

Schallfeldcharakterisierung mittels Schlierentechnik

Sergei Olfert¹, Bernd Henning²

Universität Paderborn, 33098 Paderborn, Olfert@emt.uni-paderborn.de¹; Henning@emt.uni-paderborn.de²

Einleitung

Es gibt unterschiedliche Verfahren zur räumlichen Erfassung der Schallwechseldruckverteilungen in flüssigen Medien, um z.B. die Abstrahlcharakteristik eines Ultraschallwandlers zu bestimmen oder die Ausbreitung der Schallwellen zu visualisieren. Häufig werden hierfür Nadelhydrophone, Membranhydrophone oder für große Schallwechseldrücke auch faseroptische Hydrophone eingesetzt [1]. Die Schlierentechnik ist eine alternative Methode, die gegenüber den o.g. Verfahren entscheidende Vorteile aufweist: Die Visualisierung des gesamten Bilanzraumes kann schnell und nicht invasiv durchgeführt werden, so dass die zu untersuchende Schallwechseldruckverteilung nicht beeinflusst wird. Problematisch ist hingegen die quantitative Bestimmung der Schallwechseldruckverteilung aus den Schlierenabbildungen. In diesem Beitrag soll deshalb der Einfluss der Messdatenvorverarbeitung auf die bildliche Darstellung untersucht werden.

Aufbau und Funktion des Schlierenmessplatzes

Abb. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Schlierenmessplatzes. Eine ebene elektromagnetische Welle passiert die Flüssigkeit in der ein Ultraschallwandler eine mechanische Welle (Schallwechseldruckverteilung) einstrahlt. Dabei wird die Phase der elektromagnetischen Welle moduliert. Die Phasenänderung der elektromagnetischen Welle ist eine integrale Information der Schallwechseldruckverteilung entlang der optischen Achse. Nur ein kleiner Winkelbereich der akustischen Welle, der nahezu orthogonal zur optischen Achse ausgerichtet ist, liefert einen signifikanten Anteil zur Phasenänderung der EM-Welle (Orthogonalitätsbedingung) [2]. Zur Visualisierung der Schallwechseldruckverteilung wird die EM-Welle in der Fourierebene gefiltert.

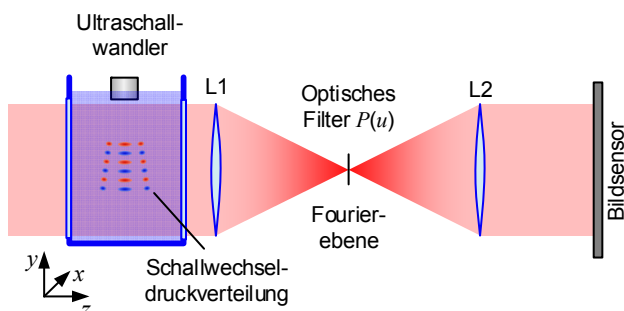


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau eines Schlierenmessplatzes

Ein wichtiger Bestandteil des Schlierenmessplatzes ist der Bildsensor. Der Bildsensor ist in einer digitalen Spiegelreflexkamera integriert. Im Folgenden wird gezeigt, dass die Bilderfassung und die Vorverarbeitung der Bilddaten einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis bzw. Abbildung haben.

Schallfeldcharakterisierung

Aus der visualisierten Schallwechseldruckverteilung (Schallfeld) lassen sich wichtige Kenngrößen von Ultraschallsensoren, wie Divergenzwinkel, Nahfeldlänge u.a. bestimmen. Eine andere sehr interessante Anwendung ist die Untersuchung der Schallwellenausbreitung in einem akustischen Wellenleiter oder die Wechselwirkung mit konstruktiven Bauelementen, wie z.B. einem akustischen Reflektor.

Qualitative Schallfeldcharakterisierung

Die übliche Schlierentechnik erlaubt bekanntermaßen nur die qualitative Beurteilung der Schallwechseldruckverteilung (siehe Abb. 2).

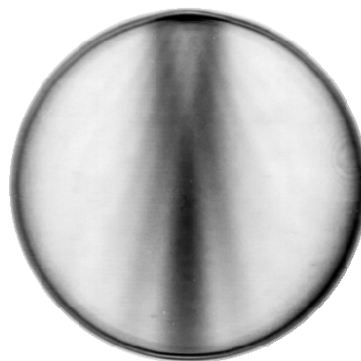


Abbildung 2: Abbildung der Schallwechseldruckverteilung eines Ultraschallwandlers mittels Schlierentechnik

Für die Bilderfassung dient der Bildsensor einer digitalen Spiegelreflexkamera (Canon EOS 1000D).

Die Darstellung der Bilddaten von digitalen Kameras ist üblicherweise für das visuelle Empfinden eines Menschen ausgelegt. Zur Anpassung an das Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges wird eine nichtlineare Vorverarbeitung der Bilddaten durchgeführt. Dazu werden die Graustufenwerte mit einem vorgegebenen Exponenten γ potenziert. Diese Bildkorrektur wird in der Literatur als Gammakorrektur bezeichnet [3].

Quantitative Schallfeldcharakterisierung

Für eine quantitative Auswertung der Schlierenbilder muss die Frage nach dem funktionalen Zusammenhang zwischen der Bestrahlungsstärke E_e und der Bildhelligkeit H_b im Schlierenbild geklärt werden. Ideal wäre ein linearer Zusammenhang zwischen diesen Größen.

Hierbei wird angenommen, dass die Bestrahlungsstärke bzw. erfasste Intensität am Ort des Bildsensors proportional zum aufintegrierten Schallwechseldruck in Richtung der optischen Achse ist.

Die Bestrahlungsstärke wird von einem Bildsensor erfasst, der aus einzelnen Photodioden mit einer Farbfiltermatrix

besteht. Die Abb. 3 veranschaulicht den Vorgang bei der Messdatenerfassung bzw. Bilderzeugung.

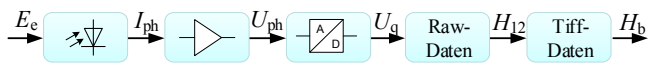


Abbildung 3: Schema der Signalverarbeitung

Die Photodiode liefert den Photostrom I_{ph} . Ein Transimpedanzverstärker wandelt den Photostrom in eine proportionale Spannung U_{ph} . Ein Analog-Digital-Umsetzer liefert mit 12 bit quantisierte Werte, die im Raw-Datenformat gespeichert werden. Daraus ließe sich schlussfolgern, dass die Raw-Daten proportional zur Bestrahlungsstärke sind. Das Raw-Datenformat wird von den Herstellern nicht offengelegt und muss in einem anderen Bildformat entwickelt werden. Da die Raw-Bilddaten im Allgemeinen nicht direkt zur Verfügung stehen, ist die Bildentwicklung ein wichtiger Aspekt bei der Bilderzeugung. Als Ausgabeformat eignet sich beispielsweise das Tiff-Bildformat mit 16 bit Dynamikumfang, um den gesamten Dynamikumfang des Bildsensors ausnutzen zu können.

Bei der Erzeugung der Tiff-Daten aus den Raw-Daten muss eine lineare Entwicklung sichergestellt werden. DCRaw ist ein kommandozeilenbasierter Raw-Konverter, der diese Funktion bietet und auch für die automatisierte Verarbeitung vieler Bilddaten verwendet werden kann.

An einem Beispiel soll der Einfluss der Bildentwicklungseinstellungen verdeutlicht werden. Die Raw-Daten des Schlierenbildes aus Abb. 2 werden sowohl mit Standardeinstellungen ($\gamma=2,2$) als auch linear entwickelt. In Abb. 5 sind die normierten Bildhelligkeiten für die beiden Fälle dargestellt.

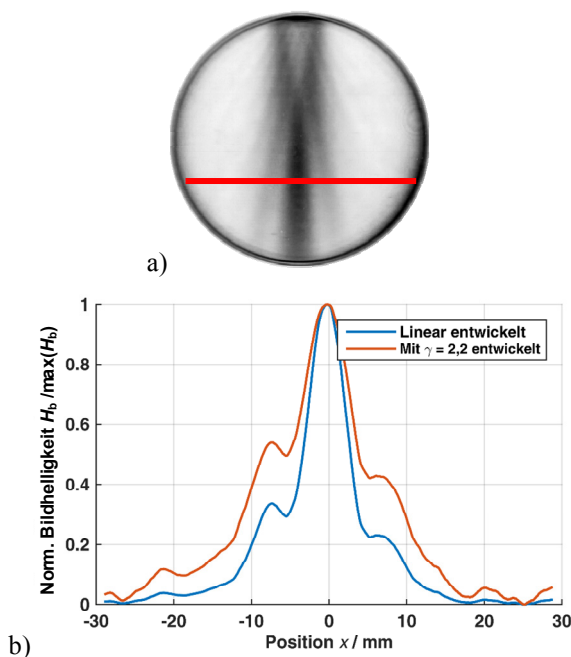


Abbildung 4: a) Schlierenbild des Schallfeldes eines Ultraschallwandlers. b) Normierte Bildhelligkeit der unter a) dargestellten Linie (orthogonal zur akustischen Achse, im Abstand von 4,2 cm vom Ultraschallwandler entfernt). Die Bildhelligkeit repräsentiert dabei den integral erfassten Schallwechseldruck.

Es ist deutlich erkennbar, dass geringe Schallwechseldrücke durch die nichtlineare Gammakorrektur vergrößert dargestellt werden. Bei der Charakterisierung der Schallwechseldruckverteilung kann es dadurch zu Fehlinterpretation kommen.

Zusammenfassung und Ausblick

Da die automatische Bildverarbeitung einer Kamera für das visuelle Empfinden des menschlichen Auges ausgelegt ist, ermöglicht diese bei Anwendung in einem Schlierenmessplatz nur eine qualitative Auswertung der Schlierenbilder. Für einige Anwendungen, wie z.B. zum Ausrichten des Ultraschallwandlers oder für schnelle Einflussabschätzung bei Parametervariation ist diese Funktion dennoch sehr hilfreich. Um eine quantitative Auswertung durchführen zu können, muss allerdings sichergestellt werden, dass die Raw-Daten linear in ein Ausgabeformat entwickelt werden.

Ein weiteres Problem stellt die inhomogene Bestrahlungsstärke über die gesamte Bildfläche dar, welche beispielsweise durch nicht ideale Eigenschaften der Strahlungsquelle oder optischer Komponenten (Linsen u.a.) verursacht werden. Diese Inhomogenität, die auch in den Schlierenbildern erkennbar ist, beeinflusst somit die Darstellung und die Bildqualität. In zukünftigen Arbeiten sollen deshalb der Einfluss der inhomogenen Bestrahlungsstärke detailliert untersucht und geeignete Korrekturmaßnahmen abgeleitet werden.

Literatur

- [1] Lerch, R., Sessler, G., Wolf, D.: Technische Akustik, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [2] Olfert, S., Claes, L., Henning, B.: Rekonstruktion der räumlichen Schallwechseldruckverteilung unter Berücksichtigung der Orthogonalität optischer und akustischer Achsen beim Schlierenverfahren. In: DAGA 2014 Oldenburg. Oldenburg, S. 541–542.
- [3] Hecht, E., Optik, 3rd ed. München: Oldenbourg, 2001