

1. Einleitung

Die *Compact*-Laser-Strahlstabilisierung besitzt zwei unabhängige Regelstufen, in denen jeweils ein Piezo-Kippspiegel mit einem Detektor zusammen arbeitet. In den meisten Fällen können die Komponenten ohne die Verwendung von Linsen in den Laseraufbau integriert werden. In einigen Fällen ist es jedoch von Vorteil oder nötig, Linsen einzusetzen. Diese Beschreibung stellt verschiedene Einsatzzwecke vor. Dabei sind die zusammengehörigen Komponenten einer Regelstufe mit 1 bzw. 2 bezeichnet. In den meisten Aufbauten ist es so, dass Regelstufe 1 die Position und Regelstufe 2 den Winkel des Lasers stabilisieren.

2. Anpassung von großen Strahldurchmessern auf die Detektorgröße

Ein Einsatzzweck von Linsen ist ganz schlicht die Verkleinerung der Strahlgröße, wenn der Strahldurchmesser des Lasers größer als die Sensorfläche des Detektors ist. Dazu kann vor den Detektor eine Linse gestellt werden.

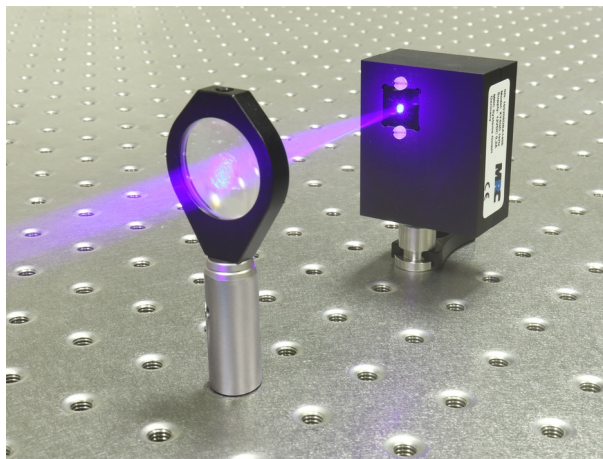


Abbildung 1: Einsatz einer Linse zur Strahlverkleinerung auf dem Detektor

Der Strahl sollte nur so klein wie nötig gemacht werden. Die Sensorfläche unseres *Si-4QD*-Detektors beträgt $10 \times 10 \text{ mm}^2$. Hier sollte der Strahldurchmesser so verkleinert werden, dass er maximal 6-8 mm auf dem Sensor beträgt. Unsere PSD-, UV- und IR-Detektoren haben kleinere Sensorflächen, die Sie den Datenblättern entnehmen können. Dort sind dann entsprechend kleinere Strahldurchmesser erforderlich.

Bitte beachten Sie, dass der Detektor für eine Strahlverkleinerung immer vor den Fokus der Linse gestellt werden sollte. Eine Positionierung des Detektors in oder hinter den Fokus kann zu zwei unerwünschten Effekten führen, die wir nachfolgend erläutern.

Bei der Positionierung des Detektors in den Fokus der Linse können reine Positionsabweichungen des Strahls nicht detektiert werden. Dies liegt daran, dass parallele Strahlen von einer Linse immer auf den gleichen Punkt fokussiert werden. Folglich kann der Detektor keine Abweichungen feststellen. Die untere Grafik in Abbildung 5 veranschaulicht diesen Sachverhalt. Für Regelstufe 2 gibt es den Sonderfall, dass man die Fokussierung gezielt zur Winkelstabilisierung einsetzt (siehe Abschnitt 4).

Bei der Positionierung des Detektors hinter den Fokus wird immer auch eine Abbildung einer Ebene im Strahlverlauf auf den Detektor erzeugt (gemäß Gleichung (1)). Damit kann unbeabsichtigt eine Position auf den Detektor abgebildet werden, die für die Stabilisierung des Strahls ungeeignet ist. Liegt beispielsweise

die auf Detektor 2 abgebildete Position auf oder sogar vor dem zugehörigen Kippspiegel 2, kann der Detektor die Bewegungen des Kippspiegels nicht messen. In diesem Fall fehlt das Signal zur Rückkopplung für die Regelstufe 2. Folglich kann der Strahl nicht wie gewünscht stabilisiert werden. Es gibt aber auch einen Sonderfall, in dem eine Abbildung gezielt angewendet wird. Dieser wird im folgenden Abschnitt 3 beschrieben.

3. Einsatz von Linsen zur Optimierung der Positionsgenauigkeit (Imaging)

In vielen Fällen genügt es zur Erreichung einer hohen Positionsgenauigkeit in Regelstufe 1 vollkommen, wenn Detektor 1 in die Nähe von Piezo-Kippspiegel 2 gestellt wird. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Abstand zwischen den beiden Kippspiegeln groß ist. (Wir empfehlen einen Abstand von 0,5 m oder mehr.) Der relativ kurze Abstand zwischen Detektor 1 und Kippspiegel 2 führt dann zur erwünschten Situation, dass die Position des Strahls in der Nähe von Kippspiegel 2 festgehalten wird. Falls beispielsweise Kippspiegel 1 einen Positionsfehler des Lasers durch eine Winkeländerung des Strahls korrigiert, ist der Unterschied zwischen der optimalen Strahlposition auf Piezo-Kippspiegel 2 und der festgehaltenen Position nur sehr klein. Abbildung 2 illustriert diesen Sachverhalt.

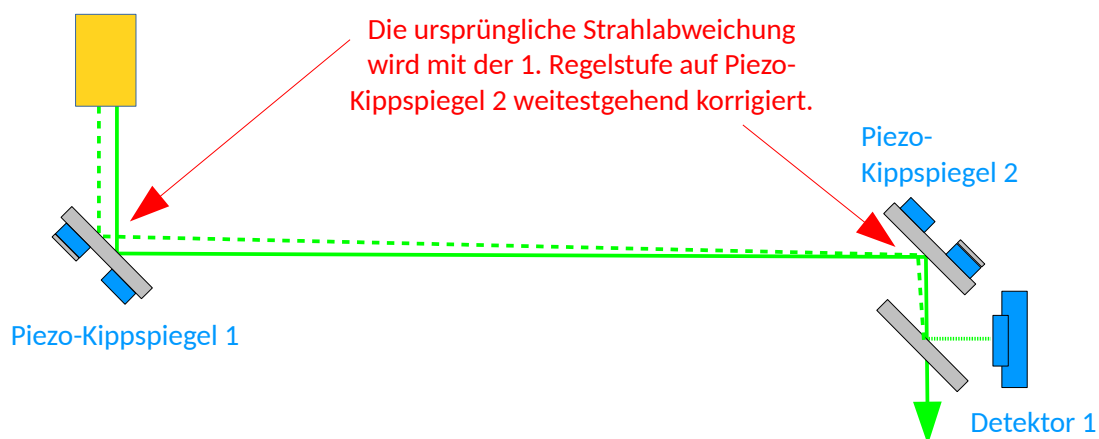


Abbildung 2: Prinzip der Korrektur eines Positionsfehlers

Bei ungünstigen Abstandsverhältnissen empfehlen wir einen Aufbau, den wir als „Imaging“ bezeichnen. Hierbei wird eine Linse so eingesetzt, dass eine Abbildung der Spiegeloberfläche von Piezo-Kippspiegel 2 auf Detektor 1 erzeugt wird. Dies kann beispielsweise dann angewendet werden, wenn der Abstand zwischen beiden Kippspiegeln relativ kurz und gleichzeitig der zwischen Kippspiegel 2 und Detektor 1 eher lang ist. Das „Imaging“ kann unabhängig davon angewendet werden, ob der Detektor entlang des Strahlengangs oder in Transmission durch Piezo-Kippspiegel 2 positioniert wird. Der Fall der Transmission ist in Abbildung 3 illustriert.

Mit dem Imaging wird stets gewährleistet, dass die Strahlposition auf Kippspiegel 2 fixiert wird. Dafür muss die Linsengleichung (1) erfüllt werden, wobei f die Brennweite der Linse, b die Bildweite und g die Gegenstandsweite sind (Abbildung 3):

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g} \quad (1)$$

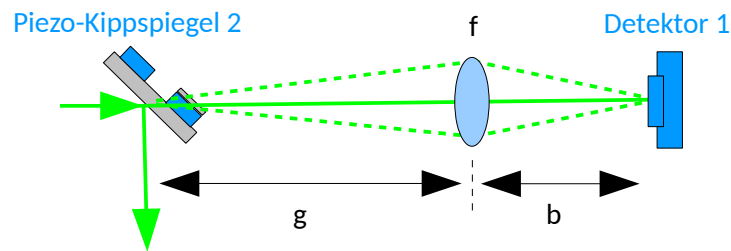


Abbildung 3: Abbildung mit einer Linse

Zahlenbeispiel

Das folgende Beispiel soll zeigen, wie der Abstand zwischen Linse und Detektor für eine Abbildung berechnet werden kann. In Abbildung 4 ist eine Situation dargestellt, in der der Abstand zwischen Kippspiegel 2 und Detektor 1 relativ lang ist. Detektor 1 steht hinter einem Strahlteiler, der im Strahlengang nach Kippspiegel 2 positioniert ist. Zudem sei der Abstand zwischen Kippspiegel 2 und Detektor 2 eher gering. Beides führt dazu, dass sich die Positionsinformationen auf den beiden Detektoren zu wenig unterscheiden und somit ein hochpräzises Stabilisierungsergebnis nicht möglich ist. Dies wäre auch dann der Fall, wenn Detektor 1 in größerem Abstand in Transmission hinter Kippspiegel 2 stünde, wie dies in Abbildung 3 gezeigt ist.

Um die Stabilität zu optimieren, wird eine Linse so positioniert, dass der Laserspot von der Spiegeloberfläche des Kippspiegels 2 auf Detektor 1 abgebildet wird. Damit wird die Position des Lasers genau dort festgehalten.

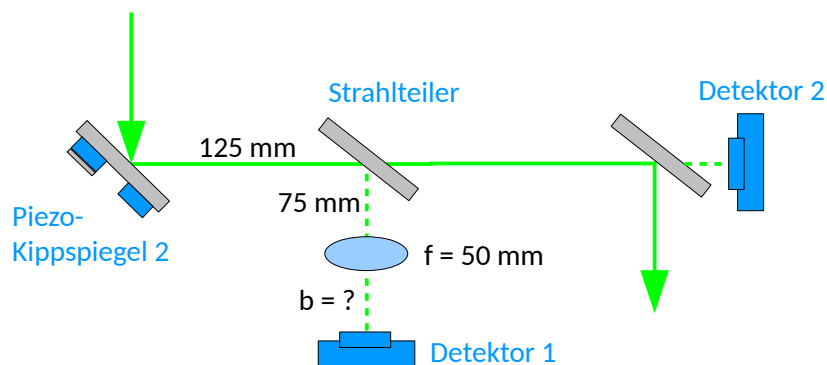


Abbildung 4: Aufbau mit Zahlenbeispiel

Zur Lösung der Linsengleichung können sowohl die Abstände b und g als auch die Brennweite f der Linse variiert werden. Je nach Platzverhältnissen und Randbedingungen eines Aufbaus kann man sich überlegen, wie die Variablen verändert werden können.

Beispielsweise errechnet sich mit einer gegebenen Linse der Brennweite $f = 50$ mm, einem festgelegten Abstand zwischen Kippspiegel 2 und Strahlteiler von 125 mm und einem praktikablen Abstand zwischen Strahlteiler und Linse von 75 mm der Abstand b zwischen Linse und Detektor 1 wie folgt:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g} \quad \longrightarrow \quad \frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{g}$$

Mit $f = 50\text{mm}$ und $g = 125\text{mm} + 75\text{mm} = 200\text{mm}$ folgt

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{50} - \frac{1}{200} = \frac{3}{200} \quad \longrightarrow \quad b = \frac{200}{3}\text{mm} = 66\text{mm}$$

4. Einsatz von Linsen zur Winkelstabilisierung

Für die zweite Regelstufe ist es ebenfalls gut, wenn der Abstand zwischen Kippspiegel 2 und Detektor 2 relativ lang ist. Da in der ersten Regelstufe die Strahlposition auf Kippspiegel 2 festgehalten wird, kann es insbesondere bei kurzen Abständen vorteilhaft sein, eine Linse zu verwenden, um mit Regelstufe 2 den Strahlwinkel zu stabilisieren. Dazu stellt man Detektor 2 in den Fokus der Linse. Anhand der folgenden Abbildung 5 wird dies näher erläutert:

Wie die obere Grafik zeigt, werden mit einer Linse Strahlen unterschiedlicher Winkel auf unterschiedliche Punkte fokussiert. Diese Abweichungen sind daher detektierbar und können vom Compact-System korrigiert werden. Haben die Strahlen jedoch unterschiedliche parallele Versätze wie in der unteren Grafik, werden sie auf denselben Punkt fokussiert und sind somit nicht unterscheidbar.

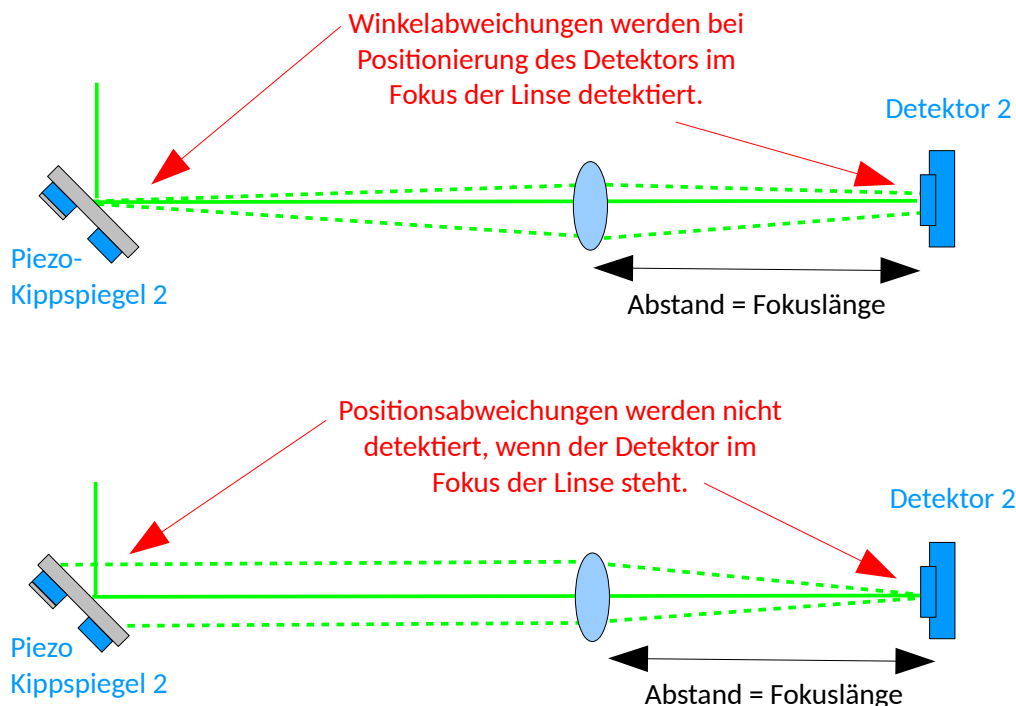


Abbildung 5: Wirkung einer Linse auf Winkelfehler (oben) und Positionsfehler (unten)

Das kann man sich bei engen Platzverhältnissen gezielt zu nutze machen, z.B. wenn der Abstand zwischen Kippspiegel 2 und Detektor 2 deutlich kleiner als 0,5 m ist. Durch die Linse wird die Regelgenauigkeit unabhängig von diesem Abstand. Auch bei fokussierenden Anwendungen, wo hauptsächlich die Stabili-

sierung des Strahlwinkels entscheidend ist, kann dieser Aufbau von Vorteil sein. Wir empfehlen dazu, Linsen mit Brennweiten nicht unter $f = 200$ mm zu verwenden, damit der Fokusspot nicht zu klein wird.

Die 4QD-Detektoren haben einen Gap zwischen ihren Quadranten, der ca. $30 \mu\text{m}$ breit ist. Der Fokusspot sollte demnach einen Durchmesser von ca. $100 \mu\text{m}$ nicht unterschreiten.

5. Erweiterung des Empfangsbereichs für Laserstrahlen

Bei sehr langen Strecken zwischen einem Kippspiegel und einem Detektor kann ein großer Strahlversatz dazu führen, dass der Laserstrahl nach einer Phase ohne Regelung den Detektor nicht mehr trifft. Durch Einsatz einer Sammellinse vor dem Detektor ist es in solchen Fällen einfach möglich, den Empfangsbereich für den Laserstrahl zu erweitern. Positioniert man den Detektor beispielsweise im halben Fokusabstand einer großen Sammellinse, so vergrößert sich der Empfangsbereich um den Faktor 2. Dies erlaubt eine leichtere Justage und verhindert, dass der Laserstrahl z.B. während einer Unterbrechung des Laserbetriebs vom Detektor läuft.

Eine Sammellinse kann auch sehr hilfreich bei Detektoren mit kleineren Sensorflächen sein, wie etwa bei unserem UV-4QD-Detektor. Mit einer Linse können auch große Strahlen oder große Strahlversätze detektiert werden.

6. Fazit

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die optischen Komponenten der Laser-Strahlstabilisierung zu positionieren. Durch den modularen Aufbau des *Compact*-Systems können wir dem Anwender immer helfen, die beste Lösung zu finden. Einige häufig verwendete Aufbauvarianten finden Sie zudem im Benutzerhandbuch.



Kontakt

MRC Systems GmbH
Hans-Bunte-Str. 10
D-69123 Heidelberg
Tel.: 06221/13803-00
Email: info@mrc-systems.de

Änderungen vorbehalten.