

Zusammenfassung

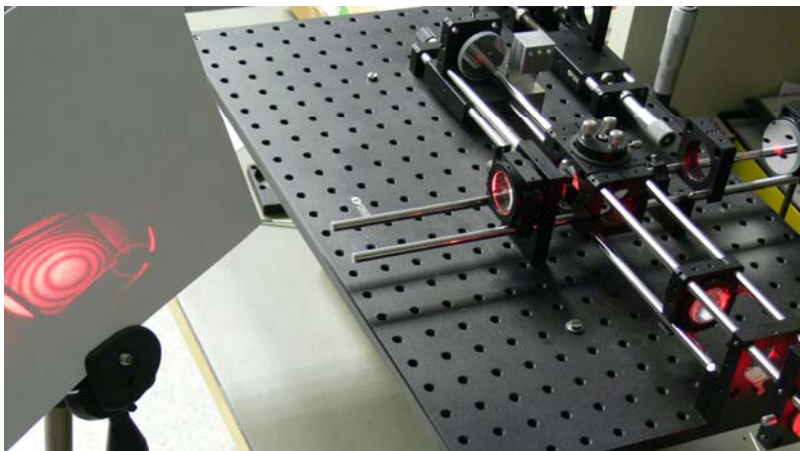
im Rahmen des Verbundprojektes: **„BB-flow“**
Optoelektronische Steuereinheit im Rahmen des Verbundvorhabens
„Faseroptisches Messsystem für aerodynamische Messungen in Grenzschichten“
Antragsnummer: 80142815

Ziel war die Entwicklung und der Bau eines miniaturisierten Messgerätes (mini-LDA= Laser-Doppler-Anemometer) zur Bestimmung des Strömungsverhaltens nahe der Grenzfläche zu einer Wandung mit hoher örtlicher Auflösung (μm -Bereich).

Der Anteil der OECA betrifft das Sendemodul, das Empfängermodul und die Steuereinheit mit den jeweiligen Schnittstellen zum faseroptischen Messkopf (Loptek Berlin) und Steuerung/Signalauswertung (BTU Cottbus).

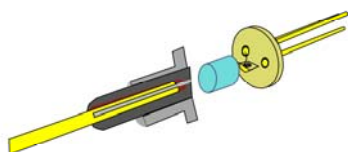
1.) Sendemodul

Auf Basis der Anforderungen des Projekts wurden geeignete Bauelemente gesucht und getestet. Die relativ kleine Zahl der Anbieter von Halbleiter-Laserdioden im Wellenlängenbereich um 635 nm mit hoher Leistung und bereits vorhandene Erfahrungen mit diversen Laserherstellern führte letztendlich zu Laserdioden der Firmen Mitsubishi und Opnext. Die Eignung für das Verfahren wurde durch diverse Messungen (Leistung, Kohärenzlänge, Polarisationsverhältnis, Einkopplungsverhalten) geprüft.

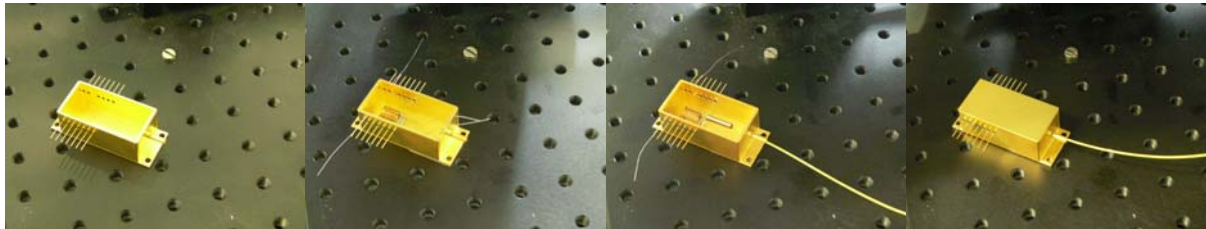


Interferometer zur Messung Kohärenzlänge

Während der bereits im Meilensteinbericht genannten Voruntersuchungen wurden mehrere Laserdiodenmodule (sowohl ungekühlt, als auch temperaturstabilisiert) aufgebaut.

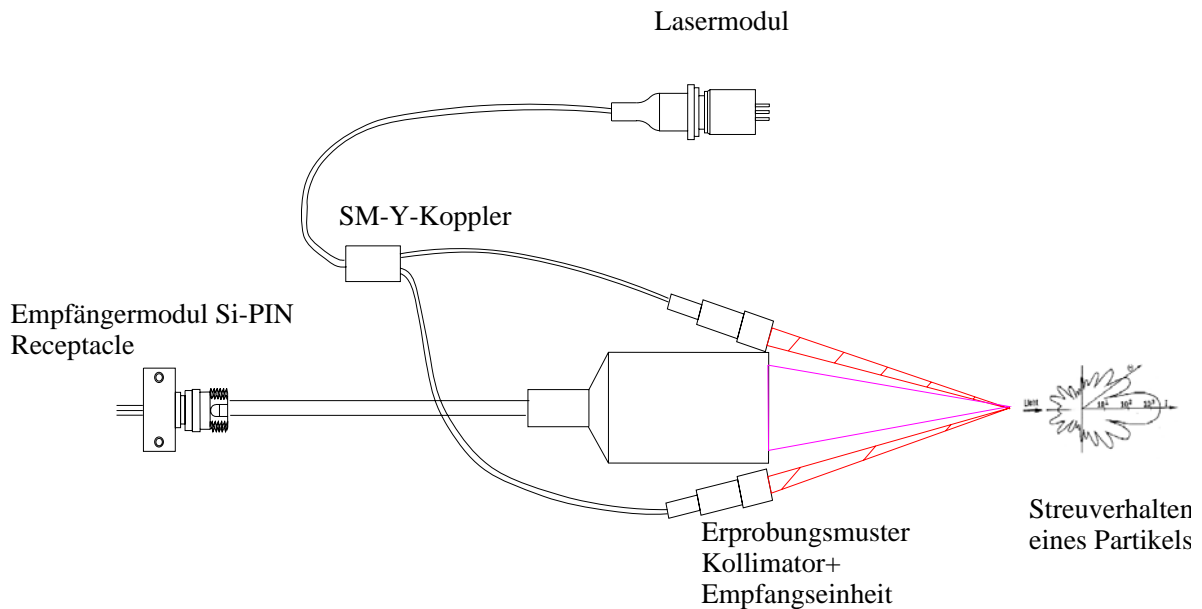


Aufbau Laserdiodenpigtail (ohne Temperaturstabilisierung)

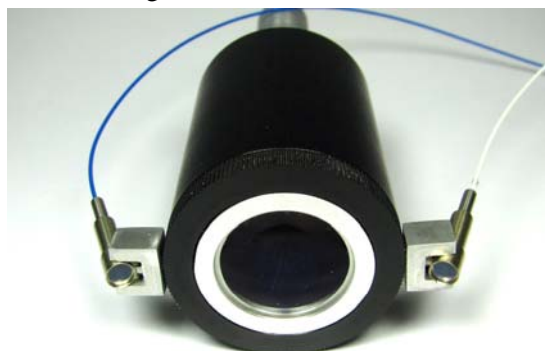
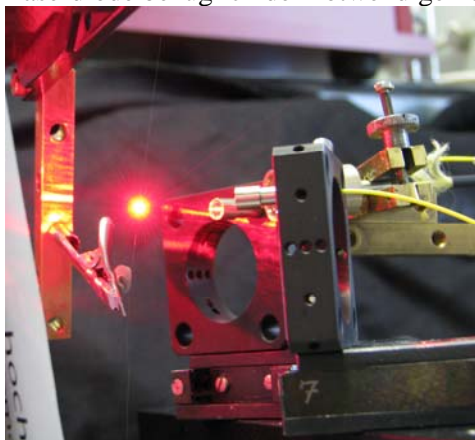


Laserdiodenmodule (Butterfly-Gehäuse mit Temperaturstabilisierung)

Mit Laserdiodenpigtails (nicht Temperatur-stabilisiert, reine Pigtailbauform) wurden zwei Erprobungsmuster zur Messung des rückgestreuten Lichts aufgebaut. Es erfolgte eine Ankopplung an einen Standard-Singlemode Y-koppler, beide Enden wurden mit Optiken versehen deren Brennpunkt auf der Achse und ebenfalls dem Fokuspunkt der Empfangsoptik liegt.

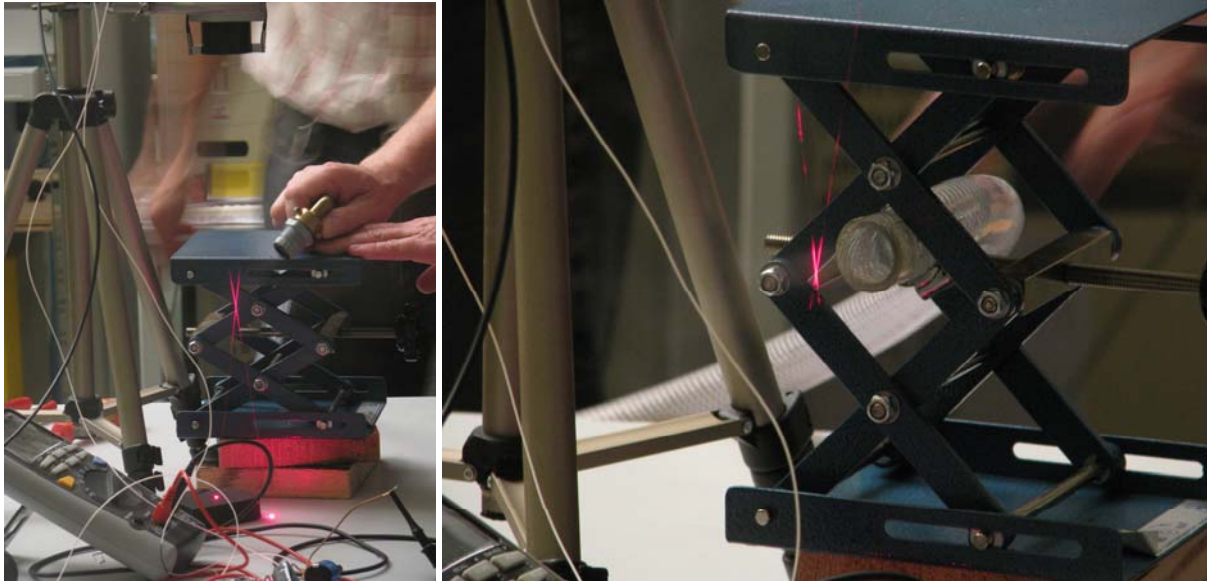


Messungen gemeinsam mit dem BTU an den real zu erwartenden Partikeln bestätigte die Auswahl der Laserdiode bezüglich der notwendigen optischen Leistung.

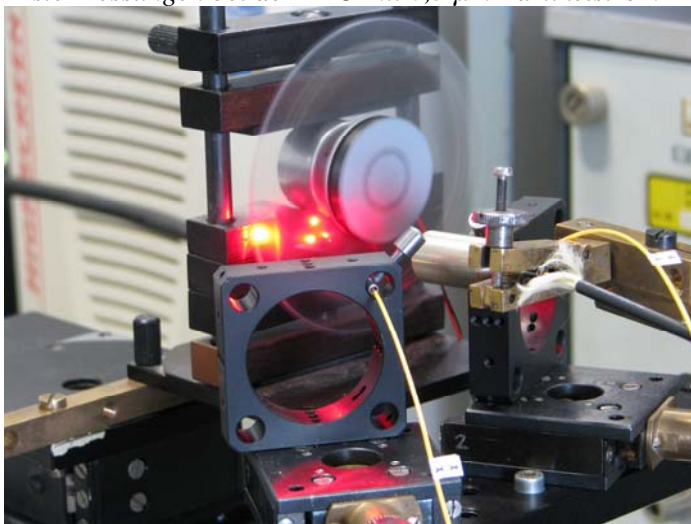


Versuchsaufbau OECA mit 20 µm Au-Draht

Daraus entwickelter Messkopf für Tests bei der BTU



Erste Messungen bei der BTU mit 0,3 μm Partikelstrom



Messungen bei OECA mit rotierenden Partikel- bzw. Mikrodraht-Scheiben

Die Stabilität der Laserdioden bezüglich Leistung und Spektrum war, wie zu erwarten, ungenügend.

Dies führt zu einer starken Reduzierung der Kohärenzlänge.

Deswegen wurden thermisch stabilisierte Lasermodule mit polarisationserhaltendem Y-Koppler aufgebaut. Die Optische Leistung pro Kanal liegt über 20 mW. Die Kohärenzlänge (ohne zusätzlich stabilisierende Elemente) größer 150 mm.

Die Kohärenzlänge einer Lichtquelle lässt sich auch durch die Ermittlung der spektralen Linienbreite errechnen. Multimodige Laser haben kurze Kohärenzlängen (μm bis mm), singlemodige wesentlich länger (Laserdioden mehrere cm bis mehrere Meter).

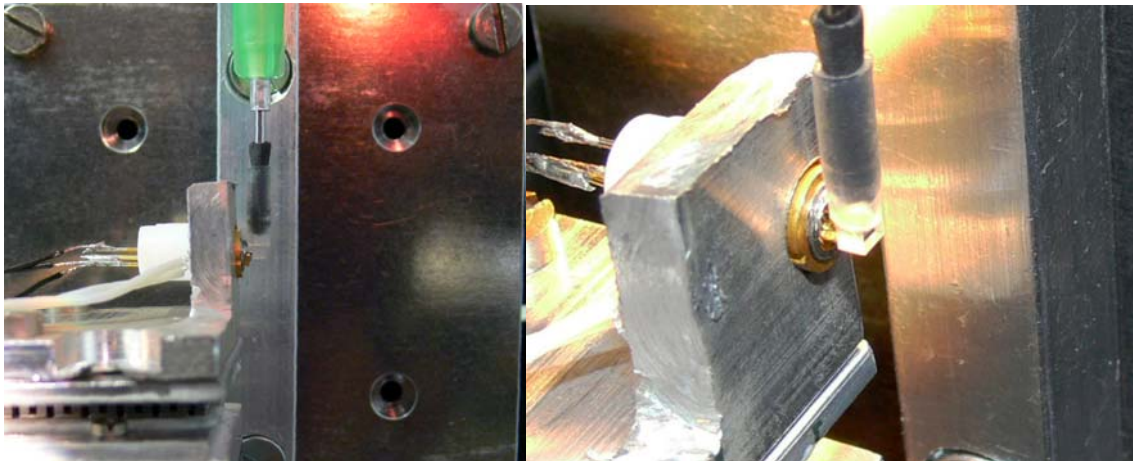
Laser (auch HeNe-Laser) werden durch Rückreflektionen beeinflusst und führen zur Vergößerung der Linienbreite.

Um Laserdioden zu stabilisieren gibt es mehrere Möglichkeiten, z.B. spezielle Struktur des Laserdiodenchips (DFB und DBR) oder externe Stabilisierung (Volume-Bragg-Grating VBG, Bragg-Fasern, externe Spiegel).

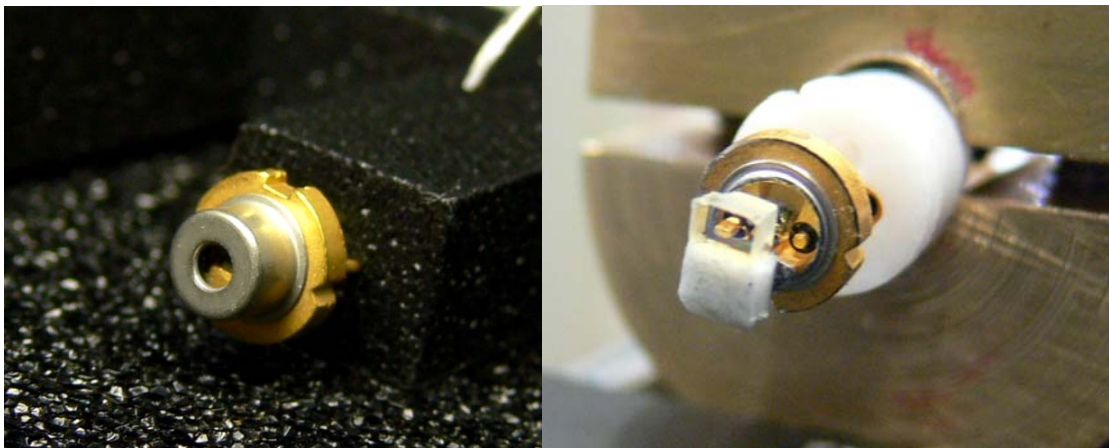
Im gewünschten Wellenlängenbereich ist z.Z. nur die zweite Möglichkeit gegeben.

Untersuchungen mit VBG führten zu einer Wellenlängenstabilisierung über einen Temperaturbereich von bis zu +/- 5K. Dies konnte bei der Präsentation 2012 mittels parallel ablaufender Aufnahmen des Spektralverhaltens stabilisierter und nicht stabilisierter Laserdioden gezeigt werden.

Kommerziell erhältliche VBG-Module in diesem Wellenlängenbereich haben (noch) zu geringe Leistungen, so dass in der OECA im Rahmen des Fördervorhabens ein eigener Justage+Fixierplatz für diesen Aufbau entwickelt und gebaut wurde.



VBG Koppelplatz



Laserdiode mit Fensterkappe

geöffnete Laserdiode mit montiertem VBG

Auch für diesen Fall ist eine präzise Temperaturregelung notwendig.

Beim Aufbau der Sender- und Empfängerbauelemente wurde auf die bisherigen Erfahrungen zurückgegriffen. Zusätzlich wurden zusätzliche optische Elemente geprüft und untersucht.

Die vorhandenen Linsensysteme sind für die gewünschten optischen Leistungen ausreichend. Zur Wellenlängenstabilisierung gibt es momentan nur einen Anbieter (Firma Ondax), der für die gewünschten miniaturisierten und robusten Lasermodule VBGs (Volume-Bragg-Gratings) liefern kann. Erprobungen mit mehreren solcher Gitter waren erfolgreich.

Messungen mit dem faseroptischen Messkopf der Firma Loptek, zeigten, dass der Aufbau noch zu empfindlich auf Reflektionen im optischen Weg reagiert. Deswegen wurde zusätzlich ein optischer Isolator (Firma OFR) eingefügt.



Laserdiodenmodul, darüber der optische Isolator und die durch den Y-Koppler aufgeteilten zwei Pigtails mit Steckerabschluss

Die Elemente sind mit Steckern verbunden, um verschiedene Komponenten erproben und auch zusätzliche Komponenten (AOM) einfügen zu können. Akusto-optische-Modulatoren (AOM) verschieben die Wellenlänge minimal und gestatten so die Richtung der Strömung zu ermitteln.



AOM in Koppereinheit mit FC-PC-Buchsen für Einbau in Geräteeinschub

Für den endgültigen Aufbau der Steuereinheit wurde ein Einschub für das Sendemodul gefertigt.



Laserdiodemodul mit Isolator und den beiden FC-APC-Ausgangsbuchsen für faseroptischen Messkopf

Schnittstelle zum faseroptischen Messkopf sind zwei FCAPC-Steckerbuchsen.

Für die zukünftigen Anforderungen an solche Messsysteme wurden auch Laserdioden im blauen Spektralbereich (405 nm) getestet.

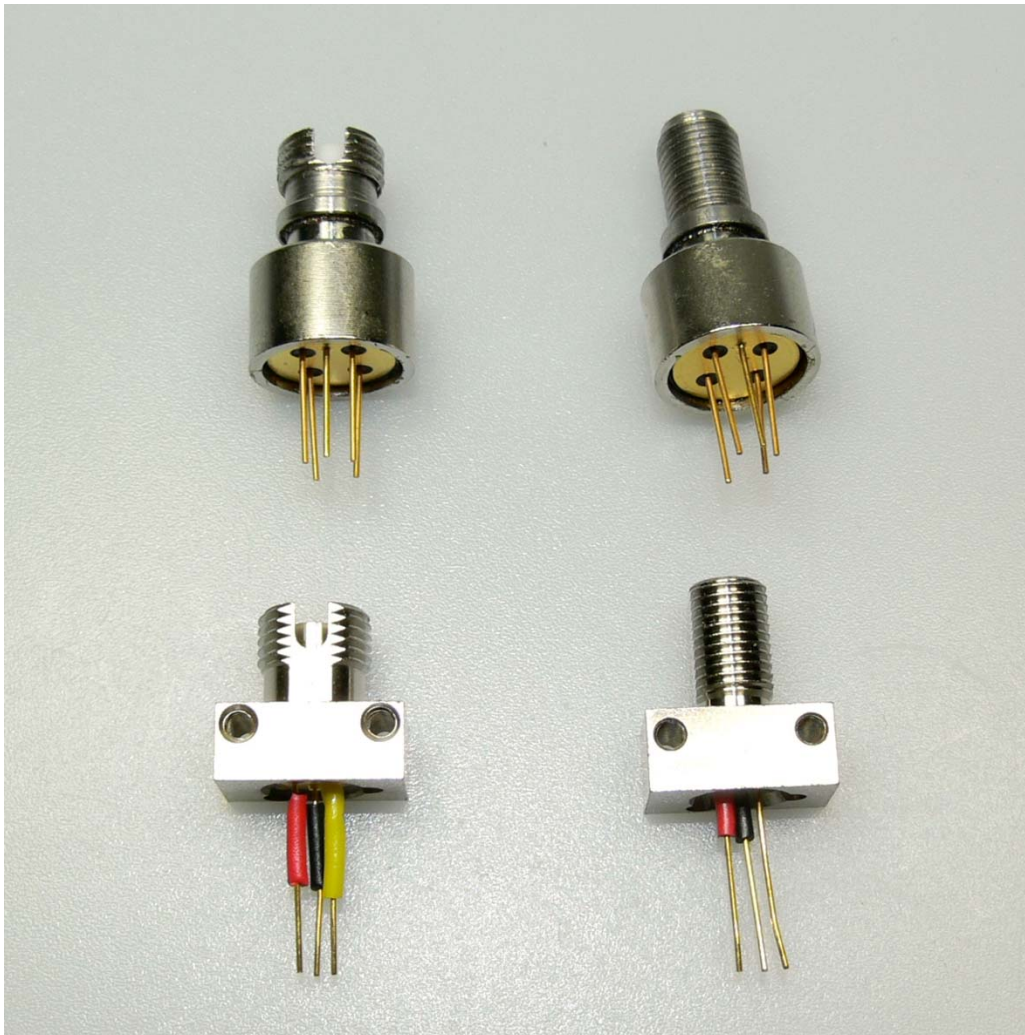
Es wurden mehrere Laserdiodentypen (Hersteller: Sanyo/Panasonic, Nichia) in verschiedenen Leistungsbereichen (20 -100 mW) getestet.

Alle bisher verfügbaren Laserdioden sind spektral multimodig, deshalb war eine Stabilisierung mittels VBGs nicht möglich. Bei ca. 20 getesteten Dioden war nur bei einer kurzzeitig eine Stabilisierung erkennbar und diese auch nur über maximal 1 Grad Temperaturbereich.

Empfängermodul

Theoretische Abschätzungen der Signale aus dem Messvolumen ergaben Leistungen im einstelligen Nanowatt-Bereich.

Mit Si-PIN-Dioden sind in diesem Bereich noch Messungen möglich, für eine hohe Dynamik sind aber Si-APDs (Avalanche-Photo-Dioden) geeigneter.



Empfängermodule Si-APD (unten) und Si-APD-TIA (oben) jeweils als FC und FSMA-Variante

Messungen mit dem ersten Erprobungsmuster bei der BTU ergaben:

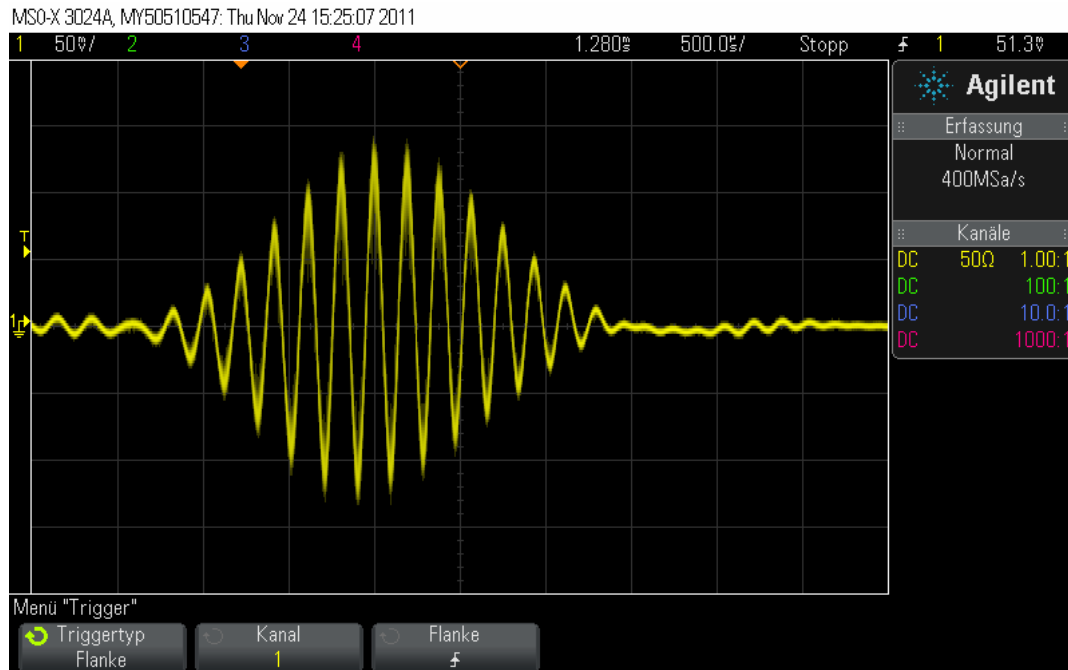
Bei einer optischen Leistung im Fokuspunkt von 4 mW (Durchmesser 120 μm) werden mittlere Leistungen im unteren Nanowatt gemessen. Dabei war die Partikeldichte sehr hoch (> 100 Partikel im Messvolumen).

Messungen mit den gleichen Empfängern an einem LDA der Firma Dantec zeigten kein Ergebnis.

Die Messsignale einzelner Partikel sind demnach im mittleren Pikowatt-Bereich zu erwarten und mit Si-PIN-Dioden nicht mehr detektierbar.

Messungen mit APDs bei Loptek führten (mit Messobjekten im sub- μm Bereich) ebenfalls zu keinen ausreichenden Messsignalen.

Einzigste Lösung zu diesem Zeitpunkt waren APDs mit TIA(zusätzlichem Verstärker).
 Damit sind für den Laboraufbau ausreichende Signale detektierbar.



Messsignal Laboraufbau Loptek

Für dieses Empfängermodul wurde ebenfalls ein Einschub gefertigt.



Geöffnetes Empfängermodul



Empfängermodul in Geräteeinschub

Messungen im Windkanal der BTU ergaben aber, dass auch dieser Empfängertyp nicht ausreichend ist.

Eine Steigerung der Laserleistung um einen Faktor 10-100 ist mit den verfügbaren Laserdioden nicht möglich.

Mit Photomultipliern PMT (Bestandteil der Geräte von Dantec) wären ausreichende Signalgrößen messbar.

Die Verwendung dieser Bauelemente würde aber der angestrebten Miniaturisierung des Messgerätes widersprechen.

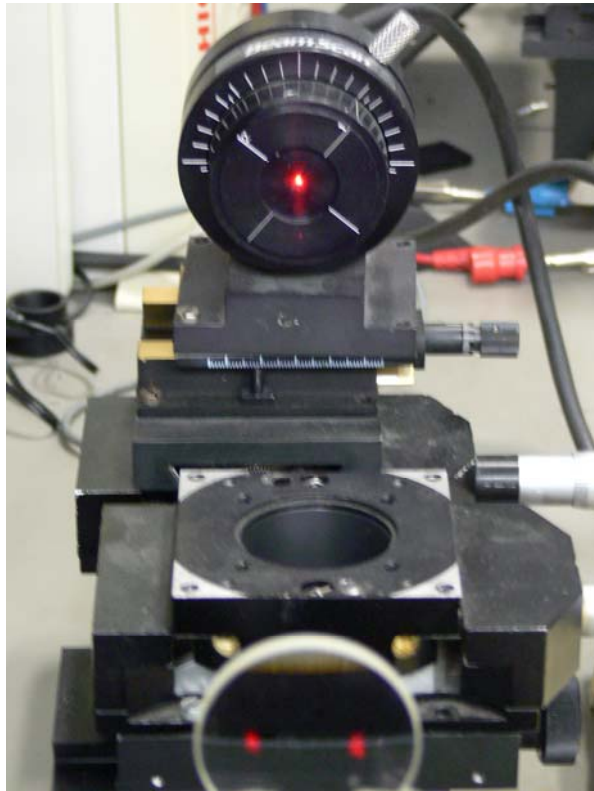
Zur genauen Überprüfung wurde das Sende/Empfangsverhalten ausführlich untersucht.

Für diese Messungen wurde versucht die Interferenzstreifen „sichtbar“ zu machen.

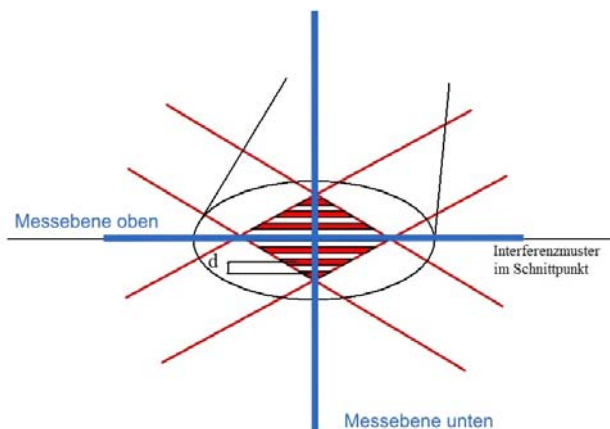
Da der Arbeitsabstand im angestrebten Aufbau sehr klein ist (einige cm) sind die Abstände der Interferenzstreifen sehr klein ($< 1 \mu\text{m}$ \rightarrow im Bereich der verwendeten Wellenlänge).

Eine optische Messtechnik für diese Auflösungen ist nicht verfügbar.

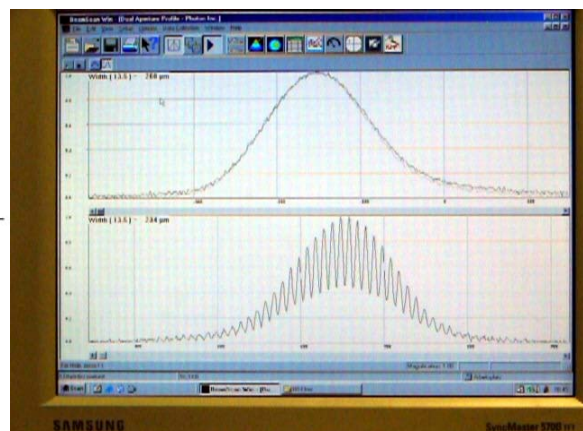
Deshalb wurde ein langbrennweitiger ($\sim 20 \text{ cm}$) Aufbau erstellt.



Messaufbau 2 Parallelstrahlen werden auf Strahlprofilmessgerät fokussiert



Messebenen



Messergebnis Streifenabstand ca. $10 \mu\text{m}$

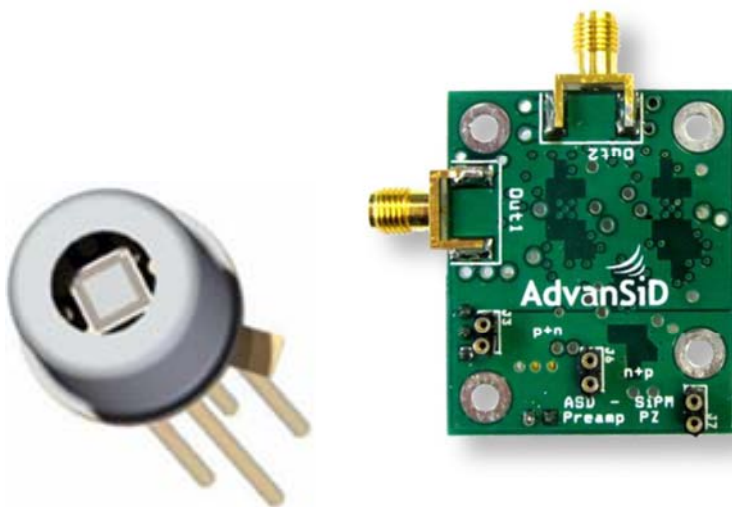
Aufgrund des größeren Arbeitsabstandes sind auch die empfangbaren rückreflektierten Leistungen vergleichbar mit dem realen Anwendungsfall.

Beim Einfügen des AOM kommt es zu einem Wandern der Interferenzstreifen.

Messungen mit den verschiedenen Empfängertypen führten zu vergleichbaren Ergebnissen wie bei Loptek und der BTU.

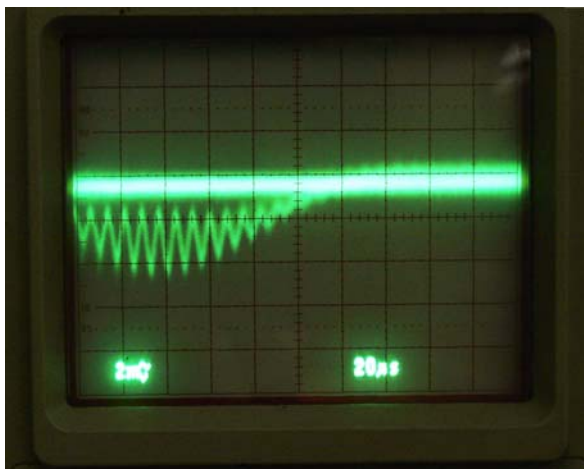
Eine Neuentwicklung im Bereich von Halbleiterempfängern verspricht eine Lösung dieses Problems. Bauelemente mit für den gewünschten Wellenlängenbereich optimiertem Verhalten waren erst ab März 2013 verfügbar.

Es handelt sich dabei um Silicon Photomultiplier (SiPM).



RGB-SiPM 1 mm² Fläche in TO-Bauform und passende Ansteuerelektronik (Foto: Advansid)

Erste Tests mit solchen Bauelementen der Firma Advansid zeigten erheblich höhere Signalstärken als mit dem APD-TIA-Modul.



Messung mit Si-APD-TIA (1 Skt = 2 mV)



Messung mit SiPM (1 Skt = 100 mV)

Steuereinheit und Systemtest

Nach dem die Sende- und Empfängermodule konzipiert waren, wurde nach einem passenden einheitlichen Geräteträger gesucht. Die Wahl fiel auf ein Grundgerät der Firma Thorlabs (PRO8000). Passend zu diesem Modell wurden passende Einschübe für die Lasermodule und Empfängermodule gefertigt. Die Integration des AOMs ist ebenfalls erfolgt, wobei die Ansteuerung des AOM noch extern erfolgt.



Komplettgerät mit Sendemodul, Empfangsmodul und AOM-Ansteuerung

Der Anschluss des faseroptischen Messkopfes (Loptek) erfolgt über zwei FCAPC-Steckerbuchsen (Sendeeinheit) und eine FSMA-Buchse (Empfangseinheit)

Die Übergabe der Signale erfolgt über eine BNC-Buchse zur Auswerteeinheit.

Eine Erprobung der neuen Empfangsbaulemente am Windkanal der BTU konnte aufgrund der späten Verfügbarkeit leider nicht mehr erfolgen.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Fördervorhabens ist es gelungen eine Technologie für die Wellenlängenstabilisierung von Laserdioden zu entwickeln.

Die so gefertigten Laserdiodenmodule, sind in Verbindung mit optischen Isolatoren geeignet, um als Sendeeinheit in einem miniaturisierten LDA zu dienen.

Darüber hinaus ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der optischen Messtechnik, wo stabile Lichtquellen mit hoher Kohärenzlänge benötigt werden.

Die anfangs vorgesehenen Empfängerbauelemente (APD und APD-TIA) sind nicht geeignet.

Es kann erstens auf die seit langem verfügbaren Photomultiplier zurückgegriffen werden.

Diese sind relativ groß und benötigen eine anspruchsvolle Ansteuerung (einige 1000V Betriebsspannung).

Eine Lösung versprechen die SiPM-BE. Die benötigten Spannungen liegen im Bereich der APDs (50-70V) und sind mit Ansteuerelektronik in der gleichen Größe wie die APD-TIA-Module zu fertigen..

Die entwickelte Steuereinheit ist im Vergleich zu aktuell erhältlichen LDAs sehr klein und kompakt.

Danksagung

Dieses Projekt wurde gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft Brandenburg und die Europäische Union.

Vielen Dank den beteiligten Mitarbeitern von Loptek und der BTU Cottbus.

Hoppegarten, September 2013