

Datenanalyse für die Spektrometrie an Fusionsplasmen

Für die Neutronenspektrometrie in der Plasmadiagnostik werden komplexe Verfahren der Datenanalyse benötigt. Eine Methode, die Verfahren der Bayesschen Statistik und der maximalen Entropie kombiniert, ermöglicht die Untersuchung von Parametern, die das Plasma in Fusionsexperimenten beschreiben.

Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der ENEA, Frascati (IT) und EFDA-JET, Culham (UK), wurde in den letzten Jahren eine Reihe von Messungen mit einem vollständig charakterisierten Neutronenspektrometer auf Basis des organischen Szintillators NE213 am Joint European Torus (JET) durchgeführt. Für die Anwendung der Neutronenspektrometrie zur Diagnostik an Fusionsplasmen ist die Verwendung optimierter Verfahren der Datenanalyse entscheidend, mit deren Hilfe die benötigte Information über relevante Parameter des Fusionsplasmas extrahiert werden können. Zu diesem Zweck wurden spezielle Methoden der Datenanalyse entwickelt, die Bayessche Methoden und Entfaltungsverfahren nach dem Maximum Entropie Prinzip kombinieren. Dieses zweistufige Verfahren erlaubt eine optimierte Datenanalyse, die angepasst werden kann auf die konkrete Information, die aus der Messung abgeleitet werden soll. Zur Verdeutlichung dieser Methoden wurden Messungen an der Beschleunigeranlage der PTB unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt und analysiert. Eine ausführliche Arbeit zu diesem Thema wurde zur Veröffentlichung in „Review of Scientific Instruments“ eingereicht.

Abbildung 1 zeigt einen Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Neutronenspektren für zwei Bestrahlungsbedingungen. Für die Analyse dieser Daten wurde ein kürzlich entwickeltes Verfahren verwendet, das eine Entfaltung nach der Maximum Entropie Methode mit der Bestimmung eines optimalen Parameters zur Festlegung der Güte des Lösungsspektrums kombiniert. Die Übereinstimmung zwischen den berechneten und den mit dem Entfaltungsverfahren bestimmten Spektren ist sehr gut und demonstriert sowohl die hohe Güte der verwendeten Antwortfunktionen des Neutronendetektors als auch die hervorragende Qualität der Datenanalyse, die bei vernachlässigbarer statistischer Unsicherheit in den Messungen erreicht werden kann. In den Fällen, in denen die statistische Unsicherheit der Messungen nicht vernachlässigt werden kann, ist es jedoch erforderlich, die Methode der Maximum Entropie Entfaltung mit Bayesschen Verfahren zu vervollständigen.

Als ein Beispiel für eine konkrete Anwendung von Bayesschen Methoden wird in Abbildung 2 die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Halbwertsbreite („full width at half maximum“, *FWHM*) eines nahezu monoenergetischen Neutronenspektrums für vier Messungen mit

ähnlicher Messzeit und statistischer Unsicherheit gezeigt. Ein guter Schätzwert für die Halbwertsbreite ergibt sich aus dem Maximum der Wahrscheinlichkeitsverteilung. Die diesem Wert zugeordnete Unsicherheit kann aus der Breite der Wahrscheinlichkeitsverteilung abgeleitet werden. Alle vier Wahrscheinlichkeitsverteilungen haben ein Maximum bei etwa demselben Wert der Halbwertsbreite und überlappen. Dies ist ein Indiz für die interne Konsistenz der Datenauswertung. Weiterhin stimmt die Unsicherheit in der Halbwertsbreite, die aus einer einzelnen nach dem Bayesschen Verfahren analysierten Messung bestimmt wird, mit der Unsicherheit überein, die aus der Streuung der Werte der Halbwertsbreite für die vier Einzelmessungen bestimmt wird. Das bedeutet, dass es ausreichend ist, eine einzelne Messung mit Bayesschen Verfahren zu analysieren, um die Halbwertsbreite und deren zugehörige Unsicherheit zu bestimmen.

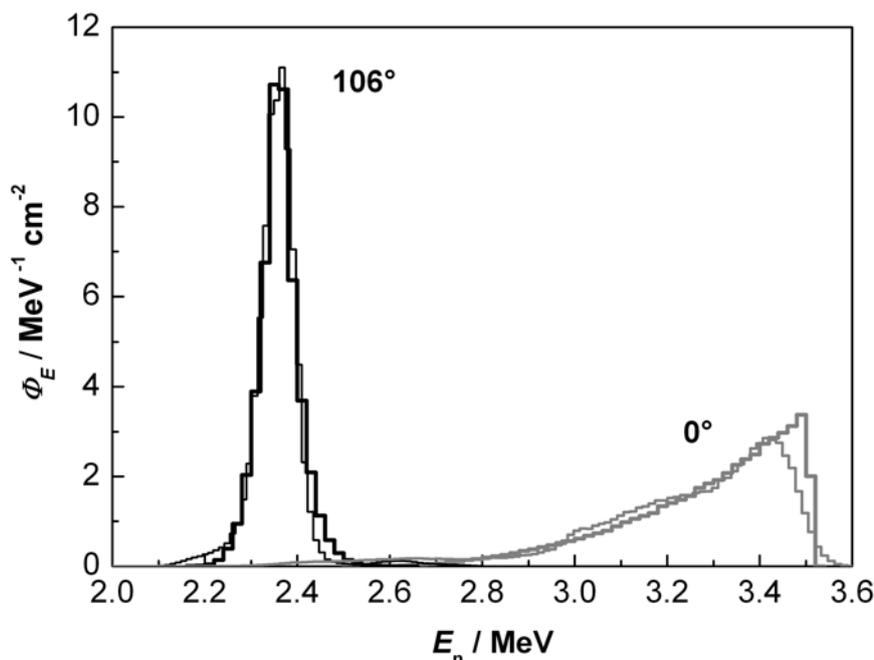


Abb. 1: Berechnete (dünne Linie) und gemessene (dicke Linie) spektrale Fluenz für ein mit der Reaktion $d + d \rightarrow {}^3\text{He} + n$ erzeugtes Neutronenspektrum für verschiedene Positionen des Neutronendetektors (Winkel der Neutronenemission relativ zum Deuteronenstrahl von 106° bzw. 0°). Die Rechnungen wurden für eine gleiche gesamte Neutronenfluenz an die Messungen angepasst.

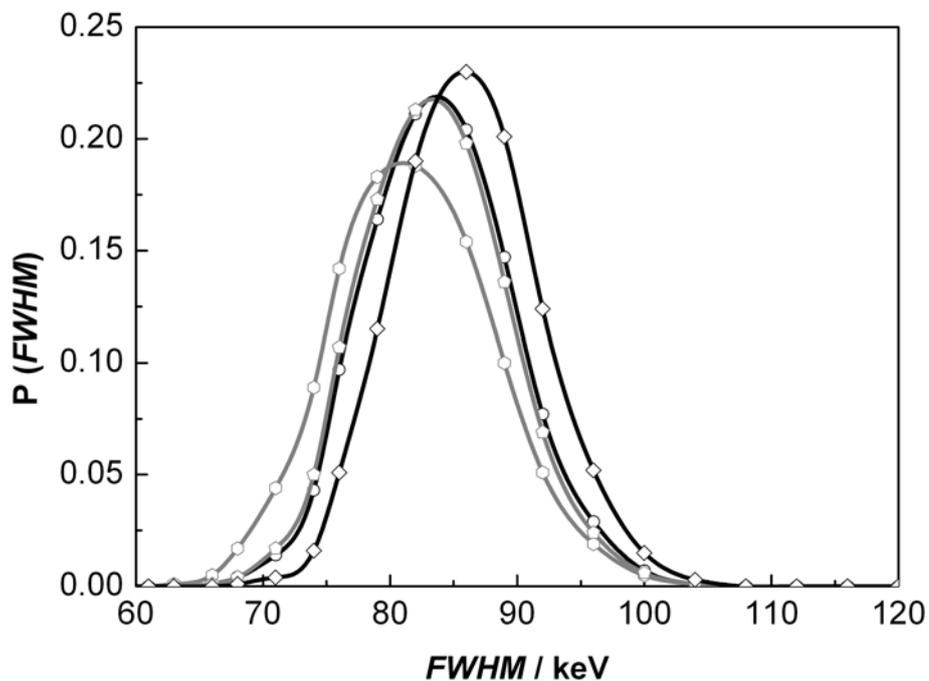


Abb. 2: Wahrscheinlichkeitsverteilung der Halbwertsbreite eines nahezu monoenergetischen Neutronenspektrums mit einer Neutronenenergie von etwa 2,5 MeV (Emissionswinkel von 106° (siehe Abbildung 1)) als Ergebnis einer Bayesschen Parameterbestimmung für ein gaussförmiges Modell des Neutronenspektrums. Die Abbildung zeigt das Ergebnis für vier verschiedene Messungen mit jeweils ca. 250000 Ereignissen.

Ansprechpartner:

M. Reginatto, Fachbereich 6.5, Arbeitsgruppe 6.53, E-mail: marcel.reginatto@ptb.de