Der ITER Bolometer Roboter Prüfstand IBOROB: Automatisierte Sichtlinienvermessung mit NI LabVIEW

Dipl.-Ing Florian Penzel, Dr. Hans Meister, Dr. Louis Giannone
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM-Assoziation, Garching

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Alexander W. Koch
Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik, Technische Universität München

Kurzfassung

Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) arbeitet an der Entwicklung der Bolometerdiagnostik für das sich im Aufbau befindliche Fusionsexperiment ITER. Aufgabe der Bolometer in einem Fusionsexperiment ist die breitbandige Bestimmung der absoluten Strahlungsleistung des Plasmas, Teil der gesamten Energiebilanz.

In diesem Beitrag wird der automatisierte Prüfstand IBOROB für die Vermessung der Sichtlinien der ITER Bolometer Prototypen vorgestellt. Er dient der Validierung und Überprüfung der Eigenschaften und Designparameter des Kollimators einer Bolometerkamera [1][2]. Der Prüfstand wird als Standardwerkzeug verwendet um Qualitätsaussagen über die Designversionen der Bolometer zu treffen und sorgt damit für die Qualitätssicherung der Kollimatorentwicklung. Insbesondere interne Reflexionen und unbekannte Signalartefakte bei unterschiedlichen Designvarianten können damit identifiziert und quantifiziert werden.

Das System besteht aus einem KUKA Leichtbauroboter (LBR), der einen Laser auf die zu vermessende Bolometerkamera ausrichtetet. Der LBR kann den gesamten Bereich der Sichtlinie vollautomatisch abfahren, dadurch können Strahlungsquellen aus allen Einfallswinkeln simuliert werden. Durch eine zeitsynchrone Korrelation der Position des Roboters mit den Signalen der Bolometerelektronik lässt sich anschließend die Übertragungsfunktion der jeweilig vermessenen Sichtlinie berechnen.

Für die Umsetzung dieses hier vorgestellten Prüfstandes, die Datenerfassung und die automatisierte Steuerung, wurde die grafische Programmiersprache NI LabVIEW verwendet. Die Kommunikation mit dem KUKA Leichtbauroboter wurde mit der ImagingLab Robotics Library for KUKA [3] realisiert.

Abstract

The Max-Planck-Institute for Plasma Physics (IPP) is working on the development of the bolometry for the future ITER fusion experiment. Objective of the bolometers in a fusion experiment is the broadband measurement of the absolute radiant power of the plasma, which is part of the overall energy balance.

In this paper, the automated test facility IBOROB is presented. It is used to chracterize the line-of-sights of ITER bolometer prototypes. It can asses and verify the properties and design parameters of the collimator [1][2]. The test facility is now used as a standard tool to evaluate the characteristics of different design versions, thus ensuring quality in collimator development. In particular internal reflections and unknown signal artifacts can be identified and quantified.

The system consists of a KUKA Lightweight Robot (LWR), which aligns a laser onto the bolometer. The robot can automatically scan the whole area of the line of sight, so that radiation sources from all angles of incidence can be simulated. Synchronized correlation of the position of the robot with the signals acquired from bolometry allows the calculation of the transfer function of the respective line of sight channel.

For the realisation of this test facility, the data acquisition and automated control, the graphical programming language NI LabVIEW was used. Ethernet communication with the LWR was realized with the ImagingLab Robotics Library for KUKA [3].

Aufbau der Hardware

Der Prüfstand (Bild 1) besteht aus drei Hauptkomponenten. Dem LBR mit seinem Steuercomputer, einem 100 mW Laser (TOPTICA iBeam smart, 638nm) mit verbundenem Strahlaufweiter (Edmund Optics HeNe Beam Expander) und einem NI System zur Steuerung. Wir verwenden ein NI PXI-1042 Chassis mit den Embedded-Controller NI PXI-8108 und der NI PXI-7833R FPGA Multifunktions-I/O-Karte. Diese ist mit den A-D Wandlern der Bolometerelektronik verbunden. Für die Kommunikation untereinander sind der LBR und das NI System über Ethernet Schnittstelle verbunden.

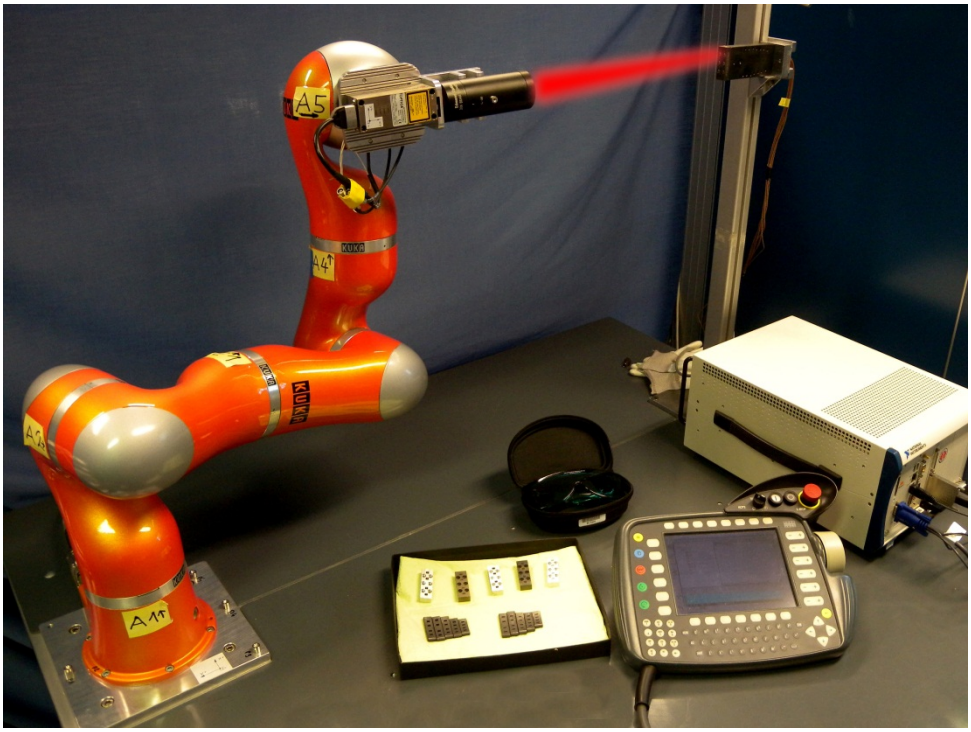

Bild 1: Der ITER Bolometer Roboter Prüfstand IBOROB

Aufbau der Software

Für die Realisierung des Systems wurde NI LabVIEW 2011 gewählt. Das Programm stellt die Bedienoberfläche (Bild 2) für den Prüfstand zur Verfügung. In dem Control Panel gibt es grundsätzlich vier Funktionsgruppen: Die Lasersteuerung (1), die Robotersteuerung und –Überwachung (2), die Kontrolle der Messparameter (3) und die Datenerfassung der Bolometerie (4). Der Laser lässt sich über eine RS232 Schnittstelle ansteuern. Hier wurde die Möglichkeit geschaffen den Laser während der gesamten Messung in Betrieb zu haben oder ihn bei jeder Messposition neu ein- bzw. wieder auzuschalten. Bei Langzeitmessungen (>1 Stunde) hat das den Vorteil, temperaturbedingte Änderungen im Offset der Bolometermessung kompensieren zu können. Bei einem kontinuierlichen Ein- und Ausschalten des Lasers muss noch die Wartezeit des Lasers groß genug eingestellt werden, damit das Bolometer das thermische Gleichgewicht erreicht.

Die grundlegende Roboterkommunikation findet über das ImagingLab Library for KUKA Robotics statt. Folgende Fähigkeiten hat das Programm: Die jeweilig notwendigen Messprogramme für den Roboter können direkt geladen, gestartet und gestoppt werden. Außerdem kann auf

alle Laufzeitvariablen des LBR zugegriffen werden: Positionen und Koordinatensysteme, die bisher manuelle programmiert werden mussten, können jetzt komfortabel über das Control Panel konfiguriert werden. Sobald sich der LBR im Automatikbetrieb befindet wird die Handsteuerung komplett durch das Interface in LabVIEW ersetzt. Die Messparameter wie die Messgenauigkeit (Schrittgröße des Roboters), den zu vermessenden Winkelbereich, Startposition und Art der Messung (Horizontale,Veritikale oder komplette 2 dimensionale Abtastung) können wahlweise manuell oder bei wiederholter Vermessung der selben Bolometerkamera, wie z.B. im Labor, einmal gespeichert und dann direkt wieder geladen werden. In letzten Fall ist anschließend die Wahl des Kanals möglich. Die Datenerfassung befindet sich im unteren Teil der Benutzeroberfläche. Dort stellt man die Parameter wie die Abtastrate, die Anzahl der Messungen und den Spannungsbereich für den AD-Wandler ein. Die in Echtzeit stattfindende Ausgabe der Messung kann dort ebenfalls beobachtet werden. Diese vier Teilsysteme lassen sich durch LabVIEW verbinden und ermöglichen die vollautomatische Vermessung der Sichtlinien. Laser, Datenerfassung und Roboter werden alle durch das Programm gesteuert.

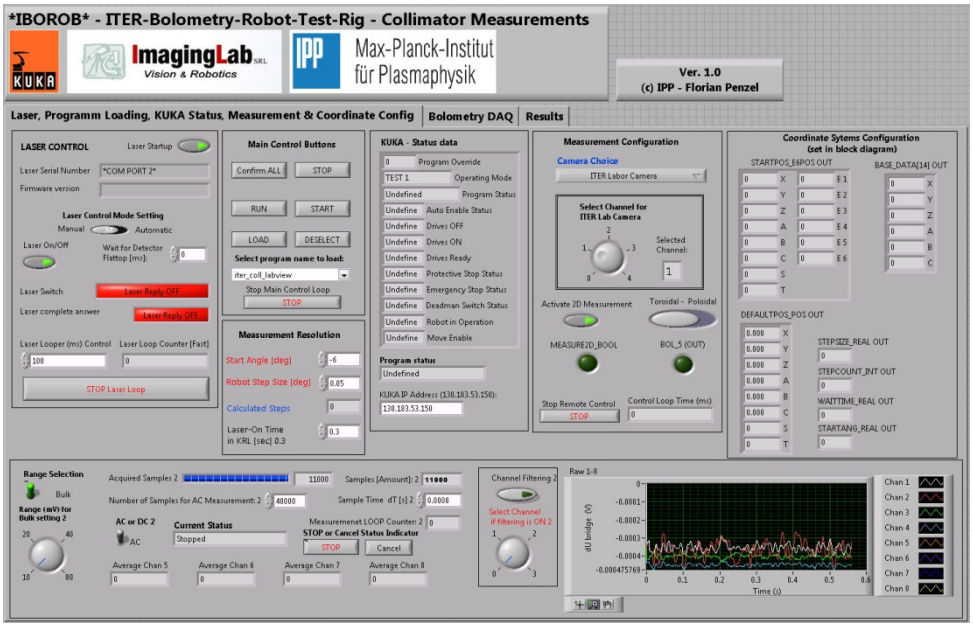

Bild 2: Grafische Benutzeroberfläche zur Bedienung und Überwachung

Vollautomatische zweidimensionale Vermessung einer Sichtlinie

Bei einer vollautomatischen Vermessung lässt sich die gesamte Charakteristik einer Sichtlinie bestimmen. Bild 3 zeigt eine

hochauflösende Messung mit 0.1° Schritten. Auch den Schwerpunkt der Sichtlinie kann man daraus bestimmen.

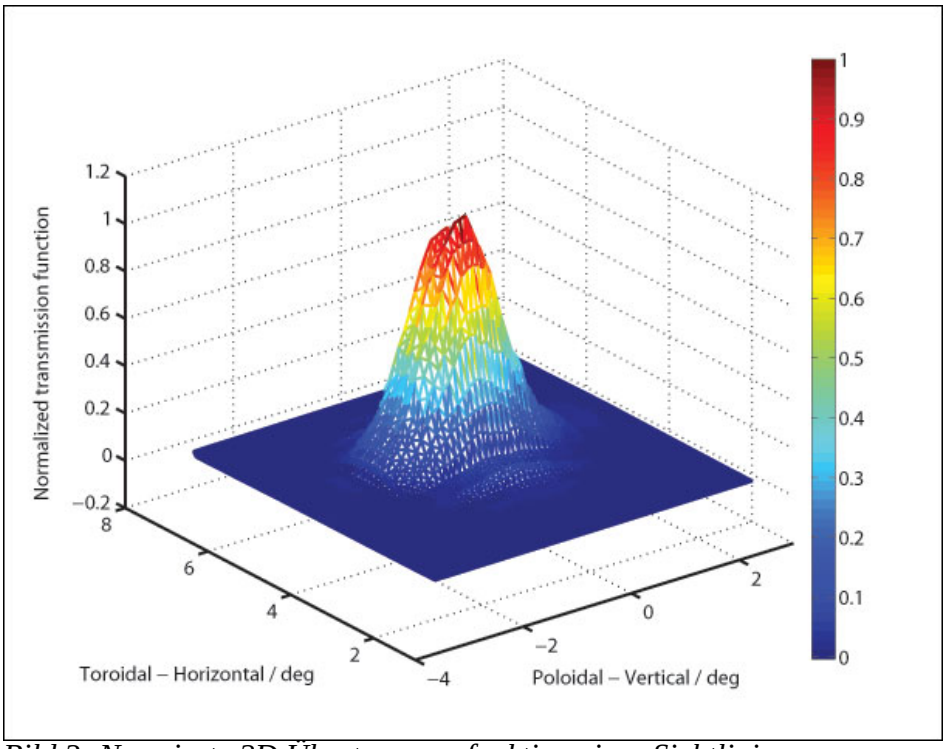

Bild 3: Normierte 2D Übertragungsfunktion einer Sichtlinie

Zusammenfassung

IBOROB wird inzwischen als Standard-Tool für die Kollimator Entwicklung der ITER Bolometer verwendet. Aktuell wird der Prüfstand weiterentwickelt um in-situ Messungen in dem Fusionsexperiment ASDEX Upgrade durchführen zu können.

Die leistungsfähige Programmierumgebung Labview ermöglicht eine relativ einfache und komfortable Lösung der Messaufgabe.

[1] H. Meister, F. Penzel et al.: Development of an automated method for insitu measurement of the geometrical properties of the ITER bolometer diagnostic, Fusion Engineering and Design 86 (2011) 1170-1173.

[2] F. Penzel, et al.: Assessment of line of sight characteristics of ITER bolometer prototype collimators, Fusion Engineering and Design, 2013.

[3] ImagingLab Robotics Library for KUKA, Toolkit for Directly Commanding and Controlling KUKA Robotics from NI LabVIEW, ImagingLabVision & Robotics, 2011