

3D Mie-Streuung in Simulation und Streulichtexperiment

Simon Streicher*, Ronald Kampmann**, Stefan Sinzinger**, Oliver Kalthoff*

*Medizinische Informatik, Fakultät für Informatik, Hochschule Heilbronn

**Fachgebiet Technische Optik, Fakultät für Maschinenbau, Technische Universität Ilmenau

<mailto:simon.streicher@hs-heilbronn.de>

Die Lichtausbreitung durch streuende Medien ist für zahlreiche Anwendungsgebiete von großem Interesse. Da die rigorose Berechnung sehr aufwendig ist, wird eine massiv parallelisierte Methode zur dreidimensionalen Simulation basierend auf der Mie-Theorie vorgestellt. Die Ergebnisse werden mit einem geeigneten Streulichtexperiment verglichen.

1 Einführung

Die Lichtausbreitung durch streuende Medien ist für zahlreiche Anwendungsgebiete, z.B. von der Medizintechnik bis zur Beleuchtungstechnik von großem Interesse. Hierbei beschreibt die Mie-Theorie die Streuung elektromagnetischer Wellen an sphärischen Streuzentren. Der Durchmesser der Streuzentren ist bei unseren Betrachtungen vergleichbar mit der Wellenlänge des eingestrahlten Lichts.

Es existieren verschiedene Algorithmen, mit denen die Streuparameter und Streufunktionen berechnet werden können. Jedoch ist deren Berechnung ohne Näherungsverfahren mit hohem Rechenaufwand verbunden. Dadurch werden exakte dreidimensionale Simulationen eines Strahlungstransports durch ein Streumedium zeitaufwändig. Um die Berechnung zu beschleunigen, haben wir programmierbare Grafikprozessoren verwendet. Es wurde gezeigt, dass die Rechenzeit bei exakter Rechnung um zwei Größenordnungen verkürzt wird.

Die Ergebnisse der Simulation werden mit den Ergebnissen eines geeigneten Streulichtexperiments verglichen.

2 Methoden

In der Simulationssoftware werden einzelne Photonen durch ein spezifisches Medium propagiert. Hierbei kann die Wellenlänge des Lichts, der Durchmesser der Streuzentren, die Konzentration der Streuzentren im streuenden Medium, der Brechungsindex der Streuzentren sowie des Mediums angegeben werden.

Mit Hilfe der Mie-Theorie[1] werden die Streufunktionen für parallele sowie senkrechte Polarisierung berechnet. Anhand der Partikelkonzentration und des Wirkungsquerschnitts kann die mittlere freie Weglänge eines Partikels im spezifischen Medium bestimmt werden.[2]

Die Ergebnisse der Streufunktionen werden anschließend auf die Graphics Processing Unit

(GPU) übertragen. Im Folgenden wird durch massiv parallele Programmierung die GPU dazu verwendet, Photonen so lange zu propagieren, bis ein Abbruchkriterium erreicht ist. Ist für ein Photon eines der möglichen Abbruchkriterien (Austritt durch Mantel, Deckel oder Boden) erreicht, wird die Position auf der Oberfläche des Streumediums zusammen mit dem Richtungsvektor gespeichert. Ist die Simulation für alle Photonen beendet, werden diese Daten zurück an die CPU übertragen. Mit diesen Informationen können nun weitere Berechnungen vorgenommen werden.[3]

Die Photonen werden Anhand eines Intensitätsprofils des Laserstrahls aus dem Experiment in das Medium emittiert (siehe Abb.1 & Abb.2, Simulation mit $5 \cdot 10^6$ Photonen), wobei jede beliebige Intensitätsverteilung innerhalb der Software routine berücksichtigt werden kann.

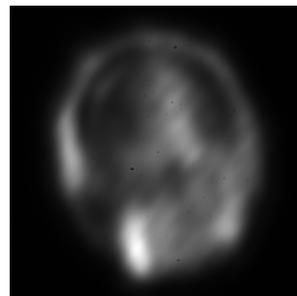


Abb.1 8bit Intensitätsprofil des Laserstrahls

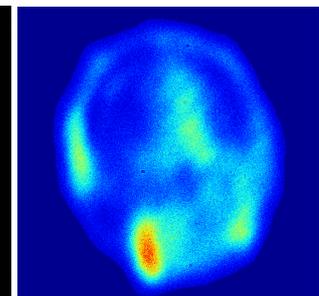


Abb.2 Simuliertes Intensitätsprofil des Laserstrahls

Sobald ein Photon in ein Streumedium eingetreten ist und ein Streuprozess stattgefunden hat, wird sein Weg anhand von Kugelkoordinaten berechnet. Dabei geben Polar- und Azimutwinkel die Flugrichtung an. Die Strecke zwischen zwei Streuzentren wird anhand des Lambert-Beer-Gesetzes ermittelt. Dieser Schritt wird solange wiederholt, bis ein Abbruchkriterium erreicht ist. Dies ist erreicht, wenn ein Photon die Probe (in diesem Fall einen Zylinder) durch den Deckel, den Mantel oder den Boden verlässt. Die Abbruchkriterien sind je nach verwendeter Probe in der Simulation an-

passbar.

Für das praktische Experiment liegt eine Probe in Zylinderform vor, diese wird ebenfalls in der Simulation abgebildet. Die Probe hat einen Durchmesser von 15mm sowie eine Höhe von 2mm . Hierbei handelt es sich um eine Probe aus Silikatglas, in welcher Streuzentren aus Luft eingeschlossen sind. Die Streuzentren weisen einen Durchmesser von $2\mu\text{m}$ auf. Die Streuzentren sind mit einer Anzahldichte von $3,3 \cdot 10^8 \text{ pro cm}^3$ verteilt. Die Wellenlänge betrug in Experiment und Simulation 532nm .

3 Ergebnisse

Das Experiment wurde mit der in Abschnitt 2 beschriebenen Probe durchgeführt. Im Experiment wurde ein Albatross Table Top Messplatz[4] (Abb. 3) verwendet. Es wurde mit einer Winkelauflösung von 1° für die Polar- und Azimutwinkel gemessen. Der gesamte Messvorgang benötigte bei dieser Auflösung 10 Stunden und 20 Minuten.



Abb.3 Fraunhofer IOF Albatross Table Top Messplatz

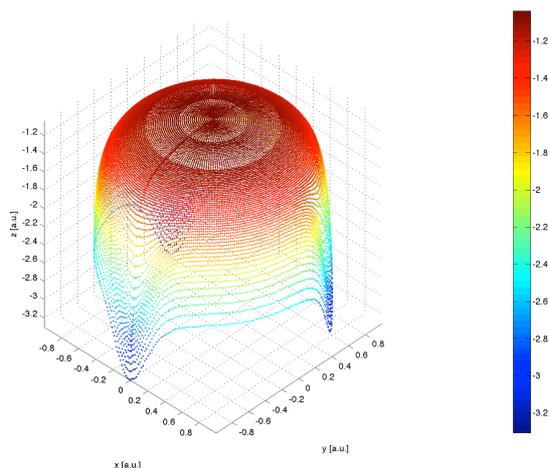


Abb. 4 Visualisiertes Ergebnis Messexperiment

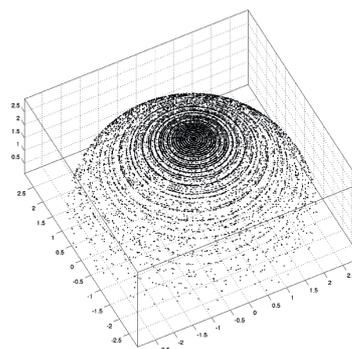


Abb. 5 Visualisiertes Ergebnis der Simulation

Bei dem Vergleich der Ergebnisse aus dem Experiment (Abb. 4) und der Simulation (Abb. 5) ist eine hohe Übereinstimmung beider Verteilungen erreicht worden. Die Quantitative Beurteilung der vergleichsweise geringen Abweichungen von Simulation und Experiment stellt den Schwerpunkt derzeitiger Arbeiten dar. Um die Simulation mit denselben Parametern wie im Streulichtexperiment auszuführen, benötigte eine Intel Core i5 CPU 209.71 Sekunden. Eine NVIDIA™ GTX 470 benötigte für dasselbe Simulationssetup nur 0.6228 Sekunden. Hieraus ergibt sich eine Geschwindigkeitssteigerung um den Faktor 336.

4 Diskussion und Ausblick

Es konnte ein erfolgreicher qualitativer Vergleich zwischen dem Ergebnis des Experiments und der Simulation vorgenommen werden. Es wurde eine Geschwindigkeitssteigerung um zwei Größenordnungen erreicht. Um jedoch einen vollwertigen Vergleich zwischen Experiment und Simulation anstellen zu können, müssen noch weitere Aspekte in die Simulationssoftware implementiert werden. Besonders wichtig ist hierbei die Anpassung des Detektors an die Bedingungen im Messexperiment. Letztlich müssen Teile der GPU Implementierung auf die NVIDIA™ Tesla Architektur angepasst werden, um eine noch effizientere Simulationssoftware zu realisieren.

5 Referenzen

- [1] Mie, G. (1908). Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. *Annalen der Physik*, 330(3), 377-445.
- [2] Craig F. Bohren and Donald R. Huffman. *Absorption and Scattering of Light by Small Particles* Wiley-VCH, April 1998. p. 477N.
- [3] Streicher, S., Kampmann, R., Sinzinger, S., & Kalthoff, O. (2013, March). Efficient and precise simulation of multiple Mie scattering events using GPGPUs. In *SPIE OPTO* (pp. 86190K). International Society for Optics and Photonics.
- [4] A. von Finck, M. Hauptvogel, and A. Duparré, "Instrument for close-to-process light scatter measurements of thin film coatings and substrates," *Appl. Opt.* **50**, C321-C328 (2011).