

Laserstrahl-Stabilisierung *Compact*

Benutzerhandbuch

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeine Beschreibung.....	4
2. Systembestandteile.....	4
3. Spezifikation.....	5
3.1. Positionsgenauigkeit.....	6
3.2. Verhältnis der tatsächlichen Position zur gemessenen Spannung.....	7
4. Optische Komponenten.....	8
4.1. Kippspiegelhalter.....	8
4.2. Detektoren.....	9
4.2.1. 4-Quadranten-Detektoren.....	9
4.2.2. Wide-Intensity-Detektoren (WID) - 4-QDs mit großem Intensitätsbereich.....	9
4.2.3. PSD-Detektor.....	9
4.3. Vakuum-Anpassungen.....	10
4.4. Optische Filter.....	10
5. Installation und Bedienung.....	10
5.1. Aufbau der optischen Komponenten.....	11
5.2. Anschließen der Kabel.....	13
5.3. Stromversorgung.....	14
5.4. Intensitätseinstellung.....	14
5.4.1. Einstellung der Empfindlichkeit von 4-QDs.....	14
5.4.2. Einstellung der Empfindlichkeit von PSDs.....	15
5.4.3. Wechsel der optischen Filter.....	15
5.5. Vorjustierung.....	15
5.6. Richtungskodierung.....	16
5.7. Feinjustierung.....	16
5.8. Einstellung des Regelkreis-Proportionalglieds („P-Faktor“.....)	16
6. Bedienungs- und Sicherheitsfunktionen.....	17
6.1. Positions- und Intensitätsanzeige.....	17
6.2. Nullpositionierung bei Leistungsabfall.....	18
6.3. Einschaltverzögerung.....	18
6.4. Regelungsstatus (Interlock).....	18
6.5. Schalter für Bandbreitenbegrenzung.....	18
7. Option: Sample&Hold Zusatzschaltung („ADDA“.....)	19
7.1. Technische Eigenschaften.....	19
7.2. Betriebsarten.....	19
7.3. Konfiguration und Inbetriebnahme.....	20
7.4. Funktionsweise und Verhalten.....	21
8. Option: Serielle Schnittstelle (USB, RS-232 oder Ethernet).....	24
9. Zusätzliche Ein- und Ausgänge (Optionen).....	24
9.1. Positionseingänge zur Verschiebung der Sollposition auf PSDs („Adjust-in“.....)	24
9.2. Direkte Ansteuerung der Piezo-Aktuatoren („Drive Actuator“.....)	25
9.3. Option: Externe Aktivierung.....	25

9.4. Intensitätsausgänge am Controller.....	26
9.5. Range-Ausgänge am Controller zur Beobachtung der Piezo-Spannungen.....	26
11. Kabel.....	26
11.1. Standardkabel.....	26
11.2. Zusätzliche Kabel.....	27
12. Fehlerbehebung.....	27
12.1. Keine Anzeige – alles dunkel.....	27
12.2. Kein Detektorsignal.....	27
12.3. Laserstrahl ist nicht korrekt positioniert.....	27
12.4. Die Kippspiegel sind akustisch deutlich wahrzunehmen.....	28
12.5. Laserposition ist nicht stabil.....	28
12.6. Dauerhaft rotes „Range“-Signal.....	28
12.7. „Range“-Signale springen bei Richtungsumschaltung hin und her.....	28
12.8. System regelt von der Mitte weg.....	28
13. Sicherheit.....	29
14. Kontakt.....	29

Änderungen vorbehalten

1. Allgemeine Beschreibung

Die *Compact* Laserstrahl-Stabilisierung kompensiert Vibrationen, Stöße, thermische Fluktuationen oder andere unerwünschte Veränderungen der Laserstrahl-lage. Sie ist überall von Nutzen, wo Schwankungen oder Bewegungen auftreten, aber eine hohe Präzision und Reproduzierbarkeit der Strahlposition und -richtung benötigt wird.

Mit Positionsdetektoren (4-Quadranten-Detektoren (4-QD) oder PSDs) wird die Lage des Laserstrahls vorgegeben. Dazu kann der schwache transmittierte Strahlanteil („Leakage“) hinter hochreflektierenden Spiegeln genutzt werden.

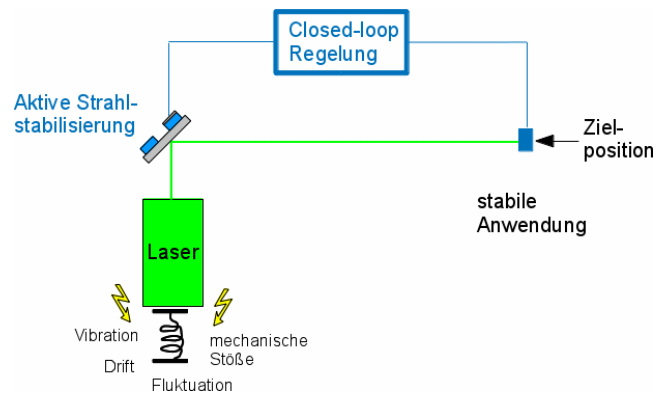


Abbildung 1: Prinzip der Laserstrahlstabilisierung

Der closed-loop Realtime-Regelkreis ermittelt ständig die Abweichung der Strahl-lage und steuert die schnellen Piezo-getriebenen Aktuatoren so an, dass die Kippspiegel den Laserstrahl stabilisieren.

In einer „4-Achsen-Regelung“ werden zwei Detektor-Kippspiegel-Paare verwendet, um den Strahl in vier Freiheitsgraden (4D, Position und Winkel) zu stabilisieren. Die „2-Achsen-Regelung“ verwendet nur ein solches Paar. Damit kann der Strahl entweder an genau einem Punkt oder, wenn der Detektor z.B. in den Brennpunkt einer Linse gestellt wird, in seiner Richtung stabilisiert werden.

2. Systembestandteile

Die Strahlstabilisierung besteht aus der Elektronik mit der Regelung („Controller“) und den optoelektronischen Komponenten (Kippspiegelhalter, Detektoren). Die folgenden Abbildungen zeigen die Standardkomponenten. Wir bieten darüber hinaus weitere Typen von Spiegelhaltern mit Piezo-Aktuatoren und Detektoren an. Bitte vergleichen Sie hierzu die Spezifikation in den Abschnitten 3 und 4.



Abbildung 2, 3 und 4 (von links nach rechts): Kippspiegel mit Piezostellelement (Modell P2S30), Detektor mit Positions- und Intensitäts-Display (horizontaler Aufbau), Detektor (vertikaler Aufbau)

Die System-Elektronik (mit Regelung, Verstärkern, Spannungsversorgungen) ist in einem kompakten Gehäuse im Eurokarten-Format untergebracht. Sie wird von einem 12V-Steckernetzteil gespeist.

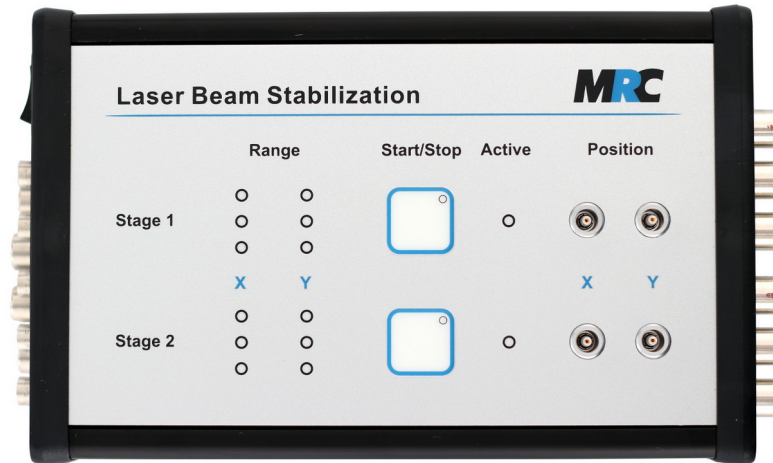


Abbildung 5: Folientastatur und Anschlussbuchsen auf der Oberseite der System-Elektronik



Abbildung 6: Spannungseingang und Ausgangsbuchsen an der linken Gehäuseseite



Abbildung 7: Eingangsbuchsen, P-Faktor-Einstellungen und Schalter an der rechten Gehäuseseite

3. Spezifikation

Für die verschiedenen Komponenten der Strahlstabilisierung gibt es detaillierte Datenblätter, die Sie auf unserer Website finden. Wir können sie Ihnen gerne auch zusenden. Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick:

Optische Eigenschaften

Wellenlänge	320 bis 1.100 nm, UV- und IR-Detektoren auch erhältlich
Repetitionsrate	beliebig, auch cw
	Für Laser mit kleinen Repetitionsraten (< 1 kHz), Einzelpulsen oder Betriebszuständen, in denen der Laser zwischenzeitlich aus ist, ist ein zusätzliches Sample&Hold-Modul erhältlich siehe auch Anmerkung (1)
Laserstrahl-Durchmesser	< 6-8 mm ($1/e^2$), siehe auch Anmerkung (2)

Strahlhöhe	40 mm bei <i>P2S30</i> und <i>P4S30</i> , 45 mm bei <i>PKS</i> , 39,5 mm bei <i>PSH</i>
Spiegeldurchmesser	<i>P2S30</i> : 1" (Standard) <i>P4S30</i> : 1", 1,5", 2" und andere Spiegeldurchmesser möglich
Spiegeldicke	1/4" oder 1/8" (empfohlen)

System-Elektronik Abmessungen

B x H x T	166 x 106 x 56 mm ³
-----------	--------------------------------

Weitere Funktionen

Leistungs-Aussteuerungsanzeige	LED-Zeile mit 10 Elementen auf der Detektor-Rückseite
Positionsdisplay	LED-Kreuz auf der Detektor-Rückseite
Variable Signalverstärkung	Kontinuierlich einstellbar mit Potentiometer (1:6)
Nullpositionierung bei Leistungsabfall	Leistung auf den Detektoren fällt unter 10% der Sättigung
Einschaltverzögerung	300 ms

Computer-Schnittstelle

Optionen	USB, RS-232 oder Ethernet
----------	---------------------------

Steckverbinder am Controller

Aktuator	LEMO 0S Serie
Detektor	LEMO 0B Serie
Regelungsstatus (Interlock)	LEMO 00 Serie
x, y, Ausgänge - Strahlposition	LEMO 00 Serie
P-Faktor-Einstellung / -Ausgabe	LEMO 00 Serie
Netzteil	12 V / DC Steckverbinder

Anmerkungen:

- (1) Die Beschreibung des Sample&Hold-Moduls finden Sie in Kapitel 7 dieses Handbuchs.
- (2) Falls der Durchmesser mehr als 8 mm beträgt, kann eine Linse vor dem Detektor eingesetzt werden. Siehe hierzu die Beschreibung „Optimierung des Aufbaus mit Linsen“ auf unserer Website.

3.1. Positionsgenauigkeit

Die Positionsgenauigkeit hängt von den mehreren Faktoren ab:

- Optischer Abstand zwischen Kippspiegel und dazugehörigem Detektor: Die Genauigkeit ist umso größer, je größer der Abstand gewählt werden kann.
- Strahldurchmesser: Bei gleicher Positionsänderung ergeben sich bei einem kleineren Strahldurchmesser größere Leistungsdifferenzen zwischen den einzelnen Quadranten einer 4-QD und somit ein steileres Regelsignal. Deshalb können Laserstrahlen mit kleinen Durchmessern mit einer höheren Genauigkeit positioniert werden als solche mit großen Durchmessern.
- Intensität: Die Auflösung der Detektoren hängt auch von der Intensität auf der Sensorfläche ab. Diese kann aber durch optische Filter und elektronisch variiert werden (siehe Abschnitt 5.4).
- Repetitionsrate und Pulsdauer: Die Regelungsbandbreite des Systems kann für unterschiedliche Laserparameter optimiert werden. Bei größeren Bandbreiten reagiert das System schneller, womit die Positionsgenauigkeit bei schnellen Störungen zunimmt.

Anmerkung: Das System regelt auf den Schwerpunkt des transversalen Strahlprofils. Profilveränderungen können prinzipbedingt nicht reduziert werden.

Die Positionssignale der Detektoren können an der Oberseite des Controllers ausgelesen werden.

Positionsausgänge x, y

Beschreibung	4 Ausgänge: Strahlposition (Stufe 1 und Stufe 2)
Signal	Analog, - 5 V ... + 5 V
Anschlüsse	LEMO 00 Serie

Abbildung 8 zeigt typische Auflösungen der 4-Quadranten-Detektoren. An diesem Beispiel ist zu erkennen, dass bei geeignet gewählten Parametern Auflösungen bis unter 100 nm auf den Detektoren möglich sind. Die Winkelauflösung ergibt sich dann aus den jeweiligen Armlängen.

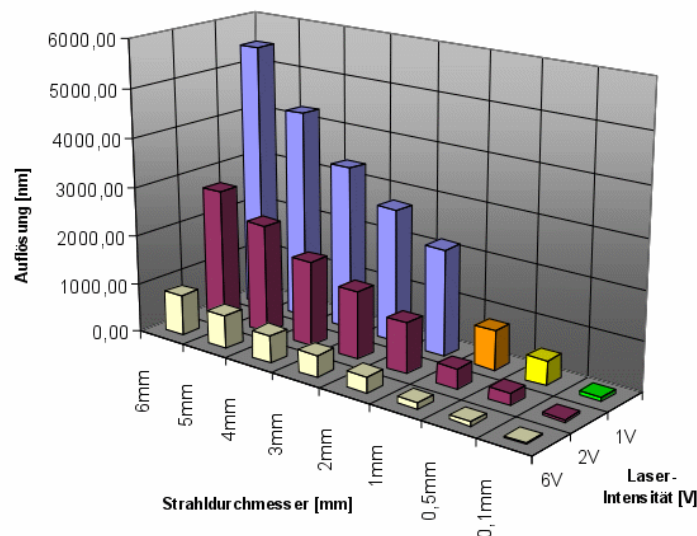


Abbildung 8: Auflösung einer 4-Quadranten-Diode bei Bestrahlung mit einem roten He-Ne-Laser mit verschiedenen Strahldurchmessern und Laserintensitäten

Durch Verwendung des Materials Invar mit einem äußerst kleinen thermischen Ausdehnungs-Koeffizienten sind die Detektoren gegenüber Temperaturschwankungen stabilisiert, so dass die Genauigkeit auch langfristig erhalten bleibt.

Die Aktuatoren werden analog angesteuert, so dass ihre Positionsauflösung nicht durch einzelne Schritte limitiert ist. Die Einstellgenauigkeit für die Piezostellelemente liegt bei wenigen Grad.

3.2. Verhältnis der tatsächlichen Position zur gemessenen Spannung

Die Positionssignale werden als Spannungswerte ausgegeben. Mit den folgenden Formeln ist eine Umrechnung in tatsächliche Positionen möglich.

4-Quadranten-Detektor

Zur Berechnung muss man zunächst einmalig den Strahldurchmesser ermitteln und kann dann die Positionsabweichungen in μm berechnen. Solange sich der Strahl nahe dem Zentrum der 4-Quadranten-diode befindet, kann die folgende Näherung verwendet werden:

$$x[\mu\text{m}] = \frac{D[\mu\text{m}]}{\pi} \cdot \frac{x[\text{V}]}{I[\text{V}]}$$

Dabei ist x das in Volt gemessene bzw. in μm berechnete x -Positionssignal. Für y kann genauso gerechnet werden. D ist der Gauss'sche Strahldurchmesser ($1/e^2$) und I das gemessene Intensitätssignal.

Zur genaueren Berechnung oder bei größerem Abstand des Strahls vom Zentrum kann die folgende Formel verwendet werden. Hierbei ist $\text{erfinv}()$ die inverse Fehlerfunktion:

$$x[\mu\text{m}] = \frac{D[\mu\text{m}]}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \text{erfinv}\left(\frac{x[\text{V}]}{I[\text{V}]}\right)$$

Für eine genauere Ermittlung und insbesondere bei anderen Strahlprofilen kann das Verhältnis über eine Kalibrierung mit Hilfe eines Mikrometer-Positioniertischs ermittelt werden.

PSD-Detektor

Bei den PSD-Detektoren ist das Verhältnis von Spannung zu Position nahezu linear. Hier kann man näherungsweise von folgendem Verhältnis ausgehen (analog für y):

$$x[\mu\text{m}] = \frac{x[\text{mV}]}{(1,2 \pm 0,03)}$$

Weitere Erläuterungen zu den Berechnungen finden Sie in der Beschreibung „Positions- und Winkelgenauigkeit“ auf unserer Website.

4. Optische Komponenten

In diesem Kapitel fassen wir einige wesentliche Eigenschaften der optischen Komponenten der Strahlstabilisierung zusammen. Ausführlichere Informationen finden Sie in den jeweiligen Datenblättern.

4.1. Kippspiegelhalter

Spezifikation	<i>P2S30</i>	<i>P4S30</i>
Maximale Verkippung	2 mrad (± 1 mrad) mechanisch, 4 mrad optisch	4 mrad (± 2 mrad) mechanisch, 8 mrad optisch
Manuelle Grobeinstellung	$\pm 4,5^\circ$	$\pm 4,5^\circ$
Piezo-Stellelemente	2 integrierte Piezo-Stacks	4 integrierte, gegeneinander verspannte Piezo-Stacks
Hohe Resonanzfrequenzen	bis 1.200 Hz	> 1.200 Hz (mit 1"-Spiegel) ~ 300 Hz (mit 2"-Spiegel)
Hohe Stabilisierungsbandbreiten	ca. 400 Hz (mit 1"-Spiegel)	> 400 Hz (mit 1"-Spiegel) > 100 Hz (mit 2"-Spiegel)
Spiegelgrößen	1 Zoll	1, 1,5, 2 und 3 Zoll
Freie Apertur für Strahltransmission	12 x 12 mm ²	-

Anmerkungen:

- Die bewegte Kopfplatte der Piezostellelemente ist empfindlich gegen mechanische Kräfte. Bitte vermeiden Sie unbedingt die Einwirkung starker Kräfte oder Drehmomente auf diese Platte. Die Piezo-Stacks befinden sich unmittelbar hinter der Platte.
- Sollten Sie einmal einen Spiegeladapter entfernen wollen, seien Sie besonders vorsichtig. Wir können Ihnen hierzu eine Anleitung zusenden oder auch ein Werkzeug zur Verfügung stellen.

4.2. Detektoren

4.2.1. 4-Quadranten-Detektoren

Spezifikation	<i>vis 4-QD (Silizium)</i>	<i>UV 4-QD 3x3 (erweitertes Si.)</i>	<i>IR InGaAs 4-QD</i>	<i>IR Germanium 4-QD</i>
Wellenlängenbereich	320 – 1.100 nm	190 - 1.000 nm	900 - 1.700 nm	800 - 2.000 nm
Aktive Fläche	10 x 10 mm ²	3 x 3 mm ²	Ø = 3 mm	5 x 5 mm ²
Gap zw. Quadranten	30 µm	100 µm	45 µm	20 µm
Empfindlichkeit	10–165 µW / 3-55 nJ @ 532 nm, cw (einstellbar über Gain-Potentiometer und optische Filter)			
Zerstörschwelle	durch optische Filter begrenzt – typische Werte: Max. absorbierte Leistung: 0,05 – 0,1 W für Ø=1mm, 0,2 – 0,4 W für Ø=3mm Max. absorbierte Energie: 1-5 µJ für Ø=1mm, 5-20 µJ für Ø=3mm			
Abmessungen				
Gehäuse (B x H x T)	40 x 49,5 x 23,9 mm ³			
Optische Filter	11,9 x 11,9 mm ²			
Weitere Funktionen				
Intensitätsanzeige	LED-Zeile mit 10 Elementen auf der Rückseite			
Positionsdisplay	LED-Kreuz auf der Rückseite			
Anschlüsse				
x-, y-, Int.-Ausgänge	MCX			
Stromversorgung	12 V / MCX			

4.2.2. Wide-Intensity-Detektoren (WID) - 4-QDs mit großem Intensitätsbereich

Spezifikation	
Dynamik- / Intensitätsbereich	3 Dekaden
Bandbreite	< 10 kHz
Signalskalierung	9 mV / µm (typisch mit 1 mm Strahldurchmesser)
Empfindlichkeitsbereich	~ 5 µW – 5 mW (@ 532 nm, cw)
Reproduzierbarkeit über den Intensitätsbereich	10 mV (mit 1 mm Strahldurchmesser ~ ± 1 µm)

Alle anderen Spezifikationen entsprechen dem gewöhnlichen 4-Quadranten-Detektor.

Anmerkungen:

- Die Funktion der Intensitätsanzeige ist unverändert. Sie kann die Auswahl der Filter weiterhin unterstützen. Das in Abschnitt 5.4 beschriebene Potentiometer entfällt dagegen.
- Wegen des großen Intensitätsbereichs kann der Detektor auch niedrigste Laserleistungen detektieren. Deshalb kann das Detektionssignal, je nach Wahl der optischen Filter, durch Umgebungslicht gestört werden.

4.2.3. PSD-Detektor

Spezifikation	<i>PSD für VIS</i>
Wellenlängenbereich	320 - 1.100 nm
Aktive Fläche	9 x 9 mm ²

Im Unterschied zur 4-Quadranten-Diode besitzt die PSD eine kontinuierliche Detektionsfläche.

Anmerkungen:

- Wenn wir eine Strahlstabilisierung mit PSDs ohne weitere Maßnahmen ausliefern, verwenden wir deren elektronisches Zentrum (definiert durch eine Spannung von jeweils 0V für die x- und y-Position) als Sollposition.
- Die Position-zu-Spannungs-Charakteristik einer PSD ist in der Regel nichtlinear. Dies bedeutet, dass beim Überstreichen der Sensorfläche eine Kissenverzeichnung auftritt, also der erwartete Positionswert minimal vom Spannungswert abweichen kann. Deshalb empfehlen wir die Durchführung einer entsprechenden Kalibrierung, wenn die Position auf einer definierten Bahn bewegt werden soll. Die absolute Genauigkeit an einer festen Position ist nicht betroffen.

4.3. Vakuum-Anpassungen

Sowohl die Detektoren als auch die Aktuatoren können für den Einsatz im Vakuum angepasst werden. Bei den Aktuatoren ist dies für Vakuumdrücke bis hinunter zu 10^{-11} mbar möglich. Dies ist aber ein extremer Wert. Falls Sie den Einsatz von Komponenten im Vakuum planen, nennen Sie uns bitte die entsprechenden Bedingungen, so dass wir die erforderlichen Maßnahmen mit Ihnen klären können. Einige Maßnahmen (Material- und Kabelwahl, Abdichtungen) dienen eher dazu, Ausgasungen zu verhindern und hängen vom Druck ab. Andere Maßnahmen sind wichtig, um die Komponenten selbst zu schützen.

Anmerkungen:

- Der Controller sollte nicht im Vakuum aufgestellt werden.
- Die vakuumtauglichen Detektoren haben keine LED-Anzeigen auf der Rückseite. Daher werden zusätzliche Intensitätsausgänge in den Controller integriert.

4.4. Optische Filter

Wir integrieren in der Regel zwei optische Filter in die Aufnahme vor dem Sensor am Detektorgehäuse. Die Filter haben eine Größe von $11,9 \times 11,9 \text{ mm}^2$ und passen in den dafür vorgesehenen Schacht am Detektorgehäuse. Der weiter innen liegende ist der optisch Dichtere.

5. Installation und Bedienung

Teil des Lieferumfangs ist eine Kurzanleitung, in der die Inbetriebnahme der Strahlstabilisierung erläutert wird. Wenn Sie diese Anleitung nicht mehr haben, können Sie sie von unserer Website herunter laden oder uns danach fragen. Im Folgenden erläutern wir einzelne Schritte etwas ausführlicher.

Die Systembedienung kann am besten anhand der Abbildungen 5 bis 7 erläutert werden. Abbildung 5 zeigt die Oberseite der System-Elektronik mit der Folientastatur und den Positionssignal-Ausgängen für zwei Paare von Detektoren und Aktuatoren (Regelstufen *Stage 1* und *Stage 2*). Jede Regelstufe kann durch Drücken der *Start/Stop*-Taste unabhängig ein- und ausgeschaltet werden. Sobald die Regelstufe aktiviert wurde, leuchtet die kleine LED rechts oben in der *Start/Stop*-Taste. Das *Range*-Display zeigt an, ob die Kippspiegel innerhalb des möglichen Erfassungsbereichs eingestellt sind. Die *Active*-LED leuchtet, sobald die Regelstufe aktiv ist. Dies ist dann der Fall, wenn die *Start/Stop*-Taste betätigt wurde und die Laserleistung auf dem Detektor korrekt ist.

Die *Positions*-Ausgänge auf der Oberseite können dazu verwendet werden, die aktuelle Position des Laserstrahls auf jedem Detektor auszulesen (x und y).

Anmerkungen:

- Sobald die *Start/Stop*-Taste gedrückt wird (und die *Active*-LED leuchtet), bewegen sich die Aktuatoren aus den Nullpositionen heraus und reagieren auf die Eingaben des Controllers.
- Falls eine *Range*-LED rot leuchtet, bedeutet dies nicht unbedingt, dass der Strahl nicht stabil ist. Dies weist vielmehr darauf hin, dass keine stärkere Verkippung des Spiegels möglich ist, obwohl dies möglicherweise notwendig wäre.
- Falls die Leistung auf einem Detektor zu niedrig ist, werden die Aktuatoren in die Nullposition bewegt (die *Active*-LED erlöschen). Dies geschieht aufgrund der automatischen Abschaltung bei zu niedriger Leistung, die aus Sicherheitsgründen eingebaut wurde (siehe auch Abschnitt 6.2).

In den Abbildungen 6 und 7 sind beide Seiten der Elektronik abgebildet, die alle Ein- und Ausgänge, die *P-Faktor*-Einstellung, sowie die Schalter für die Auswahl der Richtungen (*Directions*) und Bandbreiten (*Bandwidth*) zeigen. Die Verbindungskabel zu den Aktuatoren werden an der linken Seite angeschlossen, die Verbindungskabel der Detektoren an der rechten.

Die Beschreibung zum Einstellen und Auslesen des *P-Faktors* befindet sich in Kapitel 5.8. Über die *Directions*-Schalter können die einzelnen Regelstufen in x- und y-Richtung kodiert werden. Diese sind entsprechend mit *Det1* und *Det2* verbunden. Eine weitere Beschreibung erfolgt in Abschnitt 5.6. Die Bandbreitenbegrenzung wird in Abschnitt 6.5 beschrieben.

Der *Status*-Signalausgang kann als Interlock oder zur Steuerung eines Shutters verwendet werden (siehe Abschnitt 6.4).

Anmerkung: Bitte beachten Sie, dass die Piezoelemente eine große Kapazität besitzen. Die Kabel zu den Aktuatoren sollten nicht ausgesteckt werden, solange die Piezoelemente noch geladen sind. D.h. Sie sollten die Strahlstabilisierung mit dem Netzschalter an der linken Gehäuseseite stromlos schalten und dann einige Sekunden warten, bevor Sie die Aktuatorkabel abziehen.

5.1. Aufbau der optischen Komponenten

Die Kippspiegel und Detektoren können für unterschiedliche Anwendungen variabel angeordnet werden.

Die Detektoren können hinter hochreflektierenden Spiegeln positioniert werden. Da sie sehr empfindlich sind, können sie bereits mit dem Leakage hinter dem Spiegel arbeiten. Dies hat den Vorteil, dass keine weiteren Komponenten in den Strahlengang gebracht werden müssen. Es ist aber ebenso möglich, ein Glasplättchen oder einen Strahlteiler im Strahlengang einzusetzen, um einen Reflex auf den Detektor zu lenken. Dies kann z.B. bei Laserstrahlen mit größeren Strahldurchmessern notwendig werden, bei denen der Aktuator die Transmission einschränken würde.

In jedem Fall sollen die Zentren der Detektoren so positioniert werden, dass sie die gewünschte Laserstrahlage bestimmen. Die Zielposition bei PSD-Detektoren kann vom Zentrum des Sensors abweichen. Weitere Informationen dazu finden Sie in Kapitel 4.2.3. Der erste Aktuator sollte in der Nähe des Lasers bzw. der letzten Störquelle, der letzte Detektor nahe am Ziel aufgestellt werden.

Anmerkung: Achten Sie beim Aufbau der Komponenten auf eine stabile Mechanik. Idealerweise sollten Sie diese ohne weitere Positionierungshilfen (wie z.B. Höhenverstellung) fest auf einem optischen Tisch verschrauben. Befinden sich schwingende Komponenten mit Resonanzfrequenzen innerhalb der Regelungsbandbreite im Aufbau, können diese die Regelung zum Schwingen veranlassen.

Die Abbildungen 9-13 zeigen eine Auswahl von möglichen Aufbauten. Die Beispiel-Setups beziehen sich auf die 4-Achsen-Regelung mit zwei Detektoren. Sie sind bei der 2-Achsen-Regelung analog anzuwenden mit der Änderung, dass Aktuator 2 und Detektor 2 entfallen.

- Abbildung 9 zeigt einen typischen 4-Achsenaufbau des Systems, bei dem der zu justierende Laserstrahl zuerst auf den Kippspiegel, dann auf eine Kippspiegel-Detektor-Kombination und zuletzt auf den zweiten Detektor hinter einem Spiegel trifft.
- Abbildung 10 zeigt einen ähnlichen Aufbau, bei dem vor den Detektoren noch Linsen platziert sind. Gleichzeitig wurde ein Strahlteiler in den Strahlengang gestellt. Dieser Aufbau empfiehlt sich z.B. bei großen Strahldurchmessern.
- In Abbildung 11 wurde zugunsten einer besseren Winkelauflösung eine Linse vor Detektor 2 platziert. In diesem Fall sollte die Linse möglichst im Abstand ihrer Brennweite vor dem Detektor stehen. Dabei sollte die Brennweite – abhängig vom Strahldurchmesser - so gewählt werden, dass der Fokus nicht zu klein wird. Bei 4-QDs sollte der Strahl auf dem Detektor noch einen Durchmesser von $> 50 \mu\text{m}$ haben, damit er alle Quadranten der Diode trifft. (Der Gap zwischen den Quadranten beträgt bei der vis-4QD $30 \mu\text{m}$, bei anderen 4QDs sogar mehr.).
- Abbildung 12 zeigt eine Variante von 11, bei der beide Detektoren gemeinsam hinter dem selben Spiegel platziert sind. Um sowohl die Strahlposition als auch die Strahlrichtung am selben Punkt zu detektieren, wird vor Detektor 2 eine Linse aufgestellt.

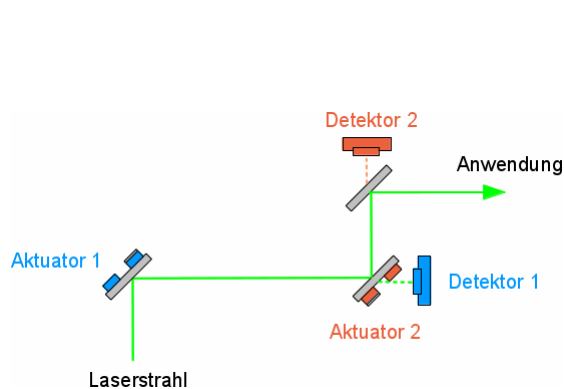


Abbildung 9: In diesem typischen Aufbau für die 4-Achsen-Regelung wird mit Detektor 1 die Strahlposition auf Aktuator 2 annähernd fixiert. Detektor 2 definiert dann eine zweite Strahlposition und somit den Winkel.

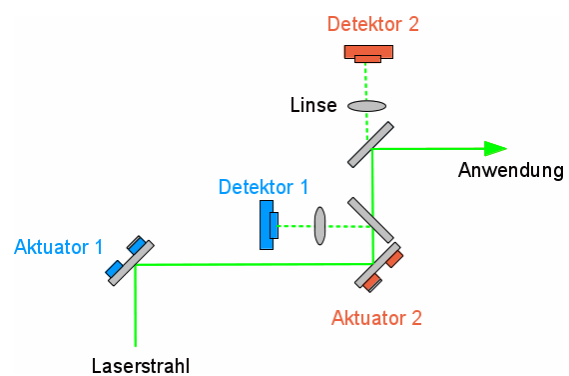


Abbildung 10: Aufbau wie in 9, mit zusätzlichem Strahlteiler und Linse vor Detektor 1 sowie Linse vor Detektor 2 (Einsatz z.B. bei großem Strahldurchmesser)

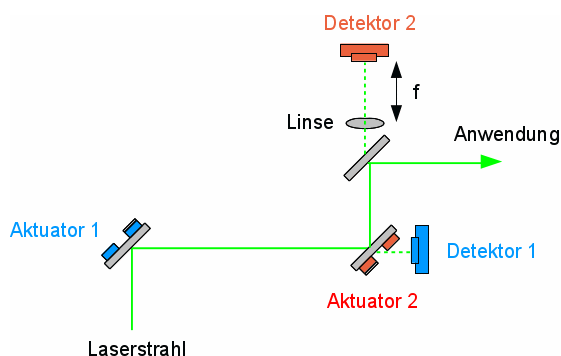


Abbildung 11: Aufbau wie 9, über eine Linse vor Detektor 2 erfolgt aber eine Winkeldiskriminierung. Dies kann insbesondere bei kurzen Abständen der Komponenten von Vorteil sein. Der Detektor muss dabei in die Brennebene der Linse gestellt werden.

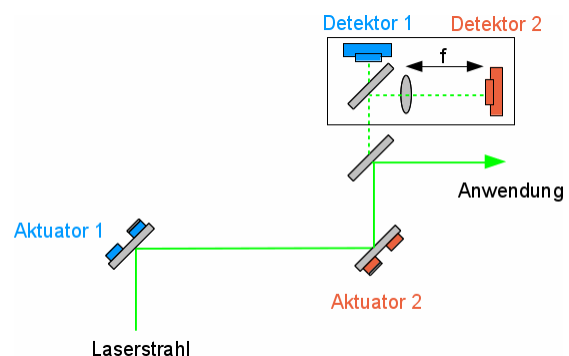


Abbildung 12: Dieser Aufbau zeigt eine Variante von Abbildung 11. Beide Detektoren befinden sich hinter dem selben Spiegel, um an einer Stelle die Strahlposition und den Winkel zu erfassen. Eine Linse vor Detektor 2 wird zur Winkeldiskriminierung eingesetzt.

- Abbildung 13 zeigt schließlich einen anderen Aufbau, bei dem das 4-Achsen-System als doppeltes 2-Achsen-System genutzt wird. Das heißt, die beiden Regelstufen des Controllers werden dazu benutzt, zwei voneinander unabhängige Laserstrahlen zu stabilisieren.

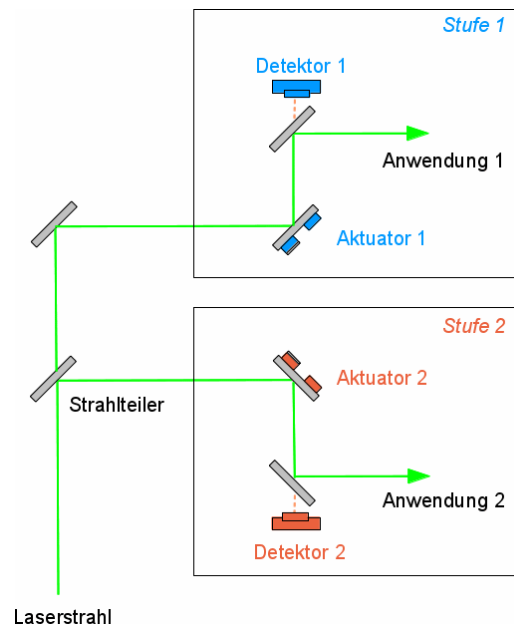


Abbildung 13: Aufbau eines 4-Achsen-Systems als doppeltes 2-Achsen-System. Mit diesem Aufbau können zwei getrennte Laserstrahlen unabhängig voneinander in der Position stabilisiert werden.

Anmerkungen:

- In einigen Anwendungsfällen kann es zu Positionierungsfehlern kommen, wenn der Abstand zwischen den Aktuatoren 1 und 2 relativ klein ist. Die Fehler treten dann auf, wenn Detektor 1 nicht unmittelbar hinter Aktuator 2 positioniert wird. Den Positionierungsfehler kann man durch Verwendung einer Linse vor Detektor 1 beheben. Dabei sollten die Linse und die Abstände so gewählt werden, dass die Spiegelvorderseite auf die Detektorfläche abgebildet wird. Die Abstände und die Brennweite f der Linse können über die Abbildungsgleichung $1/f = 1/b + 1/g$ ermittelt werden. Dabei sind g der Abstand zwischen der Spiegeloberfläche und der Linse und b der Abstand zwischen der Linse und der Sensoroberfläche.
- Zu Aufbauten mit Linsen beachten Sie bitte auch die Beschreibung „Optimierung des Aufbaus mit Linsen“ auf unserer Website.

5.2. Anschließen der Kabel

Der erste Kippspiegel wird mit dem Ausgang *Actuator 1* verbunden, der zweite mit *Actuator 2*.

Die Detektoren werden über ein 4 m langes LEMO-Kabel, das in ein Adapterkabel mit vier separaten Kabeln mündet, mit dem Controller verbunden. Die x- und y-Kabel müssen entsprechend der Orientierung der Detektoren angeschlossen werden: Wenn der Detektor wie in Abbildung 4 vertikal steht, wird das x-Kabel an den x-Ausgang und das y-Kabel an den y-Ausgang angeschlossen. Ist der Detektor dagegen wie in Abbildung 3 um 90° in die horizontale Orientierung gedreht, müssen das x-Kabel an den y-Ausgang und das y-Kabel an den x-Ausgang angeschlossen werden. Am anderen Ende wird das LEMO-Kabel der Detektoren an den jeweiligen Detektor-Eingang am Controller angeschlossen.

Anmerkungen:

- Bei einer 2-Achsen-Regelung können Sie entweder die erste oder die zweite Regelstufe verwenden, um die Regelung zu betreiben.

5.3. Stromversorgung

Die Stromversorgung erfolgt über das mitgelieferte Steckernetzteil. Das System wird über den Schalter links am Gehäuse eingeschaltet.

Anmerkung: Das Netzteil ist mit 12V und 3,8A spezifiziert. Die 3,8A werden im Dauerbetrieb nicht benötigt. Wegen der Beladung der Pufferkapazitäten und dem Hochfahren der Hochspannungsmodule sind aber die Spitzenströme beim Einschalten des Systems recht hoch. Wenn in der Einschaltphase nicht mindestens 3A zur Verfügung stehen, erreichen die Hochspannungsmodule nicht ihre Nennspannung und es besteht die Gefahr ihrer Zerstörung.

5.4. Intensitätseinstellung

5.4.1. Einstellung der Empfindlichkeit von 4-QDs

Um sicherzustellen, dass die Detektoren im linearen, regelbaren Intensitätsbereich arbeiten, kann bei einer Änderung der Laserintensität die Signalverstärkung am Potentiometer des jeweiligen Detektors angepasst werden (siehe Abbildung 14). Schalten Sie hierzu das System ein (Netzschalter auf ON), die Regelung aber inaktiv (Schalter *Start/Stop* auf aus, so dass die grüne *Active*-LED und die LED im Taster nicht leuchten). Justieren Sie dann den Laser auf den Detektor und wählen Sie am Potentiometer eine geeignete Verstärkung, bis als Maximalwert an den Anzeigen mindestens drei und maximal neun LEDs leuchten. Die Verstärkung steigt im Gegen-Uhrzeigersinn. Trifft zu viel Leistung auf den Detektor, geht er in Sättigung. In diesem Fall blinken die LEDs der Intensitätsanzeige.

Findet sich keine passende Einstellung, müssen die optischen Filter vor den 4-QDs ausgetauscht werden (siehe Kapitel 5.4.3). Sind keine passenden Filter verfügbar, wenden Sie sich bitte an uns.



Abbildung 14: 4-Quadranten-Diode. Der Pfeil zeigt auf das Potentiometer zur Intensitätsaussteuerung (mit Schraubenzieher zugänglich).

Anmerkungen:

- Bei Auslieferung befinden sich in der Regel zwei Filter vor der Sensorfläche. Dabei handelt es sich um einen starken Filter zur Grobeinstellung und einen schwächeren zur Feineinstellung. Normalerweise ist der oben liegende, als erstes zugängliche Filter der schwächere Filter.
- Bitte beachten Sie, dass die Sensorfläche recht empfindlich ist. Wenn Sie sie reinigen wollen, sollten Sie dies vorsichtig mit einem fusselfreien Tuch tun.

5.4.2. Einstellung der Empfindlichkeit von PSDs

Unsere PSDs haben im Unterschied zu den 4-QDs zwei kleine Taster anstelle des Potentiometers. Die Einstellung dieser Digital-Potentiometer kann mit Hilfe des der Lieferung beiliegenden Metallstifts durch leichtes Hineindrücken durchgeführt werden. Für jede Einstellrichtung gibt es einen separaten Taster hinter den beiden Gehäusebohrungen (siehe Pfeile in Abbildung 15). Mit dem oberen Taster lässt sich die Signalverstärkung schrittweise erhöhen, mit dem unteren Taster entsprechend senken. Zwischen höchster und niedrigster Verstärkung liegen 64 Schritte. Dies entspricht einer Empfindlichkeitsänderung um den Faktor 20. Findet sich keine passende Einstellung, müssen die optischen Filter vor den Sensoren angepasst werden.

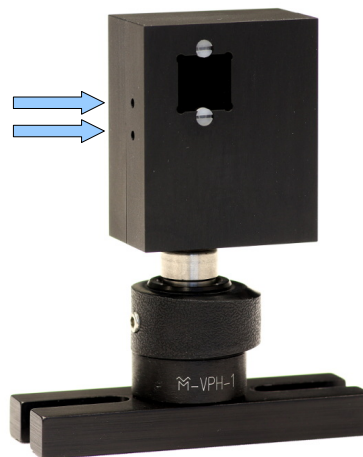


Abbildung 15: PSD-Detektor. Die Pfeile zeigen auf die Taster der Digital-Potentiometer zur Intensitätsaussteuerung (mit beiliegendem Metallstift zu betätigen)

5.4.3. Wechsel der optischen Filter

In einigen Fällen kann es notwendig sein, die optischen Filter auszutauschen. Die Filter sind mit Kunststoffschrauben im Gehäuse des Detektors fixiert. Um die Filter zu tauschen, werden die Kunststoffschrauben vorsichtig gelöst. Zum Einsetzen und Festhalten der Schrauben kann eine Pinzette hilfreich sein. In der Regel befindet sich der optisch dichtere Filter weiter innen im Gehäuse.

5.5. Vorjustierung

Zur Vorjustierung des Lasers auf die Detektoren sollten Sie die Regelung zunächst noch nicht aktivieren (*Active-LEDs* aus). Die Elektronik muss aber eingeschaltet (mit Strom versorgt) sein, damit die Piezo-Stellelemente ihre Nullstellung einnehmen. Der Laser sollte so auf die Detektoren justiert werden, dass nur noch die grünen LEDs in der Mitte des LED-Positionsdisplays leuchten. Falls Sie die Software einsetzen, können Sie die Positionen auch dort beobachten.

5.6. Richtungskodierung

Zu jeder Regelstufe gehören ein Kippspiegel und ein Detektor gemäß der Beschreibung in Abschnitt 5.1. Bei Abweichung der Laserstrahlposition auf einem Detektor wird der zugehörige Kippspiegel angesteuert, um den Laserstrahl in die Sollposition zurück zu lenken. Die zusammen gehörenden Komponenten sind in den Abbildungen 9-13 mit identischen Farben dargestellt. Die Richtung, in die der Kippspiegel bewegt werden muss, hängt aber von der Anordnung der Detektoren und der Kippspiegel ab. Sie kann während der im Abschnitt 5.7 beschriebenen Justage eingestellt werden. Dazu befinden sich an der rechten Seite der Controller-Elektronik vier Schalter (siehe Abbildung 7). Diese kodieren die x- und y-Richtungen der Regelstufen 1 und 2. Um die Richtung für den Regelungsbetrieb korrekt zu kodieren, schalten Sie jeweils eine Stufe ein. Wird der Strahl in x- (horizontal) und/oder y-Richtung (vertikal) nicht in die Mitte des Detektors, sondern in eine Extremposition gelenkt, müssen Sie den entsprechenden Schalter umlegen.

5.7. Feinjustierung

Auch die Feinjustierung sollte zunächst bei inaktivierter Regelung erfolgen. Je genauer die Nullposition der Kippspiegel mit der Sollposition übereinstimmt, desto kleiner ist später der Strahlversatz beim Aktivieren der Regelung.

Justieren Sie den Laserstrahl manuell mit den Kippspiegeln oder anderen im Strahlengang befindlichen Spiegeln so, dass er die Mitte der Detektoren trifft. Hierzu sollten Sie entweder die Positionsanzeigen in der Software betrachten oder die x-y-Positions-Ausgänge nutzen, die Spannungen liefern, die sich entsprechend der Abweichung von der Sollposition ändern. Die Spannungen können Sie sich mit einem Oszilloskop anschauen.

Ein hilfreiches Indiz für eine gute Justierung sind auch die Piezo-Spannungen. Sollten Sie die Software verwenden, können Sie zur finalen Justierung den Laserstrahl bei aktivierter Regelung (*Start/Stop*-Schalter eingeschaltet, grüne *Active*-LED und LED im Taster leuchten) weiter manuell so auf die Detektoren justieren, dass alle vier *Range*-Anzeigen in der Software nahe 0 V stehen. Die Kippspiegel arbeiten nun im linearen Regelbereich.

Nach diesen Einstellungen sollte der Laserstrahl bei aktivierter Regelung nach dem letzten Spiegel keine Strahlpositions-Fluktuationen mehr aufweisen.

5.8. Einstellung des Regelkreis-Proportionalglieds („P-Faktor“)

In der Regel führen die bei der Lieferung eingestellten Proportional- und Integralglieder des Regelkreises zu einer stabilen Performance der Strahlstabilisierung mit der benötigten Bandbreite. Deshalb sind auch keine Benutzereingriffe zur Einstellung der Regelparameter erforderlich. In bestimmten Fällen kann aber eine Anpassung des Regelkreises durch den Anwender gewünscht sein. Solche Fälle können z.B. Aufbauten mit vergleichsweise langen Armlängen sein.

Da das Verhalten des Regelkreises dabei hauptsächlich vom Proportionalglied bestimmt wird, bietet das System einen direkten Zugriff auf den P-Faktor beider Regelstufen mittels Potentiometern oder über die (optionale) serielle Schnittstelle. Die Potentiometer *P1* und *P2* befinden sich auf der Seitenplatte der Elektronik (Abbildung 7). Die Einstellung erfolgt unabhängig für beide Regelstufen. Durch Vergrößern des P-Faktors wird i.d.R. die Bandbreite des Gesamtsystems vergrößert. Zur Erzielung einer optimalen Performance empfehlen wir, das System zunächst mit einem kleinen P-Faktor in einem stabilen Aufbau zu betreiben. Danach können Sie den P-Faktor durch Drehen der Potentiometer im Uhrzeigersinn oder durch Erhöhen der Werte in der Software so lange vergrößern, bis das System seine Stabilitätsgrenze erreicht und die Regelung anfängt zu schwingen. Die Potentiometer oder Eingaben sollten anschließend so weit zurück gedreht werden, dass jederzeit ein schwingungsfreier Betrieb gesichert ist.

Anmerkungen:

- Der optimale P-Faktor kann bei den Regelstufen 1 und 2 unterschiedlich sein.
- Bei Änderung der Streckenverhältnisse, des Strahldurchmessers, der Laserintensität oder anderer Laserparameter kann sich auch der P-Faktor des Gesamtsystems ändern.

Das System verfügt auch über analoge Eingänge, über die die P-Faktoren elektronisch gesetzt werden können. Die Eingänge sind zusätzlich zu den Potentiometern in die Elektronik integriert. Sie sind mit *P1-Sig* und *P2-Sig* beschriftet (Abbildung 7). Wenn eine Steuerspannung angelegt wird, wird die Potentiometer-Stellung ignoriert. Die Eingangsspannungen können von 0 bis 5 V variiert werden. Die Schnittstelle kann auch zum Auslesen der aktuell mit den Potentiometern gesetzten Spannungswerten verwendet werden.

Spezifikation

Eingangs-/Ausgangs-Spannungsbereiche	0 ... +5 V
Stecker	LEMO 00 Serie
Kabel (optional)	LEMO 00 → BNC für jede Regelstufe, Länge: 2 m, 2 Stück

Anmerkung: Die Schnittstelle muss zum Setzen des P-Faktors mit einer niederohmigen Spannungsquelle ($\leq 1 \text{ k}\Omega$) betrieben werden. Beim Auslesen des gesetzten Wertes darf dagegen das Signal nur hochohmig ($\geq 1 \text{ M}\Omega$) abgeschlossen werden.

6. Bedienungs- und Sicherheitsfunktionen

6.1. Positions- und Intensitätsanzeige

Die Gesamtleistung auf jedem angeschlossenen Detektor wird mittels einer LED-Zeile auf der jeweiligen Detektorrückseite angezeigt. Die Strahlposition wird über ein LED-Kreuz angezeigt. Wenn der Laserstrahl das Zentrum des Detektors trifft, leuchtet nur die mittlere grüne LED. In anderen Fällen leuchten auch andere LEDs analog zu den Beispielen in Abbildung 16.

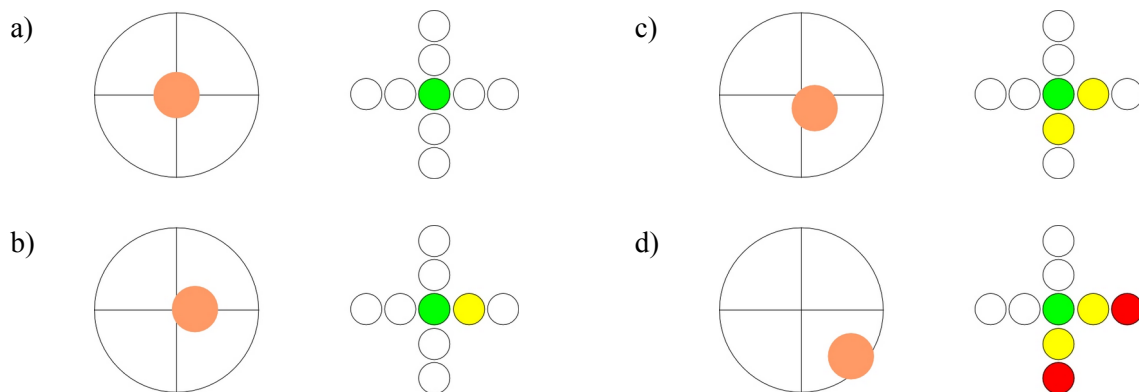


Abbildung 16: Beispiele für verschiedene Auftreffsituationen des Laserstrahls auf die Detektoren (orange Spots) und die resultierenden Anzeigen auf dem Positionsdisplay. Die linken Bilder sind jeweils so dargestellt, als würden Sie von hinten durch die Rückwand auf die Sensorfläche schauen.

Wenn nur grüne und gelbe LEDs leuchten, operiert die Sensorelektronik im linearen Bereich, so dass sich eine direkte Korrelation zwischen Messsignal und Position ergibt. Wenn auch eine oder mehrere

rote LEDs leuchten, ist diese Korrelation aufgrund des physikalischen Aufbaus der 4-QDs nicht mehr möglich. Bei PSDs zeigt das Leuchten einer roten LED an, dass der Strahl eventuell eine Kante des Sensors trifft. Bitte kontrollieren Sie in diesem Fall, dass der gesamte Strahlquerschnitt auf die Sensorfläche trifft.

6.2. Nullpositionierung bei Leistungsabfall

Sinkt die Leistung auf einem Detektor unter 10% der Sättigungsleistung (und leuchten entsprechend nur noch zwei LEDs der LED-Zeile), fährt die Regelung die Kippspiegel automatisch in die Nullposition. Damit ist gewährleistet, dass die Kippspiegel in der Nullposition starten, wenn der Laser zuvor ausgeschaltet oder blockiert wurde.

6.3. Einschaltverzögerung

Die integrierte Einschaltverzögerung startet die Regelung erst einige Zeit nachdem wieder ausreichend Intensität auf den Detektor trifft. Dadurch wird gewährleistet, dass die Regelung erst startet, wenn ein zuverlässiges Regelsignal vorliegt und die Kippspiegel die Nullposition erreicht haben. Die *Active*-LED leuchtet erst nach dieser Verzögerung.

6.4. Regelungsstatus (Interlock)

Wenn das System vollständig ausgeschaltet (stromlos) ist, verkippen die Piezoaktuatoren prinzipbedingt die Kippspiegel des *P2S30*-Halters in eine Extremposition. Diese weicht um etwa 1 mrad von der Nullposition ab. (Der *P4S30* zeigt dieses Verhalten aufgrund des Aufbaus mit 4 Piezo-Stacks nicht.) Das System besitzt aber einen TTL-Ausgang, der benutzt werden kann, um den Laser auszuschalten oder einen Shutter zu schließen. Dadurch wird verhindert, dass ein fehlpositionierter Laser Schaden anrichten kann. Der Pegel des TTL-Ausgangs ist HIGH, wenn die Regelung aktiv ist und die Kippspiegel im korrekten Bereich oder in der Nullposition sind. Er ist LOW, wenn die Regelung aktiv ist und einer der Kippspiegel den Stellbereich verlässt. (Wenn die Regelung inaktiv ist, ist der Pegel immer HIGH.)

Anmerkung: Die Aktuatoren werden als nicht mehr im korrekten Bereich gewertet, wenn die Piezo-Spannung 95% des Minimal- oder Maximalwertes erreicht.

Regelungsstatus

Beschreibung	1 Ausgang für beide Stufen
Signal	TTL, LOW bei Verlassen des Stellbereichs
Steckertyp	LEMO 00
Kabel (optional)	LEMO 00 → BNC, Länge: 2 m

6.5. Schalter für Bandbreitenbegrenzung

Die Regelungsbandbreite hat unmittelbaren Einfluss auf die Güte der Regelung. Das System kann bei zwei unterschiedlichen Regelungsbandbreiten betrieben werden. Grundeinstellung ist die hohe Bandbreite. Insbesondere bei instabilen mechanischen Aufbauten oder bei gegenseitiger Beeinflussung der Regelstufen kann es jedoch von Vorteil sein, die niedrige Bandbreite zu wählen. Hierzu befindet sich ein Schalter am Elektronikgehäuse (*Bandwidth*, siehe Abbildung 7, H = HIGH, hoch, L = LOW, niedrig). Die Bandbreite kann für beide Regelstufen individuell gewählt werden.

7. Option: Sample&Hold Zusatzschaltung („ADDA“)

Die Zusatzschaltung dient dem Halten der letzten geregelten Position auch ohne ausreichendes Intensitätssignal (Laser aus). Mit dieser Erweiterung, die in die System-Elektronik integriert wird, lassen sich die Stellungen der Kippspiegel über eine beliebige Zeitdauer ohne Regelsignal bzw. Laserintensität festhalten. Damit wird ermöglicht, dass die Regelung nach Wiedereinschalten des Lasers nicht von der Stellmitte, sondern von der letzten geregelten Position aus starten kann. Zu den Anwendungsmöglichkeiten dieser Funktionalität gibt es die ausführliche Beschreibung „Sample&Hold-Zusatzschaltung („ADDA““ auf unserer Website.

Die Bezeichnung „ADDA“ leitet sich von dem Aspekt ab, dass die Steuersignale der Aktuatoren zunächst AD gewandelt werden, bevor sie digital gespeichert werden. Anschließend werden diese wieder DA gewandelt und an die Verstärker der Aktuatoren ausgegeben.

7.1. Technische Eigenschaften

Sample & Hold Erweiterung

Speicherprinzip	Digitale Speicherung der Positionswerte
Samplingzeit	64 μ s pro Ereignis
Haltezeit	unbegrenzt
Bedingung für automatische Triggerung	Mindestzeitdauer für „Laser an“ bzw. Pulszuglänge: > 100 ms

Trigger bei externer Triggerung

Logik-Pegel	TTL, HIGH für Laser an, LOW für Laser aus
Eingänge	1 Eingang je Regelstufe
Kabel (optional)	LEMO 00 \rightarrow BNC für jede Regelstufe, Länge: 2 m, 2 Stück
Minimale Trigger-Signallänge „high“	$t_{\min} \geq 10 \mu$ s
Trigger-Start	10 μ s vor bis 50 μ s nach Pulsbeginn
Trigger-Ende	max. 1 ms nach Pulsende

Trigger (digital)

Via serielle Schnittstelle	Kommandos: „SetTriggerFreeze“, „ClearTriggerFreeze“
----------------------------	---

7.2. Betriebsarten

Automatische Steuerung der Sample & Hold Elemente

Die Strahlregelung mit S&H-Erweiterung besitzt eine automatische Erkennung für die Zustände „Laser-An“ oder „Laser-Aus“. Dies erfolgt durch Abfrage der Intensität auf den Positionsdetektoren. Die Automatik steuert die S&H-Elemente, um die Strahlposition bei vorhandener Laserintensität zu speichern und bei fehlender Intensität die Position der Kippspiegelsysteme festzuhalten.

Für diese Betriebsart ist es erforderlich, dass die Intervalle, in denen der Laser an ist, bzw. die Länge der Pulszüge größer als 100 ms sind. Sie müssen keine weiteren Signale bereitstellen.

Anmerkung: Bei Verwendung von WID-Detektoren (siehe Abschnitt 4.2.2) funktioniert die automatische Steuerung prinzipbedingt nicht.

Externe Triggerung der Sample & Hold Elemente

Für einzelne Laserpulse oder Laser mit sehr kleiner Repetitionsrate, geschaltete cw-Laser oder Pulszüge < 100 ms kann die Automatik die Speicherung der Strahlposition nicht schnell genug freigeben. In

diesen Fällen ist es notwendig, die S&H-Elemente über ein externes Triggersignal zu steuern. Die Erfordernisse an das Triggersignal sind in Abschnitt 7.3 dargestellt.

7.3. Konfiguration und Inbetriebnahme

Verkabelung

In der Betriebsart mit automatischer Ansteuerung ist keine weitere Verkabelung notwendig. Für die externe Triggerung müssen die Triggersignale über die mit „Trig“ beschrifteten LEMO-Buchsen dem Controller zugeführt werden (siehe Abbildung 17). Die linke Buchse steuert die Haltefunktion für Stage 1 / Kippspiegel 1, die rechte entsprechend für Stage 2 / Kippspiegel 2.



Abbildung 17: Linke Seite der Steuerungselektronik mit Trigger-Eingängen

Externe Triggerung

Die externe Triggerung ermöglicht eine genaue zeitliche Zuordnung, wann das System die Kippspiegelposition speichern soll und wann die gespeicherte Position festgehalten werden muss. Diese Zuordnung ist besonders wichtig für die Anwendung mit einzelnen Laserpulsen. Für eine optimale Funktion der S&H-Erweiterung müssen deshalb zeitliche Vorgaben an das Triggersignal eingehalten werden. In Abbildung 18 sind die zeitlichen Toleranzen für das Triggersignal verdeutlicht.

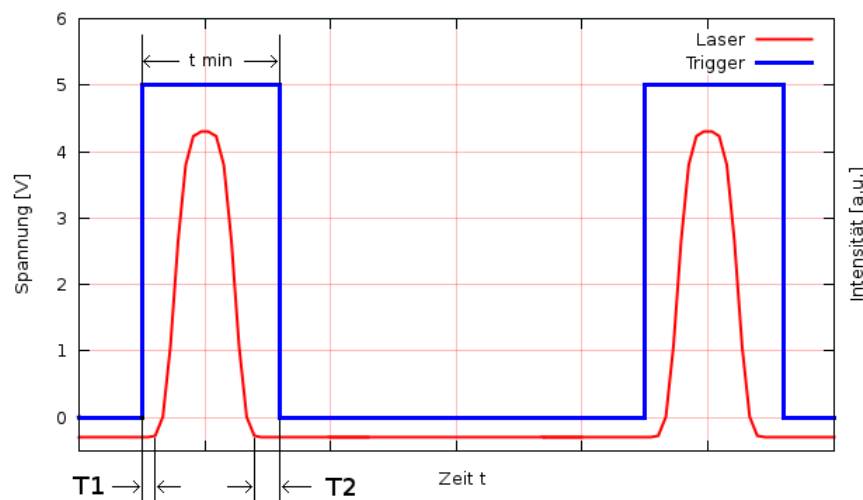


Abbildung 18: Timing des Trigger-Signals

Inbetriebnahme

Bei Deaktivierung der Regelung (d.h. bei ausgeschaltetem *Start/Stop*-Knopf) erfolgt ein Reset für die gespeicherte Position der Kippspiegel. In diesem Zustand befinden sich die Kippspiegel in ihrer Stellmitte. Damit ist sichergestellt, dass das System wie in diesem Handbuch beschrieben justiert werden kann.

Anmerkung: Es ist zu beachten, dass bei Deaktivierung der Regelung die zuletzt gespeicherte Strahlposition verloren geht. Bei erneuter Aktivierung der Regelung startet das System von der Stellmitte der Kippspiegel. Bei großen Abständen zwischen Stellspiegel und Detektor besteht dann die Gefahr, dass der Detektor ohne Nachjustierung nicht getroffen wird.

7.4. Funktionsweise und Verhalten

Die Wirkungsweise der S&H-Zusatzschaltung soll im Folgenden anhand eines Beispiels in Abbildung 19 erläutert werden. In diesem Beispiel wurde eine Folge von Pulszügen mit einer Repetitionsrate von 1 kHz und einer Dauer von ca. 300 ms eingesetzt. Die Pulszüge sind in grüner Farbe dargestellt. Die violette Kurve zeigt das Positionssignal des Lasers auf dem Detektor.

Beim ersten Pulszug ist die Strahlstabilisierung noch ausgeschaltet, so dass man erkennt, dass der Puls den Detektor zunächst nicht in der Mitte trifft. Während des zweiten Pulszuges wird die Strahlstabilisierung eingeschaltet. Man erkennt zunächst einen Ausschlag der Position (in Abbildung 20 vergrößert dargestellt) und ab dann ein stabiles Positionssignal, das auch beim dritten und vierten Pulszug nicht mehr ausschlägt. Ohne die S&H-Erweiterung würde der Ausschlag des Kippspiegels auch bei den auf den zweiten Pulszug folgenden Pulszügen immer wieder auftreten.

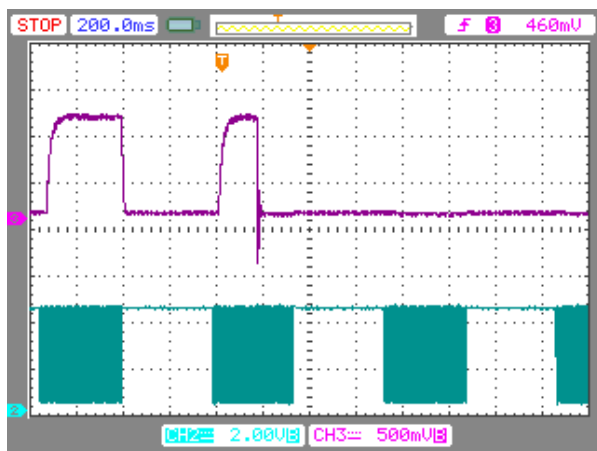


Abbildung 19: Aktivierung der Regelung

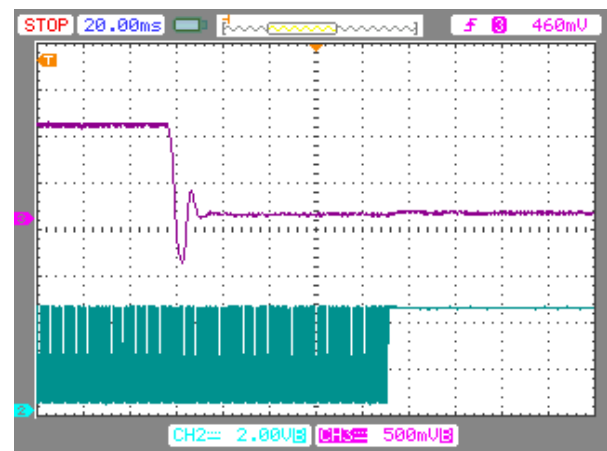


Abbildung 20: Vergrößerte Ansicht von Abbildung 19

Nach dem Einschalten der Strahlregelung befinden sich die Kippspiegel in ihrer Stellmitte. Da die Stellmitte typischerweise von der Sollposition abweicht, erhält man unmittelbar nach der Aktivierung der Regelung eine große Regelamplitude, die zu dem beschriebenen Ausschlag führt. Im Normalfall, wenn ein Laser ein dauerhaftes Regelsignal liefert, ist dies auch kein Problem, da dann auch eine kontinuierliche Stabilisierung erfolgt. Bei einigen Anwendungen kommt es aber zu Zeiten ohne Regelsignal. Hier greift die S&H-Zusatzschaltung: Nach der Phase ohne Laserintensität wird die Regelungsaktivität für den nächsten Pulszug ohne größere Auslenkung wieder aufgenommen. Dies wird in den folgenden Abschnitten „Automatische Steuerung“ und „Steuerung durch externen Trigger“ demonstriert. Ohne die S&H-Erweiterung wäre die Regelung wieder vom oberen Positionswert gestartet und hätte wieder zu einem Ausschlag geführt.

Lediglich beim ersten Pulszug greift die S&H-Erweiterung noch nicht, da es zu diesem Zeitpunkt noch

keinen gültigen Positionswert für die Sollposition in den S&H-Elementen gibt. Im Anschluss werden die Ansteuersignale für die Kippspiegel aber ständig gespeichert und zu dem Zeitpunkt unbegrenzt eingefroren, zu dem die Laserintensität fehlt oder der Trigger „low“ geschaltet wird. Dies gilt, solange die Regelung an und aktiviert ist.

Anmerkung: Die Laserintensität sollte während des Regelbetriebs nicht durch Einführen eines mechanischen Shutters oder anderen strahlblockenden Elements geschaltet werden. Prinzipbedingt würden die Detektoren die Position für den Zeitraum des teilweise abgedeckten Strahls falsch bestimmen und damit die letzte geregelte Position verfälschen.

Automatische Steuerung

Die Betriebsart der automatischen Steuerung eignet sich vor allem für längere Schaltperioden des Laserlichts oder längere Pulszüge aus Einzelpulsen.

In den Abbildungen 21 und 22 ist ein Beispiel mit Pulszügen eines Lasers mit 1 kHz Repetitionsrate dargestellt. Die grüne Kurve ist wieder das Signal der Laserpulse und die violette Kurve das Positionssignal. In Abbildung 21 ist der Laser unregelt und in Abbildung 22 mit der Automatik geregelt. Hierbei wird die Kippspiegelposition in den Zeiträumen, in denen der Laser aus ist, eingefroren, und mit jedem Signal auf dem Detektor wird die Position wieder aktualisiert.

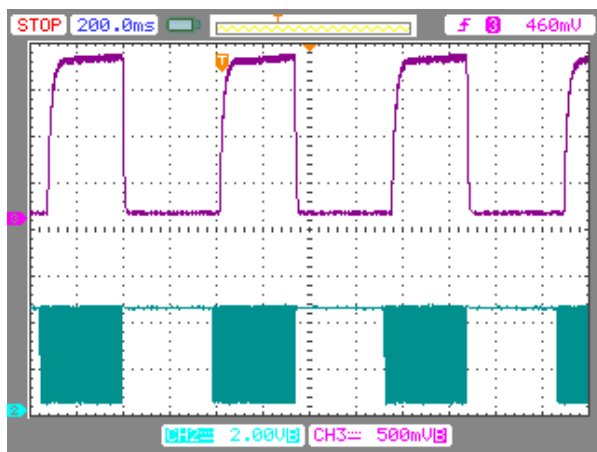


Abbildung 21: Pulszüge unregelt

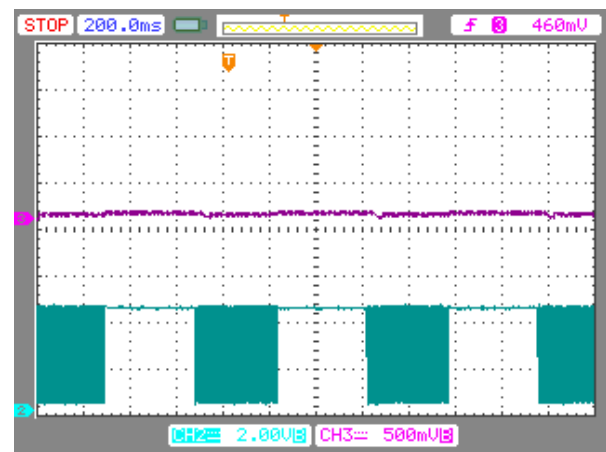


Abbildung 22: Pulszüge geregelt mit Automatik

Anmerkung: Im Regelbetrieb mit der Automatik sind die Zeitpunkte für das Festhalten der Position und das erneute Starten der Regelaktivität aus technischen Gründen leicht verzögert zum An- und Ausschalten der Laserintensität. Dies kann zu leichten Abweichungen der gespeicherten Positionen zu den idealen Kippspiegelpositionen führen.

Steuerung durch externen Trigger

Für den Fall, dass ein Triggersignal für die An- und Auszeiten des Lasers zur Verfügung steht, ist es zu empfehlen, den Betriebsmodus mit externem Trigger zu verwenden. Durch die bessere zeitliche Zuordnung zur Laserintensität werden in der Regel die besseren Ergebnisse erreicht.

In Abbildung 23 ist das Beispiel nun mit externem Triggersignal gezeigt. Zu den oben beschriebenen Kurven ist zusätzlich die blaue Kurve des Triggersignals zu erkennen. Wie in diesem Beispiel gezeigt, ist es bei der Verwendung von Pulszügen vorteilhaft, nicht auf jeden einzelnen Puls, sondern auf den Beginn und das Ende des Pulszuges zu triggern. Dies gilt für Puls-Repetitionsraten ab ca. 300 Hz.

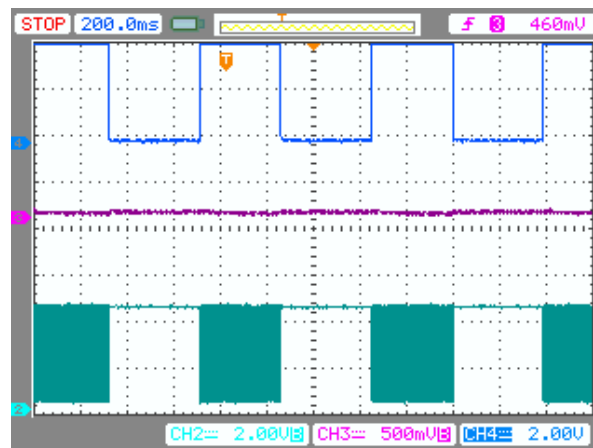


Abbildung 23: Pulszüge geregelt mit Trigger

Betrieb mit einzelnen Pulsen und externem Trigger

Die Benutzung eines externen Triggersignals ermöglicht auch den Regelbetrieb für einzelne oder unregelmäßig anstehende Laserpulse oder gepulste Laser mit sehr niedrigen Repetitionsraten.

Das Verhalten für diese Fälle zeigt das Beispiel in Abbildung 24. Dort ist das Positionssignal eines mit 10 Hz gepulsten Lasers durch die violette Kurve dargestellt. Die grüne Kurve ist das Triggersignal für die einzelnen Laserpulse. Der Strahl befindet sich zunächst in einer beliebigen Position. Beim vierten Laserpuls von links aus gesehen wird die Strahlregelung aktiviert. Im anschließenden Verlauf ist in der Abbildung gut zu erkennen, dass sich der Strahl mit jedem Puls weiter an die Sollposition annähert, bis er schließlich als stabiler Puls in der Sollposition verbleibt.

In diesem Beispiel werden vier Pulse zum Ausregeln der Strahlposition benötigt. Je nach den Aufbauparametern des optischen Systems, der Pulslänge und der Dauer des externen Triggersignals wird sich die benötigte Anzahl der Pulse für die Ausregelung der Position unterscheiden.

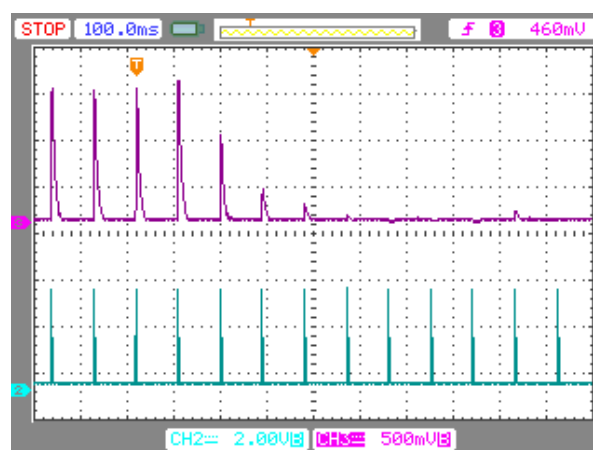


Abbildung 24: Einzelne Laserpulse (10 Hz)

Anmerkung: Im Betrieb mit kurzen Triggerzeiten ist der Zeitraum für die Regelaktivität sehr klein. Da die Signal-LED *Active* direkt mit diesem Zeitraum gekoppelt ist, kann es sein, dass das Leuchten dieser LED nicht wahrgenommen werden kann.

8. Option: Serielle Schnittstelle (USB, RS-232 oder Ethernet)

Die optionale serielle Schnittstelle erlaubt u.a. folgende Aktionen:

- das Auslesen der Positionen, Intensitäten und Piezo-Spannungen
- das Auslesen des Status
- das Ein-/Ausschalten der Regelung
- die Set & Hold-Funktion der aktuellen Positionen. Hierbei wird eine aktuell auf den Detektoren gemessene Position abgespeichert und für die weitere Stabilisierung als Zielposition verwendet. Diese Funktion wird insbesondere im Zusammenspiel mit den PSDs als Detektoren eingesetzt.
- das Setzen und Auslesen von Parametern wie dem P-Faktor, den Offsets für Adjust-in-Zielpositionen auf PSDs, der Spannung für Drive Actuator, etc.
- Parametrisierung der Datenströme

Dabei stehen nur Funktionen zur Verfügung, die auch in der Hardware realisiert sind, für die also beispielsweise die zusätzlichen Schaltkreise in die Elektronik integriert sind.

Die Option beinhaltet unsere Software zur Visualisierung und Kommunikation. Detaillierte Informationen dazu finden Sie im separaten Software-Handbuch. Zur Einbindung in eigene Programme finden Sie das Kommunikationsprotokoll auf unserer Website. Sie können es auch gerne bei uns anfordern.

9. Zusätzliche Ein- und Ausgänge (Optionen)

Neben Anschlüssen für Detektoren und Aktuatoren bietet die Basis-Konfiguration folgende Ausgänge:

- Positionssignal x und y für jeden Detektor (analoges Spannungssignal -5 bis +5 V)
- Einstellung und Auslesen des Regelkreis-Proportionalglieds („P-Faktor“) (siehe Kapitel 5.8)
- Statussignal (siehe Kapitel 6.4)

Weitere optionale Signalausgänge und Funktionen werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

Anmerkung: In einigen Fällen ändert sich durch zusätzliche Konnektoren die Anordnung am System.

9.1. Positionseingänge zur Verschiebung der Sollposition auf PSDs („Adjust-in“)

Wie in Abschnitt 4.2.3 beschrieben, erlaubt das Messprinzip der PSD, den Zielpunkt auf dem Detektor durch einen Spannungsoffset zu verschieben. Die Eingabe kann über die optionale serielle Schnittstelle bzw. Software erfolgen. Dazu können Werte im Spannungsbereich -5V ... +5V eingegeben werden. Alternativ können wir zusätzliche analoge Eingänge für die x- und y-Positionen für beide Regelstufen 1 und 2 implementieren. Die Eingänge können dann zur Veränderung der weiterhin stabilisierten Strahlposition auf dem Detektor durch Spannungssignale verwendet werden.

Spezifikation

Beschreibung	2 analoge Eingänge LEMO, einer je Aktuator (x, y) oder serielle Schnittstelle
Signal	- 5 V ... + 5 V
Steckertyp, analog	LEMO 0S
Kabel, analog	LEMO 3-polig → 2x BNC für jede Regelstufe, Länge 2 m

Abbildung 25 zeigt eine modifizierte Seitenplatte der Controllerbox mit den zusätzlichen Eingängen *Adj1* und *Adj2*.



Abbildung 25: Rechte Seitenplatte mit zusätzlichen „Adjust-in“-Eingängen zur Verstellung der x und y Sollposition auf zwei PSDs

Anmerkung: Die Position-zu-Spannungs-Charakteristik einer PSD ist in der Regel nichtlinear. Deshalb empfehlen wir die Durchführung einer entsprechenden Kalibrierung, wenn die Position auf einer definierten Bahn bewegt werden soll.

9.2. Direkte Ansteuerung der Piezo-Aktuatoren („Drive Actuator“)

Bei dieser Option für die direkte Ansteuerung der Piezo-Aktuatoren (also ohne Feedback von den Detektoren) können wir zusätzliche Eingänge zum Controller implementieren. Dadurch wird es möglich, die Aktuatoren mit einem externen Signal anzusteuern. Diese Option verwendet dann die integrierten 4-Kanal Hochspannungs-Verstärker des Systems.

Spezifikation

Eingänge	2 analoge Eingänge, LEMO 3-polig, einer je Aktuator (x, y) - 5 V ... + 5 V
Ausgänge / zu den Piezo-Aktuatoren	2 Aktuatoranschlüsse an der Seitenplatte, LEMO, 0 bis 130 V
Ausgangsimpedanz	110 Ohm@1 kHz, ausgelegt für hohe kapazitive Last

Die Eingangssignale werden in Hochspannungssignale umgewandelt, die auf die Piezos abgestimmt sind.

Anmerkungen:

- Der Spannungsbereich der Piezo-Aktuatoren ist mit - 45 V bis + 180 V spezifiziert.
- Wir haben den Spannungsbereich für die grünen Range-LEDs auf Werte von 9 V bis 120 V spezifiziert (max. Spannungsbereich 0 - 130 V).
- Sowohl die Piezos als auch die Verstärker weisen ein nichtlineares Verhalten auf. Deshalb ist das Stellsignal nicht exakt proportional zum Eingangssignal. Wenn eine präzise, absolute Einstellung der Stellspiegel-Position (die normalerweise durch das Feedback der Detektoren erreicht wird) benötigt wird, sollte daher eine Kalibrierung der Winkel gegen die eingestellten Spannungen durchgeführt werden.
- Selbst das Verhalten der x- und y-Achsen auch eines einzelnen Piezo-Aktuators können deutlich voneinander abweichen.

9.3. Option: Externe Aktivierung

Die externe Aktivierung ermöglicht die Änderung des Betriebszustands der Strahlstabilisierung mit einem externen Signal. Sie kann unabhängig voneinander für beide Regelstufen der Strahlstabilisierung vorgenommen werden. Hierzu befinden sich zwei LEMO-Konnektoren (Serie 00) an der linken

Seitenplatte des Controllers. Die Anschlüsse sind mit *Ext1* und *Ext2* gekennzeichnet. Es gibt dabei drei Zustände. Die Spezifikation des Steuersignals ist wie folgt:

Signal (Pegel: 5V TTL)	Spannungsbereich	Betriebszustand	Reaktion der Start/Stop-LED
H (high)	2,4 – 5,0 V	Start	an
L (low)	0,0 – 0,8 V	Stopp	aus
Z (hohe Impedanz oder nicht angeschlossen)		Manueller Modus gemäß Einstellung auf Frontpanel	an/aus

9.4. Intensitätsausgänge am Controller

Das Intensitätssignal kann an zusätzlichen Ausgängen am Controller ausgegeben werden. Diese Ausgänge werden mit „*Int*“ gekennzeichneten und befinden sich an der Seitenplatte des Controllers.

Spezifikation	
Beschreibung	2 Ausgänge: Ausgabe der Laserintensität für Detektor 1 und 2
Signal	Analog 0 - 8V
Steckertyp	LEMO 00
Kabel (optional)	LEMO 00 → BNC für jede Regelstufe, Länge: 2m, 2 Stück

9.5. Range-Ausgänge am Controller zur Beobachtung der Piezo-Spannungen

Als Option können die Piezo-Spannungen über analoge Range-Ausgänge ausgegeben werden. An den Spannungen lässt sich z.B. erkennen, ob die Piezo-Stellelemente nahe ihrem maximalen Stellbereich betrieben werden. Wenn die Aktuatoren mit motorisierten Spiegelhaltern kombiniert werden, um den Stellbereich zu vergrößern, können die Piezo-Spannungen zum Triggern der Motorbewegung verwendet werden.

Spezifikation	
Beschreibung	2 Ausgänge, einer je Aktuator (x, y)
Signal	Analog 0 - 10V
Steckertyp	LEMO 0S
Kabel	LEMO 3-polig → 2x BNC für jede Regelstufe, Länge 2 m

10. Bauteilzeichnungen

Zeichnungen aller wesentlichen Komponenten finden Sie in den jeweiligen Datenblättern. Gerne senden wir Ihnen auch STEP-Dateien zu.

11. Kabel

11.1. Standardkabel

Eine standardmäßige Lieferung der *Compact*-Strahlstabilisierung enthält alle benötigten Kabel, um das System einzurichten und auch die Positionen auszulesen. Dies sind:

Kabelsatz für ein 4-Achsensystem (in Standardlieferung enthalten)	Anzahl	Länge
Detektor → Controller	2	4 m (inklusive 4x MXC → LEMO Adapterkabel)
Aktuator → Controller	2	2 m (fest am Piezoelement montiert)
Aktuator → Controller (Verlängerung)	1	10 m
x-, y-Positionskabel (LEMO → BNC)	2	2 m

11.2. Zusätzliche Kabel

Zusätzlich zu diesen Kabeln bieten wir auch weitere Kabel oder Kabel mit anderen Längen an. Die folgende Tabelle zeigt einige Beispiele.

Andere verfügbare Kabel und/oder Kabellängen (Beispiele)	Typische Längen
Verlängerungskabel für Detektoren (LEMO → LEMO)	1 m ... 25 m
Verlängerungskabel für Aktuatoren (LEMO → LEMO)	1 m ... 25 m
Kabel für externe Aktivierung, Intensität, P-Faktor (LEMO → BNC)	2 m
Kabel für Adjust-in, Range-Ausgänge, Drive Actuator (LEMO (3-polig) → 2x BNC)	2 m
Kabel für Sample&Hold „ADDA“ (LEMO → BNC)	2 m
USB-Kabel (USB A → Mikro USB B)	2 m

Wenn Sie in der Tabelle das von Ihnen benötigte Kabel nicht finden, kontaktieren Sie uns bitte.

12. Fehlerbehebung

12.1. Keine Anzeige – alles dunkel

Überprüfen Sie bitte, ob der Netzstecker in einer Strom führenden Steckdose steckt und der Netzschalter in der richtigen Position ist. Ist dies der Fall, entfernen Sie das Netzkabel vom Elektronik-System und setzen Sie sich bitte mit uns oder dem Lieferanten in Verbindung.

12.2. Kein Detektorsignal

Bitte folgen Sie den Anweisungen in Abschnitt 5.4 und überprüfen Sie, ob eventuell eine Blende oder Kante den Laserstrahl blockiert. Falls der Laserstrahl die Detektionsfläche trifft, könnte ein Grund für das fehlende Detektorsignal darin liegen, dass die ausgewählten Filter zu stark sind. In diesem Fall sollten sie die Filter austauschen.

12.3. Laserstrahl ist nicht korrekt positioniert

Überprüfen Sie bitte die folgenden Punkte:

- i. Ist die Leistungs-Aussteuerungsanzeige im mittleren Bereich?
- ii. Falls rote Range-LEDs leuchten:
 - a. Sind alle Kabel wie in Abschnitt 5.2 beschrieben angeschlossen?
 - b. Ist die Position des Laserstrahls noch korrekt? Wenn diese sich stark geändert hat, arbeitet die Regelung nicht mehr im linearen Regelbereich. Gehen Sie dann wie in Abschnitt 5.7 vor.
 - c. Ist die Richtungskodierung korrekt?

12.4. Die Kippspiegel sind akustisch deutlich wahrzunehmen

Schalten Sie das System **sofort** aus. Es droht irreparabler Schaden an den Aktuatoren der Kippspiegel. Überprüfen Sie die Laserleistung und nehmen sie ggf. erneut eine Einstellung gemäß Abschnitt 5.4 vor. Vergewissern Sie sich, dass der Laserstrahl noch aus der vorgegebenen Richtung in das System einfällt und die Detektoren noch trifft. Bitte überprüfen Sie auch, dass keine Abschattung des Laserstrahls durch Kanten oder Blenden im Strahlengang erfolgt. Dies könnte z.B. an der Aussparung eines Piezoaktuators der Fall sein. Wenn eine rote *Range*-LED leuchtet, ist die Regelung nicht mehr im linearen Bereich. Gehen Sie dann gemäß Abschnitt 5.4 vor.

12.5. Laserposition ist nicht stabil

Sollte die automatische Stabilisierung des Laserstrahls trotz aktiver Regelung nicht gelingen, kann dies an einer fehlerhaften Einstellung der Richtungskodierung liegen (siehe Abschnitt 5.6). Bitte überprüfen Sie gegebenenfalls die Richtungskodierung.

Eine andere Ursache kann ein instabiler mechanischer Aufbau sein, bei dem sich die Regelung aufschwingt. Üblicherweise macht sich dieses Phänomen durch ein summendes Geräusch bemerkbar. Z.B. können hohe Aufbauten der Komponenten (insbesondere derjenigen, die die Piezostellelemente tragen) zu mechanischen Instabilitäten führen. In diesem Fall kann es helfen, die Bandbreite des Systems zu begrenzen. Hierzu können Sie die *Bandbreitenbegrenzung* einschalten (siehe Abschnitt 6.5). Bei hohen Aufbauten sollten Sie im besten Fall massive Blöcke unter den Komponenten verwenden.

12.6. Dauerhaft rotes „Range“-Signal

Ein dauerhaft auf der Oberseite des Controllers rot leuchtendes „*Range*“-Signal kann ein Hinweis auf ein Problem mit einem Hochspannungskanal sein. „Dauerhaft“ meint hier vor Allem, dass die roten LEDs auch dann leuchten, wenn die Regelung nicht aktiviert ist. Ursache für dieses Verhalten kann ein Kurzschluss in einem Piezoelement sein. I.d.R. führt dies zu einem Durchbrennen der Sicherung, was eine weitere Verwendung der Strahlstabilisierung verhindert. Setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung. Wir klären dann genauer, welche Tests sie durchführen können, um die Fehlerursache zu ermitteln.

12.7. „Range“-Signale springen bei Richtungsumschaltung hin und her

Springt bei Betätigen eines Richtungsschalters (siehe Abschnitt 5.6) einer Regelstufe die „*Range*“-Anzeige von einem Extrem zum anderen (von rot nach rot), deutet dies darauf hin, dass der zugehörige Detektor um 90° gedreht ist. Tauschen Sie in diesem Fall wie in Abschnitt 5.2 beschrieben die Kabelanschlüsse für x und y am Detektor.

12.8. System regelt von der Mitte weg

Versucht das System beim Aktivieren des Regelkreises immer wieder, den Strahl von der Mitte eines Detektors weg zu lenken, könnte dies an einer verbliebenen Einstellung von Werten für *Adjust-in* in der Software liegen. Löschen Sie in diesem Fall die entsprechenden Werte oder schalten Sie in der Software auf „*extern*“.

13. Sicherheit

Das Gerät hat das Werk in einwandfreiem Zustand verlassen. Um diesen Zustand zu erhalten und einen gefahrlosen Betrieb sicherzustellen, darf das Gerät nur in trockenen Innenbereichen verwendet werden.



Dieses Gerät erfüllt die Anforderungen der EMV-Richtlinie 2014/30/EU.

Kennzeichnung

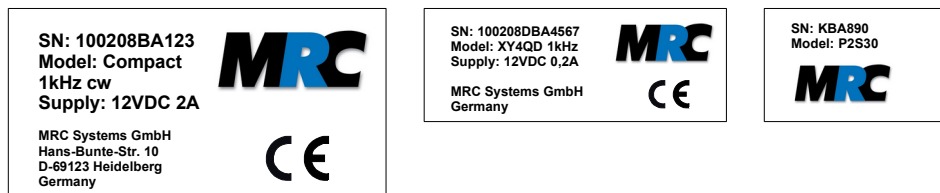


Abbildung 26: Kennzeichnung auf dem Controller (links), den Detektoren (Mitte) und den Aktuatoren (rechts)

14. Kontakt

MRC Systems GmbH
Hans-Bunte-Straße 10
69123 Heidelberg
Deutschland

Telefon: 06221/13803-00
Fax: 06221/13803-01
Website: www.mrc-systems.de
E-mail: info@mrc-systems.de

