

Wissenschaftlicher Ergebnisbericht / Scientific Report 2003

Schwerpunkt / main research area
FE-Vorhaben / RD project

Institutsbeitrag / institute's contribution

Verantwortlich / in charge
HGF-Forschungsbereich / Research Field
HGF-Programm / Programme

HGF-Thema / Topic
Internet

Materie / Matter
**M05 Betrieb und Weiterentwicklung
der Neutronenquelle FRJ-2**

60105

Zentralabteilung Technologie /
Central Technology Division (ZAT)

Dr. R. Sievering Email: r.sievering@fz-juelich.de

Structure of Matter

**Large Scale Facilities for Research with
Photons, Neutrons and Ions**

Neutrons

www.fz-juelich.de/scientific-report

Detaillergebnisse / Details

1. Rückstreuспекrometer RSSM am FRM-2

Das Rückstreuспекrometer München (RSSM) wird im Auftrag des IFF als Neutronstreuinstrument für den FRM-2 gebaut. Durch eine verbesserte Auflösung und eine höhere Intensität eröffnet dieses Spektrometer der Neutronenspektroskopie neue Dimensionen.

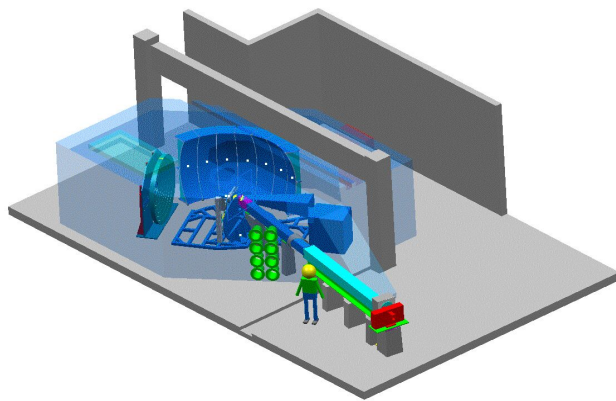


Bild: Gesamtaufbau des Rückstreuспекtrometers

Im vergangenen Jahr hat das ZAT dazu folgende Themen schwerpunktmäßig bearbeitet:

1.1 Optionale Erweiterung

Für die Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten des Rückstreuспекtrometers, durch die Verwendung von unterschiedlichen Kristallen, wurde ein kompletter Satz von 7 Analysatorschalen und 7 Analysatorringen und ein zweiter Satz, bestehend aus 4 Analysatorschalen hergestellt. Der komplette Satz wird mit Si[311] Kristallen und die 4 Schalen werden mit polierten Si[111] Kristallen beklebt.

Um den Umbau des Spektrometers zu vereinfachen, wurden die Analysatoren komplett mit Sockel gefertigt. Die Lagerung der ausgewechselten Analysatoren erfolgt dann in entsprechenden Transportbehältern am FRM-2.

(Grunwald, D.; Haas, N.)

1.2 Dopplerantrieb

Für das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Aerolas der Dopplerantrieb fertig gestellt. Während der erste Doppler noch mit fest eingestellten Luftlagern arbeitet, was hohe Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeiten der Komponenten Holm und Lager erfordert, arbeitet der weiter entwickelte Doppler jetzt mit selbst justierenden Luftlagern, die durch eine pneumatische Vorspannung und gleichzeitiger Lagerung in einer Kugelform, die möglichen Ungenauigkeiten in den Abmaßen der Holmgeometrie ausgleicht.

Des weiteren wurde bei der neuen Version der Holm aus GFK gefertigt, was eine Gewichtsreduzierung des Holms um etwa 40 % gegenüber der Aluminiumvariante erbrachte. Eine weitere Steigerung wurde durch den Einsatz neuer Motoren erreicht, die ca. 20 % mehr Leistung haben als die alten Motoren. Die Summe dieser Verbesserungen war Grundlage dafür, dass der Doppler jetzt mit einer Geschwindigkeit von 4,7 m/s und einer Beschleunigung von 30g bei einer Amplitude von 75 mm betrieben werden kann. Mit dem ersten Doppler konnte eine Geschwindigkeit von 3,4 m/s und eine Beschleunigung von 15,5 g bei gleichem Hub erreicht werden.

(Straatmann, H.; Ch. Tiemann)

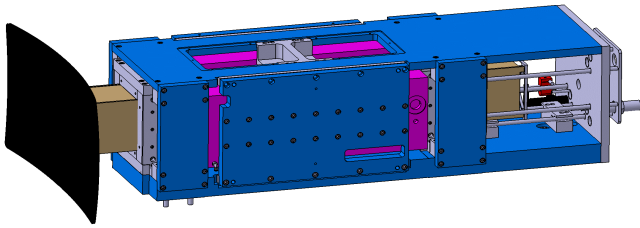


Bild: Dopplerantrieb für das Spektrometer RSSM

1.3 PST-Chopper mit aktiver Magnetlagerung

Auf der Peripherie des rotierenden Choppers sind über drei 60° -Winkelräume (siehe Bild 1) Graphitkristalle montiert, die einen Neutronenstrahl reflektieren sollen, dessen Energieverteilungsfunktion durch die Reflektion und weitere nachfolgende Maßnahmen schärfer gefasst werden soll.

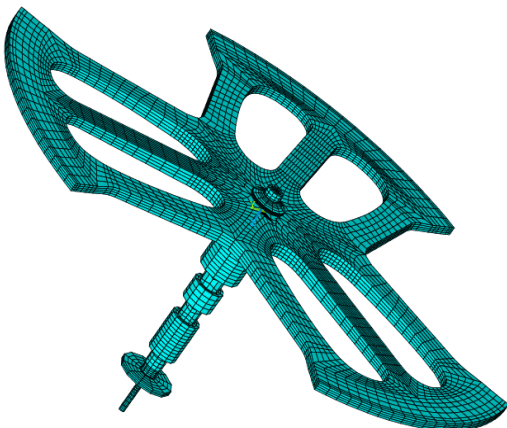


Bild 1: Phasenraumtransformations-Chopper mit Drehachse und Nabenschraube

Die Phasenraumtransformation des Neutronenstrahls wird durch die Reflexion an den bewegten Graphitkristallen bewirkt, indem ein energiedispersives Neutronenpaket in ein winkeldispersives aber monochromatisches Paket umgewandelt wird. Der PST-Chopper mit einem Durchmesser von 1,27 m soll für 5000 U/min ausgelegt werden (Umfangsgeschwindigkeit 300 m/s). Bild 1 zeigt das Dreiflügelrad einschließlich der Achse, die in Magnetlagern gehalten werden soll, sowie die Anbindung der Achse durch eine Nabenschraube.

Für den gezeigten, gesamten Aufbau wurden Finite-Element Rechnungen durchgeführt, wobei einerseits die durch die Fliehkräfte erzeugten Spannungen (statische Belastung) berechnet und andererseits auch die wichtigsten Eigenschwingungsfrequenzen und Eigenmoden (dynamische Rechnungsart) berechnet wurden. In der zuletzt genannten dynamischen Berechnung beeinflusst die Masse der frei schwebend aufgehängten Achse die Eigenfrequenzen maßgeblich. Außerdem werden die Berechnungsergebnisse für die Eigenfrequenzen ganz wesentlich von den Ergebnissen der Vorspannung des Rades durch die Fliehkräfte beeinflusst. Bild 2 zeigt ein Detailergebnis der statischen Rechnung. Sie zeigt in einem Ausschnittssektor, wie die Nabenschraube in ihrem Schraubenschaft durch das Anzugsdrehmoment auf Zugspannungen belastet ist und wie sich die komplementären Druckspannungen im zentralen Bereich des Choppers über Schraubenkopf, Radscheibe und Achsenende verteilen. In einer zusätzlichen Rechnung wurden auch die Spannungen im Bereich der Kristallhalter im Detail ermittelt.

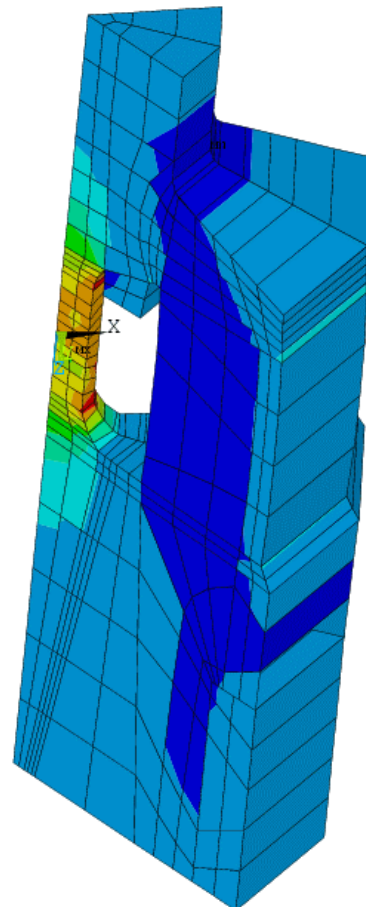


Bild 2: Sektorieller Schnitt im Bereich der Radnabe mit Spannungsverteilung in der Nabenschraube (rot) und deren nähere Umgebung

Alternativ wurden drei Scheiben entwickelt und getestet:

1. Carbon-Speichenrad mit UNIDAL-Kristallhalter
2. UNIDAL-Speichenrad, hochfeste, spannungsarme Aluminiumlegierung
3. ALUMOLD-Speichenrad, Aluminiumlegierung mit höchsten Festigkeitswerten (Flugzeugbau)



Carbon/UNIDAL

UNIDAL

ALUMOLD

Das Carbon-Speichenrad wurde in Zusammenarbeit mit der RWTH/Aachen entwickelt und gefertigt. Es ist beim Schleudern bei 4750 min⁻¹ zerbrochen. Die Ursache liegt in der Befestigung der Kristallhalter, die zwangsläufig aufwendiger ist als bei Aluminium-Rädern.

Das UNIDAL- und ALUMOLD- Speichenrad sind bei ZAT konstruiert, berechnet und gefertigt worden. Beide haben den Schleudertest bei 4850 min⁻¹ erfolgreich durchlaufen. Beide Aluminium-Speichenräder werden im Dezember 2003 zusammen mit der aktiven Magnetlagerung bei der Firma EAAT/Chemnitz getestet. Die aktive Magnetlagerung wurde in Zusammenarbeit mit der Firma EAAT/Chemnitz entwickelt und gefertigt.



Bild: Vakuumgehäuse der Magnetlagerung

Die Konstruktion und Fertigung der mechanischen Teile wurden bei ZAT durchgeführt. Erste Testläufe, ohne Chopperscheibe, bei 4800 min⁻¹ sind bei EAAT erfolgreich abgeschlossen worden.

(Kämmerling, H.; Straatmann, H.; Cords, H.)

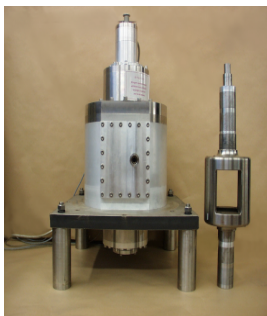
2. Arbeiten für das SV-29 Neutronenspektrometer

Die Tests zur Ertüchtigung der Magnetlager- und Antriebstechnik beider Fermi-Chopper C1 (28 kg) und C2 (19 kg) für das Choppersystem SV-29 wurden fortgesetzt.

Nachdem im Vorjahr der Chopper C1 auf seine Nenndrehzahl von 350 Hz beschleunigt worden war, wurde auch der Chopper C2 im laufenden Jahr auf seine Nenndrehzahl von 350 Hz beschleunigt. Nach der Auswertung von Berechnungen, die die Belastungen auf den Rotor durch im Betrieb auftretende Fliehkkräfte ermittelten, wurden die zulässigen Drehzahlen vom Hersteller auf 250 Hz für C2 und 230 Hz für C1 begrenzt. Der Grund für die Drehzahlbegrenzung liegt darin, dass bei einem Ausfall der Magnetlagerung die Rotoren in Notlaufaglern aufgenommen werden müssen, wodurch es zu zusätzlichen mechanischen Belastungen für die Rotoren kommt.

Im laufenden Jahr wurde die vom Auftraggeber geforderte Phasen- bzw. Drehzahlstabilität erreicht. Hinsichtlich der Phasendämpfung wurden eine analoge und eine digitale Dämpfung entwickelt und erfolgreich erprobt. Neben der sorgfältigen Erprobung unter Magnetlagerbedingungen gehören Untersuchungen des Laufverhaltens der Rotoren unter Notlagerbedingungen bei abgeschalteter Magnetlagerung zum Untersuchungsprogramm des Choppersystems. Erste Absturzversuche wurden mit einem Dummy-Rotor durchgeführt. Bei diesen Absturzversuchen wurde die Magnetlagerung ausgeschaltet und der Rotor in den Keramik-Notlaufaglern aufgefangen. Im Rahmen dieser Versuche wurde die Konstruktion zur Aufnahme der Notlauflager insofern verbessert, als die Notlauflager mit dämpfenden Rundschnurringen hinterlegt wurden und die axiale Vorspannung der Hybridlager nunmehr von der Fassung aufgenommen wird.

Im Hinblick auf die erforderliche TÜV-Abnahme wird ein mit dem Kunden abgestimmtes Programm zur Untersuchung der Notlaufagereigenschaften durchgeführt. Das Rotorverhalten wird bei der Aufnahme in die Notlauflager mit Sensoren erfasst und ausgewertet. Die Auswertung besteht u.a. darin, das Verhalten des Rotors bei der Aufnahme in die Notlauflager und im weiteren Verlauf bei der Führung durch die Notlauflager zu visualisieren.



Gehäuse mit Chopper



C1-Chopper-Gehäuse



Chopper mit Einbau (Fermi-Paket)

(Stelzer, H.)

3. Neutronen Spin Echo Spektrometers für die Spallationsquelle SNS in Oak-Ridge (USA)

Bei dem vorliegenden Projekt handelt es sich um den Bau eines neuen hochauflösenden Neutronen-Spin-Echo-Spektrometers (NSE-Spektrometers), das an der derzeit im Bau befindlichen Spallations-Neutronenquelle der SNS in den Vereinigten Staaten aufgebaut und betrieben werden soll. Die Neutronen-Spin-Echotechnik funktioniert ähnlich wie die Spin-Echo-Technik, die in der nuklearen magnetischen Resonanztechnik angewandt wird. Ein senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung polarisierter Neutronenstrahl wird in einer ersten Hauptspule einem gleichmäßigen Magnetfeld unterworfen. Dadurch präzediert der Neutronenspin.

Nach der ersten Hauptspule wird der Neutronenstrahl an der Probe gestreut. Durch die zweite Hauptspule mit gleich großem, aber gegensinnigem Magnetfeld wird die Präzession rückgängig gemacht. Die Phase des Neutronenspins im Vergleich zum ursprünglichen Neutronenstrahl entspricht einer Geschwindigkeitsdifferenz durch den Streuprozess an der Probe. Bestehen magnetische Inhomogenitäten in der Hauptspule, dann hat dies zur Folge, dass sich die Präzessionsfrequenz ändert.

Wechselwirkt das Neutron mit einem Streupartner und ändert dabei seine Fluggeschwindigkeit, dann ändert sich, da sich die Flugzeit des Neutron ändert, die Phase der Präzession. Beide Effekte tragen zusammen zu einer Depolarisation der ursprünglichen Neutronenpolarisation bei. Stammt die Depolarisation nur von der zu untersuchenden Probe, kann man durch Messen der Depolarisationsraten Rückschlüsse auf die herrschende Dynamik innerhalb der Probe ziehen. Durch geschickte Anordnung von Magnetfeldspulen und Korrekturlementen für das Magnetfeld kann die Depolarisation der Neutronen im Spektrometer minimiert werden. Bild 1 zeigt den schematischen Aufbau des neuen NSE-Spektrometers. Wesentliche Unterschiede zu den bereits existierenden NSE-Spektrometern sind dabei die supraleitenden Hauptspulen und die an Hexapods justierbaren hochgenauen Korrekturspulen. Das Instrument soll weltweit die höchste Auflösung für ein NSE-Spektrometer besitzen. Mit diesem Instrument, dass zur Erstinstrumentierung der SNS gehören soll, werden vollständig neue Fragestellungen aus dem Bereich der sogenannten weichen Materie untersucht werden können.

Die ZAT hat im Jahre 2003 hauptsächlich an der Weiterentwicklung der Korrekturspulen, sowohl was die Optimierung als auch was deren Fertigung und Handhabung angeht, gearbeitet. Solch eine Korrekturspule kann man sich wie das magnetische Äquivalent zu einer optischen Fresnel-Linse vorstellen. Die Korrekturspulen haben die Aufgabe, die Magnetfelder in den Hauptspulen so zu homogenisieren, dass alle Neutronen unabhängig von ihrer Geschwindigkeit dasselbe magnetische Feldintegral sehen. Mit diesen Korrekturlinsen kann also die vom Spektrometer stammende Neutronendepolarisation minimiert werden.

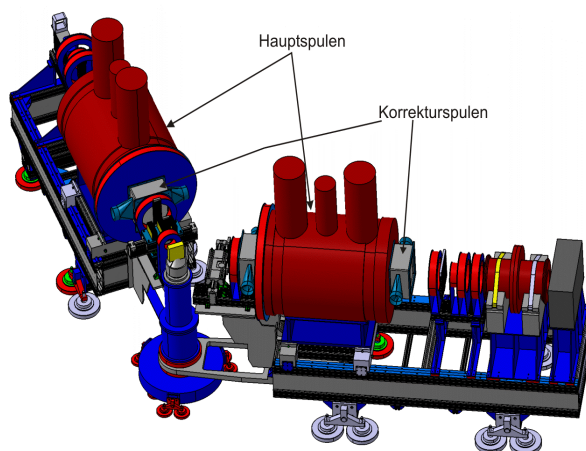


Bild 1: Prinzipieller Aufbau des neuen Neutronenspin-echo-Spektrometers für die SNS. Gezeigt sind die Behälter, in denen sich die supraleitenden Hauptspulen befinden und zwei der insgesamt sechs Korrekturlinsen.

Die Korrekturspulen verfügen über eine Positioniereinheit zur genauen und reproduzierbaren Justage innerhalb des Spektrometers. Das Material, aus dem die Korrekturspulen gefertigt werden, darf zudem nur einen sehr kleinen Eigenbeitrag zur Neutronenstreuung liefern. Eine wesentliche technische Anforderung ist, dass die Längenausdehnung einer Korrekturspule in radialer Richtung kleiner als 0,3 mm beträgt, wenn die Spule mit einem Strom von 300 A betrieben wird. Diese Forderung kann nur durch eine effiziente Kühlung eingehalten werden. Im Berichtsjahr wurden erste Messung zur Temperaturverteilung an einem Prototyp einer Korrekturspulen in Abhängigkeit des Spulenstroms durchgeführt.

Bild 2 zeigt die Temperaturverteilung eines Spulenprototyps. Das Bild wurde mit einer Infrarotkamera aufgenommen. Wie man erkennt, treten Temperaturüberhöhungen auf. Diese stammen zum einen von einem schlechten thermischen Kontakt (die durch den Stromfluss entstehende ohmsche Wärme kann nicht abfließen) und zum anderen von der nicht optimierten Kühlung. Beide Problemfelder wurden erfolgreich bearbeitet. Die geforderte maximale Ausdehnung bei maximalen Spulenstrom kann eingehalten werden.

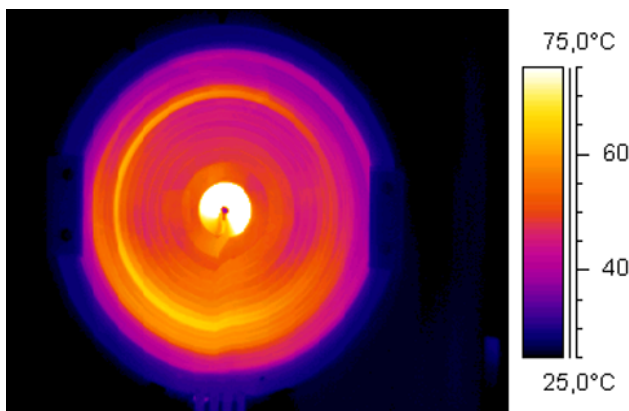


Bild 2: Infrarotbild der Wärmestrahlung, die von der Korrekturspule bei Stromfluss abgestrahlt wird. Die ringförmige Struktur im Bild stammt von der noch nicht optimierten Kühlung der Spule.

(Glückler, H.; Giesen, U.; Kulassa, Th.;
Straatmann, H.; Tiemann, Ch.)

4. Erweiterung der Bestrahlungseinrichtung BE 46

Nach dem erfolgreichen Betrieb der Bestrahlungseinrichtung BE 46 seit Sommer 2000 mit zwei Bestrahlungseinschüben ist im Juni 2003 die Anlage um einen dritten Bestrahlungseinschub erweitert und in Betrieb genommen worden. Die Kapazität der Molybdän Produktionsanlage wurde damit um 50 % auf insgesamt 12 Urantargets erhöht.

Vor der Inbetriebnahme wurde durch ein umfangreiches Inbetriebnahmeprogramm die Funktionalität der Gesamtanlage getestet und die sicherheitstechnischen Eigenschaften im Beisein des Gutachters unter Beweis gestellt.

Seither konnte in mehreren Reaktorperioden ein störungsfreier und zuverlässiger Betrieb der Anlage auch teilweise mit der parallelen Bestrahlung in drei Einschüben bewiesen werden.

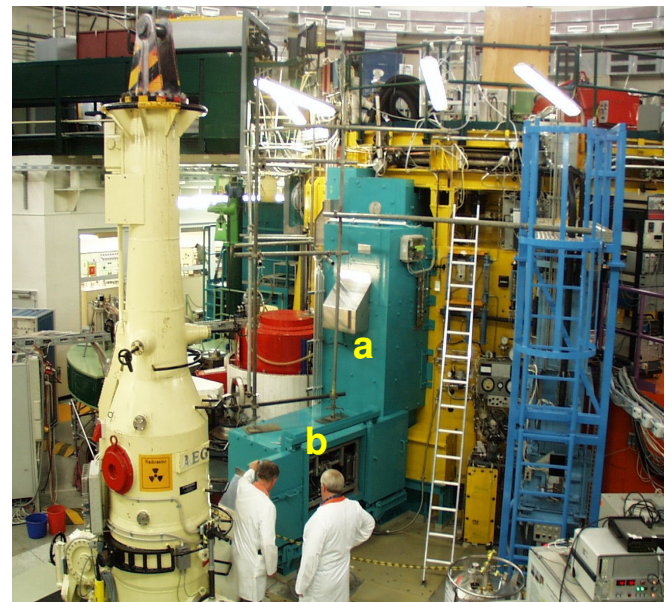


Bild: Verzögerungsbehälter (a) und Notkühlmodul (b) des 3. Bestrahlungseinschubs BE 46

Mit der Erstellung der Abschlussdokumentation sowie die Anpassung der Anweisungen für wiederkehrende Prüfungen, das Betriebshandbuch des FRJ-2 oder die Bedienungsanweisung BE 46, konnte das Projekt mit Ende des Jahres 2003 abgeschlossen werden.

(Bertram, W.; Esser, F.; Hansen, G.; Jansen, P.;
Krauthausen, W.; Lennartz, M.; Tiemann, Ch.;
Schmitz, W.)