 die chronologische Umsetzung der Aufgabe mit den detailliert dargestellten Lösungsschritten. Im letzten Abschnitt, dem Kapitel 5, werden die Lösungen dieser Diplomarbeit durch eine Versuchsreihe auf ihren Erfolg hin untersucht.

2 Grundlagen

2.1 Laserspektroskopie

In diesem Abschnitt werden einige Verfahren aufgeführt. Im speziellen wird auf die Photoakustische Spektroskopie genauer eingegangen, da sie die im IPS angewendete Methode darstellt.

Der allgemeine Begriff der Spektroskopie umfasst alle Verfahrensarten die sich mit der spektralen Untersuchung von Materie beschäftigen, wobei eine große Anzahl derer unter dem Begriff der Laserspektroskopie zusammengefasst werden. Zur Laserspektroskopie gehören eine Reihe von Verfahren die sich durch unterschiedliche Funktionen und Einsatzbereiche voneinander unterscheiden, sie eint allerdings die Quelle elektromagnetischer Strahlung die sie verwenden, den Laser.

Die jeweiligen Verfahren der Laserspektroskopie nutzen die Wechselwirkung von Materie mit elektromagnetischer Strahlung. Diese Wechselwirkung der Materie, genauer gesagt der Atome aus der die Materie besteht, ist für jedes zugehörige Element charakteristisch, und kann dadurch unter anderem zu deren Identifikation genutzt werden.[1]

Die auftretenden Wechselwirkungen werden als Absorption und Emission bezeichnet. Durch den Einfluss der elektromagnetischen Strahlung, eine Form der Energie, werden Atome angeregt und dadurch von ihrem Ausgangsenergieniveau (E_1) auf ein anderes Energieniveau gebracht. Dabei wird Energie von dem Atom absorbiert oder emittiert. Ist das anfängliche Energieniveau kleiner als das Endenergieniveau (E_2) wird Energie absorbiert, also vom Atom aufgenommen, im entgegengesetzten Fall wird Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung emittiert, also vom Atom abgegeben.[1]

Es gilt also,

$$\text{für Absorption: } E_1 - E_2 < 0$$

$$\text{für Emission: } E_1 - E_2 > 0$$

Die Absorption und Emission von Energie in Form elektromagnetischer Strahlung findet nach der Lichtquantenhypothese von Albert Einstein nur in Portionen statt, diese Portionen werden Photonen genannt und entsprechen dem Produkt aus Planckschem Wirkungsquantum (h) und der Frequenz (f) der elektromagnetischen Strahlung. Daraus folgt, dass die absorbierte oder emittierte Energie eines Atoms, also die Differenz des Energieniveaus des Moleküls vor und nachher, einem oder einem ganzzahligen vielfachen eines Photons entspricht. Es gilt,

$$q * h * f = E_1 - E_2$$

wobei q ganzzahlige Werte annimmt, und $h = 6,626 * 10^{-34} \text{ Js}$ ist. Die Frequenz f ist umgekehrt proportional zur Wellenlänge λ , der elektromagnetischen Strahlung.[1]

Durch die Messung des Energieniveaus eines Atoms, während oder nach der Anregung durch die elektromagnetische Strahlung, lässt sich dann z.B. eine Aussage über dessen Identität treffen. Die Messung des Energieniveaus findet dabei auf unterschiedliche und indirekte Weise statt.

Ist z.B. bekannt, dass ein Molekül eines beliebigen Gases durch die Anregung mit elektromagnetischer Strahlung der Wellenlänge λ , Energie absorbiert und somit sein Energieniveau erhöht, kann durch Messung des Energieniveaus nach der Anregung die Existenz dieses Moleküls im Gas nachgewiesen werden. Dabei lässt sich ebenfalls eine Aussage über dessen Konzentration ableiten.

Eine der Hauptaufgaben bei der Anwendung der Laserspektroskopie ist demnach die Messung der spektralen Zusammensetzung der elektromagnetischen Strahlung, welche absorbiert oder emittiert wird. Dazu kommen unterschiedliche Geräte zum Einsatz. Die Qualität der Messeinrichtung hängt dabei entscheidend von dessen Genauigkeit ab. Spektrographen und Monochromatoren sind bewehrte Geräte für spektroskopische Untersuchungen, jedoch sind im Laufe der Zeit immer höhere Anforderungen an die Genauigkeit gestellt worden, so dass sich die Palette der verwendeten Geräte stark erweitert hat. Weitere Geräte, die in der Laserspektroskopie zum Einsatz kommen, sind Fourier-Spektrometer,

Bildverstärker, optische Diodenanordnungen oder CCD-Detektoren, um nur einen kleinen Teil zu nennen. Auch die Verknüpfung mit moderner Computertechnik ist gegeben.[1]

Die unterschiedlichen Verfahren der Laserspektroskopie lassen sich noch in zwei verschiedene Arten der Anwendung einteilen. Wird z.B. ein Gas mit einem Laser angeregt, wird Energie von den Molekülen absorbiert und man spricht man von Absorptionsspektroskopie. Die zweite Variante nutzt die Tatsache, dass die Moleküle im Gas nach einer Anregung wieder auf ihr ursprüngliches Energieniveau zurückfallen und dafür Energie emittieren, wird die emittierte Energie dann gemessen, spricht man von Emissionsspektroskopie. Die Messung der Emission und Absorption findet indirekt statt, wobei eine Möglichkeit die Intensitätsmessung des Lasers vor und nach dem durchdringen des Gases darstellt. Die Art der Absorptions- und Emissionsmessung charakterisiert dabei die Verfahren der Laserspektroskopie ebenfalls.

Im IPS wird, wie schon erwähnt, mit dem Verfahren der Photoakustischen Spektroskopie (PAS) gearbeitet. Die Anstrengungen des IPS zielen dabei auf eine Entwicklung von Sensoren für einen Einsatz im medizinischen Bereich ab. Grundlage ist der Zusammenhang zwischen Bestandteilen der menschlichen Atemluft und physischen Erkrankungen. Als Beispiel zu nennen wäre, dass das Vorkommen des Moleküls Hydrogenperoxid (H_2O_2) im Atem eines Patienten, auf eine asthmatische Erkrankung hinweist. Die hohe Sensitivität der Verfahren der Laserspektroskopie prädestinieren diese gerade zu für einen Einsatz in der Medizin.[3]

Im folgenden werden aus diesem Grund einige Verfahren der Laserspektroskopie und deren Prinzipien vorgestellt.

Verfahren der Laserspektroskopie:

Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy (TDLAS)

Bei der TDLAS wird durch Messung der Absorption, die Konzentration eines Gases bestimmt. Dabei wird das in einem Behälter befindliche Gas mit dem Laser bestrahlt. Durch eine Differenzmessung der Intensitäten des Lasers vor und nach dem Gas, lässt sich die Konzentration einer Komponente bestimmen. Um die entsprechende Komponente zu untersuchen ist die Wellenlänge des Lasers auf die für die Komponente charakteristische Wellenlänge einzustellen, dabei sind die Ergebnisse umso genauer, je schmaler das Spektrum des Lasers ist.[3]

Cavity ringdown Spectroscopy (CRDS)

Bei der CRDS handelt es sich ebenfalls um ein Absorptionsverfahren. Dabei wird die Laserstrahlung ebenso durch einen Behälter mit Gas geführt. Am Ein und Austritt des Behälters befindet sich jeweils ein Spiegel, welcher einen Teil des Laserstrahls reflektiert und nur einen Bruchteil hindurch lässt. Aus diesem Grund wird die Laserstrahlung zwischen den Spiegeln hin und her reflektiert, wobei seine Intensität, durch Absorption und den Teil der durch den Spiegel tritt, abklingt. Mit einem Detektor wird die Intensität des Lasers hinter dem zweiten Spiegel gemessen. Je schneller die Intensität hinter dem zweiten Spiegel abklingt, desto mehr wird zwischen den Spiegeln absorbiert und es lassen sich Rückschlüsse auf die Zusammensetzung bzw. die Konzentration einzelner Komponenten in dem Gas ziehen. Dem Prinzip des CRDS folgen noch weitere Verfahren wie z.B. die "Cavity enhanced absorption spectroscopy (CEAS)".[3]

Photoacoustic Spectroscopy (PAS)

Bei der PAS wird, wie bei den vorweg beschriebenen Verfahren, ein Gas mit einem Laser einer bestimmten Wellenlänge moduliert bestrahlt und dadurch angeregt. Eine Molekülanregung findet dabei nur kurz, dafür aber in sehr häufiger Folge, typischerweise im niedrigen kHz-Bereich, statt. Bei der Anregung absorbieren die Moleküle einen Teil der Photonen, stoppt die Anregung wird die Energie vom Molekül wieder emittiert. Die Moleküle werden also ständig

wechselnd von einem Energiezustand auf einen anderen gebracht. Das Molekül erfährt dabei eine Aufeinanderfolge von Erwärmung und Abkühlung, und vergrößert und verkleinert dabei ständig wechselnd sein Volumen. Durch diese Volumenänderung wird eine akustische Welle im Gas induziert. Man spricht bei diesem Effekt auch vom Photoakustischen Effekt. Diese akustischen Wellen können nun von speziellen Mikrofonen aufgezeichnet werden. Die Intensität der akustischen Wellen gibt dabei Aufschluss über die Konzentration eines Stoffes in einem Gemisch. Bei der PAS sind monochromatische Lichtquellen, mit einem großen durchstimmbaren Wellenlängenbereich und einer möglichst kleinen spektralen Breite von Nöten, um dabei eine Anwendung auf viele verschiedene Moleküle zu zulassen.[3] Die nachfolgende Abbildung zeigt den prinzipiellen Versuchsaufbau bei der Photoakustischen Spektroskopie.

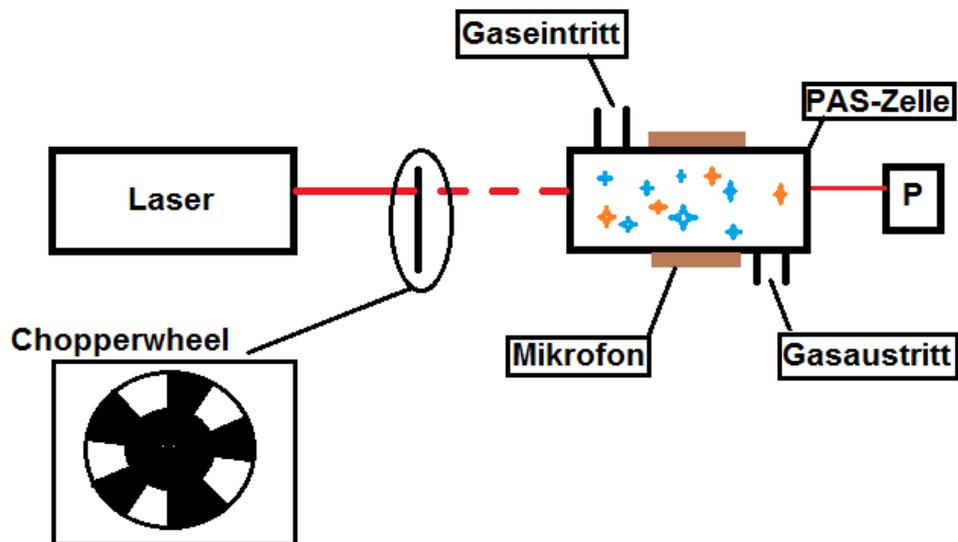


Abb.2.1 Funktionsprinzip Photoakustische Spektroskopie[3]

Durch das Chopperwheel wird die modulierte Anregung des Gases in der PAS-Zelle erreicht, indem dieses den Laserstrahl, durch drehen hindurch lässt oder abschirmt. Nach der PAS-Zelle wird die Leistung des Lasers gemessen, die Mikrofone nehmen die induzierte akustische Welle war.

2.2 Das OPO-Modul

Bei den eben vorgestellten Verfahren spielt der Laser eine entscheidende Rolle, die Auswahl eines geeigneten Lasers für den Einsatz in der Laserspektroskopie ist daher ein wichtiger Punkt bezüglich qualitativ hochwertiger Ergebnisse. Die Anforderungen an einen solchen Laser, um ihn für dieses Verfahren einsetzen zu können sind Schmalbandigkeit und Leistungsstabilität, sowie ein kontinuierlich durchstimmbarer Wellenlängenbereich.

Da speziell beim PAS, aber auch bei anderen Verfahren, ein breites Spektrum an Molekülen in einem Gas detektiert werden soll, muss der eingesetzte Laser über einen relativ großen Wellenlängenbereich kontinuierlich durchstimmbaar sein, um die verschiedensten Moleküle mit der für sie notwendigen Wellenlänge anzuregen. Optische parametrische Oszillatoren (OPO) bieten eine hervorragende Lösung für den Einsatz in der Laserspektroskopie und speziell in der PAS. In einem einzelnen Gerät untergebracht bieten OPO's, eine kompakte Lösung ein enorm breites Spektrum an kontinuierlich durchstimmbaren Wellenlängen mit den anderen notwendigen Eigenschaften bereitzustellen.[4]

Der Grundaufbau eines OPO's ähnelt dem eines konventionellen Lasers, dabei befindet sich ein nichtlinearer Kristall zwischen zwei Resonatorspiegeln. Ein starkes optische Feld (ω_p), dass durch einen Anregungslaser erzeugt wird, trifft auf den Kristall. Die dadurch induzierte nichtlineare Polarisierung innerhalb des Mediums (typischerweise Kaliumtitanylphosphat KTP) führt zu einer Abwärtskonvertierung der Anregungswelle in neue Bereiche niedrigerer Frequenzen bzw. höherer Wellenlängen, der Signalfrequenz (ω_s) und der Idlerfrequenz (ω_i), unter Erfüllung der Energieerhaltungsbedingung.

$$\omega_p = \omega_s + \omega_i$$

Werden die optischen Wellen in Phase gehalten, während sie sich durch den Kristall bewegen, kann die erzeugte Signal- und Idlerwelle verstärkt werden und Laserstrahlung kann dem Oszillator entzogen werden. Der optisch parametrische Verstärkungsprozess erlaubt es die Signal- und Idlerfrequenz über einen weiten

Grundlagen

Spektralbereich abzustimmen. Diese Abstimmung der Frequenz kann unter anderem ganz einfach durch Verdrehung des Kristalls vorgenommen werden, unterschiedliche Kristalle ermöglichen dabei unterschiedliche Wellenlängenbereiche. Die nachfolgende Abbildung 1.2. zeigt den vereinfachten Aufbau eines OPO.[4]

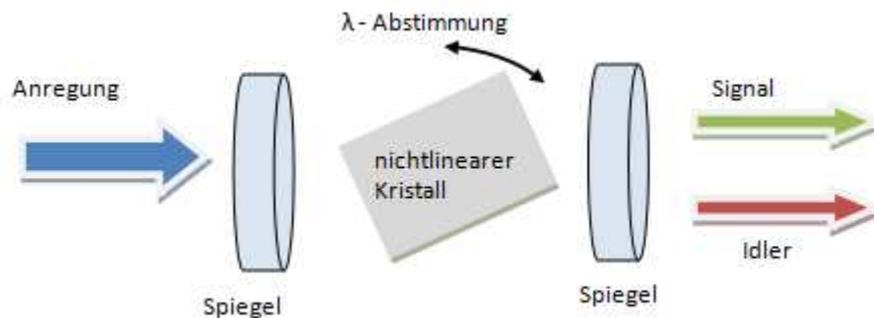


Abb. 2.2 Vereinfachter Grundaufbau eines OPO[4]

Im IPS wird ein OPO der Firma Aculight, mit der genauen Bezeichnung "Argos™ Model 2400 CW OPO" verwendet, dessen Eigenschaften und Funktionen zur Wellenlängeneinstellung im folgenden kurz vorgestellt werden. Die Gesamte Apparatur, welche den für das PAS benötigten Laser bereitstellt, besteht aus 3 Komponenten, der OPO-Pumpquelle, der OPO-Kontrolleinheit und dem OPO-Modul, letztgenanntes stellt den optischen parametrischen Oszillator, wie er oben grundlegend beschrieben wurde, dar.[5]

Die OPO-Kontrolleinheit ist mit dem OPO-Modul verbunden und regelt 3 Parameter von diesem, die Kristalltemperatur, die Blocktemperatur und den Etalon-Winkel. Dabei nehmen die Kristalltemperatur und der Etalon-Winkel direkten Einfluss auf die Wellenlänge. Diese beiden werden für eine Justierung der Wellenlänge eingesetzt, jedoch empfiehlt es sich diese im Betrieb konstant zu halten, genauso wie die Blocktemperatur.[5]

Die OPO-Pumpquelle stellt den Anregungslaser mit einer Wellenlänge von 1064nm bereit. Das OPO-Modul stellt damit, nach dem oben beschriebenen Prinzip, eine Idler-Frequenz und eine Signal-Frequenz zur Verfügung, zudem tritt der nicht gewandelte Anteil des Anregungslasers wieder heraus. Zu den bereits erwähnten Möglichkeiten der Wellenlängeneinstellung, bietet das OPO-Modul

Grundlagen

selbst eine weitere entscheidende Möglichkeit. Über die vertikale Position des Kristalls im optischen Feld, kann die Wellenlänge über den zur Verfügung stehenden Bereich abgestimmt werden. Der Grund dafür liegt begründet in der Art des Kristalls, da es sich im vorhandenen Aufbau um einen periodisch gepolten Kristall handelt. Diese Polung ist fächerförmig in den Kristall eingebracht und je nachdem wo das optische Feld den Kristall durchdringt verändert sich die Wellenlänge. Die Einstellung der Kristallposition, wird über eine Einstellschraube vorgenommen, sie befindet sich im Inneren des OPO-Moduls und ist über eine Öffnung im Gehäuse, mit einem Innensechskantschraubendreher zu erreichen. Der Einstellbereich erstreckt sich über 31 Schraubenumdrehungen, die einem Kristallpositionsbereich von 11,4mm entsprechen.[5] Die nachfolgende Abbildung 1.3 zeigt das OPO-Modul.

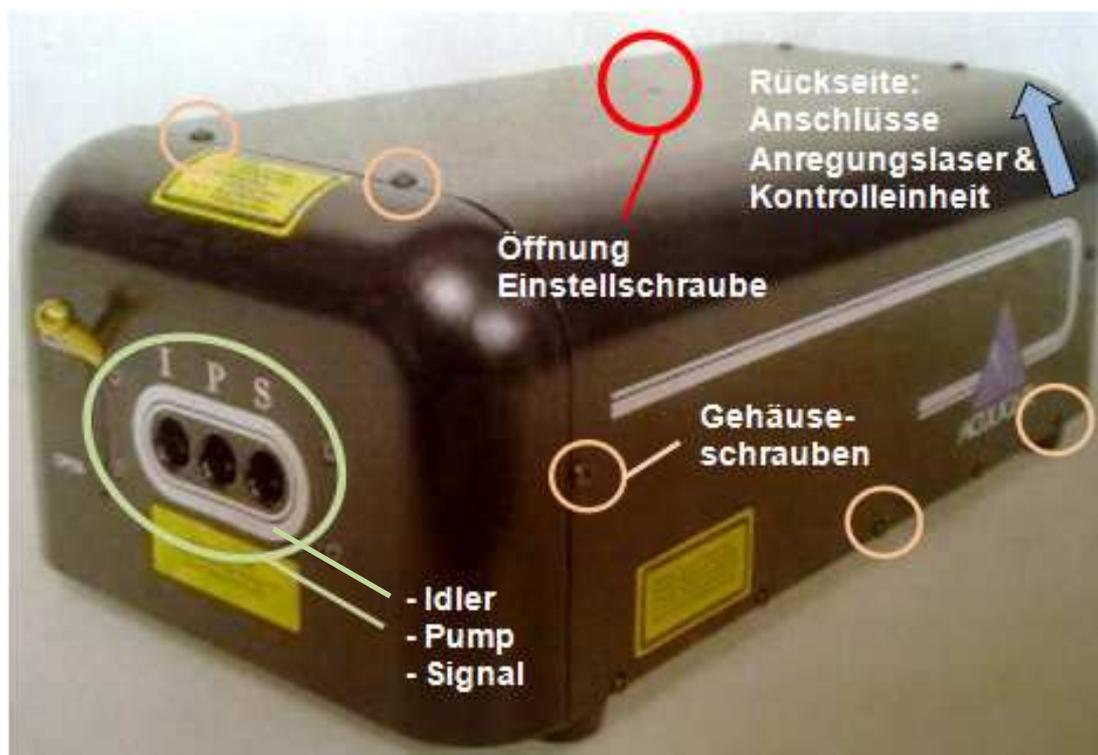


Abb. 2.3 Das OPO-Modul[5]

Die Einstellung der Wellenlänge über die Kristallposition, unterscheidet sich von den anderen genannten Einstellmöglichkeiten in soweit, dass sie das gesamte Spektrum der Wellenlänge abdeckt, die übrigen hingegen nehmen eine Justierung der durch die Kristallposition eingestellten Wellenlänge in einem kleinen Bereich vor. Für die Durchführung von Messreihen ist die Kristallpositionseinstellung demnach von enormer Bedeutung, gerade weil das gesamte Spektrum zur Identifizierung einer Gaszusammensetzung abgefahren werden muss. Eine aktuelle Positionsangabe des Kristalls findet dabei nicht statt, so dass es nicht möglich ist die gleiche Kristallposition mit ausreichender Genauigkeit mehrfach anzufahren. Ebenso findet die Einstellung der Kristallposition manuell statt, was den Komfort und den zeitlichen Aufwand, negativ beeinflusst. Für qualitativ gute Forschungsergebnisse in der Zukunft, ist es daher von großer Wichtigkeit, die eingestellte Kristallposition zu kennen und reproduzieren zu können. Ebenso ist es notwendig eine mögliche Reproduzierbarkeit der Wellenlänge über die Kristallposition zu untersuchen. Daraus ergibt sich die Aufgabe dieser Diplomarbeit. Über die Entwicklung und Herstellung einer Vorrichtung zur Automatisierung der Kristallpositionseinstellung, soll experimentell die Möglichkeit eines reproduzierbaren Zusammenhanges der Kristallposition zur Wellenlänge untersucht werden.

3. Die Aufgabe

Die Aufgabe dieser Diplomarbeit beinhaltet die Entwicklung, Konstruktion und Fertigung einer Vorrichtung, zur Automatisierung der Kristallpositionseinstellung an dem beschriebenen OPO-Modul. Dabei ist neben der Fertigung dieser Vorrichtung ebenfalls ein Programm zu entwickeln, welches die Steuerung der Vorrichtung und die Aufnahme der Kristallposition von einem PC aus ermöglicht. Das OPO-Modul mit den dazugehörigen Komponenten stellt eine hochwertige und kostspielige Investition des IPS dar. Ein Schaden am OPO-Modul wäre fatal, daher ist bei der Konstruktion auf die Sicherheit des OPO-Moduls zu achten und es sind keine direkten Veränderungen am OPO-Modul vorzunehmen, um eine einwandfreie Funktion des OPO-Moduls auch weiterhin zu gewährleisten.

Vor Beginn dieser Arbeit ist nicht abzusehen, ob sich die Wellenlänge über die Kristallposition reproduzieren lässt. Mit Abschluss der praktischen Aufgaben, also Konstruktion, Fertigung und Programmierung, ist durch Ansetzen einer Versuchsreihe die Reproduzierbarkeit zu überprüfen. Auch die einwandfreie Funktion der Vorrichtung ist dabei zu überprüfen. Aus zeitlichen Gründen ist es bei dieser Arbeit nicht möglich mehrere Varianten einer Vorrichtung zu erproben, daher hängt ein erfolgreicher Verlauf dieser Arbeit entscheidend von der sorgfältigen Konstruktion und präzisen Fertigung der Vorrichtung ab.

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden nun, die sich aus den Randbedingungen ergebenden Anforderungen an die Konstruktion dargestellt. Unter 3.1 die Anforderungen an den Antrieb, unter 3.2 die Anforderungen an die Konstruktion und im Abschnitt 3.3 die Anforderungen an die Steuerung.



3.1 Die Anforderungen an den Antrieb

Als erstes sollen die Anforderungen an den Antrieb der Vorrichtung besprochen werden, seine Auswahl nimmt entscheidenden Einfluss auf die Konstruktion dieser.

Bei der Auswahl des Antriebes ist auf eine kostengünstige und schnelle Beschaffung zu achten. Desweiteren soll der Antrieb rotatorisch stattfinden. Die Aufnahme der Kristallposition ist eine der wichtigsten Aufgaben des Antriebes. Um keine zusätzliche Messtechnik zu benötigen, muss er die Eigenschaft haben seine momentane Position zu erfassen und wiederzugeben. Über die kinematische Beziehung zwischen der Bewegung des Antriebes und der Bewegung des Kristalls lässt sich dann die Position des Kristalls von einem definierten Nullpunkt aus bestimmen und überwachen. Die Schrittweite der erfassten Antriebsposition soll dabei so fein wie möglich sein, da die Einstellung der Kristallposition nahezu Stufenlos stattfindet.

Die Möglichkeit einer Ansteuerung mit einem PC muss ebenfalls gegeben sein. Dabei sollte die Ansteuerung über die Software Labview der Firma National Instruments realisierbar sein, da die Verwendung dieser Software im IPS erprobt ist, und die nötigen Lizenzen bereits vorhanden sind.

Zur Ausstattung des Antriebes sollte auch eine Notabschaltung gehören, wobei der Antrieb automatisch abgeschaltet wird, sobald mechanische Endpositionen erreicht sind.

Einstellbare Betriebsparameter sind für den Antrieb ebenfalls unerlässlich, um die Eigenschaften des Antriebes den noch nicht bekannten, sich aus der Konstruktion der Vorrichtung ergebenden, Betriebsbedingungen anzupassen.

3.2 Die Anforderungen an die Konstruktion

I) Mechanisches Spiel, Nullpunkt:

Die Gegebenheiten des OPO-Moduls, machen es möglich eine bestimmte Kristallposition aus zwei Richtungen anzufahren. Der 11,4mm große Bereich, in dem sich die Kristallposition verstellen lässt, kann in den Richtungen von 0mm bis 11,4 mm oder von 11,4mm bis 0mm abgefahren werden, also von "oben" und "unten". Da die Messung oder Aufnahme der Kristallposition durch den Antrieb und nicht über separate Messtechnik erfolgt, ist das mechanische Spiel der gesamten Vorrichtung entscheidend für die exakte Bestimmung der Kristallposition. Liegt kein mechanische Spiel vor, so ist eine von oben angefahrne Position gleich einer von unten angefahrenen Position. Bei der Konstruktion ist daher ein möglichst kleines mechanisches Spiel einzuhalten, um eine exakte Positionsaufnahme zu gewährleisten.

Ebenso wichtig ist die Festlegung eines mechanischen Nullpunktes, von dem aus die Kristallposition aufgenommen werden kann. Der mechanische Endpunkt der Einstellschraube, also deren Anschlag bietet dabei eine Möglichkeit diesen Nullpunkt festzulegen.

II) Kraftübertragung zwischen Vorrichtung und Einstellschraube:

Die Einstellschraube befindet sich ca. 35mm im Inneren des OPO-Moduls, es handelt sich dabei um eine Innensechskantschraube mit einer Weite von 2mm. Die Öffnung des Gehäuses ist kreisförmig mit einem Durchmesser von 10mm. Die Vorrichtung muss die Aufnahme eines geeigneten Werkzeuges vorsehen, welches auf der einen Seite den Abstand der Einstellschraube zur Gehäuseöffnung überbrückt und zum anderen das von der Vorrichtung erzeugte Drehmoment in die Einstellschraube leitet.

III) Höhenausgleich

Das OPO-Modul besteht im Inneren des Gehäuses aus einem, verschraubten Block. In diesem Block befindet sich unter anderem der Kristall. Die Einstellschraube befindet sich an der Oberseite dieses Blockes, der über eine Bohrung mit Innengewinde verfügt, welche die Einstellschraube aufnimmt. Die genaue Koppelung von Einstellschraube und Kristall ist nicht bekannt, jedoch auch nicht grundsätzlich von Belangen. Die Einstellschraube wird im Betrieb von einem unteren Anschlag aus nach oben aus dem Block gedreht und positioniert dabei den Kristall. Diese Bewegung der Einstellschraube muss bei der Konstruktion der Vorrichtung berücksichtigt werden. Die dabei zurückgelegte Höhendifferenz beträgt vom Anschlag aus mindestens 11,4mm (31 Schraubenumdrehungen). Nach oben hin ist jedoch kein Anschlag zu erreichen, daher gelten die vom Hersteller angegebenen 31 Umdrehungen als möglicher Einstellbereich. Die Größe des Höhenausgleichs ist entsprechend der maximalen Höhendifferenz der Einstellschraube auszulegen.

Beim Herausdrehen der Einstellschraube wird diese einen Höhenausgleich der Vorrichtung automatisch bewegen, beim Hereindrehen der Einstellschraube bewegt sich die Einstellschraube jedoch von der Vorrichtung weg, der Höhenausgleich muss dieser Bewegung ebenso folgen.

IV) Sicherheit gegen Schäden am OPO-Modul

Wie schon erwähnt, können Schäden am OPO-Modul sehr kostenintensive Folgen haben. Die Materialbeschaffenheit des Blockes, in dem sich unter anderem der Kristall und die Einstellschraube befinden, und dazu das sehr feine Gewinde der Einstellschraube, lassen keine großen Belastungen zu. Ein Schaden am Innengewinde oder an der Einstellschraube, hätten nicht nur für das OPO-Modul sondern für das gesamte Projekt fatale Folgen. Eine Überbelastung der Einstellschraube ist also unbedingt durch entsprechende Mittel zu vermeiden. Dabei ist zum einen das Überdrehen der Schraube gegen ihren Anschlag, und auf der anderen Seite ein Herausdrehen der Schraube aus dem Block zu unterbinden. Eine mechanische Lösung ist hier zu bevorzugen, da sie eine niedrigere Ausfallwahrscheinlichkeit aufweist, als z.B. eine softwaretechnische Lösung.

V) weitere allgemeine Anforderungen

Wie unter I) beschrieben ist für eine exakte Kristallpositionsaufnahme, das mechanische Spiel der Vorrichtung zu minimieren. Für die Verbindung des Antriebes mit der Vorrichtung ist daher auf mechanische Spielfreiheit zu achten. Nur wenn die Konstruktion keinen Versatz zwischen Antrieb und Abtrieb vorsieht, kann auf zusätzliche Getriebe zur Überwindung der Abstände verzichtet werden. Die Achsen der Antriebswelle und Einstellschraube sollten daher kollinear verlaufen.

Die Befestigung der Gesamten Vorrichtung auf dem OPO-Modul ist ohne bauliche Maßnahmen am OPO-Modul oder am Versuchsaufbau zu realisieren. Dabei bietet die Verschraubung des Gehäuses mögliche Anbindungspunkte.

Die Fertigung der Vorrichtung ist in Eigenleistung durchzuführen, daher ist die Auswahl von Material und die Konstruktion selbst auf die Gegebenheiten der Werkstatt im IPS anzupassen. Zur Verfügung stehen eine Drehbank und eine Standbohrmaschine, sowie eine gute Auswahl an Werkzeugen.

3.3 Die Anforderungen an die Steuerung

Wie unter 3.1 bereits erwähnt soll die Steuerung der Vorrichtung über die Software Labview aus dem Hause National Instruments erfolgen. Die nötigen Lizenzen sind vorhanden und können verwendet werden. Labview bietet mit seiner einzigartigen Programmstruktur, wobei das programmieren mittels vorgefertigter Bausteine abläuft, eine gute Möglichkeit schnell und praxisorientiert kleinere Programmieraufgaben zu lösen.

Zu der hier zu lösenden Programmieraufgabe, gehört zum einen eine Benutzerfreundliche Oberfläche, die selbsterklärend ist und es dem Benutzer erlaubt, alle nötigen Steuerbefehle unkompliziert an den Antrieb der Vorrichtung zu übermitteln. Dabei ist die anzufahrende Kristallposition der wichtigste Befehl, den das Programm bereitstellen muss. Ein weiterer Programmteil muss die Einstellung unterschiedlicher Betriebsparameter vorsehen, um den Antrieb an die Betriebsbedingungen der Vorrichtung anzupassen. Des weiteren sollte die

Die Aufgabe

Möglichkeit einer Nullpunktsetzung gegeben sein, dazu könnten die bereits unter 3.2 erwähnten mechanischen Sicherheitsvorrichtungen dienen.

Die nachfolgende Tabelle 3.1 fasst die Anforderungen aus Kapitel 3 zusammen.

	Anforderung
Antrieb	kostengünstige & schnelle Beschaffung
	rotatorischer Antrieb
	Positionserfassung
	kleine Schrittweite der Positionserfassung
	Verknüpfung mit PC über Labview
	Drehmomentabhängige Abschaltung
	Anpassung der Betriebsparameter
Konstruktion	Mechanisches Spiel minimal
	mechanischer Nullpunkt
	Aufnahme eines Innensechskantwerkzeuges
	Überwindung Höhendifferenz
	Höhenausgleich
	Funktionssicherheit in alle Richtungen
	Sicherheit für OPO mechanische Lösung
	keine Veränderungen am OPO-Modul
Anpassung an Fertigungsmöglichkeiten	
Steuerung	Labview
	selbsterklärende Benutzeroberfläche
	unkomplizierte Bedienung
	Positionierbefehl
	Einstellungen vornehmen
	Nullpunktsetzung (Kalibrierung)

Tab. 3.1 Anforderungen an die Aufgabe

4 Die Lösung

In diesem Kapitel wird in Analogie zum 2. Kapitel, die Umsetzung der Anforderungen dargestellt. Unter 4.1 wird der ausgewählte Antrieb, ein Schrittmotor mit integriertem Steuerungsmodul erläutert, unter 4.2 sind alle Lösungen, die die Konstruktion betreffen detailliert zusammengefasst, unter Punkt 4.3 geht es dann zur Präsentation der mit Labview programmierten Steuerung.

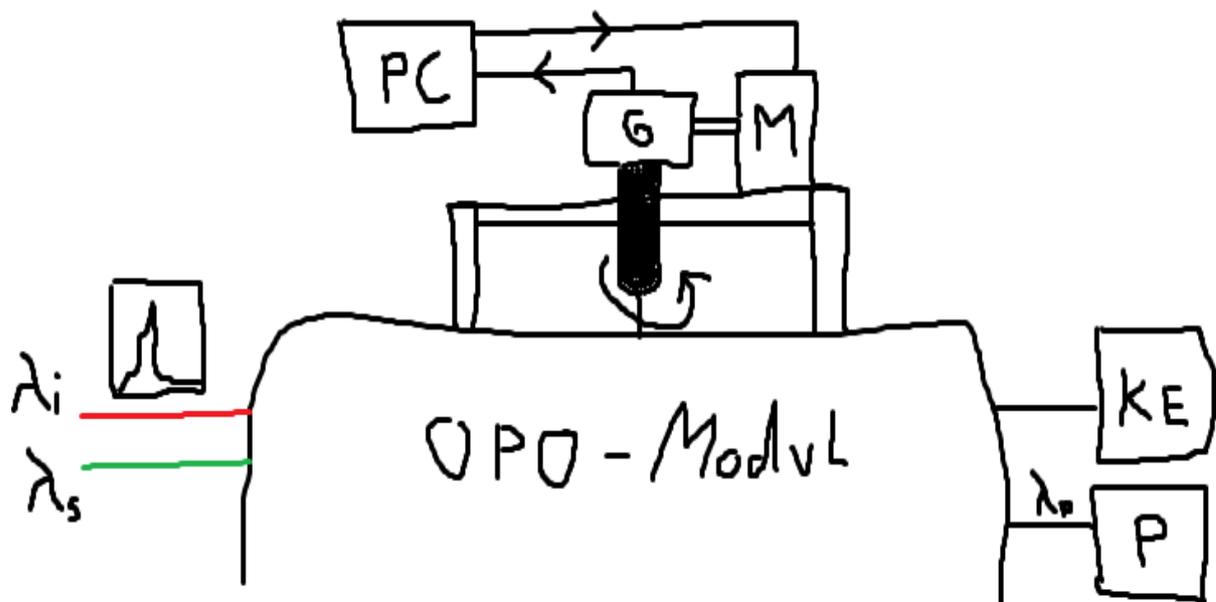


Abb. 4.1 Ein erster Lösungsansatz

4.1 Der Antrieb

Den im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Anforderungen an den Antrieb wurde entsprechend ein Schrittmotor ausgewählt. Die Firma "Trinamic Motion Control GmbH & Co. KG" rüstet Schrittmotoren mit Steuerungsmodulen aus, diese sind als Betriebsbereite Kombination aus beidem im Fachhandel zu erwerben. Bei dem ausgewählten Antrieb handelt es sich um einen Schrittmotor mit der Bezeichnung QSH-4218-51-10-049, das verwendete Steuerungsmodul trägt die Bezeichnung TMCM-110-42. Die Kombination aus beidem im weiteren nur noch Antrieb genannt, ist im folgenden dargestellt.

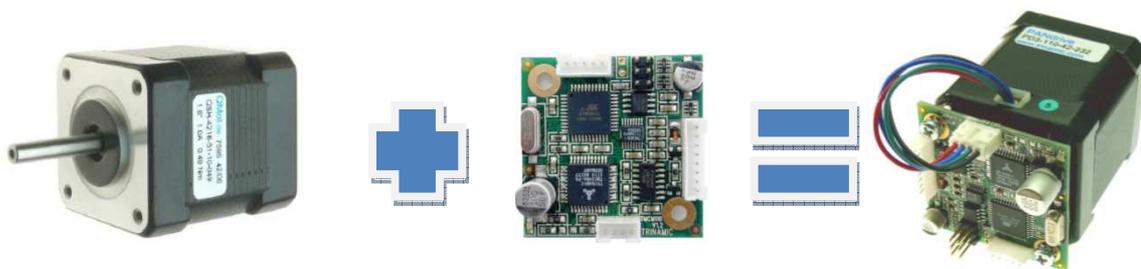


Abb. 4.2 Der Antrieb

Der Antrieb bietet mit seinen 4 Innengewindebohrungen eine einfache Möglichkeit ihn in der Vorrichtung zu integrieren, stellt dabei jedoch auch eine Einschränkung der Konstruktionsmöglichkeiten dar. Mit seinem maximalen Antriebsdrehmoment von 0,49 Nm bietet der Antrieb genügend Reserven für den Betrieb der Vorrichtung. Die nötige Spannungsversorgung liegt dabei zwischen 12V DC und 30V DC, diese lässt sich mit einer einfachen Gleichspannungsquelle, wie sie im IPS zur Verfügung steht, bereitstellen.

Die Kommunikation mit dem Antrieb lässt sich auf verschiedenste Weise sicherstellen. Das Steuerungsmodul stellt dabei eine Möglichkeit über RS232-Schnittstelle zu kommunizieren bereit. Diese soll für diese Aufgabe genutzt werden. Die Verbindung über RS232 und die Spannungsversorgung stellt sich wie folgt dar, siehe nächste Seite Abb. 4.3.

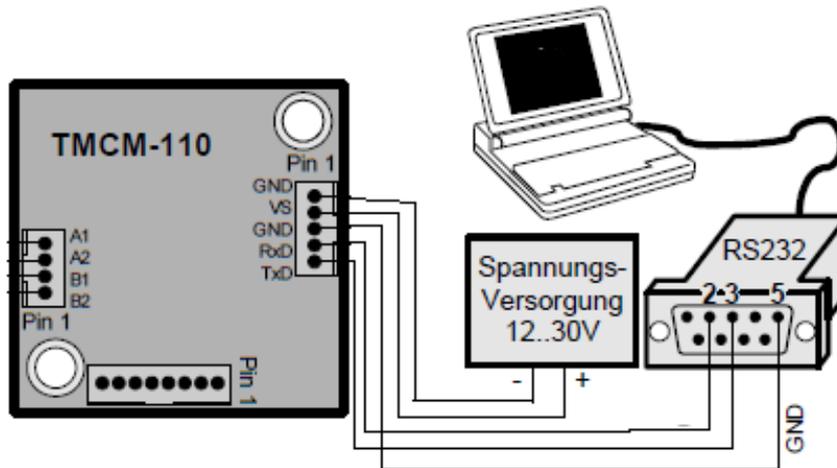


Abb. 4.3 Verbindung Antrieb/PC [6]

Das Steuermodul des Antriebes arbeitet mit einer eigenen Programmiersprache bzw. Firmware, eine vom Hersteller bereitgestellte Software ermöglicht den einfachen Betrieb. Dabei ist auf der einen Seite ein Betrieb im Direktmodus möglich und auf der anderen besteht die Möglichkeit komplette Programme auf dem Modul zu speichern und diese dann autonom ausführen zu lassen. Im Kapitel 2 war jedoch festgelegt worden, dass eine Steuerung mit Labview erforderlich ist. Grundsätzlich ist dies vom Hersteller nicht vorgesehen worden. Der verbreitete Einsatz von Labview in den unterschiedlichsten Bereichen, auch in Verbindung mit Schrittmotoren, veranlasste den Hersteller ein Hilfsmittel für die Kombination mit Labview zur Verfügung zu stellen. Dabei handelt es sich um ein sogenanntes VI, wie es bei der Programmierung mit Labview verwendet wird. Dieses bereitgestellte VI ermöglicht die Erzeugung sämtlicher für das Modul verständlicher Befehle mit Labview, diese können dann auch über ein mit Labview programmiertes Programm dem Modul zugeführt werden. Eine detaillierte Erläuterung der Zusammenhänge findet im Kapitel 4.3 statt.

Zu den eben erwähnten Befehlen gehören auch diverse Einstellungsmöglichkeiten, unter anderem Betriebsparameter wie Rotationsgeschwindigkeit, Beschleunigung und maximales Drehmoment bzw. maximaler Strom. Letzteres ist Teil der geforderten Notabschaltung, der

Die Lösung

sogenannten "Stall-detection". Der Antrieb ist in der Lage den aktuellen Motorstrom zu messen, wird ein als maximal vorgegebener Wert für den Motorstrom überschritten so schaltet sich bei aktiver Stall-detection der Antrieb ab. Dies geschieht wenn der Antrieb gegen einen Widerstand fährt, um seine vorgegebene Drehzahl zu halten muss das Drehmoment erhöht werden, daher steigt der Motorstrom bei konstanter Versorgungsspannung.

Die Schrittweite des Antriebes lässt sich ebenso einstellen wie die eben erwähnten Parameter, die kleinste Schrittweite wird dabei zum Einsatz kommen, sie beträgt 12800 steps je Motorumdrehung. Wird die Antriebsbewegung direkt, also ohne Über- oder Untersetzung, an die Einstellschraube weitergeleitet, so ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen Motorposition und Kristallposition, wenn beides von Null aus startet.

$$\frac{12800[\text{steps}]}{\left(\frac{11,4[\text{mm}]}{31}\right)} * KP[\text{mm}] = AP [\text{steps}]$$

Dabei ist KP die Kristallposition und AP die Antriebsposition. Die nachfolgende Tabelle zeigt einige Beispiele dieses Zusammenhanges.

KP [mm]	AP [steps]
1	34807
5	174035
11,4	396800

Tab. 4.1 KP/AP

Die unter 3.1 erarbeiteten Anforderungen an den Antrieb werden von dem gewählten Schrittmotor mit Steuerungsmodul erfüllt.

4.2 Die Konstruktion

In diesem Abschnitt wird die Entstehung der Vorrichtung präsentiert, dabei wird dargestellt wie die unter 3.2 gefundenen Anforderungen umgesetzt wurden. Die Vorrichtung wird dabei Schritt für Schritt aufgebaut und die einzelnen Komponenten werden beschrieben.

4.2.1 Das Grundgerüst

Ein stabiles Grundgerüst ist für den Aufbau einer Vorrichtung unverzichtbar, dabei muss das Grundgerüst die Verbindung zwischen OPO-Modul und Vorrichtung herstellen. Um die herrschenden Kräfte abzustützen und eine Übertragung des Antriebsdrehmomentes auf die Einstellschraube zu ermöglichen. Unter Berücksichtigung der Anforderungen bieten, abgesehen von einer geklebten Lösung, die 4 an der Oberseite des OPO-Moduls befindlichen Gehäuseschrauben den einzigen Lösungsansatz. Eine Schraubenverbindung zwischen OPO-Modul und Vorrichtung ist einer geklebten Verbindung jedoch vorzuziehen. Die Möglichkeit der Wartung und Reparatur bleibt dabei weiterhin gegeben. Abbildung 4.4 zeigt das CAD-Modell des Grundgerüsts in Verbindung mit dem OPO-Modul. Die konstruktiven Gegebenheiten des Antriebes und die gewählten Abmessungen für das Grundgerüst, schränken die konstruktive Freiheit weiter ein, jedoch stehen mit beiden die Randbedingungen fest. Zwischen Antrieb und Grundgerüst muss die Vorrichtung entstehen. Dabei ist einzig die Lage des Antriebes als variabel zu bezeichnen. Da das mechanische Spiel zu minimalisieren ist, war eine zur Einstellschraube kollineare Positionierung des Antriebes, ohne zwischengeschaltetem Getriebe gefordert worden. Dieser Forderung wird auch aus fertigungstechnischen Gründen Folge geleistet. Somit stehen die Randbedingungen für die weitere Konstruktion endgültig fest.

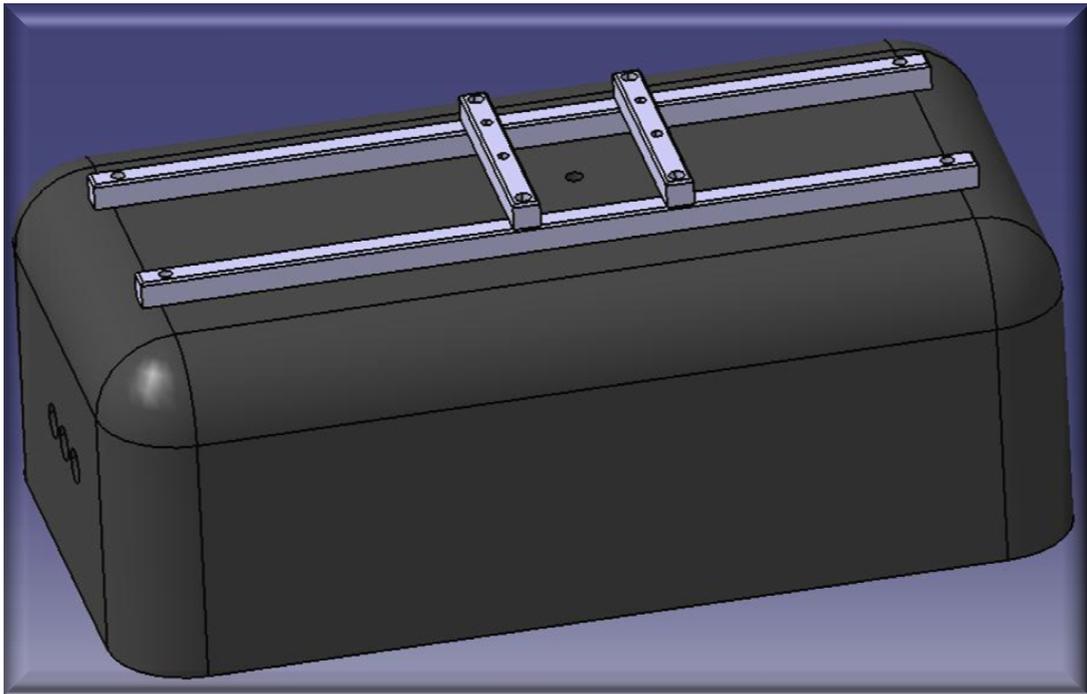


Abb. 4.4 Das Grundgerüst

4.2.2 Das Gestell

Das Gestell hat die Aufgabe neben dem Antrieb auch alle anderen Komponenten wie z.B. den mechanischen Anschlag oder den Höhenausgleich, aufzunehmen. Das Gestell besteht aus zwei Ebenen, auf der oberen Ebene befindet sich der Anschluss für den Antrieb, dabei sind die Bohrungen in dieser Ebene so ausgelegt, dass eine zur Achse der Einstellschraube kollineare Positionierung der Antriebsachse möglich ist. In der Zwischenebene ist die Aufnahme eines Radialrillenkugellagers vorgesehen, dessen Aufgabe es sein wird, Axiale Kräfte aufzunehmen und alle rotierenden Teile zu führen. Neben der Aufnahme aller Komponenten, hat das Gestell noch weitere Aufgaben, die sich mit den folgenden Komponenten ergeben werden. Die Abbildung 4.5 zeigt das Gestell.

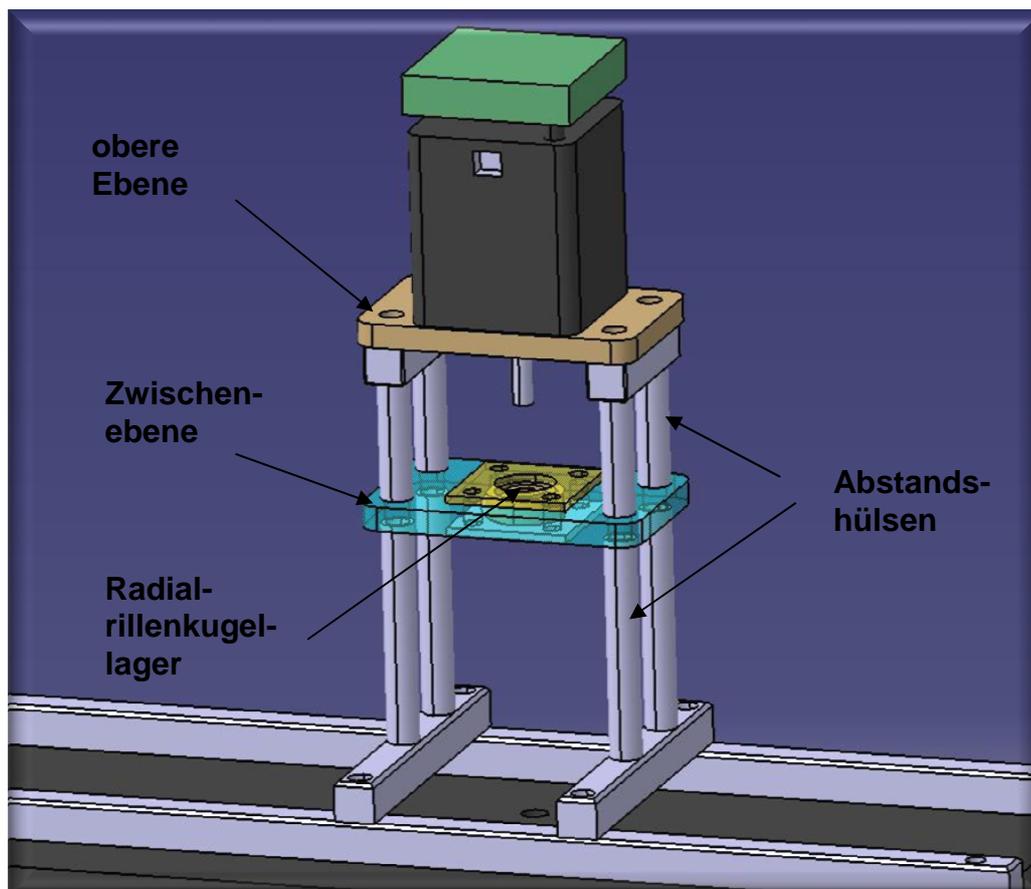


Abb. 4.5 Das Gestell

4.2.3 Die Welle

Die Welle stellt das Herzstück der Vorrichtung dar, neben der Drehmomentübertragung zwischen Antrieb und Einstellschraube bzw. Werkzeug, ist sie Teil des Höhenausgleichs, sowie des mechanischen Sicherheitsanschlages. Die Abb. 4.6 zeigt die Welle als Einzelteil. Die Welle wird, bildlich gesprochen, durch den Wellenabsatz in zwei Teile geteilt, die unterschiedlichen Durchmesser der Welle sind für die verschiedenen Funktionen der Welle notwendig. Der Wellenabsatz dient dabei gleichzeitig der Aufnahme der Welle durch das unter 4.2.2 bereits erwähnte Radialrillenkugellager. Das Lager ist als Festlager vorgesehen. Ein Klemmring, der von unten über die Welle geschoben und verschraubt wird, fixiert die Welle in ihrer axialen Position, so dass die in axialer Richtung wirkenden Kräfte vom Lager aufgenommen werden können. Aus fertigungstechnischen Gründen wurde an dieser Stelle kein reines Axiallager gewählt. Radialrillenkugellager besitzen die Eigenschaften, auch axiale Kräfte bis zu einem Teil ihrer radialen Belastbarkeit aufzunehmen, so dass die Verwendung hier als Axiallager möglich ist. Der untere Bereich der Welle mit dem kleineren Durchmesser und der Langlochbohrung ist Teil des Höhenausgleichs und überträgt das Drehmoment auf das Werkzeug. Die genaue Funktion ergibt sich im Abschnitt über das Werkzeug. Auf dem oberen Teil der Welle, der als Hohlwelle vorgesehen ist, befindet sich ein Außengewinde, welches Teil des Anschlages ist, dessen Funktionsweise später erläutert wird. Die Hohlbohrung der Welle nimmt die Welle des Antriebes auf, siehe Abbildung 3.5. Die Hohlbohrung ist dabei, mit einem Durchmesser von 6mm gegenüber dem Durchmesser der Welle des Antriebes mit 5mm, größer ausgelegt. Die durch die gegebenen Fertigungsbedingungen, zu erwartenden Abweichungen von den Sollwerten, werden durch die unterschiedlichen Durchmesser egalisiert. Eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Welle und Antriebswelle findet durch 4 Madenschrauben, am oberen Ende der Welle statt. Durch die unterschiedlichen Durchmesser können dabei Fluchtungsfehler zwischen Antriebswelle und Hohlbohrung ausgeglichen werden.

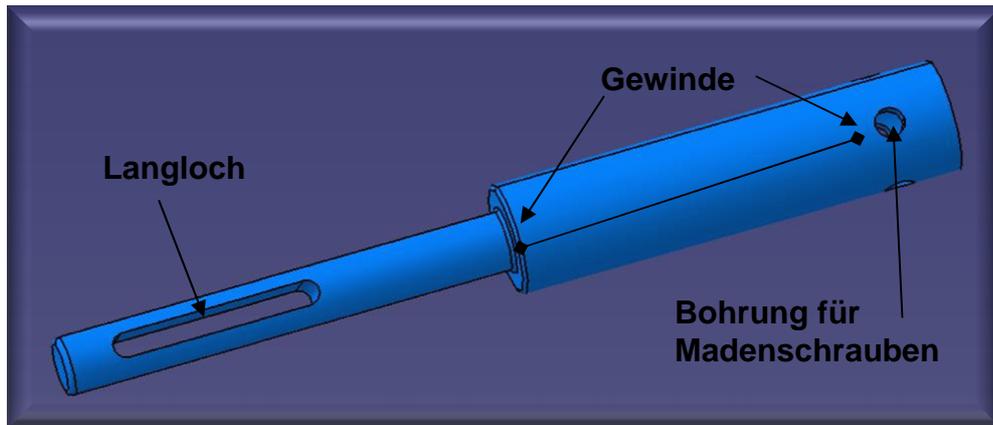


Abb. 4.6 Die Welle als Einzelteil

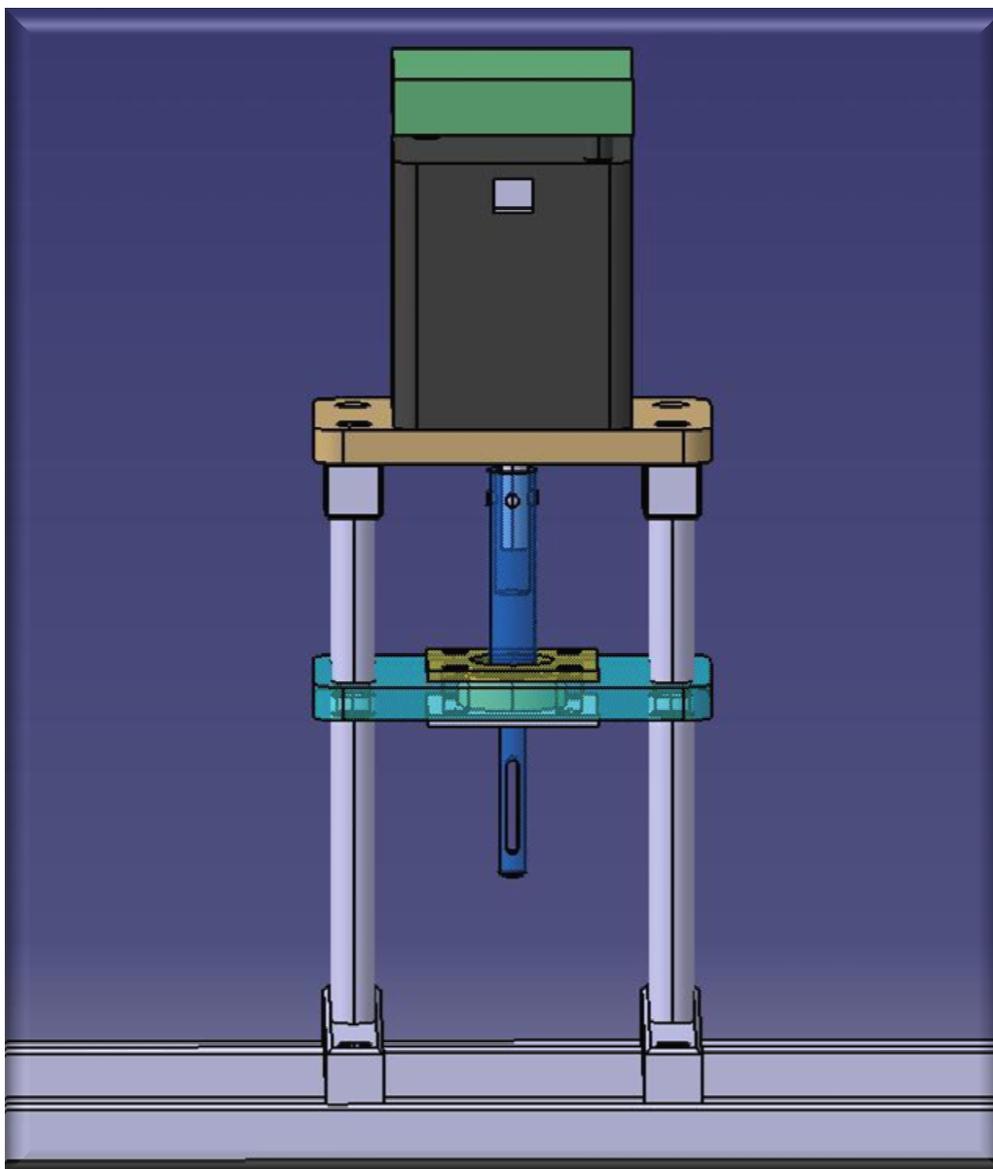


Abb. 4.7 Die Welle in der Vorrichtung

4.2.4 Der mechanische Anschlag

Wie schon erwähnt stellt der obere Bereich der Welle einen Teil des mechanischen Anschlages dar. Dieser wird komplettiert durch die, hier als Schlitten bezeichnete, Komponente (Abb. 4.8).

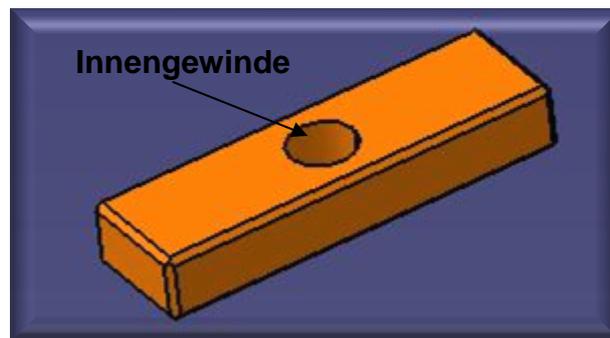


Abb. 4.8 Der Schlitten

Der Schlitten ist über die mittige Bohrung, mit der Welle verbunden. Der Schlitten ist mit seinen Abmessungen nun so ausgelegt, dass er zwischen den Abstandshülsen der oberen Ebene des Gestells gerade Platz findet. Das Gestell verhindert im Betrieb eine Rotationsbewegung des Schlittens, dadurch wird über das Gewinde, die Rotationsbewegung des Schlittens in eine translatorische Bewegung umgesetzt. Bewegt sich der Schlitten nun gegen seine obere oder untere Begrenzung, die durch die zwei Ebenen des Gestells vorgegeben sind, so ist der Freiheitsgrad des kinematischen Systems Null und alle Kräfte befinden sich im Gleichgewicht, eine weitere Rotation der Einstellschraube ist unterbunden worden. Über die "Stall-detection" des Antriebes kann dieser bei Erreichen der oberen oder unteren Begrenzung abgeschaltet werden.

Die Bewegung des Schlittens, findet in umgekehrter Richtung zur vertikalen Bewegung der Einstellschraube statt. Bewegt sich die Einstellschraube nach unten, so bewegt sich der Schlitten nach oben. Da die Einstellschraube bei einer Abwärtsbewegung ihren Nullpunkt erreicht, ist bei der Montierung der Vorrichtung

Die Lösung

der obere mechanische Anschlag der Vorrichtung mit dem Anschlag der Einstellschraube gleichzusetzen und als Nullpunkt zu definieren. Der Bereich in dem sich der Schlitten bewegt ist so dimensioniert, dass die geforderten 31 Umdrehungen für den maximalen Einstellbereich der Kristallposition abgefahren werden können. Um durch die Fertigung entstehende Abweichung von den Sollvorgaben zu egalalisieren, sind 33 Umdrehungen vorgesehen.

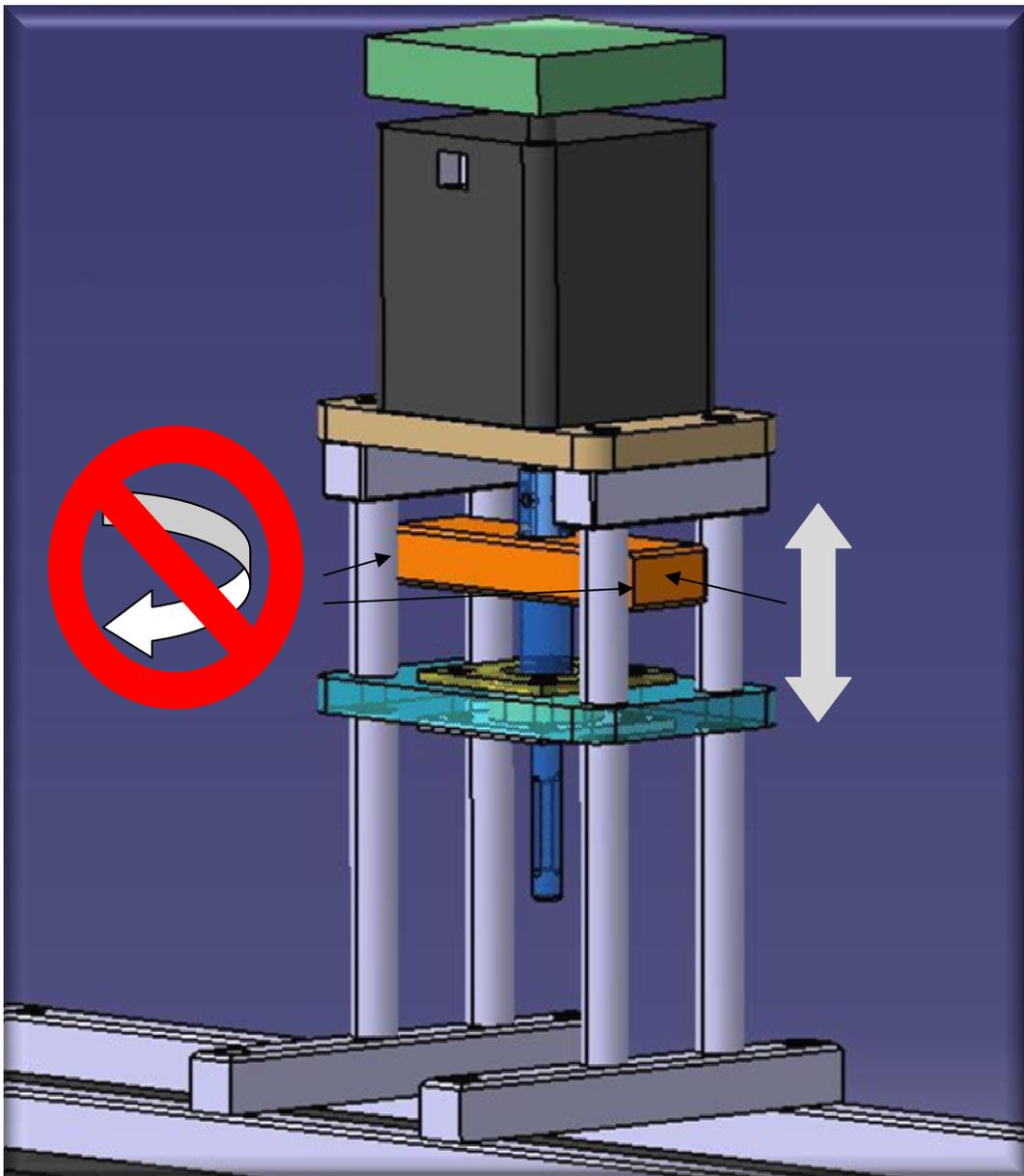


Abb. 4.9 Der mechanische Anschlag in der Vorrichtung

4.2.5 Das Werkzeug mit Höhenausgleich

Die Anforderung an das Werkzeug war die Aufnahme eines Sechskantprofils, um die Verbindung zur Einstellschraube herzustellen und das Drehmoment des Antriebes auf diese zu übertragen. Aus den Gegebenheiten der bis hier vorgestellten Komponenten ergaben sich weitere Anforderungen. Es ist eine Drehmomentübertragung von der Welle auf das Werkzeug und der Höhenausgleich, in dem Werkzeug zu integrieren. Das Werkzeug besteht dazu aus mehreren Einzelteilen. Die Hohlwelle des Werkzeuges, siehe Abb. 4.10, wird über den unteren Teil der Welle gesteckt. Über die Bohrung am oberen Ende wird mittels eines Stiftes das Drehmoment von der Welle auf das Werkzeug übertragen. Dabei fungiert die Hohlwelle des Werkzeuges und das Langloch am unteren Ende der Welle, als geforderter Höhenausgleich. Am unteren Ende der Hohlwelle ist diese mit einem Aussengewinde versehen. Von unten kann nun eine sogenannte Spannzange (Abb. 4.10), wie sie bei kleineren Handbohrmaschinen zur Werkzeugaufnahme zum Einsatz kommt, in die Hohlwelle eingeschoben werden. Die Spannzange nimmt das Sechskantprofil auf, dieses wird nun über die aufgeschraubte Hülse verspannt, sodass eine Kraftübertragung stattfinden kann, siehe Abb. 4.10.

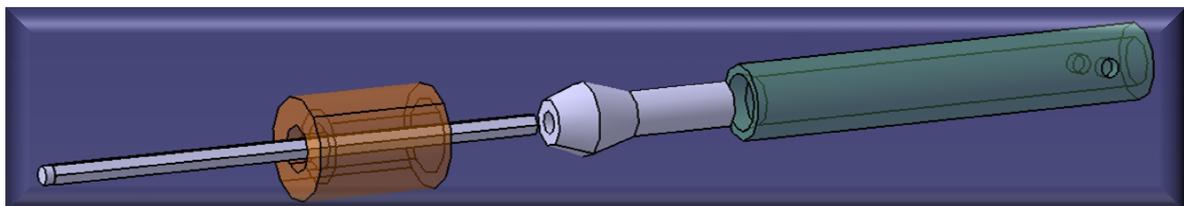


Abb. 4.10 Das Werkzeug mit seinen Komponenten

Bei einer Abwärtsbewegung der Einstellschraube, war nun noch sicher zu stellen, dass der Höhenausgleich dieser auch folgt. Dazu kommt eine Feder zum Einsatz, die sich im Inneren der Hohlwelle befindet (Abb. 4.11). Die Feder stützt sich dabei auf der Spannzange und dem unteren Ende der Welle ab, so dass die in axialer

Die Lösung

Richtung wirkende Federkraft übertragen werden kann. Die Vorrichtung ist damit komplettiert. Das mechanische Spiel wurde minimalisiert und tritt nur zwischen Sechskantprofil und Einstellschraube, sowie zwischen dem Langloch und dem Stift auf, dies war auf Grund des notwendigen Höhenausgleichs nicht zu vermeiden. Alle Anforderungen nach Tabelle 3.1 sind damit erfüllt. Das komplettierte CAD-Modell zeigt Abb. 4.12, die hergestellte Vorrichtung ist in Abb. 4.13-15 zu sehen.

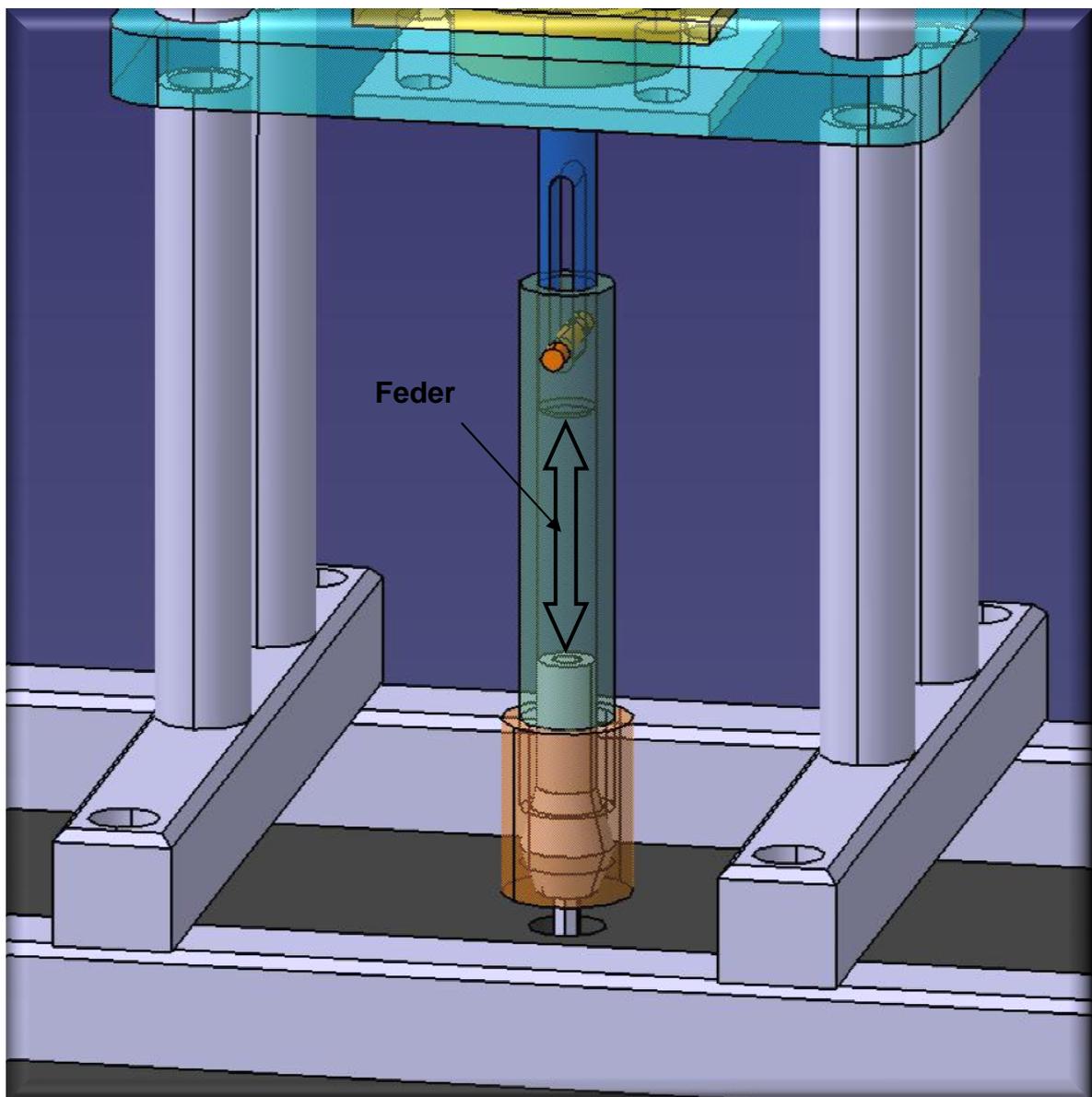


Abb. 4.11 Der Höhenausgleich

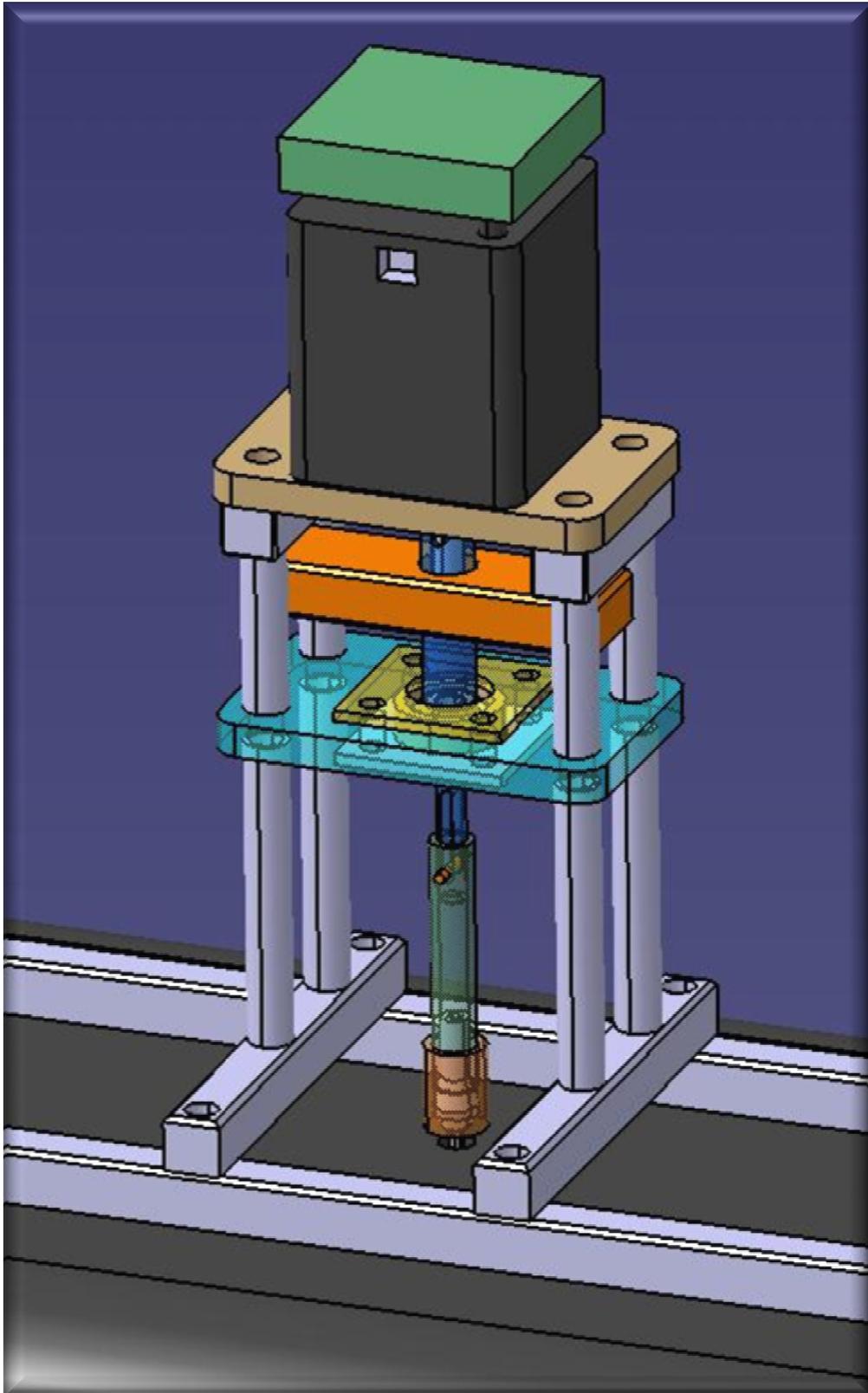


Abb. 4.12 Die Vorrichtung als CAD-Modell

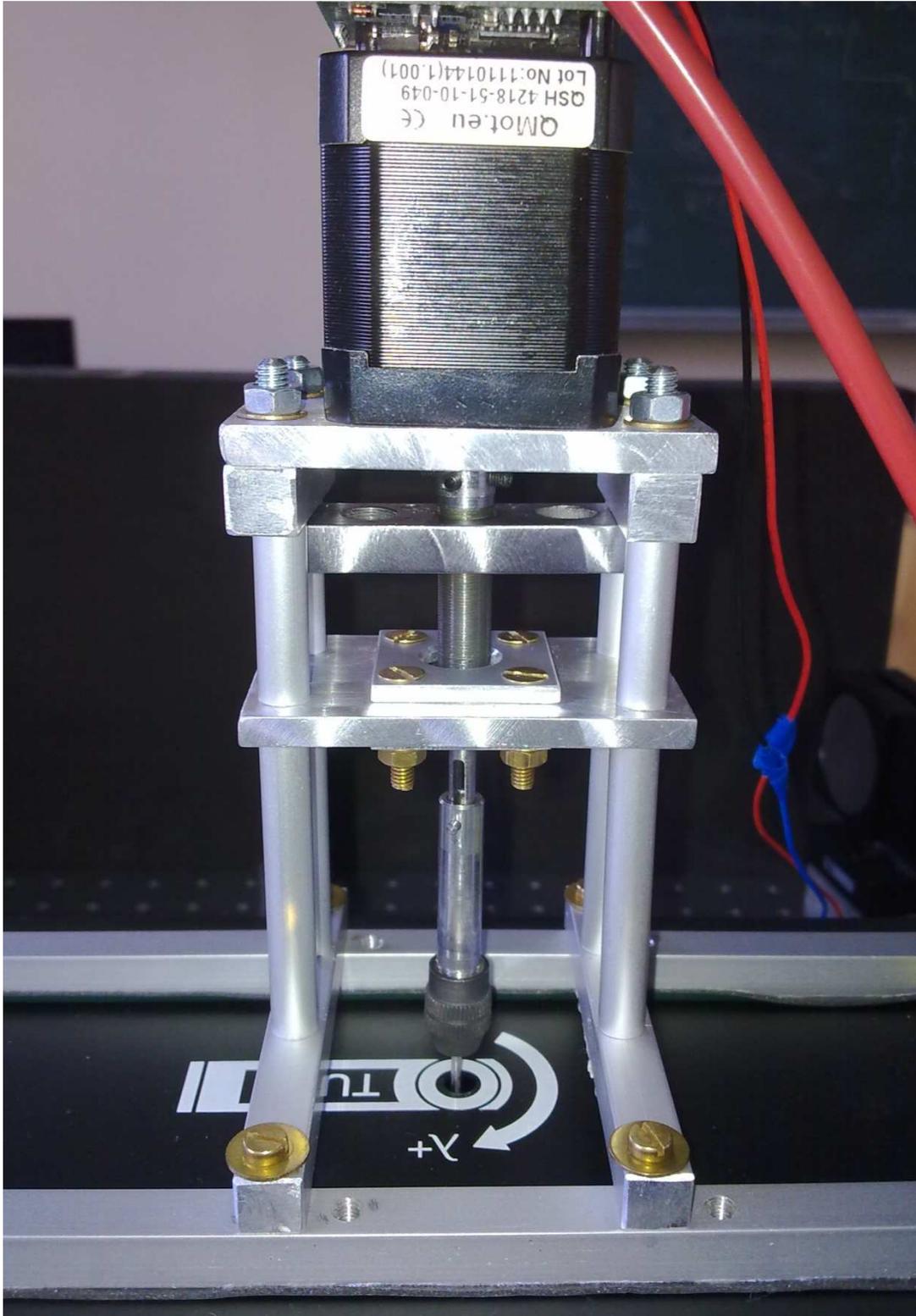


Abb. 4.13 Die Vorrichtung

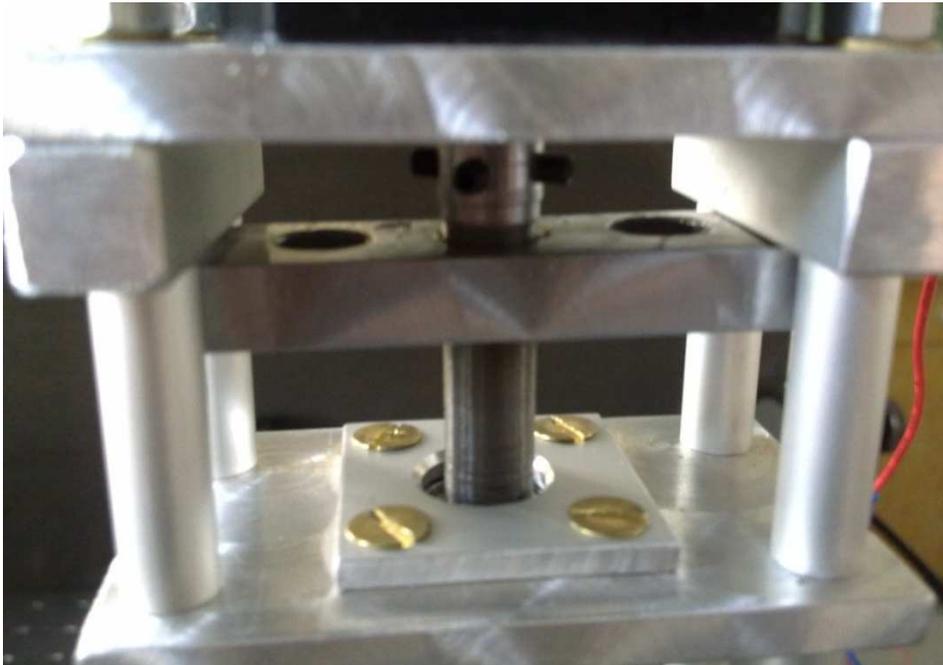


Abb. 4.14 Der mechanische Anschlag 2

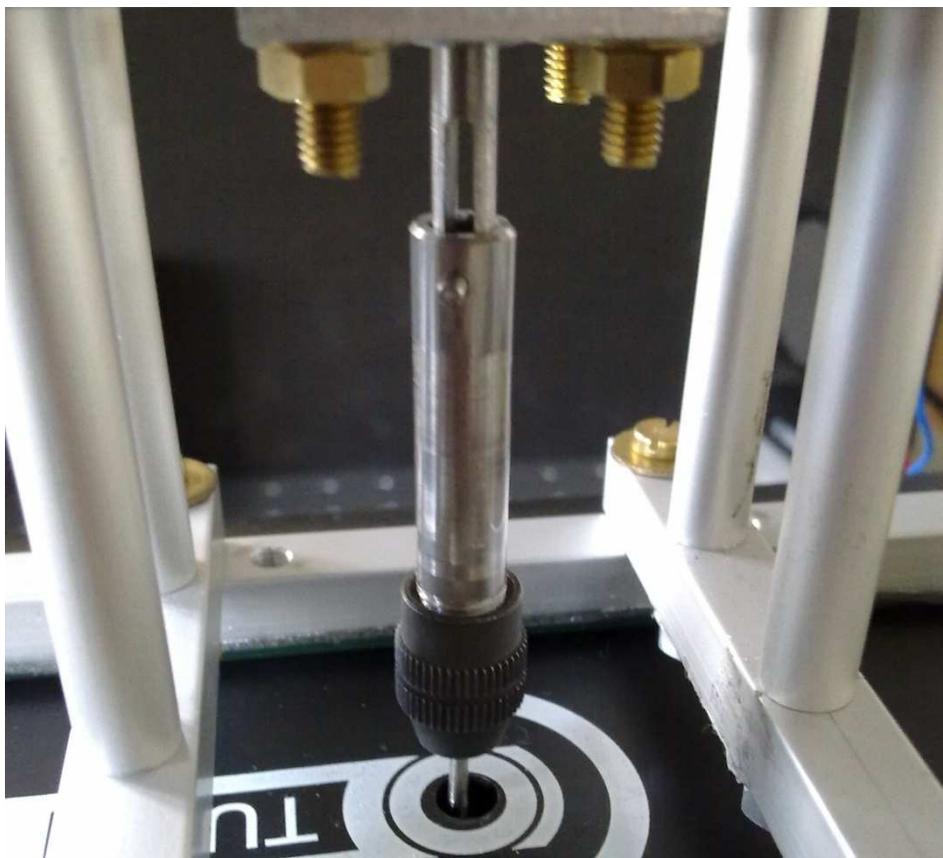


Abb. 4.15 Der Höhenausgleich 2

4.3 Die Steuerung

Im Kapitel 3.1 war festgelegt worden, dass eine Steuerung der Vorrichtung, und das Erfassen Kristallposition, über Labview realisiert werden soll. Die Programmierung mit Labview unterscheidet sich dabei enorm von einer Programmierung mit anderen Sprachen. In Labview wird Symbolbasiert programmiert, d.h. über einzelne Symbole, die mit einer vordefinierten Funktion hinterlegt sind, wird ein Programm zusammengesetzt. Dabei kommen zwei Oberflächen zum Einsatz. Auf dem Frontpanel wird die Benutzeroberfläche des Programms erstellt, dabei steht eine große Auswahl an Bedien-, Steuerungs- und Anzeigeelementen zur Verfügung. Diese reichen von einfachen Zahlenwertanzeigen über Schaltknöpfe bis hin zu grafischen Anzeigeelementen in Form von Diagrammen. Letzteres ist einer der Gründe, warum Labview verbreitet in der Messtechnik eingesetzt wird. Die zweite Oberfläche stellt das VI da, im VI werden die Elemente des Frontpanels miteinander verbunden und mit weiteren Funktionen verknüpft. Auch im VI findet die Programmierung mittels Symbolen statt. Im Zuge dieses Kapitels, soll nun übersichtlich erläutert werden in welchem Format mit dem Steuerungsmodul des Antriebes kommuniziert werden kann und welche Funktionen das entwickelte Programm bietet.

4.3.1 Die Modulsprache

Das Steuerungsmodul des Antriebes arbeitet mit einer eigenen Programmiersprache, diese trägt die Bezeichnung TMCL. Um zu verstehen wie über ein mit Labview entwickeltes Programm der Antrieb gesteuert werden kann, müssen als erstes die Grundlagen der TMCL bekannt sein. Zur Verwendung stehen dabei zwei Betriebsmodi, zum einen der Standalone-Modus und zum anderen der Direkt-Modus. Im Standalone-Modus können, auf dem Modul hinterlegte Programme, ausgeführt werden. Im Direkt-Modus wartet das Modul auf Befehle, dabei sind verschiedene Kommunikationswege möglich. Hier kommt eine Kommunikation über RS232, auch als COM-Port bekannt, zum Einsatz. Der

Die Lösung

Betrieb der Vorrichtung findet hauptsächlich im Direkt-Modus statt. Auf jeden Befehl, der an das Modul gesendet wird, sendet das Modul eine entsprechende Antwort. So können aktuelle Parameter abgefragt werden, oder die erfolgreiche Übermittlung eines Befehls kontrolliert werden. Ein Beispiel:

Befehl: Fahre zur Position 10000

Antwort: Übertragung OK, nächste Position 10000

Wie diese Befehle genau aufgebaut sind und in welchem Format sie übertragen werden müssen soll nun folgen.

Jeder Befehl hat eine mnemonische und eine binäre Darstellungsform. Im Direkt-Modus muss ein Befehl im Binärformat an das Modul gesendet werden. Bei der Kommunikation über RS232 besteht ein Befehl aus 9 byte, der sich wie folgt zusammensetzt[7].

Adresse	Befehl	Typ	Motor	Wert	Check-Summe
1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	4 Byte	1 Byte

Tab. 4.2 Zusammensetzung eines Befehls[7]

Bei einem Einsatz von nur einem Modul bzw. Motor lässt sich zur Vereinfachung feststellen, dass "Adresse" immer 1 und "Motor" immer 0 ist. Die Check-Summe sei im weiteren nicht näher betrachtet.

Eine Antwort des Moduls gestaltet sich wie folgt.

Adresse	Modul	Status	Befehl	Wert	Check-Summe
1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	4 Byte	1 Byte

Tab. 4.3 Zusammensetzung einer Antwort[7]

Die Lösung

Am Beispiel des Befehls "Move to Position" soll nun das endgültige, für das Modul notwendige Format, betrachtet werden.

Befehl: Fahre zur absoluten Position 9000

Der Befehl stellt sich in Dezimalschreibweise wie folgt da. Absolut bedeutet dabei von Position Null aus.

Adresse	Befehl	Typ	Motor	Wert	Check-Summe
1	4	0 (absolut)	0	9000	xxx
		1 (relativ)			
		2 (Koordinate)			

Tab. 4.4 Befehl "Move to Position" Dezimal[7]

Die für das Modul verständliche Hexadezimalform sieht wie folgt aus.

Byte Index:	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Adresse	Befehl	Typ	Motor	Wert				Check-Summe	
01	04	00	00	00	00	23	28	50	

Tab. 4.5 Befehl "Move to Position" Hexadezimal[7]

Werden die einzelnen Bytes nun im Binärformat, also als Folge von Nullen und Einsen an das Modul gesendet, so fährt der Motor zur absoluten Position 9000. In Umgekehrter Weise lässt sich auch die Antwort des Steuermoduls in eine dezimale Form überführen um z.B. die aktuelle Position zu ermitteln. Für eine ausführliche Darstellung aller Befehle, sei an dieser Stelle auf [7] verwiesen.

Die nötigen Funktionen um mit dem Steuermodul über eine RS232-Schnittstelle zu kommunizieren, sind in Labview gegeben. Um nun mit einem

Labview-Programm über Bedien- oder Eingabelemente Befehle an das Steuerungsmodul zu senden, oder Parameter auszulesen und diese dann Anzeigen zu lassen, müssen die nötigen Befehle in Labview in die für das Steuerungsmodul verständlichen Form überführt werden. Abhilfe schafft dabei, ein vom Hersteller bereitgestelltes TMCL-VI, welches eingebunden in das Labview-Programm, aus dezimalen Werten einen Hexadezimalen String, bestehend aus 9 Bytes, erzeugt. Diese können dann an das Steuerungsmodul übermittelt werden.

4.3.2 Das Programm

In diesem Abschnitt soll nun, das entwickelte Programm mit seinen Funktionen erläutert werden. Das Programm gliedert sich in 3 Bereiche, die Einstellungen, den Betrieb und die Kalibrierung. Um eine reibungslose Kommunikation zwischen der Vorrichtung und dem Programm zu gewährleisten, sind die 3 Bereiche nur unabhängig voneinander bedienbar. Auf der Benutzeroberfläche (Abb. 4.16.) sind die drei Bereiche klar voneinander getrennt. Durch die Deaktivierung der nicht aktiven Programmbereiche, ist eine fehlerhafte Bedienung ausgeschlossen. Anhand der Benutzeroberfläche, in Labview als Frontpanel bezeichnet, werden nun die einzelnen Funktionen dargestellt. Den eigentlichen Programmcode stellt zwar das VI dar, jedoch ist anhand des Frontpanels eine Erläuterung der Zusammenhänge zielführender. Für die nachfolgenden Zusammenhänge ist die Abbildung 4.16 zu betrachten.

Beim Start des Programmes stellt Labview über den ausgewählten COM-Port, eine Verbindung zur Vorrichtung her, diese wird erst nach Beendigung des Programms wieder unterbrochen. Nach der erfolgreichen Verbindungsaufnahme liest das Programm die aktuellen Betriebsparameter aus und zeigt diese an. Im Bereich Einstellungen, können nun diese Parameter verändert werden.

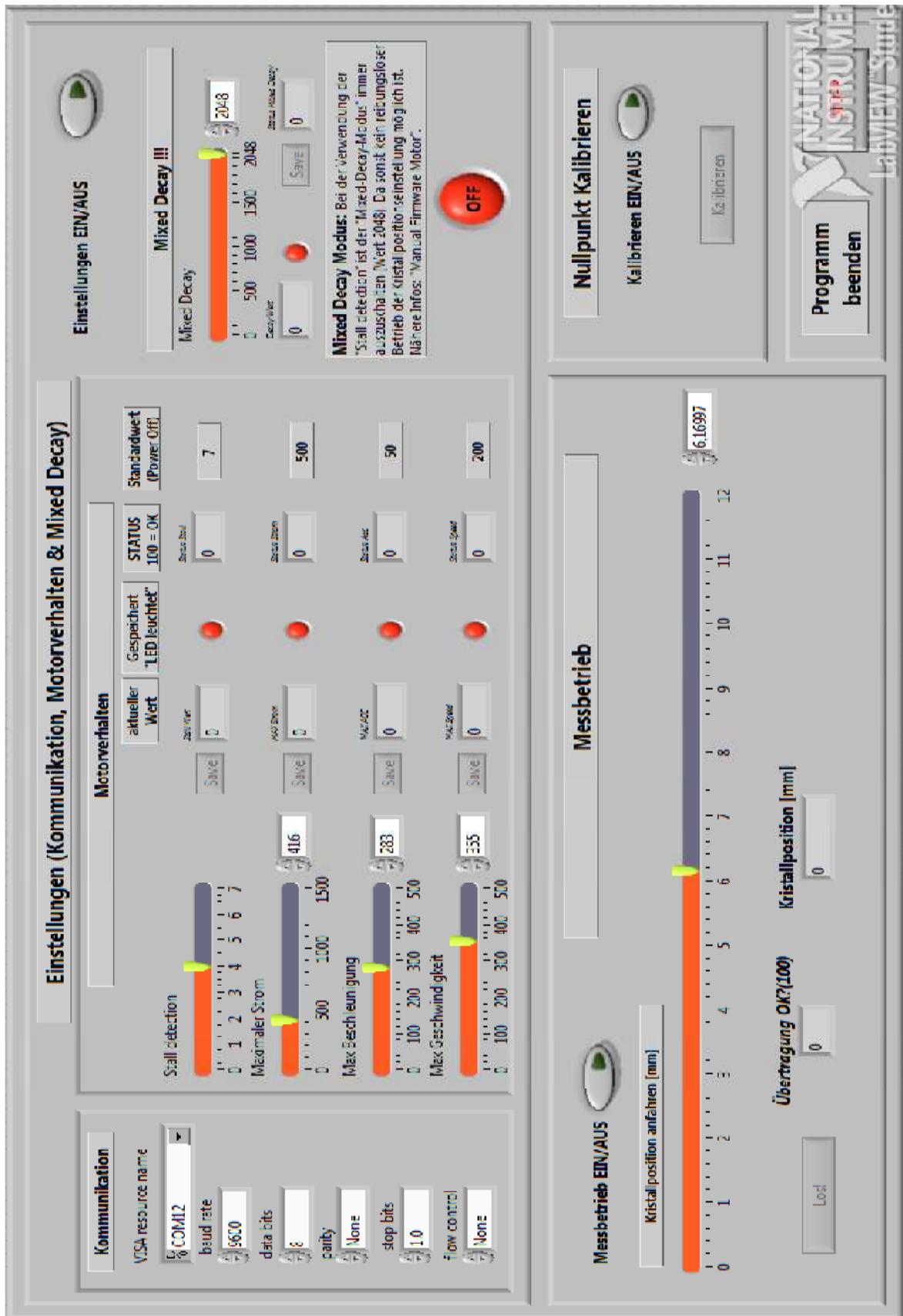


Abb. 4.16 Das Frontpanel

Die Lösung



Dazu ist der Einstellungsbereich über den Button "Einstellungen Ein/Aus" zu aktivieren. Die Auswahl der veränderlichen Parameter ist dabei auf die für den Betrieb der Vorrichtung nötigen Parameter eingeschränkt. Tabelle 4.6 fasst die 5 Parameter zusammen. Über die Scrollleisten kann der gewünschte Wert jeweils vorgewählt werden, über die Buttons "Save" wird dann der Befehl über das im Kapitel 4.3.1 erwähnte TMCL-VI generiert und an das Steuerungsmodul übertragen. Es folgt die Auswertung der Antwort des Steuerungsmoduls, hat die Übertragung funktioniert so erscheint in der Statusanzeige eine 100 und die Anzeige des aktuellen Wertes wird aktualisiert. Entspricht der aktuell gespeicherte Wert dem vorgewählten Wert, leuchten die LED's grün. Eine rote LED bedeutet demnach, dass der vorgewählte Wert noch nicht gespeichert wurde.

Parameter	Bereich	Beschreibung	Standard Wert
Stall detection	0 - 7	Stellt die Sensitivität der "Stall detection" ein. 0 = AUS 7 = grob; 1 = fein	7
Maximaler Strom	0 - 1500 [mA]	Stellt den maximalen Strom ein, beim dem die "Stall detection" anspringen soll und den Motor stoppt.	500
Maximale Beschleunigung	0 - 500 [steps/s²]	Stellt die maximale Beschleunigung ein, während der Beschleunigung ist die "Stall detection" jedoch deaktiviert.	50
Maximale Geschwindigkeit	0 - 500 [steps/s]	Stellt die maximale Geschwindigkeit für die Positionsanfahrt ein, kleinere Geschwindigkeiten verbessern den Betrieb der Vorrichtung.	200
Mixed Decay	0 - 2048	Der Mixed Decay Modus verbessert die Positionsbestimmung des Antriebes, jedoch funktioniert die Stall detection nicht in Verbindung mit dem Mixed Decay Modus, daher ist dieser mit dem Wert 2048 auszuschalten.	2048

Tab. 4.6 Einstellparameter

Für die angegebenen Standardwerte, siehe Tabelle 4.6, ist ein reibungsloser Betrieb der Vorrichtung erprobt, daher sind vorzugsweise diese Werte zu verwenden.

Beim Aufbau der Vorrichtung wurde der mechanische Nullpunkt der Einstellschraube mit dem mechanischen Anschlag der Vorrichtung gleichgesetzt, diese Position ist im Steuerungsmodul mit Null hinterlegt. Kommt es nun durch technische Störungen zu einem Verlust der Nullposition, so kann über die Kalibrierung, diese Nullposition erneut festgelegt werden. Eine Demontage der Vorrichtung kann dadurch verhindert werden. Voraussetzung ist, dass sich die mechanischen Bauteile weiterhin in ihrer ursprünglichen Relation zueinander befinden. Im unteren rechten Bereich des Frontpanels ist die Kalibrierung zu finden. Nachdem sie aktiviert wurde, kann sie über den Button "Kalibrieren" gestartet werden. Dabei wird dem Steuerungsmodul der Befehl gesendet, ein auf seinem internen Speicher hinterlegtes Programm im Standalone-Betrieb auszuführen. Dieses Programm lässt den Antrieb linksherum drehen, dabei wird die Einstellschraube und der mechanische Anschlag der Vorrichtung in Richtung ihres Nullpunktes bewegt. Erreicht der Anschlag seinen Nullpunkt, stoppt der Antrieb durch auslösen der "Stall detection". Zum Abschluss des Programms wird diese Position als Null erneut festgelegt, nun steht die Vorrichtung für weitere Befehle bereit.

Der Betrieb der Vorrichtung findet im unteren linken Bereich des Frontpanels statt. Sobald der Messbetrieb aktiviert wurde, sendet das Programm fortlaufend den Befehl "Sag mir deine Position" an das Steuerungsmodul, durch auswerten der Antwort kann der Wert unter "Kristallposition" abgelesen werden. Um nun eine bestimmte Kristallposition anzufahren, ist diese über die Scrolleiste oder das Eingabefeld vorzuwählen. Durch betätigen des Buttons "Los!" wird der Befehl "Fahr zur Position xy" generiert und gesendet. Es gilt dabei der unter 4.1 dargestellte Zusammenhang zwischen Kristallposition und Antriebsposition, die notwendige Umrechnung findet im Hintergrund statt. Die Vorrichtung ist nun bereit für den Einsatz, und ein reproduzierbarer Zusammenhang zwischen Kristallposition und Wellenlänge kann untersucht werden.



5 Die Versuche

Durch die Entwicklung der Vorrichtung zur Automatisierung der Wellenlängeneinstellung über die Kristallposition, ist diese nun Erfassbar. Die Aufgabe dieser Diplomarbeit war es, grundlegend zu untersuchen, ob die Wellenlänge des Lasers im, über die Kristallposition reproduziert werden kann. Im folgenden werden die durchgeführten Versuche beschrieben und ausgewertet.

5.1 Die Versuchsbeschreibung

Die Versuche werden mit der vom OPO-Modul erzeugten Idler-Welle durchgeführt. Der Wellenlängenbereich erstreckt sich dabei über einen Bereich von 3200nm bis 3900nm(Herstellerangabe). Der Kristallpositionsbereich ist 0mm bis 11,4mm oder 0 bis 31 Umdrehungen der Einstellschraube. Im Zuge dieser Versuche wird jedoch nur noch von der Kristallposition in [mm] gesprochen, die über die zuvor beschriebenen Zusammenhänge erfasst wird.

Bei den hier durchgeführten Versuchen wird der im IPS vorhandene Versuchsaufbau genutzt, jedoch wird dabei lediglich der Teil des Aufbaus verwendet, der für eine Messung der Wellenlänge benötigt wird. Genauerer Aufschluss gibt die Abb. 5.1, die den Versuchsaufbau schematisch darstellt. Dabei beinhaltet dieser die Komponenten des OPO, also die Kontrolleinheit, die Pumpquelle, sowie das OPO-Modul. Es folgt der FTIR-Spektrometer(Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer), der die Wellenlänge messen wird. Parallel zur Wellenlänge wird die Leistung der Idler-Welle mit einem Leistungsmesser aufgenommen. Dieser dient dazu Leistungsmaxima zu finden, eine Messung der Wellenlänge findet bei diesen Maxima statt. Die Leistung der Idler-Welle verläuft dabei näherungsweise Sinusförmig über den Bereich der Wellenlänge(Abb. 5.2)

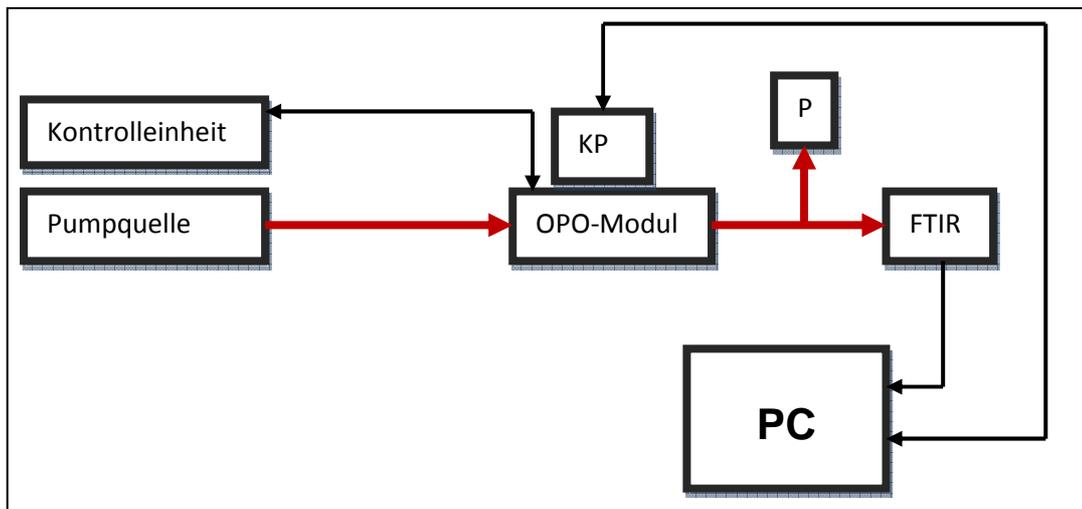


Abb. 5.1 schematischer Versuchsaufbau

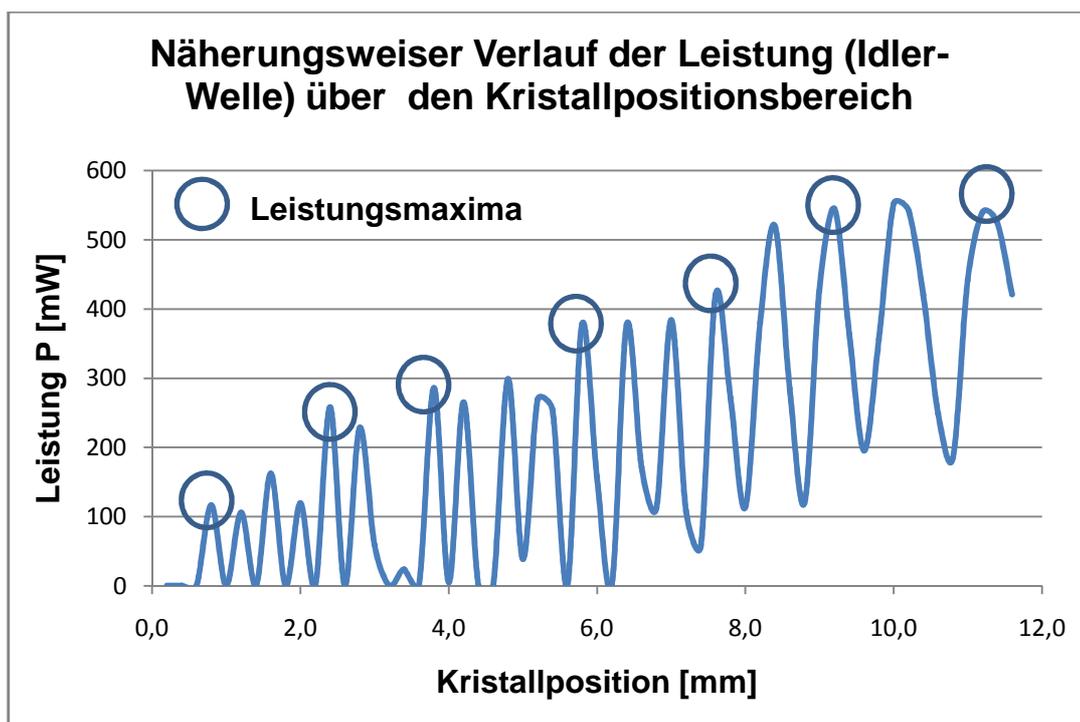


Abb. 5.2 Verlauf der Leistungsmaxima

Pump Quelle		Kontrolleinheit			Antrieb				
Leistung [W]	λ [nm]	Etalon [°]	Block [°C]	Kristall [°C]	Stall [°]	Strom [mA]	Acc [steps/s ²]	Speed [steps/s]	Netz [V]
5000	1064	0	36	50	7	500	50	200	15

Tab. 5.1 konstant gehaltene Variablen

Da sich die Untersuchung auf die Verknüpfung der Kristallposition mit der Wellenlänge der Idler-Welle konzentriert, sind alle anderen Variablen über den gesamten Versuch konstant zu halten, dabei gibt Tabelle 5.1 Aufschluss über die Variablen und deren Werte für diese Versuche. Sie beinhaltet auch die Einstellungen für den Antrieb, um ebenfalls für die Positionsbestimmung konstante Randbedingungen zu schaffen.

Für die Untersuchungen gilt desweiteren, dass sämtliche Messunsicherheiten und sonstige Abweichungen, von den am Versuch beteiligten Komponenten verursacht, nicht in die Betrachtungen einbezogen werden.

5.2 Die Versuchsdurchführung

Vor Beginn der Messungen, werden sämtliche Geräte hochgefahren, die Geräte werden dazu eingeschaltet. Es folgt eine Wartezeit von ca. einer Stunde. Dies zielt darauf ab, die Temperaturen der Geräte auf einen stationären Zustand zu bringen. Auch einige Variablen, wie z.B. die Kristalltemperatur und die Blocktemperatur, benötigen einige Zeit um von der Kontrolleinheit auf ihren eingestellten Wert geregelt zu werden.

Die Versuche erstrecken sich über zwei Messreihen, die neben der Reproduzierbarkeitsprüfung, auch den Einfluss des mechanischen Spiels und einer erneuten Nullpunktkalibrierung untersuchen sollen.

Die durchgeführten Messreihen gestalten sich dabei wie folgt:

Messreihe 1:

Bei der Messreihe 1 werden über den gesamten Bereich verteilte Messpunkte abgefahren. Dies geschieht sowohl in der Richtung 0 bis 11,4mm, als auch von 11,4 bis 0mm. Diese Messreihe1 wird ein zweites mal, nach 72 Stunden aufgenommen. Hauptziel der Messreihe1 ist dabei die Prüfung der Reproduzierbarkeit allgemein, aber auch die Einflussnahme des mechanischen Spieles. Bei der ersten Durchführung dieser Messreihe1 werden die

Leistungsmaxima ermittelt, bei den darauffolgenden Durchführungen werden diese Positionen aus beiden Richtungen erneut angefahren.

Messreihe 2:

Die Messreihe 2 zielt darauf ab, die Auswirkungen einer erneuten Nullpunktkalibrierung zu untersuchen. Es wird dabei eine Kristallposition, in diesem Fall 0,12mm, mehrfach von Position 0mm aus angefahren. Nach einigen Messungen wird eine Nullpunktkalibrierung durchgeführt und die Messungen werden wiederholt.

Für das Verständnis der Messergebnisse, sind vorab einige Vereinbarungen zu treffen. Genauer gesagt, ist zu definieren wie die Messergebnisse des FTIR interpretiert werden. Dazu zeigen Abbildung 5.3 die Messergebnisse auf den gesamten Wellenlängenbereich bezogen und Abbildung 5.4 die Ergebnisse bezogen auf einen verkleinerten Bereich der Wellenlängen. Wie zu sehen ist, besteht der Laser praktisch nicht aus elektromagnetischen Wellen einer Wellenlänge, sondern aus Wellen mit unterschiedlichen Wellenlängen die dabei in einem relativ kleinen Bereich liegen, man spricht von der Spektralen Zusammensetzung. Je schmaler dieses Spektrum ist, desto besser ist der Laser für die Laserspektroskopie geeignet. Dies soll bei den Untersuchungen jedoch nicht von Interesse sein. Für eine vollständige Reproduzierbarkeit muss hier gelten, dass sich bei mehrfachem Anfahren einer Kristallposition, die Spektrale Zusammensetzung nicht ändert. Die Qualität der Reproduzierbarkeit lässt sich darüber festlegen. Desweiteren soll gelten, dass die Wellenlänge mit der höchsten Intensität, siehe Abb. 5.4, als die aktuelle Wellenlänge zu betrachten ist. Wird nun bei mehrfachem Anfahren einer Kristallposition, immer der gleiche Wellenlängenwert mit der höchsten Intensität gemessen, so gilt die Reproduzierbarkeit als gegeben.

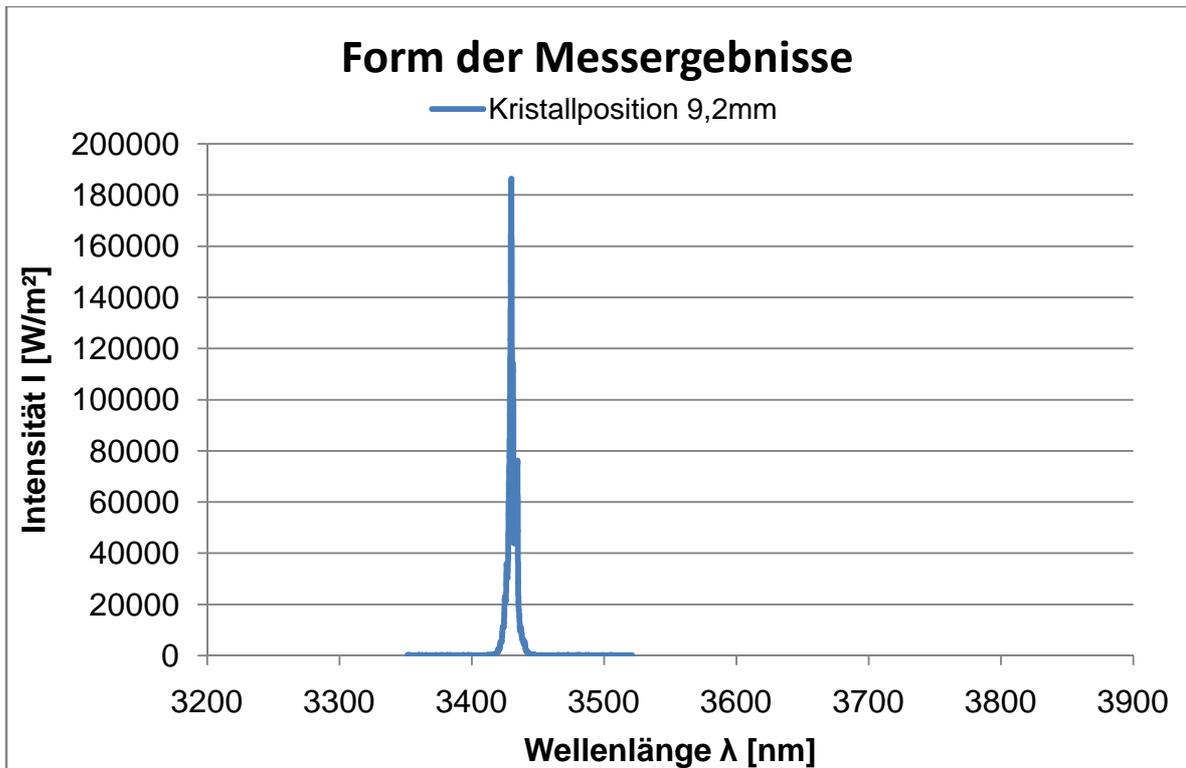


Abb. 5.3 allgemeine Form der Messergebnisse

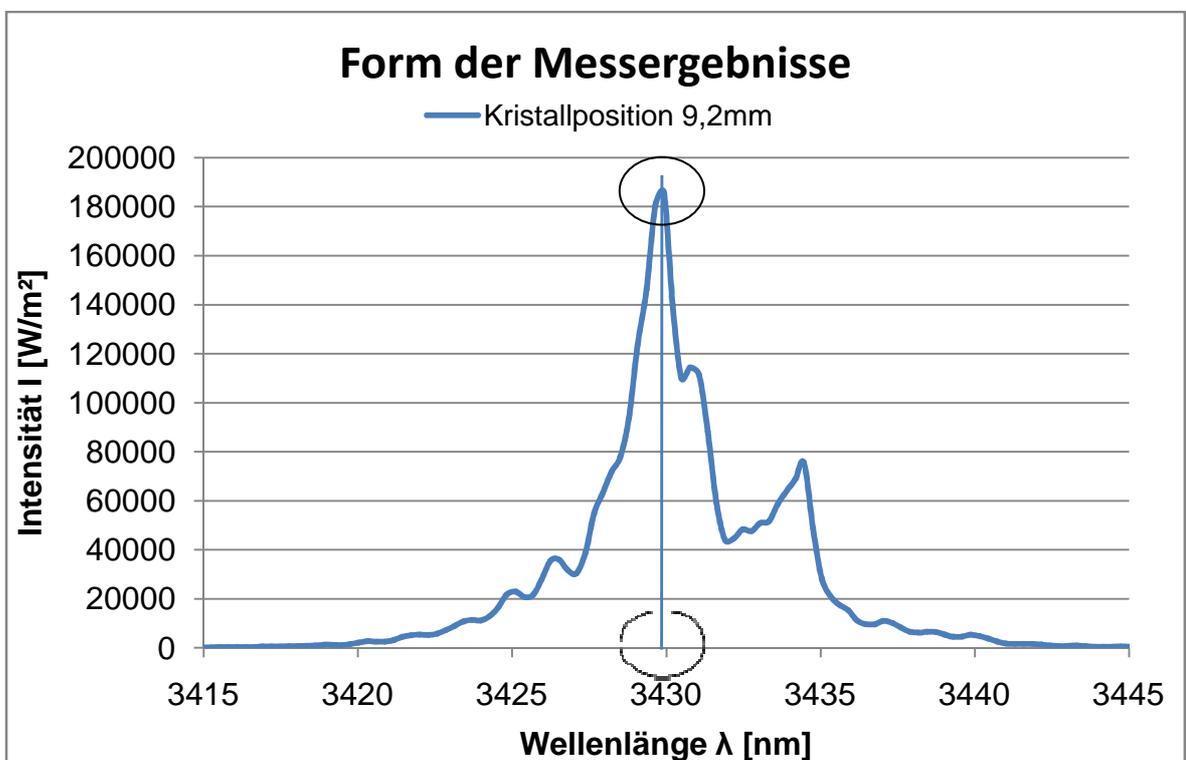


Abb. 5.4 allgemeine Form der Messergebnisse 2

5.3 Die Messungen

5.3.1 Messreihe 1

Die Messreihe 1 betrachtet den gesamten Bereich der möglichen Kristallpositionen, wobei die im ersten Durchgang gefundenen Leistungsmaxima bei den darauffolgenden Durchgängen erneut angefahren wurden. Es wurden insgesamt 18 Messungen je Durchgang ausgeführt. Insgesamt wurde zweimal von 0mm bis 11,4mm gemessen und zweimal in der Richtung von 11,4mm bis 0mm. Die Tabelle 5.2 zeigt die Ergebnisse der Wellenlängen mit den jeweils höchsten Intensitäten.

Pos [mm]	Wellenlänge λ [nm]				Mittelwert λ [nm]	Standardabw s_{λ} [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]	$\Delta\lambda\%$ [%]
	27.01.2012 0 - 11,4mm	30.01.2012 0 - 11,4mm	27.01.2012 11,4 - 0mm	30.01.2012 11,4 - 0mm				
0,920	3874,36	3874,00	3874,36	3874,36	3874,27	0,18	0,09	0,0023%
1,660	3837,44	3837,08	3837,44	3837,08	3837,26	0,20	0,10	0,0027%
2,390	3799,47	3799,12	3799,47	3799,12	3799,29	0,20	0,10	0,0026%
3,095	3763,27	3761,56	3763,61	3761,90	3762,58	1,00	0,50	0,0134%
3,795	3726,74	3727,08	3726,74	3726,74	3726,83	0,17	0,08	0,0022%
4,480	3691,25	3690,92	3691,25	3690,92	3691,08	0,19	0,09	0,0026%
5,115	3656,10	3655,78	3656,10	3655,78	3655,94	0,19	0,09	0,0025%
5,750	3622,57	3622,89	3622,89	3622,89	3622,81	0,16	0,08	0,0022%
6,385	3589,02	3588,71	3589,02	3588,71	3588,87	0,18	0,09	0,0025%
6,965	3555,79	3555,49	3555,79	3555,49	3555,64	0,18	0,09	0,0025%
7,595	3523,17	3522,87	3523,17	3522,87	3523,02	0,17	0,09	0,0025%
8,100	3492,02	3492,31	3492,31	3490,84	3491,87	0,70	0,35	0,0100%
8,650	3460,55	3460,55	3460,83	3460,26	3460,55	0,24	0,12	0,0034%
9,200	3429,92	3429,35	3429,64	3429,35	3429,57	0,27	0,14	0,0040%
9,730	3400,11	3400,67	3399,83	3399,00	3399,90	0,70	0,35	0,0102%
10,180	3370,54	3370,00	3370,54	3370,00	3370,27	0,32	0,16	0,0047%
10,915	3327,54	3326,21	3326,48	3326,21	3326,61	0,64	0,32	0,0095%
11,367	3298,69	3298,96	3298,96	3297,91	3298,63	0,50	0,25	0,0075%

Tab. 5.2 Messreihe1 Wellenlängen höchster Intensität

Die Versuche

Zur Ermittlung der Messunsicherheiten aus Tabelle 5.2 wurden folgende Berechnungsschritte durchgeführt[2].

Mittelwert:
$$\bar{\lambda} := \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (\text{Gl. 5.1})$$

Standardabweichung:
$$s_{\lambda} := \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2} \quad (\text{Gl. 5.2})$$

Messunsicherheit:
$$\Delta\lambda = \frac{s_{\lambda}}{\sqrt{n}} \quad (\text{Gl. 5.3})$$

Prozentual:
$$\Delta\lambda_{\%} = 100\% * \frac{\Delta\lambda}{\bar{\lambda}} \quad (\text{Gl. 5.4})$$

Die in Tabelle 5.2 dargestellten Ergebnisse lassen die Annahme zu, dass eine Reproduzierbarkeit der Wellenlänge über die Kristallposition gegeben ist. Die Messreihe 1 beinhaltet dabei sogar das mechanische Spiel. Die orange markierten Messpunkte sollen jedoch noch im Detail betrachtet werden, auch um eine konkretere Aussage über den Einfluss des mechanischen Spiels zu treffen. Dazu wird die spektrale Zusammensetzung des Lasers bei den Kristallpositionen 3,095mm und 9,73mm betrachtet. Dabei zeigen Abb. 5.5 und 5.6 jeweils das Spektrum bei 3,095mm am gleichen Versuchstag, jeweils eine Messung von oben und eine von unten angefahren. Abb. 5.7 und 5.8 zeigen das Spektrum bei 9,73mm, jeweils zwei Messungen mit gleicher Anfahrriichtung.

Betrachtet man nun die Spektren der einzelnen Messungen ist zu erkennen, dass neben einem Hauptmaximum an Intensität, noch mehrere Nebenmaxima auftreten, und dies teilweise mit annähernd gleicher Intensität.

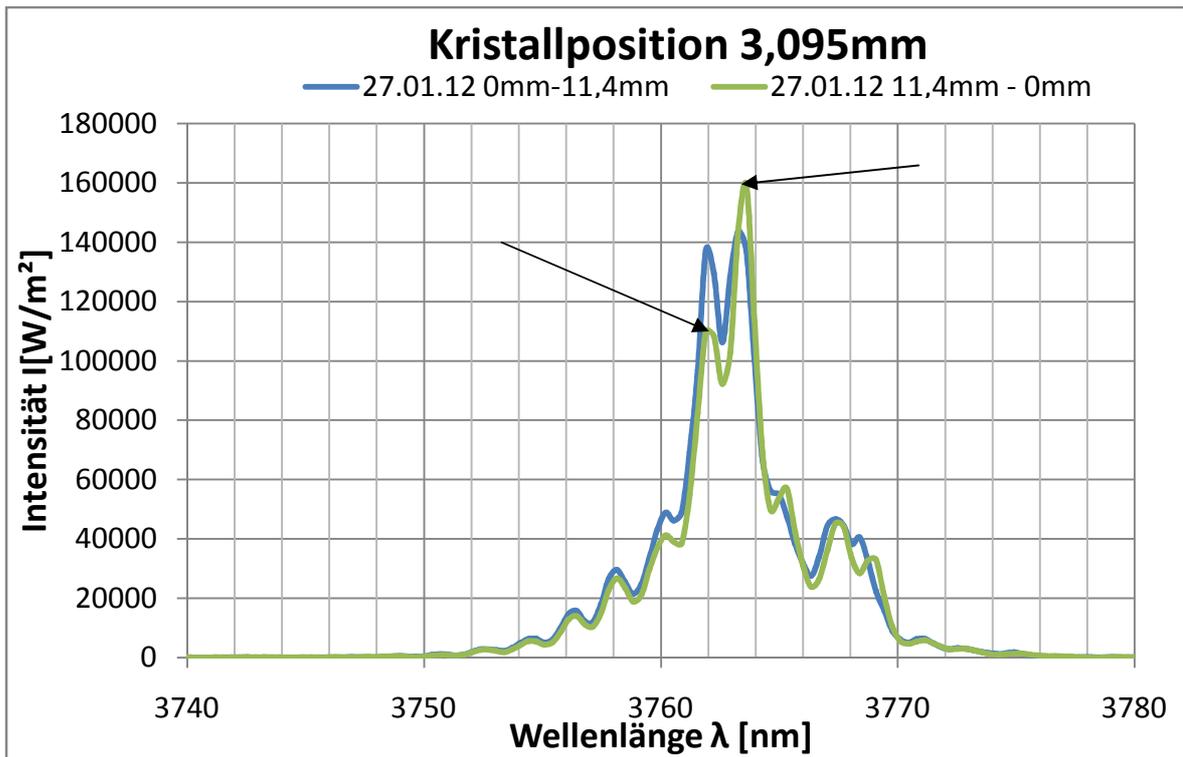


Abb. 5.5 Spektrum bei 3,095mm 27.01.12

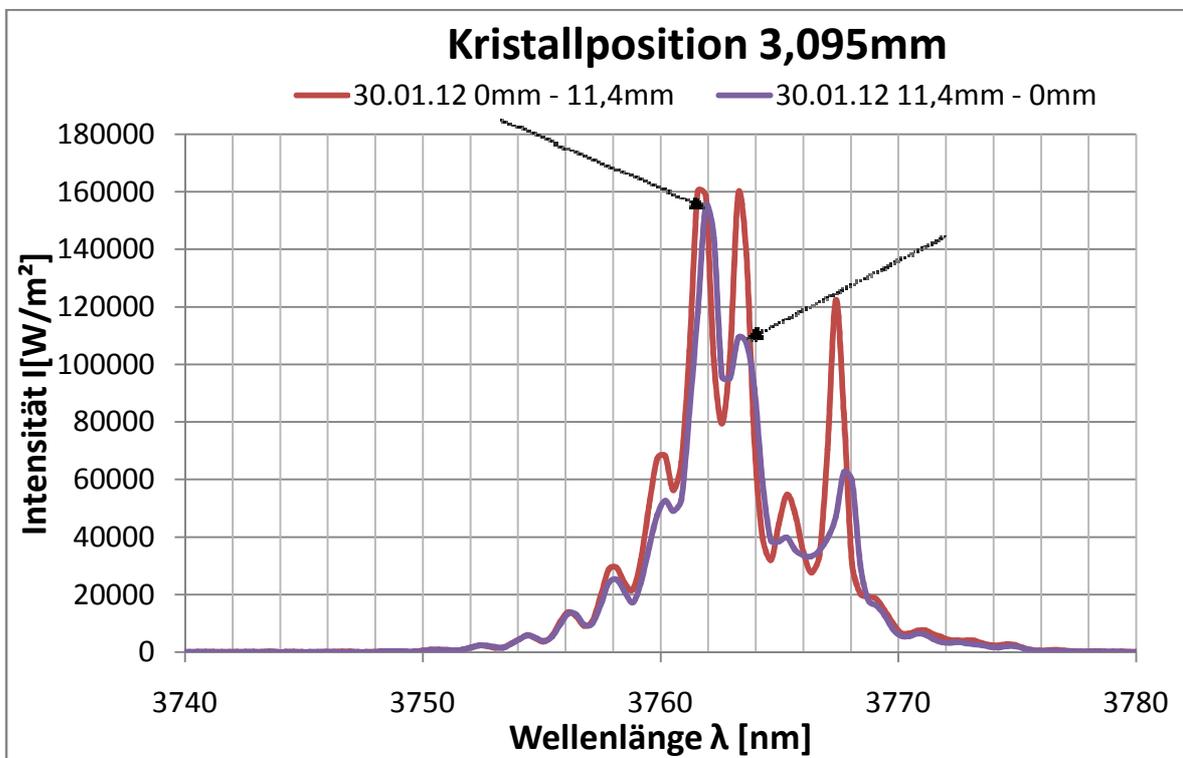


Abb. 5.6 Spektrum bei 3,095mm 30.01.12

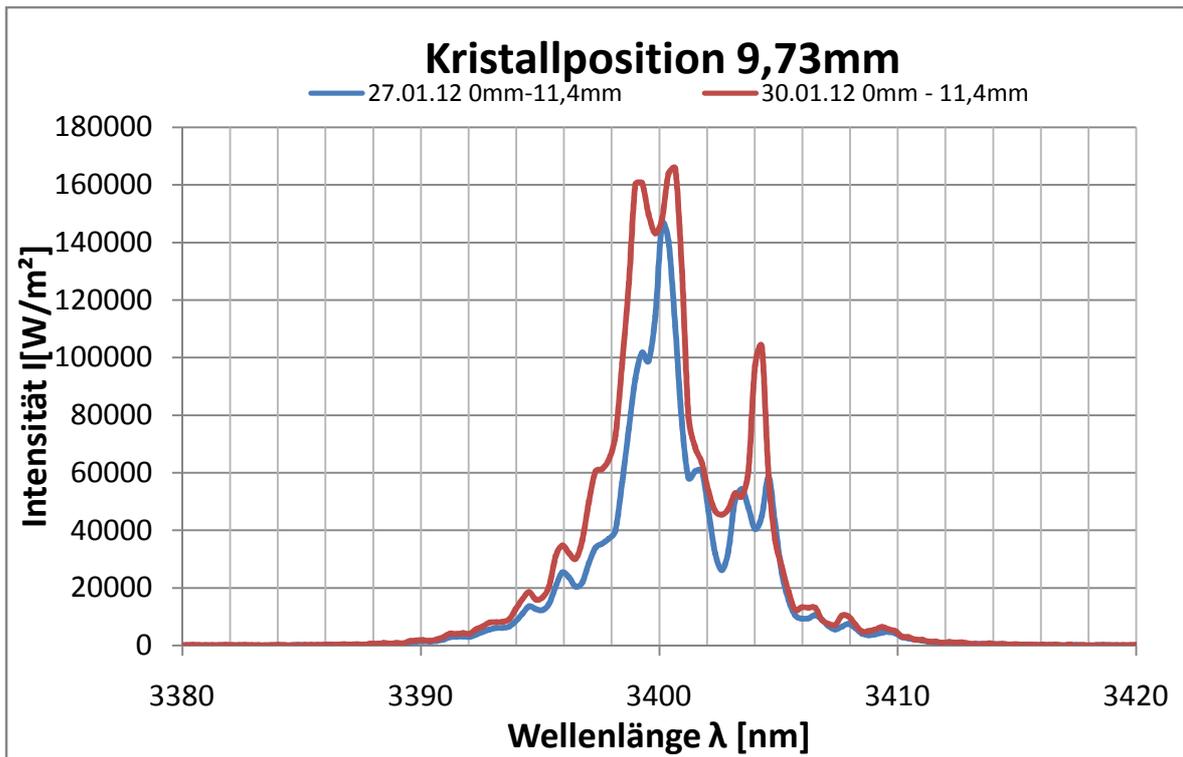


Abb. 5.7 Spektrum bei 9,73mm 0-11,4mm

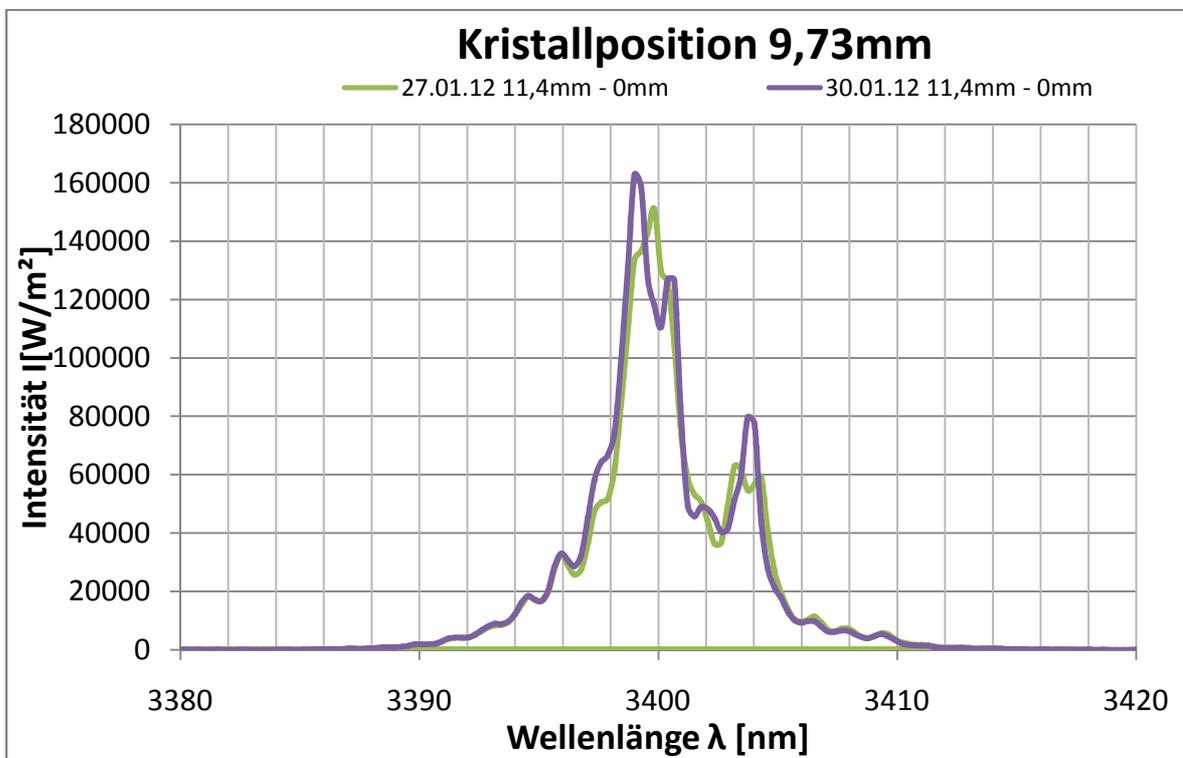


Abb. 5.8 Spektrum bei 9,73mm 11,4-0mm

Der Einfluss des mechanischen Spiels ist hier nicht klar zu erkennen, Abbildung 5.5 zeigt keinen Einfluss. Das Spektrum verläuft näherungsweise gleich. Betrachtet man hingegen Abbildung 5.6, so unterscheiden sich beide Spektren sehr in ihrem Erscheinungsbild, die Nebenmaxima sind bei der roten Kurve weitaus intensiver ausgeprägt. Eine konkrete Aussage über den Einfluss des mechanischen Spiels lässt sich hier noch nicht treffen. Vergleicht man jedoch die Messungen bei einer Kristallposition von 3,095mm mit der Anfahrriechung 11,4mm nach 0mm (siehe Abbildung 5.5 und 5.6, Pfeile), so ist zu erkennen, dass Haupt- und Nebenmaxima gewechselt haben. Der Einfluss der verschiedenen Versuchstage, scheint gravierender als das mechanische Spiel. Diese Vermutung untermauern Abbildung 5.7 und 5.8, wobei sich die Spektren an den gleichen Versuchstagen, trotz ungleicher Anfahrriechung, in ihrer Gestalt näher sind, als aus gleicher Richtung und an verschiedenen Versuchstagen (Abb. 5.9 und 5.10). Eine mögliche Ursachen könnten veränderte Versuchsbedingungen sein, die nicht in Betracht gezogen wurden, wie z.B. die Raumtemperatur. Anhand der Auswertung über die Wellenlängen der Hauptmaxima, soll diese Vermutung nun noch genauer untersucht werden. Dabei ist die Darstellung in Tabelle 5.3 und 5.4 wie folgt zu verstehen. In Tabelle 5.3 werden die Werte verglichen, die am selben Versuchstag, aber aus unterschiedlichen Richtungen aufgenommen wurden. Identische Werte sind dabei farbig markiert. Die umgekehrte Betrachtung findet in Tabelle 5.4 statt, hier werden die Werte mit der selben Anfahrriechung aber unterschiedlichen Versuchstagen verglichen, auch hier sind identische Werte farbig markiert.

Das Ergebnis zeigt eindrucksvoll, dass das mechanische Spiel gegenüber dem Einfluss der verschiedenen Versuchstage vernachlässigt werden kann.

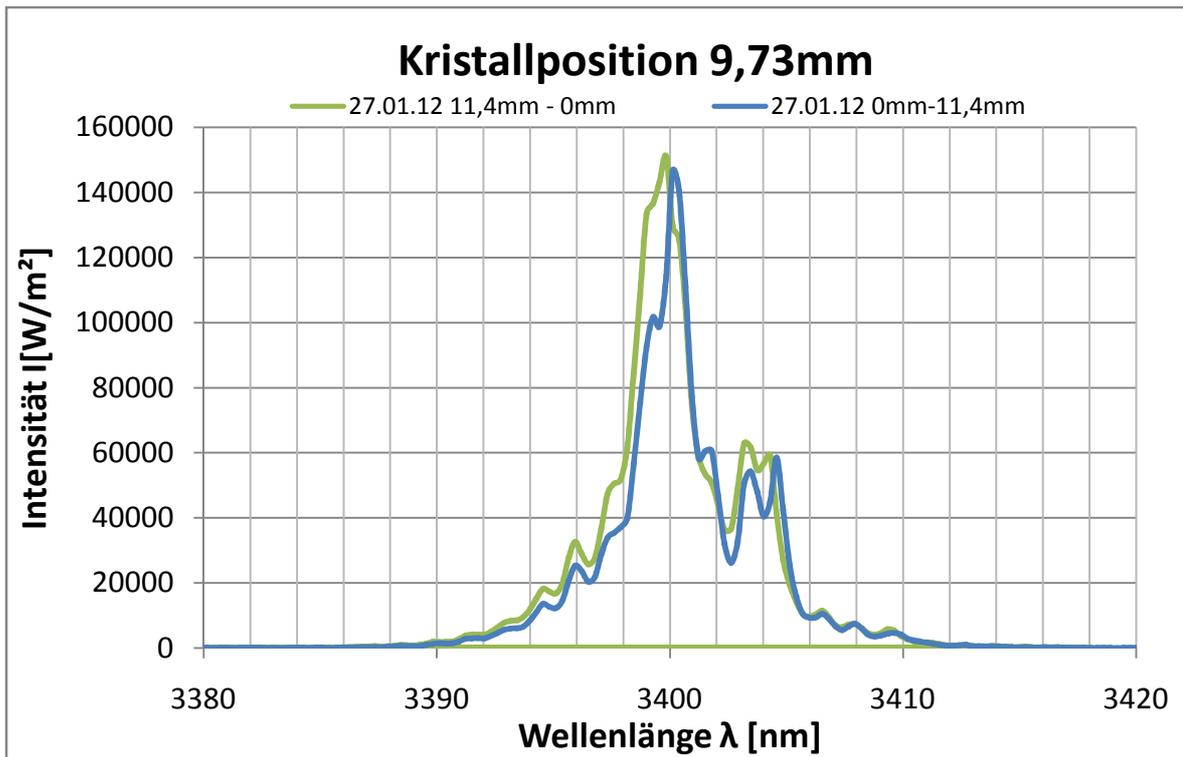


Abb. 5.9 Spektrum bei 9,73mm 27.01.2012

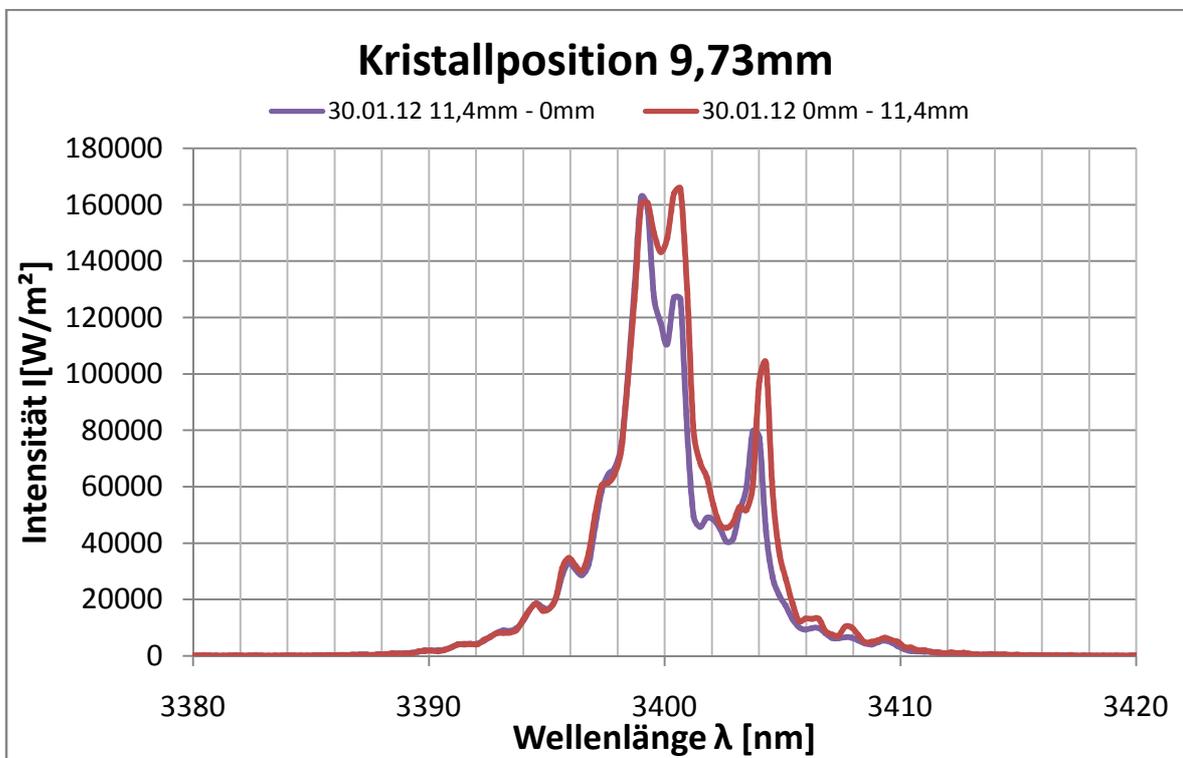


Abb. 5.10 Spektrum bei 9,73mm 30.01.12

Pos [mm]	Wellenlänge λ [nm]				Mittelwert λ [nm]	Standardabw S_λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]	$\Delta\lambda\%$ [%]
	27.01.2012 0 - 11,4mm	30.01.2012 0 - 11,4mm	27.01.2012 11,4 - 0mm	30.01.2012 11,4 - 0mm				
0,920	3874,36	3874,00	3874,36	3874,36	3874,27	0,18	0,09	0,0023%
1,660	3837,44	3837,08	3837,44	3837,08	3837,26	0,20	0,10	0,0027%
2,390	3799,47	3799,12	3799,47	3799,12	3799,29	0,20	0,10	0,0026%
3,095	3763,27	3761,56	3763,61	3761,90	3762,58	1,00	0,50	0,0134%
3,795	3726,74	3727,08	3726,74	3726,74	3726,83	0,17	0,08	0,0022%
4,480	3691,25	3690,92	3691,25	3690,92	3691,08	0,19	0,09	0,0026%
5,115	3656,10	3655,78	3656,10	3655,78	3655,94	0,19	0,09	0,0025%
5,750	3622,57	3622,89	3622,89	3622,89	3622,81	0,16	0,08	0,0022%
6,385	3589,02	3588,71	3589,02	3588,71	3588,87	0,18	0,09	0,0025%
6,965	3555,79	3555,49	3555,79	3555,49	3555,64	0,18	0,09	0,0025%
7,595	3523,17	3522,87	3523,17	3522,87	3523,02	0,17	0,09	0,0025%
8,100	3492,02	3492,31	3492,31	3490,84	3491,87	0,70	0,35	0,0100%
8,650	3460,55	3460,55	3460,83	3460,26	3460,55	0,24	0,12	0,0034%
9,200	3429,92	3429,35	3429,64	3429,35	3429,57	0,27	0,14	0,0040%
9,730	3400,11	3400,67	3399,83	3399,00	3399,90	0,70	0,35	0,0102%
10,180	3370,54	3370,00	3370,54	3370,00	3370,27	0,32	0,16	0,0047%
10,915	3327,54	3326,21	3326,48	3326,21	3326,61	0,64	0,32	0,0095%
11,367	3298,69	3298,96	3298,96	3297,91	3298,63	0,50	0,25	0,0075%

Tab. 5.3 Vergleich gleicher Versuchstag & ungleiche Anfahrriichtung

Pos [mm]	Wellenlänge λ [nm]				Mittelwert λ [nm]	Standardabw S_λ [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]	$\Delta\lambda\%$ [%]
	27.01.2012 0 - 11,4mm	30.01.2012 0 - 11,4mm	27.01.2012 11,4 - 0mm	30.01.2012 11,4 - 0mm				
0,920	3874,36	3874,00	3874,36	3874,36	3874,27	0,18	0,09	0,0023%
1,660	3837,44	3837,08	3837,44	3837,08	3837,26	0,20	0,10	0,0027%
2,390	3799,47	3799,12	3799,47	3799,12	3799,29	0,20	0,10	0,0026%
3,095	3763,27	3761,56	3763,61	3761,90	3762,58	1,00	0,50	0,0134%
3,795	3726,74	3727,08	3726,74	3726,74	3726,83	0,17	0,08	0,0022%
4,480	3691,25	3690,92	3691,25	3690,92	3691,08	0,19	0,09	0,0026%
5,115	3656,10	3655,78	3656,10	3655,78	3655,94	0,19	0,09	0,0025%
5,750	3622,57	3622,89	3622,89	3622,89	3622,81	0,16	0,08	0,0022%
6,385	3589,02	3588,71	3589,02	3588,71	3588,87	0,18	0,09	0,0025%
6,965	3555,79	3555,49	3555,79	3555,49	3555,64	0,18	0,09	0,0025%
7,595	3523,17	3522,87	3523,17	3522,87	3523,02	0,17	0,09	0,0025%
8,100	3492,02	3492,31	3492,31	3490,84	3491,87	0,70	0,35	0,0100%
8,650	3460,55	3460,55	3460,83	3460,26	3460,55	0,24	0,12	0,0034%
9,200	3429,92	3429,35	3429,64	3429,35	3429,57	0,27	0,14	0,0040%
9,730	3400,11	3400,67	3399,83	3399,00	3399,90	0,70	0,35	0,0102%
10,180	3370,54	3370,00	3370,54	3370,00	3370,27	0,32	0,16	0,0047%
10,915	3327,54	3326,21	3326,48	3326,21	3326,61	0,64	0,32	0,0095%
11,367	3298,69	3298,96	3298,96	3297,91	3298,63	0,50	0,25	0,0075%

Tab. 5.4 Vergleich gleiche Anfahrriichtung & ungleiche Versuchstage



5.3.2 Messreihe 2

Die Messreihe 2 sollte untersuchen ob die Durchführung einer Nullpunktkalibrierung, Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Wellenlänge hat. Zu diesem Zweck wurde die Kristallposition 0,12mm, mehrmals von Null aus angefahren. Nach vier durchgeführten Messungen wurde eine Nullpunktkalibrierung durchgeführt und im Anschluss erneut viermal gemessen. Die Tabelle 5.5 und Abbildung 5.11 zeigen die Ergebnisse. Dabei ist erneut festzustellen, dass sich die Abweichungen nach der Kalibrierung auf einen Wechsel von Haupt und Nebenmaxima zurückführen lassen. Neben dem Hauptmaximum existierende Nebenmaxima, waren auch bei der Messreihe 1 aufgetreten, ebenso wie ein Wechsel zwischen beiden. Ein direkter Zusammenhang zwischen Nullpunktkalibrierung und Vertauschung des Haupt und Nebenmaximums, ist mit dieser Messreihe 2 nicht zu belegen.

Messung	Position [mm]	λ [nm]	
1	0,12	3913,8525	mechanische
2	0,12	3913,8525	
3	0,12	3913,8525	
4	0,12	3913,8525	
5	0,12	3915,7002	Nullkalibrierung
6	0,12	3913,8525	
7	0,12	3913,8525	
8	0,12	3915,3305	

Tab.5.5 Ergebnisse nach Nullkalibrierung

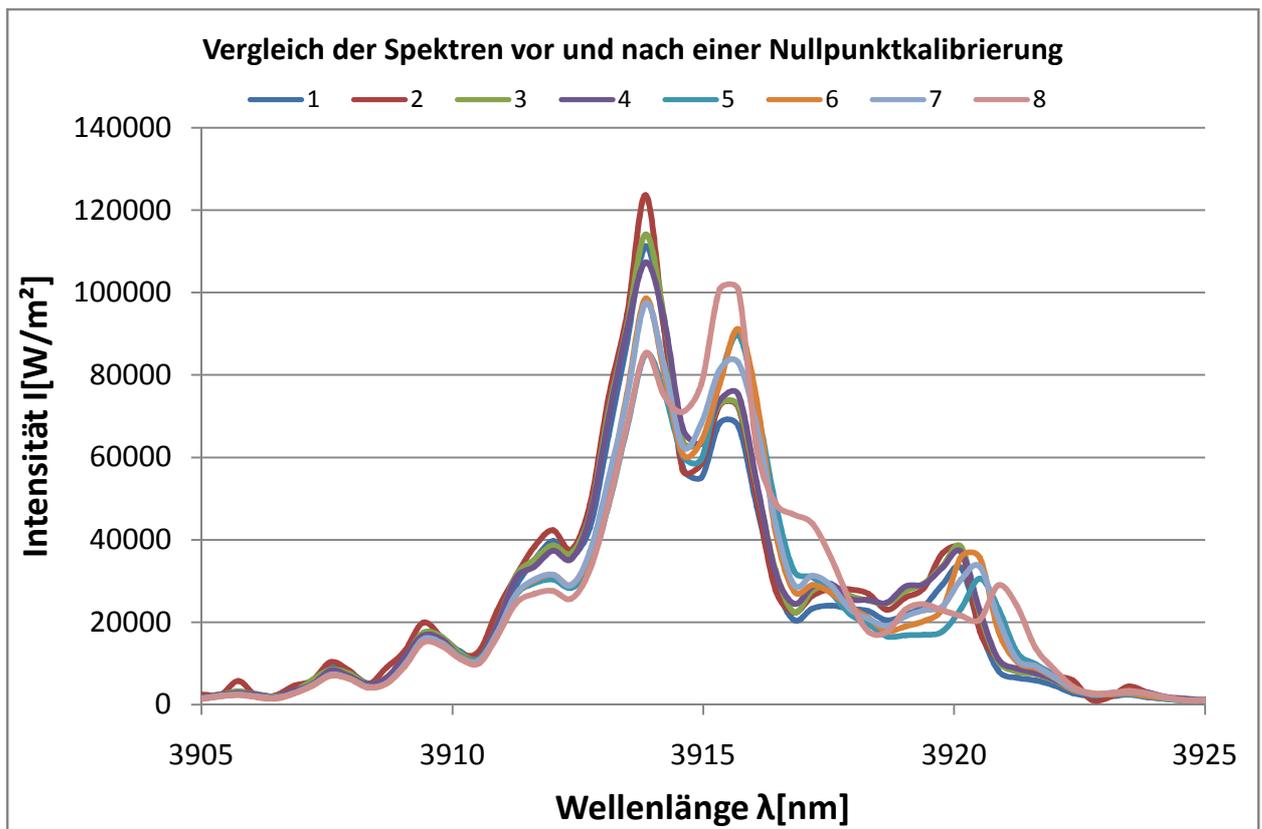


Abb. 5.11 Ergebnisse Nullpunktkalibrierung

5.4 Das Versuchsergebnis

Betrachtet man nur die Wellenlängen mit maximaler Intensität, so ist die Wellenlänge sehr gut über die Kristallposition reproduzierbar. Die Abweichungen bei der genaueren Betrachtung des Laserspektrums, sind teilweise erheblich. Ob diese Abweichungen für den Einsatz in der PAS relevant sind, gilt es zu prüfen, ist jedoch nicht Teil dieser Arbeit. Sind diese Abweichungen vernachlässigbar, so ist eine ausreichend genaue Reproduzierung der Wellenlänge über die Kristallposition gegeben.

Desweiteren wurde gezeigt, dass das mechanische Spiel der Vorrichtung, keinen nennenswerten Einfluss auf die Reproduzierbarkeit hat. Die Durchführung einer erneuten Nullpunktkalibrierung sollte jedoch vermieden werden, da ihre Auswirkungen nicht eindeutig verifiziert werden konnten.



6 Fazit

Abschließend betrachtet, lässt sich diese Diplomarbeit als erfolgreich ansehen. Vor Beginn der Arbeit war nicht abzusehen, ob sich unter den gegebenen Umständen und der zeitlichen Begrenzung, eine Vorrichtung für die Automatisierung der Kristallpositionseinstellung am OPO-Modul überhaupt herstellen lässt. Die vorangegangenen Kapitel haben jedoch gezeigt, dass die entwickelte Vorrichtung einwandfrei funktioniert und mit ihr eine Verbesserung der Versuchsbedingungen erreicht wurde. Die Versuche haben gezeigt, dass die Wellenlänge grundsätzlich reproduzierbar sein kann. Die konkreten Auswirkungen äußerer Einflüsse, wie z.B. die Labortemperatur müssen noch näher betrachtet werden. Auch die Auswirkungen anderer Variablen, wie der Etalonwinkel und die Kristalltemperatur sollten bei weiteren Untersuchungen einbezogen werden. Ein Verzicht auf die Messung der Wellenlängen, wobei diese nur über die Kristallposition ermittelt wird, ist bei der Anwendung der PAS aktuell nicht zu empfehlen.

A Literaturverzeichnis

- [1] Laserspektroskopie 1 Grundlagen, 6. aktualisierte Auflage, Wolfgang Demtröder, Springer-Verlag, ISBN 978-3-642-21305-2.

- [2] Physik im Überblick, Prof. Bernd Baumann, J. Schlembach Fachverlag, ISBN 3-935340-04-4

- [3] Breath Analysis Using Laser Spectroscopic Techniques: Breath Biomarkers, Spectral Fingerprints, and Detection Limits, Chuji Wang und Peeyush Sahay, Sensors 2009, 9, 8230-8262, www.mdpi.com/journal/sensors

- [4] Photonik, Fachzeitschrift für die Optischen Technologien, 43. Jahrgang, Ausgabe 1-2011

- [5] ArgosTM Model 2400 CW OPO User Manual, Lockheed Martin Aculight

- [6] PD-110/TMCM-110 Start in Trinamic's Schrittmotorsystem, Trinamic Motion Control GmbH & Co. KG, www.trinamic.com

- [7] TMCLTM Firmware Manual Version 1.01 26.Jan.2011, Trinamic Motion Control GmbH & Co. KG, www.trinamic.com