

Evaluierung des optischen Flussdichtemessverfahrens FMAS[®] durch Vergleich mit kalibriertem 2D Kalorimeter-Messfeld

M. Thelen, C. Willsch, G. Dibowski, C. Raeder



Hochflussdichte-Sonnenofen (SOF) und Xenon-Hochleistungsstrahler (HLS) des DLR-Instituts für Solarforschung am Standort Köln.

Einleitung

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) betreibt an seinem Institut für Solarforschung einen Hochflussdichte-Sonnenofen (SOF) und einen Xenon-Hochleistungsstrahler (HLS) zur Erzeugung von konzentrierter optischer Strahlung.

In beiden Fällen ist die korrekte Messung der Flussdichteverteilung in kW/m^2 an der Strahlungs-Eintrittsstelle des Versuchsaufbaus von grundlegender Bedeutung für die Auswertung der Testmessdaten.

Zur Ermittlung der Leistung und Flussdichte konzentrierter Strahlung hat das Sonnenofenteam seit 1995 das Kamera-basierte Messsystem FATMES (Flux and Temperature Measurement System) eingesetzt. Die -aus heutiger Sicht- erkennbaren Nachteile niedriger Auflösung, schwieriger Handhabung und schlechter Rechenleistung machten eine grundsätzliche Überarbeitung des Messsystems erforderlich, da innerhalb dieser 23 Jahre Nutzungsdauer die weltweiten Fortschritte bei der Soft- und Hardwareentwicklung enorm gewesen sind.

Motivation

Das neue Messsystem FMAS[®] (Flux Mapping Acquisition System) ist mit State-of-the-Art-Hardware ausgestattet, kompatibel zu handelsüblichen Rechnern und in LabView programmiert [1]. Der Zeitaufwand für eine 3D-Bildauswertung ist im Vergleich zu FATMES um den Faktor 120 reduziert.

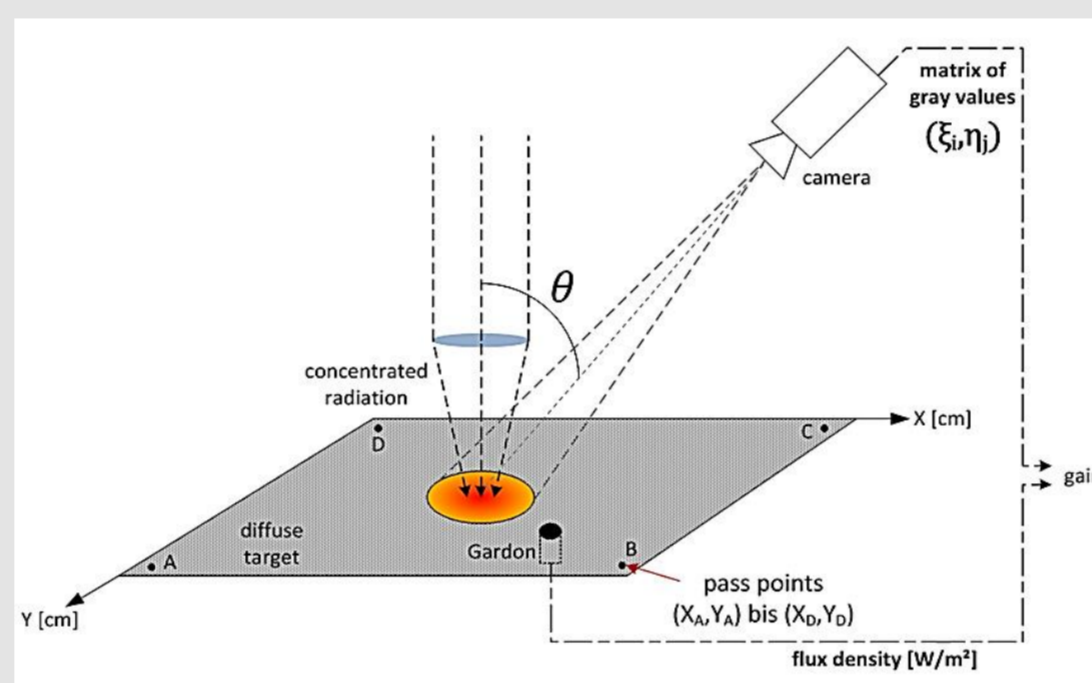
Das neue Messsystem ist nicht mehr mit den Einrichtungen Hochflussdichte-Sonnenofen und dem Xenon-Hochleistungsstrahler beim DLR in Köln lokal fest verbunden, sondern ist auch als mobiles System einsetzbar.

Die Daten und die Algorithmen sind während des gesamten Prozesses transparent. Die Messgenauigkeit von FMAS[®] wurde bisher mit maximal $\pm 3\%$ ermittelt.

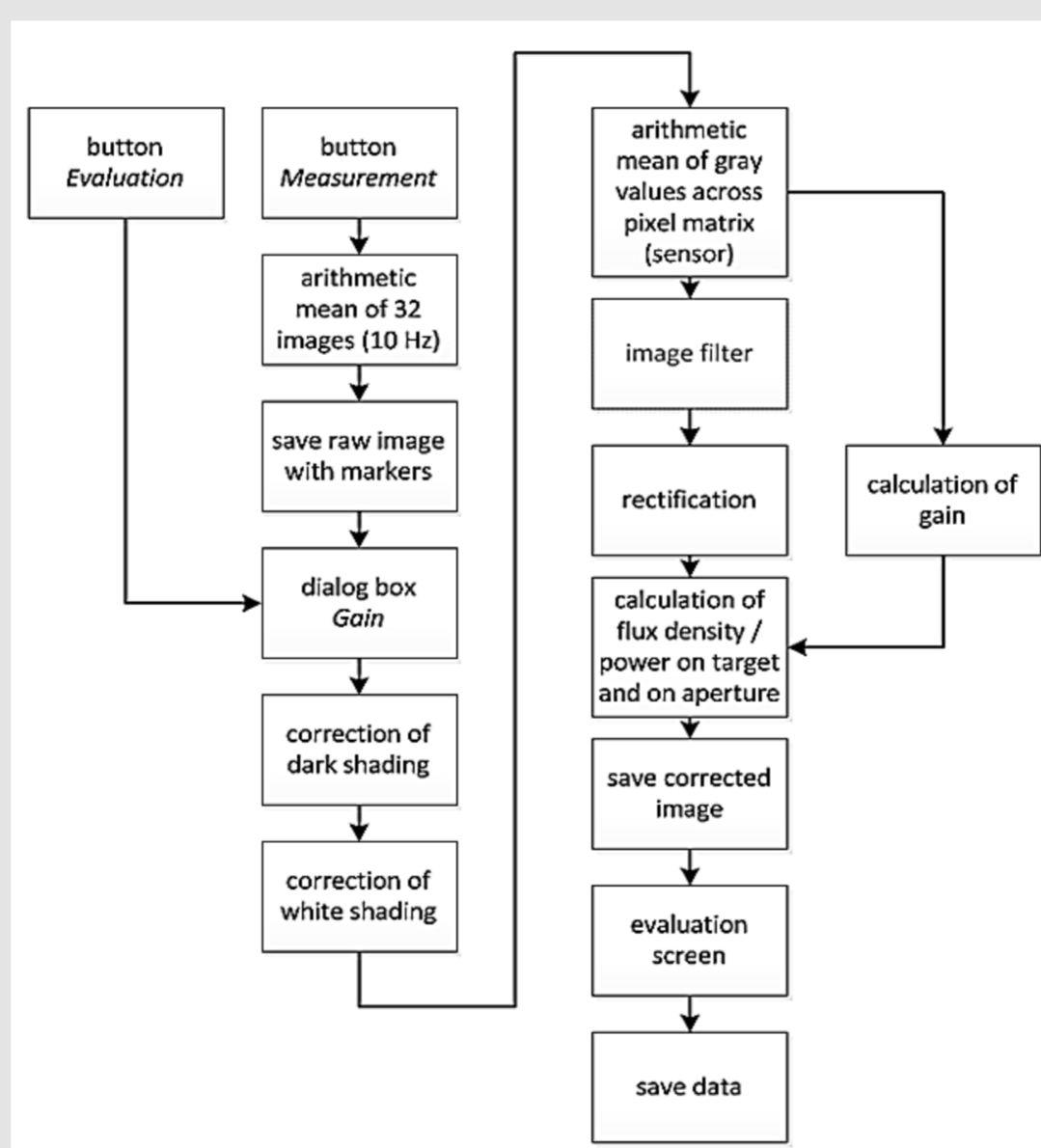
Methode

Die Messung einer zweidimensionalen Verteilung der Flussdichte in der Schnittebene eines Reaktorfensters könnte auch mit einer seriellen Radiometermessung durchgeführt werden. Dies ist jedoch sehr mühsam und zeitaufwendig, indem die Messköpfe biaxial in Bewegung versetzt werden und die Aperturebene in genau definierten Intervallen und einer großen Anzahl von Einzelmessungen abtasten. Anschließend müssen die Einzelwerte zu einem Bild extrapoliert werden. Dies führt zu sehr langen Bestrahlungszeiten für nur eine einzige Messung und setzt stabile Einstrahlungsbedingungen voraus.

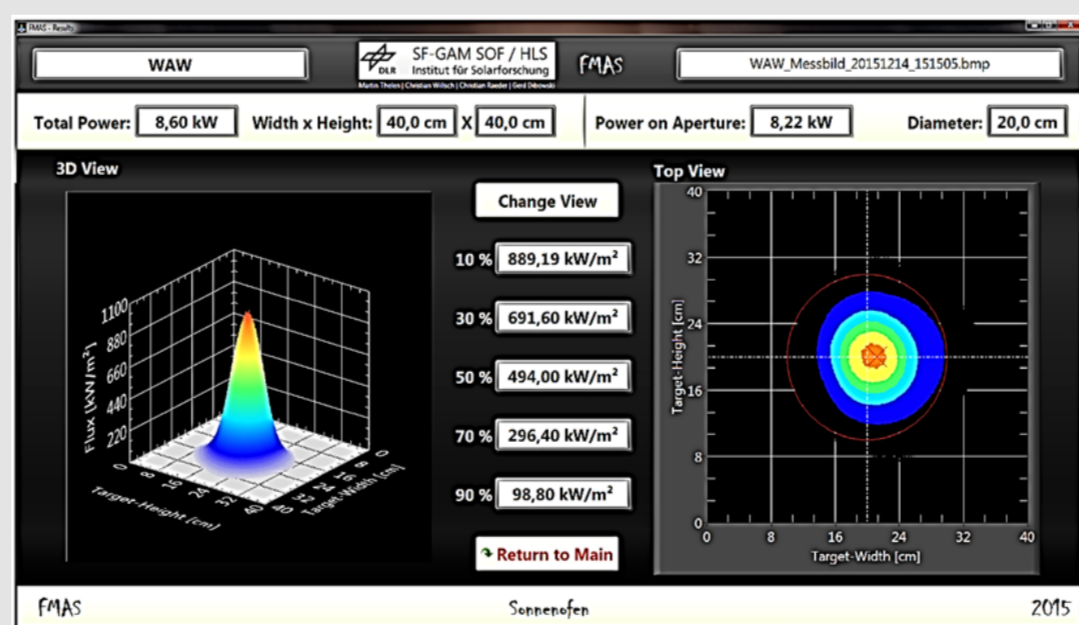
Messergebnisse aus kamerabasierten Verfahren sind wesentlich von einer einzigen vorgeschalteten Radiometermessung abhängig, weil ein daraus abgeleiteter Kalibrierungsfaktor für die korrekte Bildauswertung zwingend benötigt wird. Das neu entwickelte FMAS[®]-System steht für eine schnellstmögliche Bildverarbeitung mit der derzeit höchstmöglichen Genauigkeit.



Messaufbau zur optischen Flussdichtebestimmung



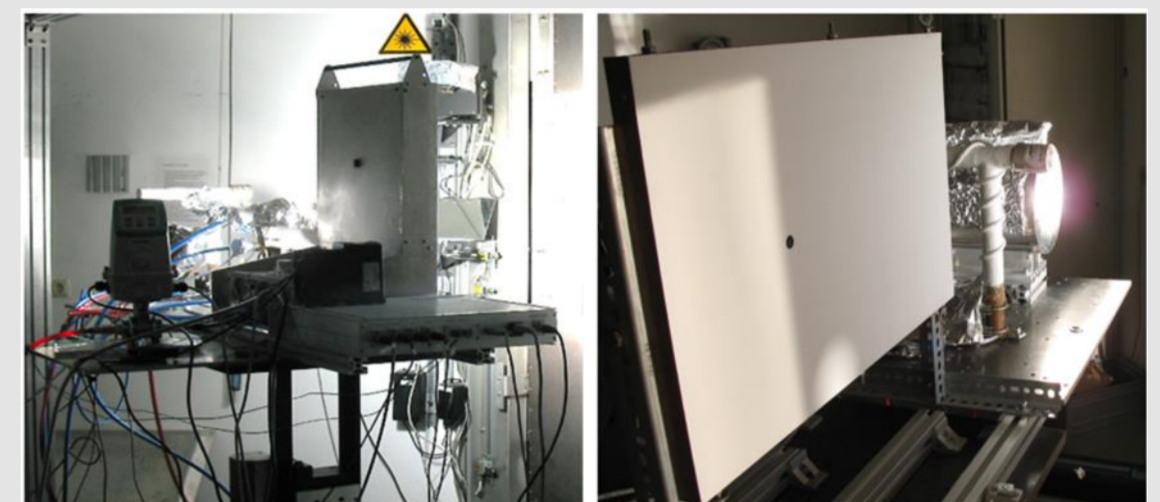
Schema der FMAS[®] Bildverarbeitung



Monitor-Screenshot der FMAS[®]-Bildauswertung

Qualitätskontrolle

Um die Richtigkeit der FMAS[®]-Messungen zu gewährleisten, wurde ein 2-dimensionales Messmuster in Höhe der Einstrahl-Apertur mit genau kalibrierten HyCal-Radiometern erstellt. Die Referenzergebnisse von diesen Linien-Scans wurden direkt mit denen von FMAS[®] verglichen. Nach Auswertung der Ergebnisse beider Konzepte wurde die hohe Genauigkeit von FMAS[®] bestätigt.

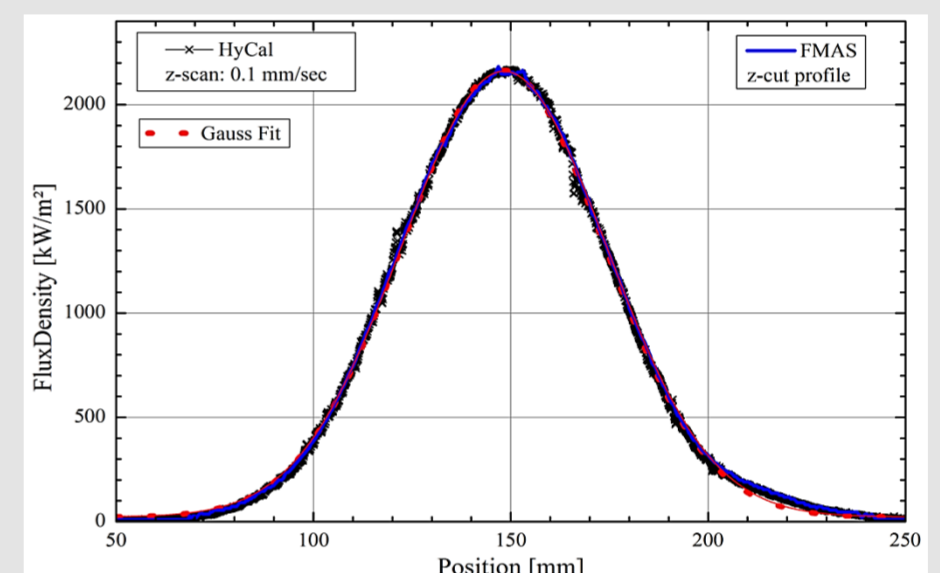


Messaufbau für den Radiometer-Scan am DLR Hochflussdichte-Sonnenofen

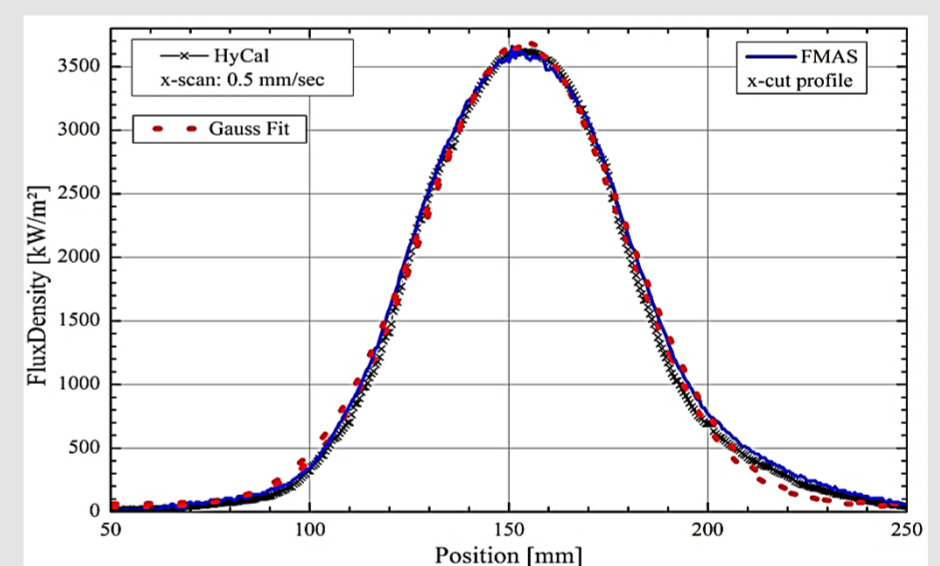
Ergebnisse

Nachfolgend sind zwei Beispiele aufgeführt, die die Genauigkeit von FMAS[®] belegen.

HyCal-Scan (bei 0,1 mm/s) und der entsprechende z-Schnitt durch das FMAS[®]-Bild
Korrelationskoeffizient $r^2 = 0,99983$



HyCal-Scan (bei 0,5 mm/s) und der entsprechende x-Schnitt durch das FMAS[®]-Bild
Korrelationskoeffizient $r^2 = 0,92507$



Feature	FATMES (old)	FMAS [®]
resolution	2 mm per pixel	0,5 mm per pixel
portability	localized	mobile
performance	10 minutes per evaluation	5 seconds per evaluation
data	display only	portable (bmp, csv)
technology	VAX (1977)	Windows computer
camera interfaces	BNC / Chinch	GigE / Ethernet
user interface	keyboard only	mouse and keyboard
algorithms	nontransparent	self-implemented
accuracy	> 5 %	$\pm 3\%$

Vergleich der Messsysteme FATMES und FMAS[®]

Ausblick

Das entwickelte Messsystem FMAS[®] zur Bestimmung der Flussdichteverteilung optischer Strahlung hat das vorhandene Messsystem FATMES beim DLR-Institut für Solarforschung vollständig ersetzt. Aus Messungen zur Validierung lässt sich eine systembedingter Messfehler von nur noch $\pm 3\%$ ableiten.

Gegenüber dem alten System FATMES konnte bei FMAS[®] eine wesentliche Verkürzung der Bildbearbeitungszeit von 10 Minuten auf einige Sekunden erreicht werden.

Die Entwicklungsfortschritte bei Hard- und Software macht es nun auch möglich, FMAS[®] von einem Notebook aus mobil einzusetzen.

Referenzen

[1] Thelen, Martin. Entwicklung eines optischen Messsystems für Strahlungsflussdichteverteilung und Verifizierung anhand hochkonzentrierter Solarstrahlung, Master-Thesis, Rheinische Fachhochschule Köln, 2016