

Schlierentechnik - Strömungsvisualisierung einmal anders

Strömungen in der Luft lassen sich auf ebenso vielen Arten visualisieren wie es Anwendungen gibt. Mit der Strömungstechnik beschäftigten sich bereits die Naturwissenschaftler im Mittelalter. Natürlich ist durch die Entwicklung ganz unterschiedlicher Anwendungen der Auslegung und Dimensionierung der Anwendungen der Strömungstechnik auch die Notwendigkeit entstanden die Strömungen zu visualisieren. Beispiele wie die Umströmung von Autokarossern oder von Tragflügeln im Windkanal, sind allgegenwärtige Beispiele. Wohl kein Fahrzeug entsteht heute ohne die Optimierung des cw-Werts auf diese Art und Weise. Bei den Strömungen wird zwischen den schleichenden bis hin zu Überschallströmungen unterschieden. Bezieht man sich auf die Reinraumtechnik so hat man es mit „langsamen“ und somit den schleichenden Strömungen zu tun.

Abgesehen von den Strömungen in den Lüftungsanlagen herrschen im Reinraum nur ausgeprägte Strömungen an den Luftauslässen, in den sogenannten LF-Bereichen von Werkbänken oder LF-Feldern bzw. Reinräumen ab der ISO-Klasse 5 und besser. In den LF-Bereichen herrschen üblicherweise Luftgeschwindigkeiten von 0,3 bis gut 0,5 m/sec. Bei der Umströmung von Objekten oder dem Rückluftbereich können auch schon mal Strömungsgeschwindigkeiten von über 0,5 m/sec entstehen.

Neben den aufgeprägten Strömungen durch die Lüftungstechnik entstehen auch Strömungen durch Temperaturgradienten, d.h. an warmen bzw. heißen Oberflächen, wie sie an Prozessgeräten oder z.B. Spritzgußmaschinen auftreten können.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich u.a. mit dem Thema der Konvektionsströmungen in Verbindung mit aufgeprägten Strömungen in der Reinraumtechnik und letztlich deren Sichtbarmachung.

Eine Konvektionsströmung steigt generell nach oben da die erwärmte Luft eine geringere Dichte aufweist als die Luft des umgebenden Bereichs. Aufwärtsgerichtete Strömungen im Reinraum sind meist nicht gewünscht. Luftströmungen transportieren bekanntermaßen auch Kontamination in Form von Partikeln oder auch molekulare Kontamination, was bedeutet dass derartige Strömungen vermieden werden sollten. Das Zusammentreffen einer Konvektionsströmung mit der aufgeprägten Strömung im Reinraum in genau entgegengesetzter Richtung ist es wert, bzw. interessant deren gemeinsame Auswirkung sichtbar zu machen.

Schlierentechnik

Das Schlierenverfahren in der Fotografie zur Abbildung des Dichtefeldes in einem durchsichtigen Medium wurde bereits 1864 von August Joseph Ignaz Toepler entwickelt. Toepler war Physiker und widmete sich der theoretischen und experimentellen Physik. Die Schlierentechnik basiert auf der Sichtbarmachung der Dichteunterschiede oder Brechungsindexschwankungen. /1/

Das Prinzip der Schlierentechnik ist, dass ein parallel einfallender Lichtstrahl durch die Strömung abgelenkt wird, je nachdem wie stark der Brechungsindex variiert. Diese Ablenkung wird mit einer Blende und der Kamera detektiert. Die Blende blockiert den größten Teil des Lichts, außer demjenigen, das durch die Strömung abgelenkt wurde, siehe Abb. 1.

Die Schlierentechnik wird zum Beispiel verwendet, um Wirbel, Stoßwellen oder Konvektionsströme sichtbar zu machen. Je nach Anwendung gibt es unterschiedliche optische Aufbauten für die Sichtbarmachung der Dichteunterschiede. Das Prinzip von der folgenden Abbildung wurde bei den in diesem Beitrag gezeigten Versuchen verwendet.

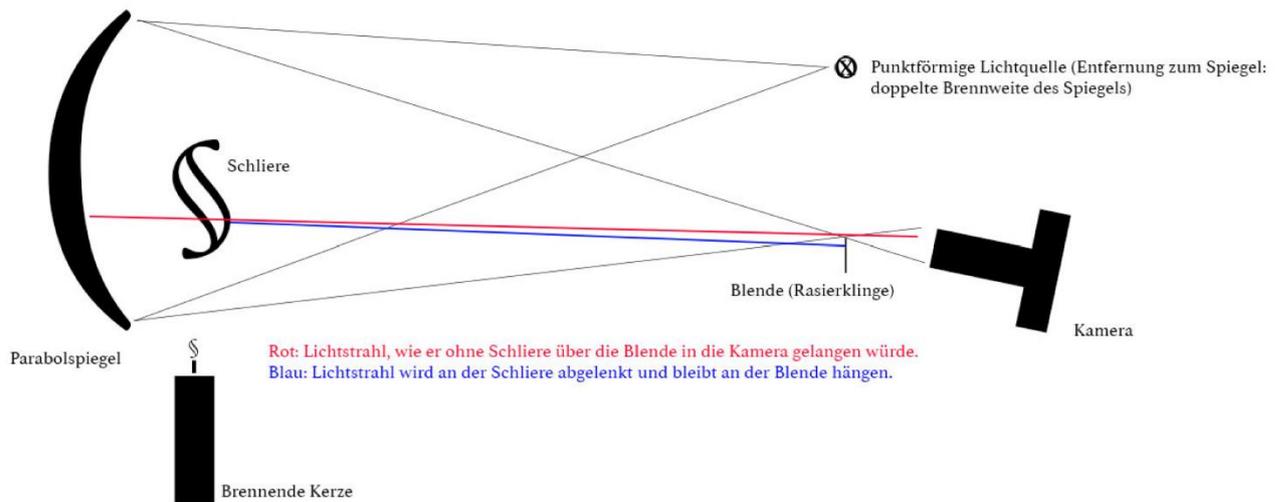


Abb. 1: Ein Prinzip des Aufbaues wie er in den Versuchen verwendet wurde /2/.

Erläuterung zum Aufbau wie er für diesen Beitrag verwendet wurde

Als Lichtquelle dient eine kleine LED mit weißem monochromatischem Licht. Dieses wird hin zum Parabolspiegel gerichtet. Das reflektierte Licht wird von einer Kamera erfasst deren Brennpunkt bei der Blende liegt. Mit dieser scharfen Kannte, ideal ist eine Rasierklinge, wird die Hälfte der Brennebene ausgeblendet. Mit Hilfe der Feinjustierung der scharfen Kannte kann die Abstimmung in kleinsten Abständen vorgenommen werden. Beim Einsatz des Systems ist es nicht notwendig dass der Raum abgedunkelt wird, die Visualisierungen lassen sich auch bei Tageslicht durchführen.

Wie in Abb.1 aufgezeigt, entsteht ein Bereich in dem das Experiment und somit die Sichtbarmachung erfolgen kann. Dieser ist in seiner Tiefe begrenzt, was man experimentell herausfinden muss.

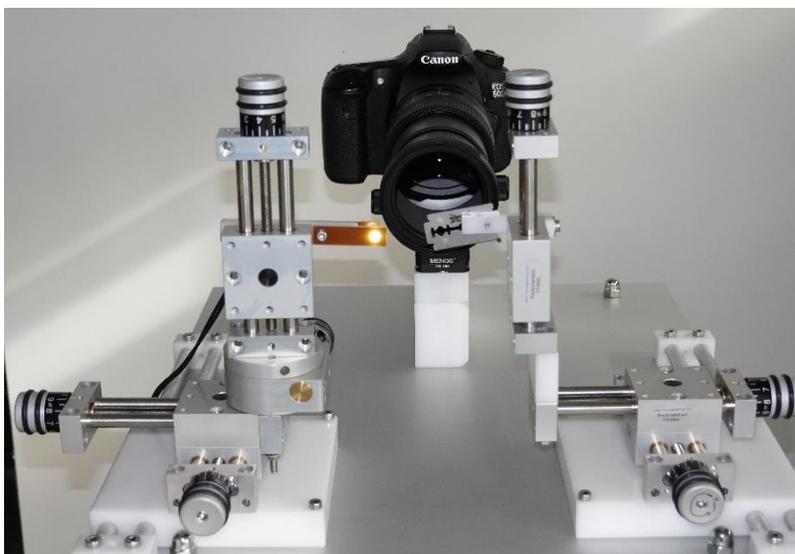


Abb. 2: Feinjustiereinheit sowohl für die LED als auch der Rasierklinge in allen Dimensionen. Rasierklinge und LED sind dann im identischen Abstand zum Spiegel – 2 mal Brennweite des Spiegels.



Abb. 3: Darstellung des Gesamtaufbaus aus Blickrichtung der Kamera hin zum Spiegel. Die Kamera ist auf dem horizontalen Schlitten verfahrbar.



Abb. 4: Einfache aber interessante Darstellung der aufsteigenden Wärme einer Kerze



Abb. 5: Ausströmendes Kaltgas aus einem Ballon. Deutlich erkennbar die Schlieren die nach unten wandern.



Abb. 6: Ballon gefüllt mit Kaltgas. Man sieht die Abströmung der sich abkühlenden Luft um den Ballon nach unten.

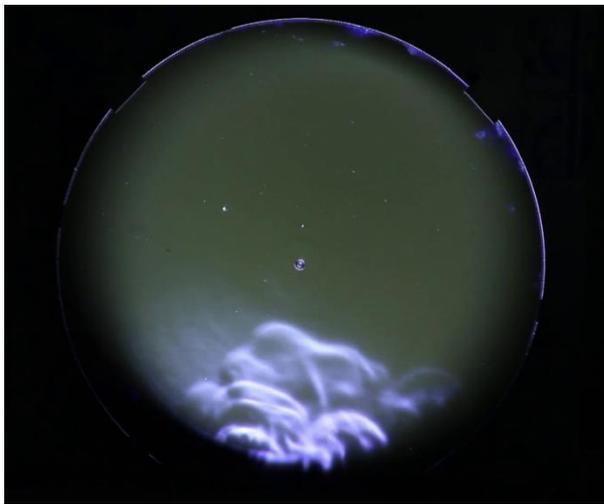


Abb. 7: entstehende Konvektionsströmung über einer aufgeheizten Platte von ca. 60 °C. Die Konvektionsströmung wird durch die Anströmung von oben mit einer FFU unterdrückt.

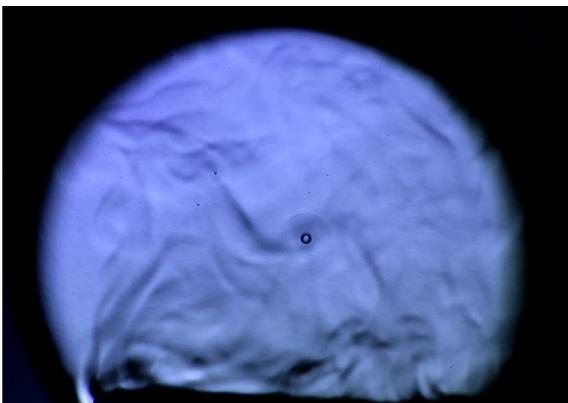


Abb. 8: Freie Konvektion über der aufgeheizten Platte

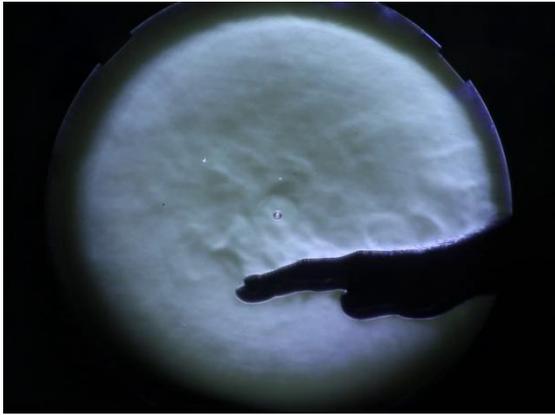


Abb. 9: Auch der relativ geringe Temperaturunterschied zwischen der Hand und der Raumtemperatur von rund 22 °C kann sichtbar gemacht werden.

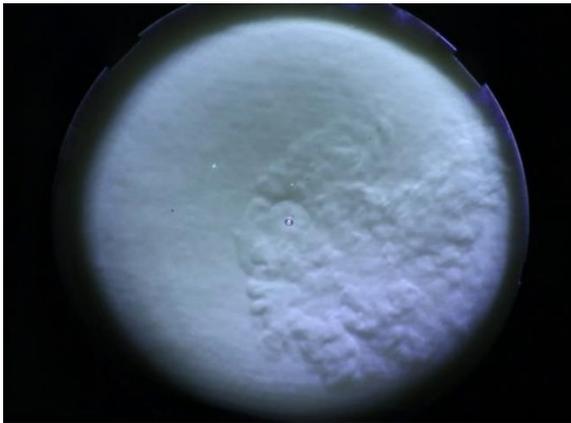


Abb. 10: Die Schlieren resultieren vom menschlichen Einhauchen in den Visualisierungsbereich

Fazit:

Der hier gezeigte Aufbau wurde im Labor verwendet um verschiedene gleichzeitig vorhanden Strömungen in einer Maschine zu visualisieren und zu bewerten. Somit konnte gezeigt werden dass das Verfahren sehr gut geeignet ist um die reale Strömungssituationen in einem Versuch zu zeigen. Um das System unter Reinraumbedingungen zu verwenden ist wohl in den meisten Fällen nicht ohne weiteres möglich, da der apparative Aufwand recht groß ist und die Platzverhältnisse dies im Reinraum nicht ohne weiteres zulassen. Auch muss es ja möglich sein den Hohlspiegel hinter dem eigentlichen interessierenden Bereich aufzustellen. Somit bleibt diese Technik in den Augen des Autors eher eine Variante für den Versuchsaufbau unter Laborbedingungen.

Literatur:

- /1/ Wikipedia: Schlierenfotografie
- /2/ Prinzipbild: www.schlieren.photography; 2016 Christopher Greiß
- /3/ Universität Chemnitz Schlierenmessplatz zur Quantifizierung von Luftbewegungen in der Gerätetechnik; September 2017; Dr. Ing. Sebastian Voigt

CCI – von Kahlden GmbH
Thomas von Kahlden
Maybachstr. 9
70771 Leinfelden
0711-6997670
t.vonKahlden@cci-vk.de
www.cci-vk.de
schlieren-veröff-4-2023.docx