



LOS, Entwicklung eines laser-optischen Sensors

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	2
2.	Einleitung	2
3.	Ziele des Projekt.....	3
4.	Verstärkerschaltung	3
5.	Optischer Aufbau.....	4
6.	Sackgassen.....	7
7.	Ausblick.....	7
8.	Autoren	8
9.	Literaturverzeichnis	9



LOS, Entwicklung eines laser-optischen Sensors

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang

1. Zusammenfassung

Im Rahmen eines von der AiF geförderten angewandten FuE-Projektes wurde der Prototyp für einen laser-optischen Sensor entwickelt. So gelang es im ersten Schritt, die bisherige gekaufte Verstärkerschaltung durch eine einfache, eigene Platine zu ersetzen. Diese neue Platine wird bereits seit zwei Jahren in einem kommerziellen Partikelmessgerät serienmäßig verwendet.

Für den zweiten und dritten Schritt, den optischen Aufbau des Sensors, wurden zwei Anordnungen durchdacht, zunächst ein Konzept mit mehreren Infrarot-LEDs und dann eines mit einer Laserdiode. Da die Realisierung mit LEDs aber kaum günstiger als die Lösung mit einer Laserdiode geworden wäre und für die LED-Lösung mehrere Detektoren mit deutlich größerem Justageaufwand notwendig geworden wären, wurde schließlich die Anordnung mit einer Laserdiode favorisiert. Für die Sendeoptik wurden nochmals zwei Varianten untersucht. Zum einen war dies ein Spiegel-Linsensystem, zum anderen ein Spiegel-Spiegelsystem, das die Strahlung zweimal umlenkt und ohne Linsen auskommt. Die Entscheidung wurde zu Gunsten des Spiegel-Spiegelsystems getroffen, da dieses die Optimierung von nur zwei Grenzflächen bedeutete und es außerdem deutlich verschieden vom Ausgangssystem ist und somit rechtliche Schwierigkeiten von vornherein ausgeschlossen werden konnten.

Die Spiegelflächen wurden numerisch auf die gewünschte Lichtverteilung optimiert und es wurden direkt entsprechende CAD-Zeichnungen und Datensätze zur Herstellung der Oberflächen angefertigt. Aufgrund der umfangreichen und sorgfältigen numerischen Vorbereitung der gewünschten Sensorgeometrie konnte direkt ein Prototyp mit den entsprechenden Angaben gefertigt werden.

2. Einleitung

Seit langem schon sind Wissenschaftler aus vielen Forschungsbereichen daran interessiert, Größe und Geschwindigkeit von Partikeln zu bestimmen. In der Literatur gibt es eine Vielzahl von Arbeiten, die Geräte zur Partikelmessung beschreiben, die meist aber nur Größe oder Geschwindigkeit messen. Für die meisten dieser Systeme wurde die Sensorik jeweils speziell entwickelt. Keines der Geräte erfüllte direkt die Anforderungen des Zuwendungsempfängers, deshalb wurde vor fünf Jahren mit der Entwicklung eines neuen Gerätes begonnen. Eine Recherche im Internet hatte gezeigt, dass es keine kommerziell verfügbare Ersatzmöglichkeit für den bisher eingesetzten japanischen Sensor gibt. Außerdem waren bei einer Patentrecherche der IHK keine Schutzrechte bekannt geworden, die einer späteren Ergebnisverwertung hinderlich sein konnten.

Im Rahmen des Projektes wurden Kooperationen auf verschiedenen Ebenen durchgeführt. Zum einen war das die Zusammenarbeit mit Kollegen und Mitarbeitern an der Hochschule im eigenen Fachbereich (vor allem bei Software-Fragen) und im Fachbereich „Elektrotechnik“ (Entwicklung der Verstärkerschaltung). Zum zweiten war das Institut für Meteorologie und Klimaforchung des Forschungszentrum Karlsruhe Partner in allen meteorologischen Fragestellungen und Spezifizierungen. Und schließlich zum dritten wurde mit drei süddeutschen Firmen kooperiert: (i) PMTech AG, Karlsruhe (Hersteller des Partikelmessgerätes), (ii) Ketterer Feinmechanik, Freiburg (Bau von Sensorgehäusen) und (iii) Opsira GmbH, Weingarten (Berechnung von Strahlgeometrien und Bau eines Prototyps).

LOS, Entwicklung eines laser-optischen Sensors

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang

3. Ziele des Projekt

Für ein optisches Partikelmessgerät sollte ein eigenständiger laser-optischer Sensor entwickelt werden. Damit sollten zum einen die Beschränkungen bisheriger Sensoren (Temperaturbereich, Messbereich für Größe und Geschwindigkeit) überwunden werden. Zum anderen sollte die Abhängigkeit von einem japanischen Zulieferer mittelfristig beseitigt werden, indem ein Sensor aus deutscher Produktion erhältlich ist.

Vorhanden war ein Messgerät, das mittels eines laser-optischen Sensors auf der Basis von Extinktionsmessungen gleichzeitig die Größe und die Geschwindigkeit von einzelnen Teilchen bestimmt. Erfasst werden können unterschiedlichste natürliche und technische Partikelsysteme (Tropfen, Flocken, Kugeln, Granulate etc.) im Größenbereich von 0,3 bis 25 µm und mit Geschwindigkeiten bis 10 m/s. Der zu ersetzende japanische Sensor wird mit diesen Daten aufgrund seiner technischen Spezifikationen bereits über seine Grenzen hinaus betrieben.

Das Vorhaben sollte in drei aufeinander aufbauenden Stufen angegangen werden. Im ersten Schritt war geplant, von der bisherigen Verstärkerelektronik ausgehend eine schnellere Schaltung zu entwickeln, um die Geschwindigkeitsgrenze von 10 m/s mindestens zu verdoppeln. Im zweiten Schritt sollte zu der neuen Verstärkerschaltung ein eigenständiger optischer Sensor mit Hilfe eines optischen Baukastensystems aufgebaut werden. Der dritte Schritt schließlich beinhaltete die Umgestaltung der entwickelten Optik in ein Prototyp-Modul, das in den Messkopf des vorhandenen Partikelmessgerätes eingebaut werden kann.

4. Verstärkerschaltung

Entsprechend den beantragten Stufen konnten auch Ergebnisse erzielt werden. So gelang es im ersten Schritt recht rasch, die bisherige, gekaufte Verstärkerschaltung durch eine ganz einfache, eigene Platine zu ersetzen.

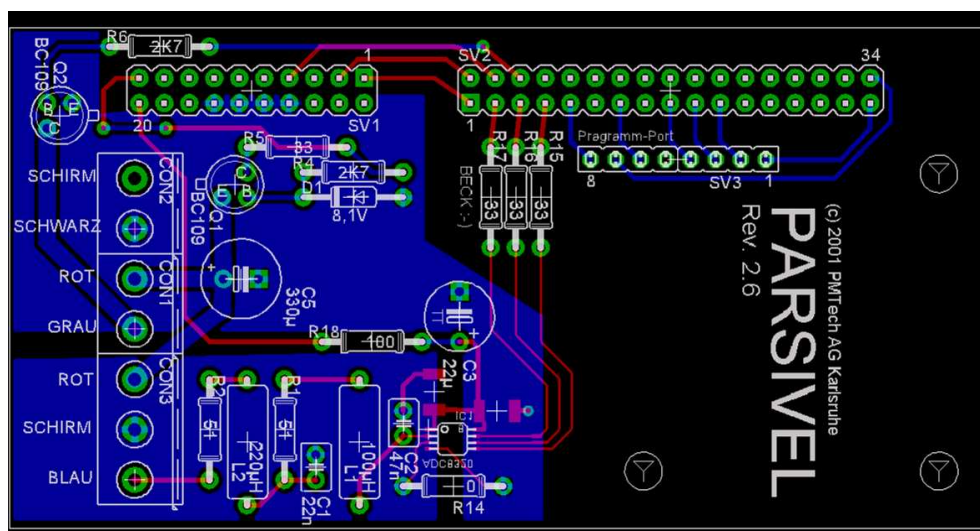


Abb. 1: Layout der neu entwickelten Platine

In Abbildung 1 ist das Layout dargestellt. Diese neue Platine wird bereits seit über einem Jahr in dem Partikelmessgerät der Firma PMTech standardmäßig verwendet.

LOS, Entwicklung eines laser-optischen Sensors

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang

5. Optischer Aufbau

Für den zweiten und dritten Schritt, den optischen Aufbau des Sensors, wurde zunächst eine Vorstudie angefertigt. Ziel war die Erzeugung eines Lichtbandes mit einer Breite von 40 mm, einer Dicke von 1 mm und einer Länge von ca. 300 mm. Dieses Lichtband sollte als Lichtschranke mit einer Homogenität von möglichst besser als 5 % realisiert werden. Das System muß Umgebungsbedingungen von -30 °C bis 70 °C und 100 % relative Feuchte überstehen.

Bei einer umfangreichen Recherche wurden zahlreiche Patente und Verfahren zur Strahlhomogenisierung bzw. zu Liniengeneratoren gefunden. Strahlhomogenisierung wird meistens bei Beleuchtungssystemen eingesetzt, Liniengeneratoren in Barcode-Lesegeräten, Scannern oder bei der Flugsteuerung. Die Patente dienen also einem anderen Zweck und die Systeme haben eine andere Anordnung, als der geplante Sensor.

Zwei Anordnungen wurden durchdacht, zunächst ein Konzept mit mehreren Infrarot-LEDs und dann eines mit einer Laserdiode. Da die Realisierung mit LEDs aber kaum günstiger als die Lösung mit einer Laserdiode geworden wäre und für die LED-Lösung mehrere Detektoren mit deutlich größerem Justageaufwand notwendig geworden wären, wurde schließlich die Anordnung mit einer Laserdiode favorisiert.

Der Laserdiode wurde eine Sendeoptik nachgeschaltet, die folgende Funktionen realisieren musste:

- Korrektur der Winkel-Gauß-Verteilung der Laserdiode in eine homogene Bestrahlungsstärkeverteilung quer zur Messstrecke;
- Korrektur des divergenten Strahlenbündels in ein sehr gut kollimiertes Bündel entlang der Messstrecke.

Auf der Empfängerseite wurde der Messstrahl auf einen Detektor fokussiert.

Für die Sendeoptik wurden nochmals zwei Varianten untersucht. Zum einen war dies ein Spiegel-Linsensystem, bei dem eine Freiformfläche die Strahlung auf eine Linse reflektiert. Zum anderen ein Spiegel-Spiegelsystem, das die Strahlung zweimal umlenkt und ohne Linsen auskommt. Die Entscheidung wurde zu Gunsten des Spiegel-Spiegelsystems getroffen, da dieses die Optimierung von nur zwei Grenzflächen bedeutete und es außerdem deutlich verschieden vom japanischen Ausgangssystem ist und somit rechtliche Schwierigkeiten von vornherein ausgeschlossen werden konnten.

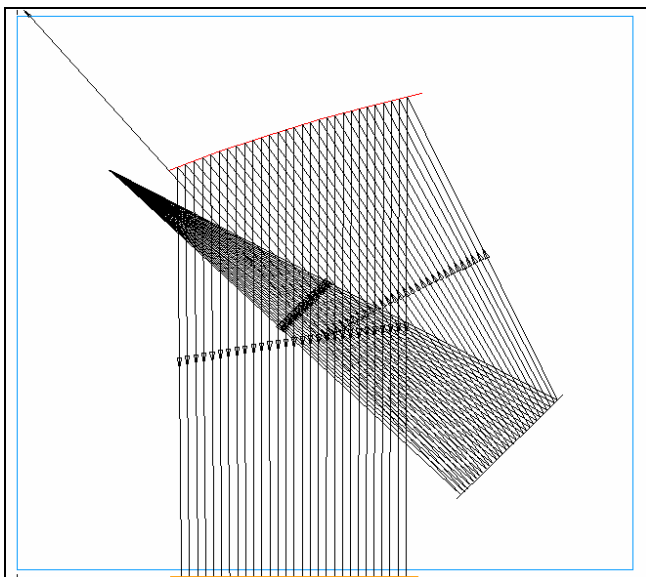


Abb. 2: Sendeoptik mit Strahlen (Simulation)

LOS, Entwicklung eines laser-optischen Sensors

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang

Im endgültigen System sorgt der Primärspiegel für die benötigte Bestrahlungsverteilung auf dem Sekundärspiegel. Die Freiform des Sekundärspiegels korrigiert die Richtungen und kollimiert so den Strahl, in Abbildung 2 ist der simulierte Strahlenverlauf von der Laserdiode (links im Bild) bis zum Austritt in die Messstrecke (am unteren Bildrand) dargestellt.

Die Spiegelflächen wurden numerisch auf die gewünschte Lichtverteilung optimiert und es wurden direkt entsprechende CAD-Zeichnungen und Datensätze zur Herstellung der Oberflächen angefertigt.

Aufgrund der umfangreichen und sorgfältigen numerischen Vorbereitung der gewünschten Sensorgeometrie konnte direkt ein Prototyp mit den entsprechenden Angaben gefertigt werden. Abbildung 3 zeigt diesen Prototyp. Montiert auf einer Trägerplatte sind die Laserdiode und die beiden Spiegelflächen zu erkennen.

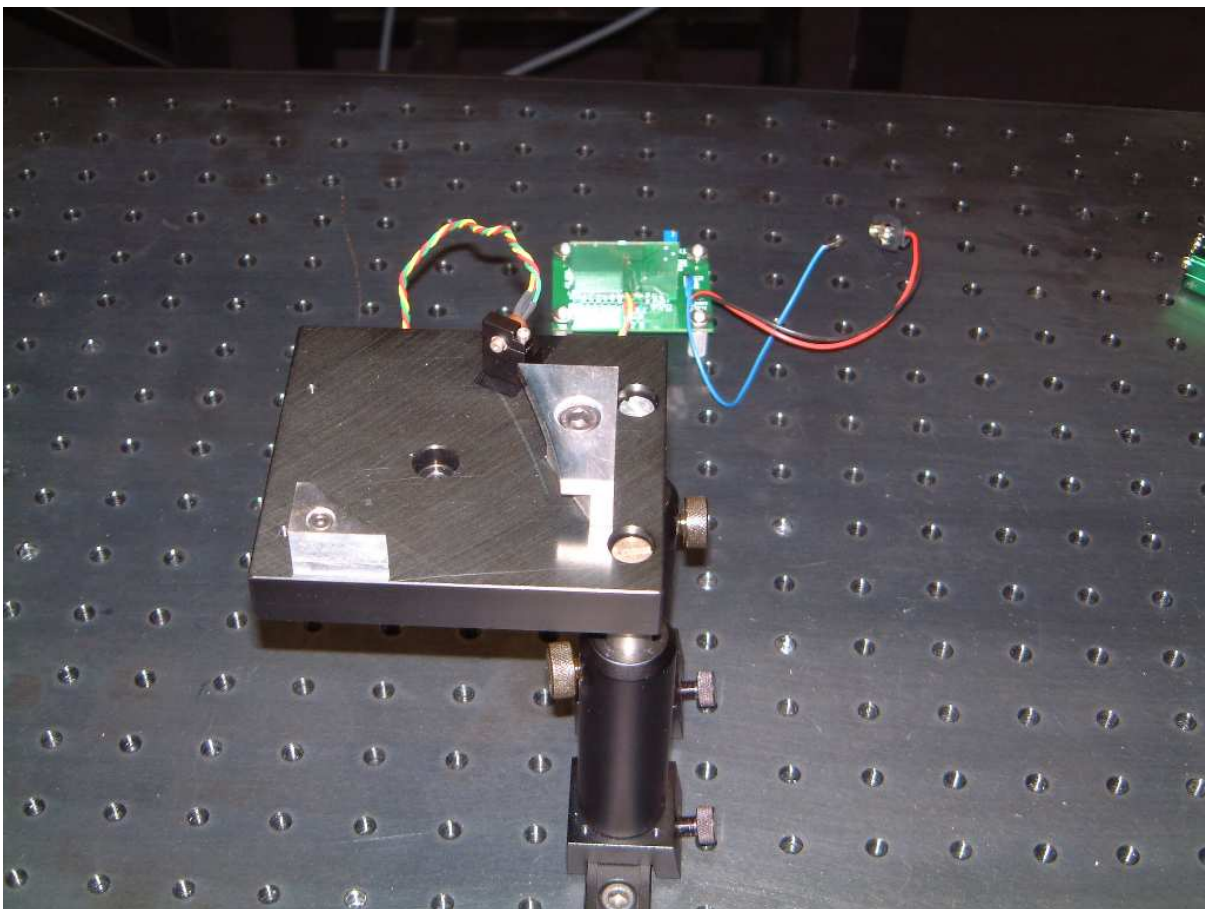


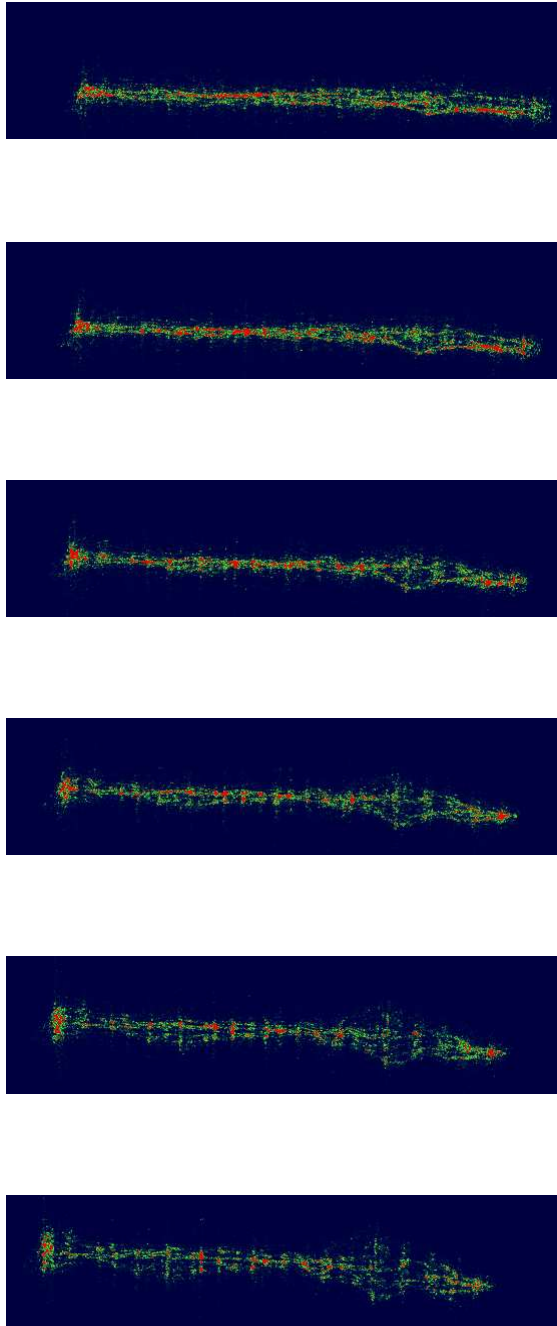
Abb. 3: Sensorprototyp ohne Schutzgehäuse

Die Untersuchungen der optischen Qualität des Sensormoduls wurden mit einer Spezialkamera durchgeführt, die anstatt eines Empfängers in die Messstrecke eingebracht wurde. Abbildung 4 zeigt Aufnahmen dieser Kamera in verschiedenen Abständen vom Sender, wobei die Lichtverteilung für zwei verschiedene Spiegelpaare dargestellt ist. Zu erkennen sind neben der Lichtbandgeometrie auch regelmäßige, streifige Intensitätsschwankungen, die durch eine ungenügende Fertigungspräzision entstanden sind. Hier wird momentan noch nach einem alternativen Hersteller für die Spiegelfreiformflächen gesucht, um eine bessere Spiegeloberfläche und damit gleichmäßigere Ausleuchtung der Messstrecke zu erhalten.

LOS, Entwicklung eines laser-optischen Sensors

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang

Erstes Spiegelpaar



Zweiter Versuch

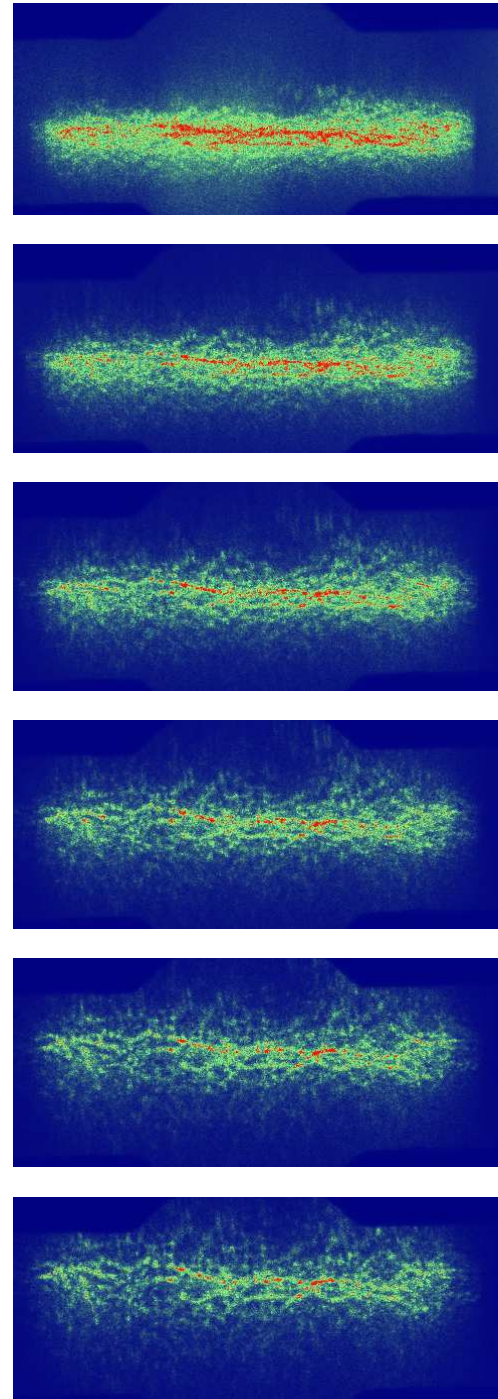


Abb. 4: Lichtverteilung in der Messstrecke quer zur Ausbreitung für zwei Spiegelpaare



LOS, Entwicklung eines laser-optischen Sensors

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang

6. Sackgassen

Im Verlauf des Vorhabens wurden zweimal bewusst alternative Wege eingeschlagen, wobei bei der Darstellung der Ergebnisse der jeweils gewählte Favorit beschrieben wurde. An dieser Stelle sei noch kurz auf die letztendlich nicht zur Umsetzung gelangten Nebenwege (Sackgassen) eingegangen.

Zum einen war dies ein alternatives Konzept zu einer einzelnen Laserdiode mit einer Anordnung von mehreren LEDs. Im Senderteil des Systems sollten fünf LEDs in einem Abstand von 8 mm eingebaut und die Strahlung mit fünf Linsen kollimiert werden. Die Linsen hätten in Kunststoff gespritzt und als ein Element im System eingebaut werden können. Im Empfänger wären die gleichen fünf Linsen notwendig gewesen, um das Licht auf fünf Detektoren zu fokussieren. Ein Empfänger mit einem Detektor wäre nicht realisierbar gewesen, weil die notwendige, starke Verkleinerung eine mit der vorhandenen Apertur nicht vereinbare, kurze Brennweite erfordert hätte. Des weiteren ist die Streuung in der abgegebenen Lichtcharakteristik bei LEDs selbst aus einer Produktion sehr groß, so dass ein aufwendiger Auswahl- und Justageprozess notwendig geworden wäre, der den geringfügig günstigeren Preis in der Beschaffung der Einzelelemente für die LED-Anordnung zunichte gemacht hätte.

Zum anderen wurde für die Sendeoptik zunächst ein Spiegel-Linsensystem geplant, bei dem eine Freiformspiegelfläche die Strahlung von der Laserdiode auf den Linseneintritt reflektiert. Der Spiegel sollte so geformt werden, dass die am Spiegel off-axis und gaußförmig ankommende Strahlung auf den Linseneintritt so verteilt wird, dass sich nach der Linse die benötigte symmetrische und homogene Lichtverteilung in der Messstrecke ergeben hätte. Die Linsenvorderfläche sollte den Strahl kollimieren. Die Geometrie des Spiegels wurde durch eine Bezier-Freiformfläche mit neun Kontrollpunkten beschrieben. Anfangs- und Endpunkt waren fest und definierten die Spiegelbreite. Der Spiegel wurde numerisch-iterativ auf die gewünschte Verteilung optimiert, was nur auf einige Prozent genau realisiert werden konnte. Das Spiegel-Linsensystem brachte es weiter mit sich, dass drei Grenzflächen optimiert werden mussten und mit ihren Toleranzen zu Abweichungen vom Sollverhalten führen konnten. Die Auslegung der Einzelgrenzflächen ist gekoppelt, so dass die Optimierung zu einer dreistufig rekursiven Aufgabe geworden wäre. Als Alternativvariante wurde deshalb ein Spiegel-Spiegelsystem aufgebaut. Hier mussten nur zwei Grenzflächen optimiert werden, außerdem ist die Anordnung deutlich verschieden vom japanischen Ausgangssystem und somit konnten rechtliche Schwierigkeiten von vornherein ausgeschlossen werden. Aufgrund der Erfahrungen in Bezug auf die erreichbare Genauigkeit mit der Optimierung der Bezierfläche, wurde das Spiegel-Spiegelsystem nicht mit dieser Methode, sondern mit dem genaueren Integralflussverfahren optimiert.

7. Ausblick

Aus der Darstellung der Ergebnisse konnte entnommen werden, dass ein Teilergebnis des Projektes, nämlich die vereinfachte und bessere Verstärkerschaltung, bereits genutzt wird. Für den Einsatz des optischen Sensormoduls müssen vorher noch einige kleinere Arbeiten ausgeführt werden, wie z.B. die erneute Spiegelherstellung und dann die Überprüfung der Homogenität des Lichtbandes mit realen Partikeln. Die Herstellerfirma des Partikelmessgerätes (PMTech AG) ist aber stark daran interessiert, den Sensor nach ausreichender Erprobung in ihrem Gerät einzusetzen und evtl. für andere Anwendungen zu testen. Die Frage, ob PMTech den Sensor auch fertigen wird, oder möglicherweise eine andere Firma, ist bisher noch offen.



LOS, Entwicklung eines laser-optischen Sensors

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang

Die Entwicklung eines eigenständigen laser-optischen Sensors war ein erster Schritt der Forschungsaktivitäten des Zuwendungsempfängers an der HTW. Die beteiligten Firmen haben ihr Interesse bekundet, sich zukünftig vom Zuwendungsempfänger wissenschaftlich beraten und je nach Fragestellung auch Messungen im Labor an der HTW durchführen zu lassen. In der Zwischenzeit konnten weitere Projekte in Angriff genommen werden, wie z.B. die Entwicklung eines Hagelsensors und die Entwicklung von Fasersensoren für Monitoring-Aufgaben.

Die größte Chance für den Zuwendungsempfänger liegt aber in einem Projekt zusammen mit der PMTech AG und dem Forschungszentrum Karlsruhe. Hierbei geht es um die Weiterentwicklung des Partikelmessgerätes der PMTech hin zu einem flugfähigen Gerät (am Ballon oder Fallschirm). Dafür müssen alle eingesetzten Komponenten so klein und leicht wie möglich gemacht werden. Die Voraussetzungen sind durch das geförderte Vorhaben sehr gut, einerseits kann auf die deutlich verkleinerte Verstärkerschaltung zurückgegriffen werden und auch weitere Platinen entsprechend miniaturisiert werden, andererseits bietet der neue optische Sensor in viel größerem Maße Eingriffsmöglichkeiten zur Verkleinerung, als ein kommerzielles Produkt. Dieses Projekt soll im Jahr 2003 begonnen werden.

8. Autoren

Projektleiter

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang
Labor: OML
Fachbereich: GIS
E-Mail: loeffler-mang@htw-saarland.de
Homepage: <http://www.htw-saarland.de/fb/gis/sft>
Tel. 049-681-5867-247
Fax 049-681-5867-414

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dipl.-Ing. Eduard Beck
Tel. 049-681-5867-437
Fax 049-681-5867-414

Kooperationspartner

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
PMTech AG, Karlsruhe
Opsira GmbH, Weingarten
Ketterer Feinmechanik, Sölden



LOS, Entwicklung eines laser-optischen Sensors

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang

9. Literaturverzeichnis

Bachalo W.D. (1980): Method for measuring the size and velocity of spheres by dual-beam lightscatter interferometry. *Appl. Optics* **19**, 363-369

Barthazy E., Henrich W., Waldvogel A. (1998): Size distribution of hydrometeors through the melting layer. *Atmos. Res.* **47-48**, 193-208

Grossklaus M., Uhlig K., Hasse L. (1998): An optical disdrometer for use in high wind speeds. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **15**, 1051-1059

Knollenberg R.G. (1970): The optical array: An alternative to scattering or extinction for airborne particle size determination. *J. Appl. Meteorol.* **9**, 86-103

Ruck B. (1990): Lasermethoden in der Strömungsmeßtechnik. *AT-Fachverlag GmbH*, Stuttgart

Löffler-Mang M. (1998): A laser-optical device for measuring cloud and drizzle drop size distributions. *Meteorol. Z., N.F.* **7**, 53-62

Löffler-Mang M., Joss J. (2000): An Optical Disdrometer for Measuring Size and Velocity of Hydrometeors. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **17**, 130-139