

**Philipp Pitzer**

## **Einfluss refraktiver und reflektiver Elemente auf die photogrammetrische Kamerakalibrierung**

Dauer der Arbeit: 6 Monate

Abschluss: Dezember 2012

Betreuer: Dipl.-Ing. Alessandro Cefalu

Prüfer: apl. Prof. Dr.-Ing. Norbert Haala

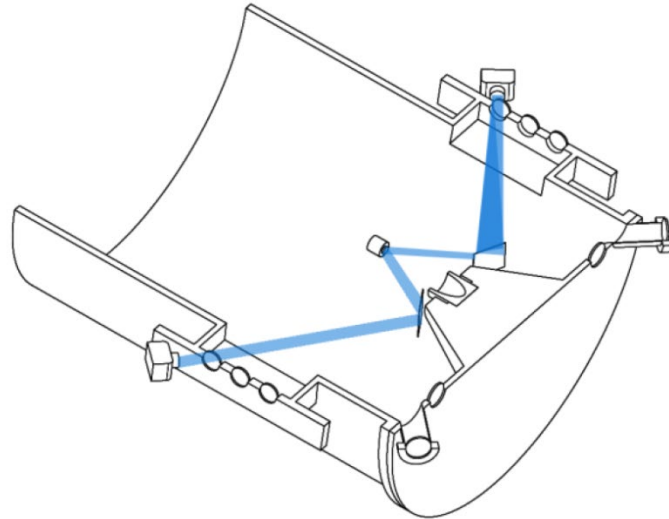
### **Motivation**

Beim Wiedereintritt von Raumfahrzeugen in die Erdatmosphäre treten an der Außenhülle sehr hohe Wärmelasten auf, sodass diese gegen Hitze isoliert werden müssen. Das Institut für Raumfahrtssysteme (IRS) der Universität Stuttgart und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) beschäftigen sich u.a. mit der Erforschung und Erprobung neuer Hitzeschutzmaterialien, die diesen Ansprüchen gerecht werden.

Da Materialtests bei einem realen Wiedereintritt sehr kostspielig sind, werden in einem Plasmawindkanal (PWK) am IRS ähnliche Bedingungen, wie sie bei einem Wiedereintritt auftreten, erzeugt. Dazu wird eine Probe im PWK einer entsprechend hohen Wärmelast ausgesetzt und somit über die Dauer der Verbrennung der Wiedereintrittsvorgang simuliert. Zur Charakterisierung der Materialien ist eine Quantifizierung der Oberflächenveränderung während des Verbrennungsvorgangs erforderlich.

Der PWK ist ein evakuiertes und abgeschlossenes System indem sehr hohe Temperaturen herrschen, wodurch die Positionierung der Kameras im Inneren des PWK nicht möglich ist. Es besteht jedoch die Möglichkeit, Aufnahmen über verschiedene, in die Hülle des PWK eingelassene, Sichtfenster (Bullaugen) aufzunehmen. Da jedoch die Anordnung der Bullaugen vorgegeben und nicht veränderbar ist, werden die Bilder einer jeden Kamera aus Gründen der Schnittgeometrie über jeweils einen Spiegel aufgenommen (siehe Abbildung 1).

Der Abbildungsstrahl durchläuft mehrere Medien, sodass in dieser Arbeit Aspekte der Mehrmedienphotogrammetrie, im Speziellen der refraktive und reflektive Einfluss von Bullaugen und Spiegeln, auf die klassische photogrammetrische Kamerakalibrierung und die daraus resultierende erreichbare Genauigkeit einer simulierten Abbrandmessung analysiert werden. Die dazu erforderlichen Testaufnahmen werden im Labor in einem an die Geometrie des PWK angenäherten und in kleineren Maßstab realisiertem Modell, aufgenommen.



**Abbildung 1 - PWK-Modell mit Spiegelkonfiguration**

Quelle: WRASMANN, M. : Photogrammetrische Messungen der zeitaufgelösten Ablation von Materialproben im Plasmawindkanal, Hochschule Osnabrück, Bachelorarbeit, 2012

## Vorgehensweise

Um die Einflüsse der verschiedenen Medien beschreiben zu können werden verschiedene Versuchsszenarien umgesetzt:

- Referenz (ohne zusätzliche Medien)
- Bullauge (nur mit Bullauge)
- Spiegel (nur mit Spiegel)
- Spiegel/Bullauge (mit Spiegel und Bullauge; siehe Abbildung 2)

Zur Simulation des verbrennungsbedingten Materialschwunds wird das Testfeld, welches hier als Aufnahmeobjekt verwendet wird, über eine Lineareinheit in definierten Schritten zwischen den Aufnahmen verschoben.

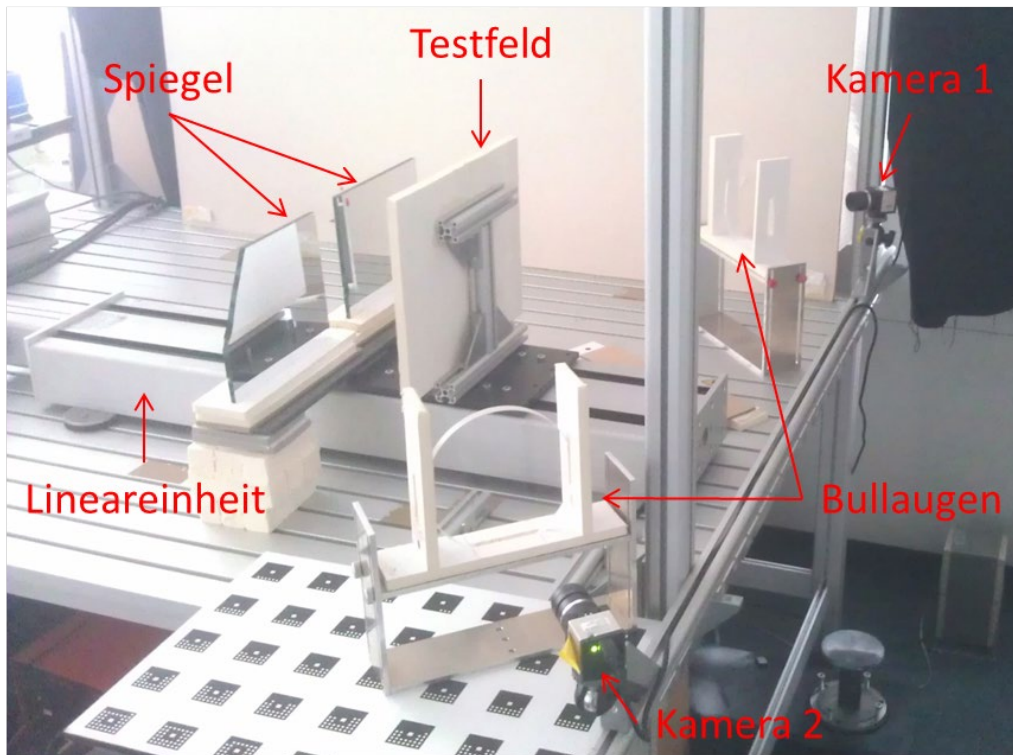


Abbildung 2 - Versuchsaufbau im Labor

## Ergebnisse

Vor einer jeden Messreihe wurden die Kameras mit den entsprechenden im Abbildungsstrahl befindlichen Medien kalibriert. In Abbildung 3 ist der Root-Mean-Square (RMS) der Bildkoordinaten der im Rahmen der Kalibrierung durchgeführten Ausgleichung dargestellt. Hier zeigen sich schon deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien mit und ohne Spiegel. Unterschiede in der Genauigkeit aufgrund der Bullaugen sind im Vergleich zum Referenzszenario nicht signifikant feststellbar.

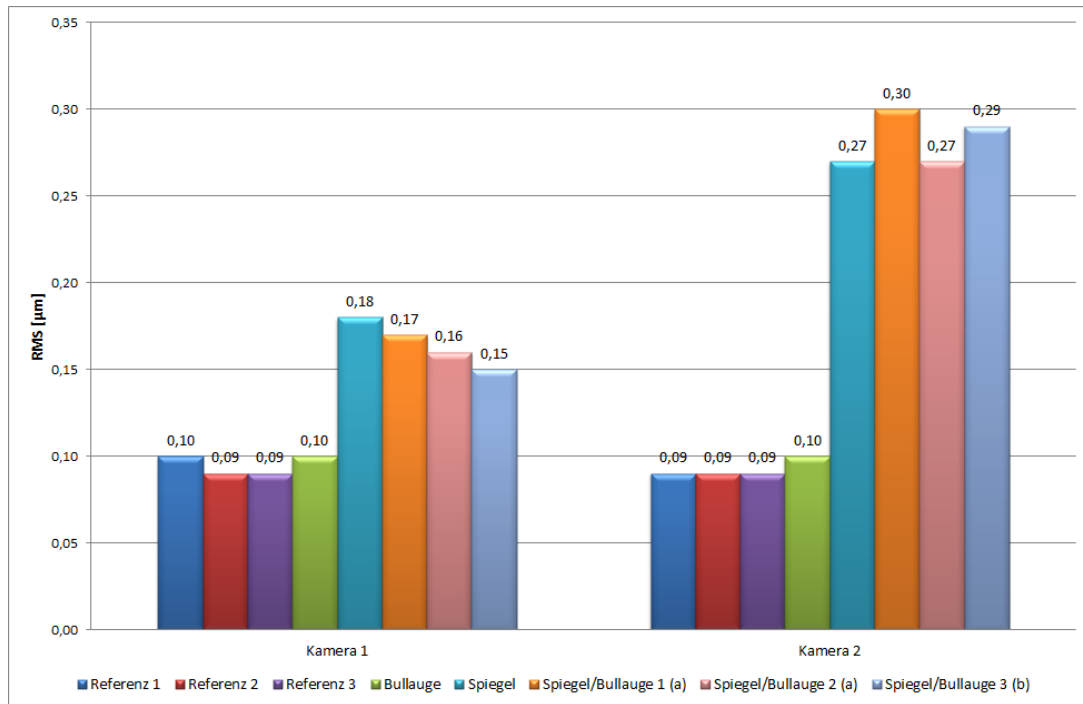


Abbildung 3 - RMS der Bildkoordinaten

Die Auswertung der verschiedenen Szenarien hat in diesen speziellen Aufnahmeconfiguration im Referenz- und Bullaugenszenario Genauigkeiten der Objektpunktkoordinaten von teilweise weniger als 10  $\mu\text{m}$  ergeben; gleiches gilt für die Genauigkeit der Translation. Die Genauigkeiten für die Szenarien mit Spiegel liegen im Allgemeinen in Größenordnung, die im Vergleich zum Referenzszenario, um den Faktor 1,5-2 größer sind.

## Fazit

Insgesamt hat sich gezeigt, dass eine Kalibrierung mit dem hier gewählten klassischen Ansatz möglich ist, jedoch müssen bei der Verwendung von Spiegeln Abstriche in der Genauigkeit in Kauf genommen werden. Es können refraktive Einflüsse durch unbewegte Bullaugen im Abbildungsstrahl, im Gegensatz zu den reflektiven Einflüssen der Spiegel, mit dem hier angesetzten mathematischen Modell zur Beschreibung und Korrektur von Abbildungsverzerrungen (Modell nach BROWN) sehr gut beschrieben werden. Um die Einflüsse der Spiegel besser kompensieren zu können, sollte die Möglichkeit eines anderen Parametermodells in Betracht gezogen werden. Die hier ermittelten absoluten Werte für die Genauigkeiten sind jedoch nicht ohne Weiteres auf die reale Problemstellung übertragbar, da einige Einflüsse vernachlässigt bzw. sehr stark abstrahiert worden sind.