

Neutronenspektrometer TOPAS

Bezeichnung:	TOPAS = „Time of Flight Spectrometer with Polarization Analysis“
Bauleitung und Ausführung:	Jülicher Zentralinstitut für Engineering, Analytik und Elektronik (ZEA-1)
Auftraggeber:	Jülich Centre for Neutron Science (JCNS)
Entwicklungs- und Bauzeit:	3,5 Jahre für die Vakuum- und Probenkammer und 5 Jahre für das gesamte Spektrometer.
Fertigstellung:	Vakuum- und Probenkammer 2013 gesamte Spektrometer 2014
Auslieferung und Aufbau:	2014 an der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) in München
Inbetriebnahme:	2015 mit Inbetriebnahme des Neutronenstrahls
Technische Eckdaten:	90% Titan legierter Edelstahl 10% nichtmagnetischer Spezialstahl Höhe: 3,2 Meter Durchmesser: 6,5 Meter Volumen: 76 Kubikmeter Gewicht: 30 Tonnen Erreichbares Vakuum: 10^{-6} mbar (Hochvakuum) Druckbelastung auf die Außenhülle: 10.000 kg pro m ²
Wie ist TOPAS aufgebaut?	Das Herz von TOPAS ist ein Neutronendetektor, der zylinderförmig um die Probe mit einem Abstand von 2,5 Metern angebracht ist. Er besteht aus 288 jeweils zwei Meter langen Einzelröhren mit einer Gesamtfläche von 16 Quadratmetern und weist die Neutronen mit einer Zeitgenauigkeit von 2 Mikrosekunden (0,000002 Sekunden) und einer Ortsgenauigkeit von 2,5 Zentimetern nach. Das in Jülich entwickelte und gebaute Detektorsystem befindet sich in einer Vakuumkammer. Diese zählt mit einer Höhe von 3,2 Metern, einem Durchmesser von 6,5 Metern und rund 76 Kubikmetern Volumen zu einer der größten je in Jülich gebauten Vakuumkammern. Zur vollständigen Analyse der Neutronenflugzeit entwickeln und konstruieren das JCNS und ZEA-1 zudem mehrere sogenannte Neutronenchopper. Ein Alleinstellungsmerkmal des Instruments ist vor allem die Neutronenpolarisationsanalyse, die ebenfalls gemeinsam vom JCNS und von ZEA-1 in Jülich und in Garching entworfen wird. Mit dieser Analyse lassen sich insbesondere die magnetischen Eigenschaften von Materialien untersuchen.
Wozu dient TOPAS?	Poster TOPAS dient der Materialforschung. Das Spektrometer misst die Streuung von Neutronen an Materialproben. Dabei

liegt ein besonderer Schwerpunkt auf neuartigen magnetischen Materialien für die Energie- und Informationstechnologie. Ein Beispiel sind magnetische Materialien, die sich stark erwärmen wenn man sie einem Magnetfeld aussetzt und abkühlen, sobald man das Magnetfeld entfernt. Solche Stoffe könnten den Energieverbrauch von Kühlschränken und Klimaanlage in Zukunft um bis zu 20-30% senken. Ein anderes Beispiel sind Hochtemperatursupraleiter, deren Verhalten auch nach 25 Jahren intensiver Forschung immer noch nicht verstanden ist. Insbesondere durch den Einsatz der Polarisationsanalyse versprechen sich die Forscher ganz neue Einsichten in diese Materialklasse.

Wie funktioniert TOPAS?

Der vom Forschungsreaktor produzierte Neutronenstrahl wird zunächst durch einen sogenannten Chopper in zeitlich präzise getaktete Neutronenpakete zerlegt. So kann die Flugzeit der Neutronen vom Aufprall auf die Probe bis zum Detektor exakt bestimmt werden. Wenn die Neutronen gegen die Atome in der Probe stoßen, ändern sich ihre Geschwindigkeit und Richtung. Aus der Auftreffzeit im Detektor bestimmt der Experimentator die Geschwindigkeitsänderung und damit die Energie, welche Probe und Neutronen ausgetauscht haben. Daraus schließen die Forscher z.B. wie gut das neue Material Temperaturen leiten kann. Die Richtungsänderung der Neutronen wird durch den Nachweisort bestimmt und lässt so einen Rückschluss auf die innere atomare Ordnung des Materials zu. Als eines der ersten Flugzeitspektrometer weltweit kann TOPAS auch den Neutronenspin analysieren. Damit lassen sich insbesondere die Eigenschaften magnetischer Werkstoffe erforschen. Dies alles funktioniert nur in einem Hochvakuum unter extrem sauberen Bedingungen. Deshalb ist der gesamte Versuchsaufbau wie der Probenhalter und der Detektor von einer schützenden Edelstahlkonstruktion umschlossen. Diese muss einen Druck von 10.000 Kilogramm pro Quadratmeter aushalten – da die Atmosphäre mit einem Bar auf den „luftleeren“ Raum drückt.

Ist TOPAS ein Serienmodell?

Nein. TOPAS ist eine einmalige Sonderanfertigung. Wissenschaftler des JCNS haben festgelegt, welche Fragen das Spektrometer in Zukunft beantworten soll. Daraus ergaben sich Rahmenbedingungen wie zum Beispiel die Art und Größe des Detektors. Gemeinsam mit den Ingenieuren des ZEA-1 wurden so die Anforderungen an die Gesamtkonstruktion bestimmt und TOPAS danach detailliert geplant und berechnet – von der Beschaffenheit der Außenhülle bis zur kleinsten Dichtung. Um etwa dem Druck der Atmosphäre standzuhalten, wurde TOPAS aus bis zu sieben Zentimeter dicken Edelstahlblechen gefertigt. Diese verbanden die Spezialisten des ZEA-1 in präziser Handarbeit mit Schweißnähten von insgesamt drei Kilometern Länge. Jede Schweißnaht ist hierbei sechslagig ausgeführt und hat einen Querschnitt von 10 mm. Hierdurch

kann die geforderte Dichtigkeit und Festigkeit gewährleistet werden. Durch den hohen Spezialisierungsgrad des ZEA-1 gelang es, die Verformung des Stahls durch die Hitze beim Schweißen auf ein Minimum zu reduzieren: nur fünf Millimeter auf vier Metern. Wichtig ist dies zum Beispiel bei den Verbindungsflanschen der einzelnen Segmente. Da diese mit O-Ringen abgedichtet werden, ist eine hohe Oberflächengüte und entsprechende Ebenheit der Flächen gefordert. Die Flansche wurden mit 200 Schrauben M24 verpresst. Jede dieser Schrauben wurde mit der Kraft von zwei Mitarbeitern mit einem Drehmoment von 400 Newtonmetern angezogen – zum Vergleich: Schrauben an Autoreifen werden mit einem Drehmoment von 80 bis 180 Newtonmetern angebracht.

Wie funktioniert der Probenwechsel?

Rund acht Stunden dauert es, um die Luft aus einer Kammer mit 76 Kubikmetern heraus zu pumpen und ein Vakuum von 10^{-6} Millibar herzustellen. Bei jedem Probenwechsel würde also wertvolle Messzeit verloren gehen. Die Ingenieure des ZEA-1 haben sich deshalb eine innovative Lösung einfallen lassen: Ein nur 300 Liter großes Gefäß im Inneren der Kammer wird vor dem Probenwechsel von unten über die Probe gestülpt und nach oben gefahren. Der obere Rand des Gefäßes schließt den Probenraum dann luftdicht gegen den Rest der Kammer ab ([Animation: Funktionsweise des Probenbehälters](#)) Nun kann die Probe gewechselt werden, ohne das Gesamtvakuum zu zerstören. Um anschließend das erforderliche Vakuum im 300 Liter-Gefäß wieder herzustellen bedarf es lediglich 30 Minuten. Durch diese Neuentwicklung steht TOPAS der Materialforschung dann ab 2015 so gut wie rund um die Uhr zur Verfügung.