

# Ermittlung der Licht-Streuung in Wasserdampf durch Simulation von Streuung in Nebel

Klaus Epple<sup>1,2</sup>, Albert Gröning<sup>2</sup>, Markus Tahedl<sup>2</sup> und Michael Pfeffer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Ravensburg-Weingarten, SG Optische Systemtechnik, <sup>2</sup> ifm electronic GmbH, 88069 Tettng

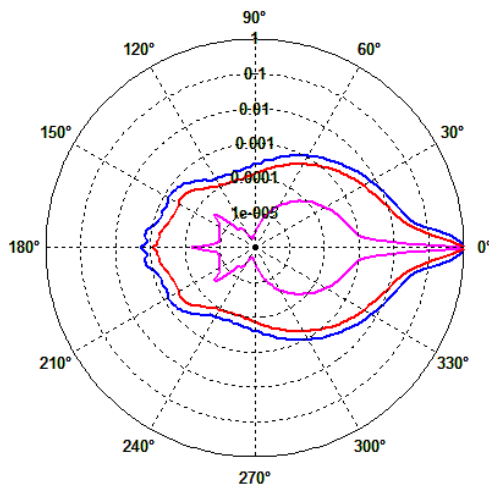
**Abstrakt:** Die genaue Teilchengrößenverteilung in Wasserdampf ist in den meisten Fällen eine unbekannte Funktion. Für eine Simulation der gestreuten Intensitätsverteilung versagen auf Grund der Teilchengrößen die üblichen Ray-Tracing Verfahren und die Mie'schen Formeln müssen herangezogen werden. Hierfür ist jedoch das exakte Verhältnis von Teilchengröße zu Wellenlänge erforderlich.

In dieser Arbeit sind die Ergebnisse eines einfachen und schnellen Matlab-Algorithmus dargestellt. In diesem wird die Streuung jeweils an einem Einzelteilchen mit komplexem Brechungsindex errechnet und diese dann aufsummiert, gewichtet mit einer Gamma- Verteilungsfunktion der Tropfengröße. Herangezogen werden bekannte Verteilungen in Nebel mit verschiedenen Dichten. Durch die unterschiedlichen Tropfengrößen werden Einzeleffekte verwaschen und es entstehen charakteristische Ensembleeffekte. Die entstehenden Kurven werden durch die Ergebnisse von Streulichtmessungen an Wasserdampf bestätigt. Aus den unterschiedlichen charakteristischen Parametern lässt sich schließen, dass Wasserdampf mit einer Tropfenverteilung, wie in bestimmten Nebelarten vorhanden, mittels des eingesetzten Verfahrens simuliert werden kann.

## Motivation:

Optische Sensoren reagieren sehr empfindlich auf Wassertropfen in der Umgebung vor dem Sensor. Erkenntnisse wie sich solche Störungen auf optische Sensoren auswirken, sind derzeit wenig vorhanden.

Ziel der Arbeit war es, die Streucharakteristik von Tropfen in Form von Wasserdampf zu simulieren und messtechnisch zu belegen.



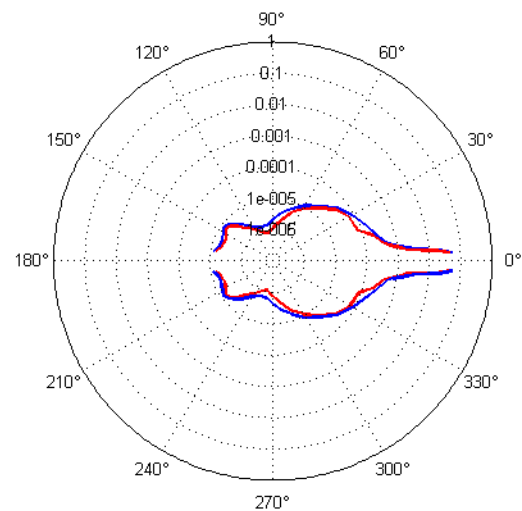
**Abb. 1:** Polardiagramm der normierten Streuleistung verschiedener Nebelarten: moderater Nebel (blau), schwacher Nebel (rot), starker Nebel (magenta). Bei allen Kurven entsteht ein Minimum bei etwa 105°. Ein lokales Maximum ist bei starkem Nebel bei ca. 138° vorhanden, bei den anderen beiden um 145° ersichtlich.

## Lösungsweg/Vorgehen:

Die zu verwendende Theorie hängt von dem Verhältnis Teilchengröße zu verwendeter Wellenlänge ab.

Für Flüssigkeitstropfen in Form von Dampf wurde die MIE-Theorie verwendet. Die Lichtstreuung wurde an einem Ensemble von verschiedenen Teilchengrößen (wie in Dampf vorhanden) mittels MATLAB simuliert. Die Mie'schen Formeln waren bereits durch Mätzler [1] in einen Code umgewandelt. Dieser wurde erweitert, damit die winkelabhängige Streuleistung an einem Teilchengrößenensemble simuliert werden kann. Für die Simulationen wurde auf die Verteilungskurven von Nebel [2] zurückgegriffen.

In den Messungen wurde Wasserdampf verwendet. Aufgenommen wurde hier ebenfalls wie in Simulation die Streulichtverteilung über den Winkel bei verschiedenen Wellenlängen und Dampfmengen.



**Abb. 2:** Polardiagramm der normierten Streuleistung verschiedener Dampfstufen: hohe Dampfstufe (blau), niedrige Dampfstufe (rot). Bei beiden Kurven entsteht ein Minimum bei etwa 105°. Ein lokales Maximum ist je bei ca. 145° vorhanden. Der Kurvenverlauf ist unabhängig von der Dampfmenge (Dampfmenge).

## Ergebnis:

Aufgrund von Ensemble-Effekten bei Dampf und Nebel ist die Streuung weitgehend unabhängig von Winkel- und Wellenlängenabhängigkeit einzelner Tropfen. Die Simulationskurven und -ergebnisse für moderaten und schwachen Nebel (Abb. 1) sind mit den gemessenen Kurven (Abb. 2) an Wasserdampf qualitativ vergleichbar: Die Positionen der lokalen Minima bei etwa 108° und der lokalen Maxima bei ca. 145° stimmen überein.

Ein Unterschied besteht jedoch in der Dämpfung. So wird Licht in dem verwendeten Wasserdampf etwa 170-mal mehr gedämpft. Daraus folgt, dass die Teilchendichte von Wasserdampf in der gewählten Apparatur um den Faktor 170 größer ist als in moderatem Nebel.

Aus der Übereinstimmung der Simulations- mit den Messkurven kann geschlossen werden, dass der Schluss von moderatem Nebel auf Wasserdampf mit der gewählten Simulationemethode zulässig ist. Des Weiteren besitzt Wasserdampf dieselbe Tropfengrößenverteilung wie moderater Nebel, bei allerdings einer 170-fach höheren Dichte.

## Quellen:

- [1] Mätzler, Christian, 2002. *MATLAB Functions for Mie Scattering and Absorption*. Universität Bern, Institut für Angewandte Physik.
- [2] Kim, Isaac I., McArthur, Bruce, Korevaar, Eric. Comparison of laser beam propagation at 785 nm and 1550 nm in fog and haze for optical wireless communications. *SPIE Proc. Optical Wireless Communications III*, 2001.

## Weitere Information und Kontakt:

Ing. Klaus Epple, M.Sc., B.Sc., BSc

Tel. + 49 (0)7542 5399-430 E-mail: klaus.epple@wenglor.com