Kurzbericht

- öffentlich -

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München

Projektleitung: Dr. W. Lohstroh

Verbund:

Thema: Umzug der Instrumente FLEXX und E9 vom Helmholtz-Zentrum Berlin an das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ), Garching (HZBT)

1. Ziel und Inhalt des Projektes

Im Rahmen des HZBT-Projektes wurden die beiden Neutronenstreuinstrumente FLEXX und E9 / FIREPOD vom Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) an das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ) in Garching transferiert, wo sie unter als LaDiff bzw. FIREPOD wieder aufgebaut werden. Beide Instrumetne waren zum Zeitpunkt der Abschaltung des Reaktors BER II in Berlin im Jahr 2019 wissenschaftlich auf dem neuesten Stand und stark nachgefragt. Nach erfolgreicher Integration in den bestehenden Instrumentenpark des MLZ werden sie im Rahmen ihres "second life" auch dort wieder in den Nutzerbetrieb überführt. Dadurch erhöht sich die Anzahl der Meßzeittage, die Nutzern am MLZ zur Verfügung steht, und es können auch völlig neuartige Experimente durchgeführt werden.

2. Ablauf und Ergebnisse des Vorhabens

Mit dem Projektstart hatten die Planungen für den Umzug begonnen. Zusammen mit den Kollegen vom HZB in Berlin wurde eine vollständige Bestandsaufnahme der Komponenten beider Instrumente durchgeführt und die Schnittstellen definiert. Diese dienten als Grundlage für die abzuschließenden Schenkungsverträge zwischen der TUM und dem HZB, welche 2021 unterzeichnet wurden. Im Herbst 2021 wurden dann die beiden Instrumente im Beisein der Projektbeteiligten vollständig abgebaut und für den Transport nach Garching vorbereitet. Der Transfer der Komponenten beider Instrumente von Berlin nach Garching im Herbst 2022 in enger Kollaboration mit dem HZB erfolgreich abgeschlossen. Im Verlauf der Jahre 2023 und 2024 wurden dann die Funktionsfähigkeit der meisten transferierten Komponenten in Garching getestet.

Parallel wurden Monte-Carlo Simulationen zur Optimierung der beiden Instrumente an an ihren neuen Strahlpositionen durchgeführt, insbesondere die Neutronenoptik des Strahrohr SR8 zur Versorgung von FIREPOD und der Instrumente SPODI und ERWIN. Die neuen Neutronenleiter (d.h. die beschichteten Glaselemente) für die Beamlines SR8a (SPODI, FIREPOD) und SR8b (ERWIN) wurden in 2022 beauftragt. Durch diese wird der Neutronenfluss an den beiden Instrumenten FIREPOD und ERWIN deutlich vergrößert bzw.

im Falle des Instruments SPODI stabil gehalten. Dies ermöglicht in Zukunft deutlich kürzere Messzeiten und somit eine höhere Zahl von Nutzerexperimenten. Die gesamte primäre Neutronenoptik der drei Instrumente SPODI, ERWIN und FIREPOD wird durch eine neue Abschirmung umschlossen, welche in Zukunft deren gleichzeitigen und unabhängigen Betrieb am Strahlrohr SR8 ermöglichen wird. Diese Abschirmung wurde bis 2022 detailiert ausgelegt, in 2023 die Beschaffung eingeleitet, im Dezember 2024 erfolgte die Lieferung der gesamten neuen SR8-Abschirmung.

Die Neutronenoptik von LaDiff wurde ebenfalls optimiert, insbesondere der Polarisator. Parallel hierzu wurden Abschirmrechnungen durchgeführt, um den Aufbau und die Zusammensetzung der biologischen Abschirmungen zu finalisieren. Darauf aufbauend erfolgte die konstruktive Anpassung der FLEXX-Monochromatorabschirmung an die radiologischen Bedingungen am FRM II. Der Platz innerhalb der Monochromator-Abschirmung sehr begrenzt ist und die äußeren Maße sollten unverändert erhalten werden, um die mobilen Abschirmblöcke weiter nutzen zu können. Es konnte eine Sandwichstruktur aus BorPE und Blei gefunden werden, welche die Dosisleistungswerte ausreichend reduzieren wird. Im Anschluss daran wurde mit dem detaillierten Design und der technischen Realisierung der Experimentierfeldabschirmung begonnen, um die Abschirmwirkung und Aktivierung der Abschirmung im Neutronenfeld zu berechnen. Darauf aufbauend wurde die die Berechnungen der Baustatik in Zusammenarbeit mit einem extern Statikbüro durchgeführt und die sich daraus ergebende Änderungen in das Design übernommen. Die Abschirmung des Experimentierfeldes wird in 2025 erfolgen.

Für FIREPOD wurden die Spezifikation der zu erneuernden Detektorelektronik der acht DENEX DN300 Detektoren, die in Berlin im Einsatz waren, in Zusammenarbeit mit der Detektorgruppe sowie der Instrumentensteuergruppe am FRM II/MLZ erarbeitet, um die Detektoren entsprechend der Standards am MLZ in die Instrumentinfrastruktur zu integrieren. Die entsprechenden Komponenten für die Detektorelektronik, Datenerfassung und Instrumentsteuerung wurden in 2022 und 2023 geliefert. Zudem wurde 2023 die Fertigung und Montage der neuen Detektorbank von FIREPOD in Auftrag vergeben, welche an die neuen örtlichen Gegebenheiten am MLZ angepasst ist. Insbesondere muss die Detektorbank von FIREPOD im Vergleich zum Aufbau in Berlin spiegelverkehrt positioniert werden und die Detektoren werden in einem festen Abstand von der Probe fixiert. Durch die Neukonstruktion ist im Vergleich zur ursprünglichen HZB Konstruktion deutliche Verbesserungen im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit der Justage und des Untergrundsignals zu erwarten. Die Detektorbank wurde in 2024 geliefert und zusammen mit den weiteren Instrument-Komponenten wie dem Probentisch und der Sekundäroptik auf dem dezidierten FIREPOD Experimentierplatz am Strahlrohr SR8a aufgebaut.

Die Elektronik des Multi-Analysators von FLEXX wurde auf FRM II Standards angepasst, sowie in the Instrumentsteuerung integriert. Dies wurde in 2024 abgeschlossen und ein Test mit einer Neutronenquelle durchgeführt, so dass der Multiflexx Analysator/ Detektor an LaDiff weiterbetrieben werden kann. Der Aufbau der Komponenten an dem finalen Strahlplatz erfolgt in 2025.

3. Darstellung der wesentlichen Ergebnisse und deren konkreter Nutzen sowie ggf. die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Die weitere Nutzung der beiden Instrumente E9 und V2 aus Berlin sind nun in modernisierter Version am FRM II möglich. Somit wurde ein wichtiger Teil der bereits früher am HZB stark nachgefragten Instrumentierung für die Nutzergemeide sichergestellt. Die am MLZ verfügbare Meßzeit für Nutzer wird deutlich erhöht und es können auch völlig neuartige Experimente durchgeführt werden.

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München

Projektleitung: Dr. W. Lohstroh

Verbund:

Thema: Umzug der Instrumente FLEXX und E9 vom Helmholtz-Zentrum Berlin an das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ), Garching (HZBT)

Zusammenfassung

Im Rahmen des HZBT-Projektes wurden die beiden Neutronenstreuinstrumente LaDiff (ehemals V2/FLEXX) und FIREPOD (ehemals E9) vom Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) an das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ) in Garching transferiert. Beide waren zum Zeitpunkt der Abschaltung des Reaktors BER II in Berlin im Jahr 2019 wissenschaftlich auf dem neuesten Stand und stark nachgefragt.

Nach erfolgreicher Integration in den bestehenden Instrumentenpark des MLZ werden sie im Rahmen ihres "second life" dort wieder in den Nutzerbetrieb überführt. Dadurch erhöht sich die Kapazität der Messzeittage, die den Nutzern am MLZ zur Verfügung steht, und es können auch völlig neuartige Experimente durchgeführt werden.

Die Überführung der beiden Instrumente nach Garching wurde innerhalb der Projektlaufzeit erfolgreich abgeschlossen. Anschließend wurden die notwendigen Anpassungen und Optimierungen für den Einsatz am MLZ - auch durch die Beschaffung neuer Komponenten - durchgeführt. Die Inbetriebnahme der Instrumente und der Komponenten dauert an. Die Abschirmung SR8 und die Neutronenoptik, die die Instrumente FIREPOD, ERWIN und SPODI mit Neutronen versorgen wird, wurde beschafft.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

Bericht

1 Aufgabenstellung und Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Im Rahmen des HZBT-Projektes sollen die beiden Neutronenstreuinstrumente V2 / FLEXX und E9 / FIREPOD vom Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) an das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ) in Garching umgezogen werden. Beide Instrumente waren bis Ende 2019 am Forschungsreaktor BER II im Nutzerbetrieb und nach ihrem Aufbau in Garching sollen sie am MLZ wieder in den Nutzerbetrieb überführt werden.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die beiden Instrumente V2 / FLEXX (kaltes Drei-Achsen-Spektrometer) und E9 / FIREPOD (**FI**ne **RE**solution **PO**wder **D**iffractometer; thermisches Pulverdiffraktometer) waren zum Zeitpunkt der Abschaltung des BER II Reaktors in Berlin wissenschaftlich ‚state-of-the-art' und stark nachgefragte Neutroneninstrumente. Deren Messmöglichkeiten sollen der Neutronen Nutzergemeinde erhalten bleiben, und durch entsprechende Anpassungen und den höheren Fluss am FRM II auch neue Messmöglichkeiten eröffnen.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens sowie Kooperation mit Dritten

Mit dem Projektstart hatten die Planungen für den Umzug begonnen. Zusammen mit den Kollegen vom HZB in Berlin wurde eine vollständige Bestandsaufnahme der Komponenten beider Instrumente durchgeführt und die Schnittstellen definiert. Diese dienten als Grundlage für die abzuschließenden Schenkungsverträge zwischen der TUM und dem HZB, welche 2021 unterzeichnet wurden. Im Herbst 2021 wurden die beiden Instrumente im Beisein der Projektbeteiligten vollständig abgebaut und für den Transport nach Garching vorbereitet. Der Transfer der Instrumentenkomponenten beider Instrumente von Berlin nach Garching wurde, bedingt durch die Corona Pandemie und die erforderliche strahlenschutzrechtlichen Freigabe durch die zuständigen Berliner Landesbehörden erst im Herbst 2022 in enger Kollaboration mit dem HZB erfolgreich abgeschlossen.

Abbildung 1: Einer von sechs Containern mit Instrument-Komponenten von LaDiff und FIREPOD wird im November 2022 vor dem „Atom-Ei" auf dem Gelände des FRM II abgeladen.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

Im Verlauf des Jahres 2023 wurde die Funktionsfähigkeit der meisten transferierten Komponenten in Garching getestet. Dies betraf insbesondere die empfindlichen Detektoren und die dezidierte Ausleseelektronik, die von Detektorgruppe getestet wurde. Hierbei wurden eine Reihe von defekten Komponenten identifiziert und die Reparaturen (z.B. zwei der neun Neutronendetektoren von FIREPOD) bzw. die Ersatzbeschaffungen (z.B. spezialisierte Spannungsversorgung für die Detektorelektronik von FIREPOD) beauftragt. Bei einer Reihe von Komponenten wurden die notwendigen Anpassungen für den Einsatz am MLZ in die Wege geleitet.

Die Monte-Carlo Simulationen zur Optimierung der Neutronenoptik an den beiden Strahlrohren SR8a und SR8b wurden in 2021 erfolgreich abgeschlossen, und die sich daraus ergebenden Beschaffungen neutronenoptischer Komponenten wurden ab 2021 initiiert. Durch die neue Primäroptik am SR8a wird die Charakteristik des bereits vorhandenen Pulverdiffraktometers SPODI als höchstauflösendes Instrument erhalten und sogar leicht verbessert. Gleichzeitig wird die Leistungsfähigkeit von FIREPOD an der neuen Position in Garching als Hochdurchsatz-Instrument für schnelle parametrische Studien optimiert, und im Vergleich zu den ersten Abschätzungen nochmals gesteigert. Als Teil der optimierten primären Neutronenoptik am Strahlrohr SR8, wurde 2021 auch die Auslegung der zusätzlichen Monochromator-Einheiten abgeschlossen, die im Rahmen des Umbaus der biologischen Abschirmungen am Strahlrohr SR8 neu installiert werden sollen. Neben dem in Berlin verwendeten Ge(511) Monochromator, der in Garching an FIREPOD verwendet werden wird, wird der ERWIN Strahlplatz an SR8b durch die Option für zusätzliche HOPG(002) und Ge(511) Monochromator-Einheiten für unterschiedliche Take-off Winkel erweitert werden. Dadurch wird eine maximale Flexibilität für die wachsenden Anforderungen zukünftiger Nutzer-Experimente erreicht. Die Beschaffung der entsprechenden spezialisierten Kristalle, der zugehörigen Fokussiereinheiten und der notwendigen Monochromator-Goniometer für die verschiedenen Positionen wurde in 2021 initiiert und die Komponenten wurden bis 2023 geliefert.

Für die neue primäre Neutronenoptik am SR8 wurden zudem die Neutronenleiter (d.h. die beschichteten Glaselemente) für SR8a (SPODI, FIREPOD) und SR8b (ERWIN) in 2022 beauftragt. Die neuen Leiter vergrößern den Neutronenfluss an den beiden Instrumenten FIREPOD und ERWIN deutlich bzw. im Falle des Instruments SPODI bleibt er stabil. Dies ermöglicht in Zukunft deutlich kürzere Messzeiten und somit eine höhere Zahl von Nutzerexperimenten. Die extern vergebenen Leitersegmente wurden 2024 geliefert. Weitere neutronenoptische Komponenten wie Primär- und Sekundärkollimatoren, (Proben)-Blenden und Strahlverschlüsse, d.h. die weiteren Komponenten zur Strahlkonditionierung der drei Instrumente wurden spezifiziert und das detaillierte technische Design erstellt. Diese werden innerhalb der Abschirmburgen eingebaut und ermöglichen eine jeweils unabhängige Strahlkonditionierung bzw. -geometrie für alle drei Instrumente. Die hierfür nötigen Zukaufteile wurden in 2021 und 2022 geliefert, ebenso das neue Zwei-Kreis-Probengoniometer für FIREPOD, das an die FRM II Probenumgebungen angepasst ist. Für die Detektorbank von FIREPOD wurde außerdem in 2022 der oszillierende Radialkollimator durch entsprechende Simulationen optimiert und beschafft. Dieser dient der Minimierung des Untergrundes während der Messungen, lässt aber gleichzeitig genügend Platz für sehr große Probenumgebungen. Damit werden neuartige Experimentiermöglichkeiten im Vergleich zu den Instrumenten SPODI und ERWIN geschaffen, die größere Probenumgebungen aus Platzgründen nicht verwenden können.

Weiterhin wurden die Spezifikation der zu erneuernden Detektorelektronik der acht DENEX DN300 Detektoren, die in Berlin im Einsatz waren, in Zusammenarbeit mit der Detektorgruppe sowie der Instrumentensteuergruppe am FRM II/MLZ erarbeitet, um die Erneuerung entsprechend der MLZ Standards durchzuführen Für die Integration der acht DENEX DN200 Detektoren in die Garchinger Instrumentsteuerung wurde die Spezifikation durch alle beteiligten Gruppen am HZB und FRM II / MLZ gemeinsam bearbeitet. Die entsprechenden Bestellungen für die Detektorelektronik, Datenerfassung und Instrumentsteuerung wurden in 2021 in die Wege geleitet und die Komponenten wurden in 2022 und 2023 geliefert. Zudem wurde 2023 die Fertigung und Montage der neuen Detektorbank von FIREPOD in Auftrag vergeben, welche an die neuen örtlichen Gegebenheiten am MLZ angepasst ist. Insbesondere

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

muss die Detektorbank von FIREPOD im Vergleich zum Aufbau in Berlin spiegelverkehrt positioniert werden und die Detektoren werden in einem festen Abstand von der Probe fixiert. Durch die Neukonstruktion sind im Vergleich zur ursprünglichen HZB Konstruktion deutliche Verbesserungen im Hinblick auf Reproduzierbarkeit der Justage und des Untergrundsignals zu erwarten. Beim Design des neuen Detektorsupports wurden die praktischen Erfahrungen während des Messbetriebs des Instruments in Berlin berücksichtigt und bewährte Design-Komponenten von ähnlichen Instrumenten am MLZ, insbesondere ERWIN, übernommen. Die Detektorbank wurde in 2024 geliefert und zusammen mit den weiteren Instrument-Komponenten wie dem Probentisch und der Sekundäroptik auf dem dezidierten FIREPOD Experimentierplatz am Strahlrohr SR8a aufgebaut.

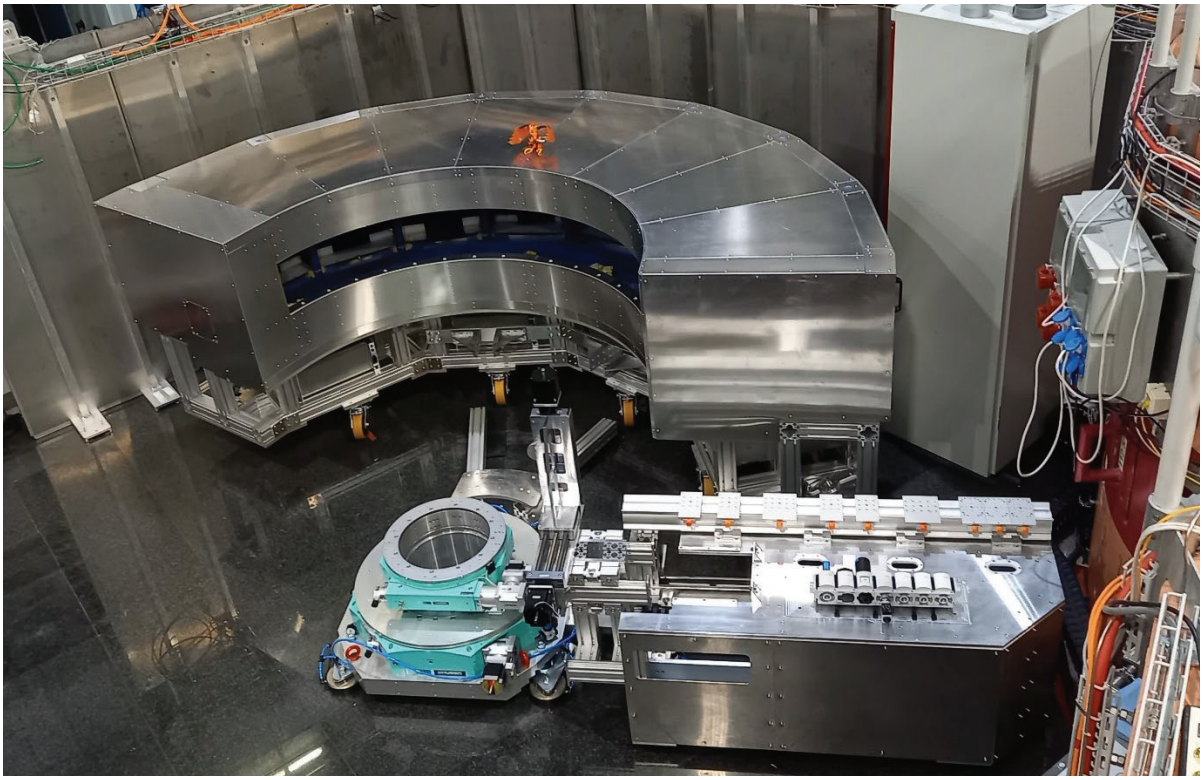

Abbildung 2: Das Hochdurchsatz-Pulverdiffraktometer FIREPOD auf seinem dezidierten Platz am thermischen Strahlrohr SR8a des FRM II in Garching nach Abschluss des Transferprojektes

Eine weitere Effizienzsteigerung im zukünftigen Nutzerbetrieb wird durch den in 2023 für FIREPOD beschafften Roboter erwartet. Dieser 6-Achsen-Roboterarm mit kombiniertem Greifer-Arm soll als automatisierter Probenwechsler dienen und so die Messung mit einem schnellen Durchsatz großer Probenserien mit minimaler Nutzer-Beteiligung ermöglichen. Dies ist insbesondere bei Rapid-Access- und Remote-Access Messungen von essentieller Bedeutung. Bei der Auswahl des Roboterarms wurde darauf geachtet, dass dieser in Zukunft auch für schnelle automatisierte Probenwechsel bei tiefkalten oder sehr hohen Temperaturen dienen kann. In 2024 wurde mit der Integration des Roboterarms in die am FRM II verwendete Instrument-Steuerungssoftware NICOS und ersten Tests begonnen, die bislang sehr erfolgreich verliefen.

Die Monte-Carlo Simulationen der neuen biologischen Abschirmung der Strahlrohre SR8a und SR8b wurde in 2021 begonnen. Dies beinhaltet das konzeptionelle Design der biologischen Abschirmung unter Berücksichtigung der räumlichen Randbedingungen und der zu erwarteten Kosten. Diese Arbeiten wurden in 2022 nach einer finalen Begutachtung des Designs erfolgreich abgeschlossen. Diese neue Abschirmung umschließt die gesamte primäre Neutronenoptik der drei Instrumente SPODI, ERWIN und

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

FIREPOD und wird in Zukunft deren gleichzeitigen und unabhängigen Betrieb am Strahlrohr SR8 ermöglichen. Dazu wurde der Programmcode SERPENT 2 benutzt und die räumlichen und infrastrukturellen Randbedingungen (z.B. Bodenlasten in der Experimentierhalle) berücksichtigt. Bei der Optimierung der Konstruktion wurde auf ein kosteneffizientes Design, sowohl im Hinblick auf den erstmaligen Aufbau als auch bezüglich zukünftiger Umbauten, Weiterentwicklungen bzw. Entsorgung zu einem späteren Zeitpunkt geachtet. Als optimal erwies sich ein Konzept, das hauptsächlich aus einfach zu produzierenden Sandwichblöcken aus alternierenden Stahl- und BorPE-Platten besteht. An Positionen, an denen nur eine geringere Abschirmwirkung notwendig ist, wird stattdessen auf kostengünstige Stahlbehälter, gefüllt mit Normalbeton zurückgegriffen. Im Bereich der Monochromatoren werden ebenfalls Stahlbehälter, gefüllt mit einer speziell am FRM II entwickelten einzigartigen Stahl/Ferrobor/Paraffin-Mischung, eingesetzt, da hier der Einsatz von Plattenmaterial aufgrund der Geometrie eingeschränkt ist. Nach der detaillierten Konstruktion wurde 2023 das umfangreiche Vergabeverfahren für die Fertigung und Lieferung der neuen biologischen Abschirmung für das Strahlrohr SR8 erfolgreich durchgeführt. Der finale Zuschlag und die Vertragsunterzeichnung in diesem Vergabeverfahren wurde im Februar 2024 erteilt und die Lieferung der gesamten Abschirmung erfolgte Mitte Dezember 2024. Über die Design-Studien und Monte-Carlo Simulationen, die zu der neuartigen und kosteneffizienten Konstruktion der Abschirmung führten, wurden im Verlauf von 2023 mehrere Beiträge auf nationalen und internationalen Konferenzen gehalten[4-7].

Abbildung 3: Die neue biologische Abschirmung für die optimierte primäre Neutronenoptik am Strahlrohr SR8 während der ersten Werksabnahme im Oktober 2024 bei der ausführenden Firma MShield

Im Gegensatz zur ursprünglichen Planung wurde die momentan am Strahlrohr SR8 vorhandenen Abschirmburg bisher nicht abgebaut. Entgegen der ursprünglichen Abschätzung sind mehr Steine aktiviert, die Entsorgung dieser Steine ist nicht Teil der HZBT Projektes, aber die Voraussetzung für den Abbau- bzw. Neubau von SR8. Diese Planänderung und die damit verbundene Änderung der Projektziele wurde bereits im September 2023 angezeigt. Demzufolge erfolgt der Aufbau von FIREPOD in einem ersten Schritt an der bestehenden Abschirmung, so dass die Inbetriebnahme und die ersten wissenschaftlichen Messungen mithilfe des vorhandenen SPODI-Monochromators durchgeführt werden. Bei der Konstruktion wurde auf eine flexible Bauweise geachtet, die den Betrieb von FIREPOD sowohl an der aktuellen als auch der geplanten neuen SR8-Abschirmung ohne größere Anpassungen ermöglicht. Alle zukünftigen Betriebsszenarien sind so mit minimalen Umbauten am Instrument FIRPOD und in kurzer

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

Zeit realisierbar. Da FIREPOD im Vergleich zu SPODI durch seine acht großen Flächendetektoren bereits mit der bestehenden primären Neutronenoptik Messungen bis zu zehn Mal schneller durchführen kann, können bereits durch diesen ersten Schritt erhebliche Kapazitätsgewinne erzielt werden, allerdings nur im Wechselbetrieb mit dem Instrument SPODI. Im Vergleich zu SPODI hat FIREPOD eine geringe Winkelauflösung, d.h. die Wahl des Instrumentes wird von der jeweiligen Fragestellung bestimmt werden.

Für das Instrument LaDiff wurde 2021 die Auslegung des Monochromators betrachtet. Im Gegensatz zu der Position von V2/FLEXX in Berlin ist der vorgesehene Platz für das Instrument am NL6 in der Neutronenleiterhalle West in Garching keine Endposition, und die Interferenz mit den nachfolgenden Instrumenten musste daher minimiert werden. Die Beschaffung der dünneren Monochromator Kristalle für die ‚schlankere' Mechanik zum Einbau in den NL6 wurde 2022 abgeschlossen. Weiterhin wurde in 2021 mit den Vorbereitungen zum Umbau des NL6 begonnen, insbesondere den Abbau des NL6N (ehemalig MIRA 1) und dem Austausch des Weichenelementes im Neutronenleitersystem. Dies ist nicht direkt Teil des Umzugsprojektes, aber eine wichtige Voraussetzung, um den Platz für den Aufbau von LaDiff entsprechend vorzubereiten. Weiterhin wurden erste Arbeiten für das Upgrade der Larmor-Option von LaDiff getroffen und die Beschaffung der Breitband Hochfrequenzverstärker für die Neutronen-Spinechospektrometer Option wurde ausgelöst.

Die Monte-Carlo Simulationen der Neutronenoptik für LaDiff wurden ebenfalls 2022 durchgeführt, mit besonderem Schwerpunkt auf der Auslegung des Polarisators, der das Instrument mit polarisierten Neutronen versorgt. Diese Arbeit wurde in einem Fachjournal veröffentlicht [1]. Der optimierte Polarisator wurde dann 2023 beschafft.

Parallel wurden Abschirmrechnungen durchgeführt, um den Aufbau und die Zusammensetzung der biologischen Abschirmung zu finalisieren. Dies ist ein iterativer Prozess, in dem das konzeptionelle Design der Monochromatorburg (Anpassung V2/FLEXX Burg) und der Instrumentenabschirmung schrittweise bezüglich der Abschirmwirkung, der einzuhaltenden Bodenlasten und der Kosten optimiert wird. Hierfür wurde zunächst der zu erwandernde Neutronenfluss mit der Geometrie der Monochromator Abschirmburg des Instruments V2/FLEXX simuliert, um die Dosisleistung beim Einsatz am NL6 zu ermitteln. Wie erwartet lag diese für eine nicht modifizierte Burg weit über den zulässigen Strahlenschutz-Grenzwerten. Da der Platz innerhalb der V2/FLEXX Monochromator-Abschirmung sehr begrenzt ist und die äußeren Maße unverändert erhalten werden sollen, um die mobilen Abschirmblöcke weiter nutzen zu können, musste sich eine Modifikation der Burg auf die gegebenen Abmessungen beschränken. Hierfür wurden Monte Carlo Simulationen mit Hilfe von McStas und MCNP durchgeführt, um unter Berücksichtigung der geometrischen Randbedingungen die beste Konfiguration für die erforderliche Abschirmwirkung zu ermitteln. Es konnte eine Sandwichstruktur aus BorPE und Blei gefunden werden, welche die Dosisleistungswerte ausreichend reduzieren wird. Technisch wird dies durch einen Umbau des inneren Aufbaus der FLEXX Burg erzielt. Die Ergebnisse der Simulationen wurden Anfang 2023 im Fachjournal NIM-A veröffentlicht [2]. Darauf aufbauend erfolgte die konstruktive Anpassung der FLEXX Monochromatorabschirmung an die radiologischen Bedingungen am FRM II. Dazu wurde das Model aus der Monte-Carlo Simulation in ein 3D-CAD Model überführt und alle dazu nötigen technischen Zeichnungen erstellt. Auf Basis dieser wurden neue pneumatisch getriebene Abschirmelemente extern gefertigt. Diese wurden in die vorhandene Monochromatorburg eingebaut und feinjustiert. Ebenso wurde die Sandwich-Konstruktion aus BorPE und Blei im Inneren der Burg fertiggestellt. Das Konzept für die Schnittstelle der Neutronenleiterabschirmung zur Monochromatorburg, dass sich aus den Monte Carlo Simulation ergibt, wurde ebenfalls in das 3D-CAD Model überführt und die notwendigen zusätzlichen Komponenten gefertigt.

Die Mechanik von FLEXX für die Bewegung des Spektrometers, wurde gereinigt und neu zusammengebaut. Dabei wurde der Antrieb und die dazu nötige Mechanik neu konzipiert, hergestellt und eingebaut. Die Anpassung der Motorsteuerung an FRM II Standards wurde vorbereitet, und die nötigen Motoren sind alle in 2022 und 2023 geliefert worden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

Im Anschluss daran wurde mit dem detaillierten Design und der technischen Realisierung der Experimentierfeldabschirmung begonnen. Das 3D CAD-Model der Experimentierfeldabschirmung wurde in eine kombinierte McStas / MCNP Simulation integriert, um die Aktivierung der Abschirmung im Neutronenfeld zu berechnen. Darauf aufbauend wurde die die Berechnungen der Baustatik in Zusammenarbeit mit einem extern Statikbüro durchgeführt und die sich daraus ergebende Änderungen in das Design übernommen. Die Ausschreibung für diese Abschirmung ist nun Anfang Februar 2025 geplant. Innerhalb dieser Ausschreibung werden die detaillierte Fertigungskonstruktion, die Herstellung und der Aufbau der Experimentierfeldabschirmung realisiert. Der Aufbau soll in der zweiten Jahreshälfte 2025 begonnen werden.

Abbildung 4: Funktionstest des MultiFLEXX Detektor im betriebsbereiten Zustand.

Parallel dazu wurden die vorbereitenden Arbeiten für die Verlegung des Tanzbodens an dem für LaDiff vorgesehenen Experimentierfeld durchgeführt. Die bisher durch das Instrument MIRA genutzte Fläche wurde freigeräumt und der Estrich des Bodens entfernt. Die Verlegung der Platten des Tanzbodens ist für Q1 2025 geplant.

Die Planung für das eigentliche Spektrometer wurde weiter detailliert. Die Mechanik des Probentisches und die Monochromatormechanik wurden konstruiert. Ebenso wurde die Überarbeitung der Elektronik des Multi-Analysators von FLEXX begonnen. MultiFLEXX wird an LaDiff weiterbetrieben und muss dazu an FRM II Standards angepasst und in die Instrumentsteuerung integriert werden. Dies beinhaltet die Konzeptentwicklung der Detektordatenauslese und die Einbindung in die am FRM II verwendete Instrumentsteuerungsoftware NICOS. Dies konnte 2024 abgeschlossen werden und ein vollständiger Test mit einer Neutronenquelle durchgeführt werden (siehe Abbildung 4).. Damit ist der MultiFLEXX Detektor am FRM II betriebsbereit.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

4 Verwendung der Zuwendung (wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises, z. B. Investitionen, Personalmittel)

Investitionen für beide Instrumente:

1: Transfer der Instrument -Komponenten beider Instrumente von Berlin nach Garching

Totale Kosten 123 kEUR brutto, davon 123 kEUR aus Projektmitteln bezahlt, Bewilligt wurden 100 kEUR, je 50 kEUR pro Instrument.

FIREPOD- Investitionen:

1: Neue Biologische Abschirmung SR8

Totale Kosten 2063 kEUR brutto, davon 1273 kEUR aus Projektmitteln bezahlt, Differenz vom FRM II übernommen. Bewilligt wurden 1300 kEUR. Die Kostensteigerung wurde vor allem durch den starken Anstieg der Rohstoffpreise (insbesondere Stahlpreis) als Folge des Ukraine-Krieges verursacht.

2: Neue Monochromatoren samt Goniometern

Totale Kosten 629 kEUR, davon 629 kEUR aus Projektmitteln bezahlt. Bewilligt wurden 580 kEUR

3: Neue Neutronenleiter SR8 und zugehörige Primäroptik

Totale Kosten 457 kEUR, davon 457 kEUR aus Projektmitteln bezahlt. Bewilligt wurden 510 kEUR

4: Anpassung der Sekundäroptik und des Probentischs

Totale Kosten 143 kEUR, davon 143 kEUR aus Projektmitteln bezahlt. Bewilligt wurden 140 kEUR

5: Optimierung der Detektorbank, Detektorelektronik und der Instrumentsteuerung

Totale Kosten 611 kEUR, davon 611 kEUR aus Projektmitteln bezahlt. Bewilligt wurden 304 kEUR

Die Kostensteigerung wurde unter anderem durch eine bei Projektstart ungeplant notwendige Reparatur zweier defekter Detektoren und eine bei Projektstart ungeplante Ersatzbeschaffung für defekte Ausleseelektronik verursacht. Außerdem stiegen die Kosten für die Optimierung der Detektorbank durch sehr stark gestiegenen Rohstoffpreise (insbesondere für boriertes PE) als Folge des Ukraine-Krieges.

LaDiff- Investitionen:

1: Upgrade der Monochromatorabschirmung von V2 Flexx auf die Anforderungen für LaDiff

Totale Kosten 90 k€, davon 90kEUR aus Projektmitteln bezahlt. Bewilligt wurden 300 kEUR, die eingesparten Mittel wurden teilweise für den Polarisator verwendet (siehe Punkt 2)

2: Auslegung und Beschaffung des Polarisators von LaDiff

Totale Kosten 225 kEUR, davon 225 kEUR aus Projektmitteln bezahlt. Bewilligt waren 100 kEUR. Aufgrund des Designs der Monochromatorabschirmung war ein kompakter Polarisator nötig, welcher teurer als veranschlagt war. Dafür konnte bei der Monochromatorabschirmung deutlich gespart werden.

3: Beschaffung von neuen Monochromatorkristallen

Totale Kosten 80 kEUR, davon 80 kEUR aus Projektmitteln bezahlt. Bewilligt waren 95 kEUR.

4: Elektronik für Instrumentsteuerung, Detektor und Larmor Diffraktion

Totale Kosten 250 kEUR, davon 250 kEUR aus Projektmitteln bezahlt. Bewilligt waren 130 kEUR.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

5: Tanzbodenerweiterung

Totale Kosten 65 kEUR, davon 65 kEUR aus Projektmitteln bezahlt. Bewilligt waren 70 kEUR.

6: Radiologische und statische Auslegung der Experimentierfeldabschirmung

Totale Kosten 95 kEUR, davon 95 kEUR aus Projektmitteln bezahlt. Bewilligt waren 450 kEUR. Die Abschirmung ist noch nicht errichtet und wird voraussichtlich 500 kEUR kosten. Dies wird vom FRM II übernommen.

7: Upgrade auf MLZ-Standards

Totale Kosten 85 kEUR, davon 85 kEUR aus Projektmitteln bezahlt. Bewilligt waren 74 kEUR.

5 Erzielte Ergebnisse mit Gegenüberstellung der vereinbarten Ziele

Durch die Corona Pandemie Situation war der Zugang zum HZB für Besucher von 2020 bis Ende 2021 nur sehr eingeschränkt möglich. Gleichzeitig wurden Dienstreisen auf Seiten des FRM II im selben Zeitraum nur in dringenden Fällen genehmigt. Da es für den erfolgreichen Wiederaufbau beider Instrumente unerlässlich war, den Abbau am HZB im Beisein der Projektbeteiligten durchzuführen, erfolgte dieser erst im Herbst 2021. Dadurch, sowie durch die anschließende zeitintensive strahlenschutzrechtliche Freigabe durch die zuständigen Berliner Landesbehörden verzögerte sich der Transfer der Komponenten beider Instrumente von Berlin nach Garching auf den Herbst 2022. Also Folge davon konnte die notwendige Prüfung der Funktionsfähigkeit der Komponenten und ggf. notwendige Reparaturen bzw. Ersatzbeschaffungen erst ab Anfang 2023 durchgeführt werden. Diese - sowie die von Beginn an im Rahmen des Projektes geplanten Neu-Beschaffungen, wurden zudem durch deutlich verlängerte Lieferzeiten und substanziell gestiegene Preise (beides eine Folge der Corona-Pandemie sowie des Ukraine-Krieges ab 2022) beeinträchtigt, was zu weiteren Verzögerungen im Vergleich zum Projektplan führte.

Im Gegensatz zum Projektplan wurde die aktuelle SR8 Abschirmung aufgrund deren stärker als erwarteten Aktivierung bislang nicht abgebaut. Dies kann erst nach der endgültigen Klärung der sich daraus ergebenden Entsorgungsproblematik erfolgen. Diese Planänderung und die damit verbundene Änderung der Projektziele wurde bereits im September 2023 angezeigt. Demzufolge erfolgt der Aufbau von FIREPOD in einem ersten Schritt an der bestehenden Abschirmung.

Aufgrund der zeitlichen Verzögerung durch die Bodenlegearbeiten für den Tanzboden von LaDiff konnte das Instrument im Projektzeitraum nicht vollständig aufgebaut werden. Die statische Auslegung der Experimentierfeldabschirmung verzögerte die zeitgerechte Ausschreibung und Fertigstellung. Beides erfolgt nun in 2025.

6 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Nach der Integration in den bestehenden Instrumentenpark des MLZ werden die beiden Instrumente im Rahmen ihres "second life" auch dort wieder in den Nutzerbetrieb überführt. Auf diese Weise werden stark nachgefragte und wissenschaftlich auf dem neuesten Stand befindliche Instrumente weiter für die Nutzergemeine zur Verfügung vorgehalten werden. Hierfür sind die entsprechenden Anpassungsarbeiten für die Integration in die bestehende Infrastruktur am FRM II / MLZ erfolgt. Nur so ist eine angemessene Weiternutzung der Instrumentenkomponenten an der leistungsstärksten deutschen Neutronenquelle gewährleistet. Dadurch erhöht sich die den Nutzern zur Verfügung stehende Meßzeit am MLZ und es können auch völlig neuartige Experimente durchgeführt werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

7 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die weitere Nutzung der beiden Instrumente E9 und V2 aus Berlin sind nun in modernisierter Version am FRM II möglich. Somit wurde ein wichtiger Teil der Instrumentierung für die Nutzergemeide sichergestellt. Die am MLZ verfügbare Meßzeit für Nutzer wird deutlich erhöht und es können auch völlig neuartige Experimente durchgeführt werden.

8 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Keine

9 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

9.1 Referierte Publikationen (z. B. in Fachzeitschriften oder -büchern und referierte Konferenzproceedings)

[1] J. Xu, M. Atterving, M. Skoulatos, A. Ostermann, R. Georgii, T. Keller, P. Böni, NIMA **1031**, 166526 (2022)

[2] F. Grünauer, T. Keller, R. Georgii, M. Hertwig, M. Skoulatos, NIMA **1047**, 167854 (2023)

[3] F. Grünauer, T. Keller, R. Georgii, M. Skoulatos, JINST **19**, P07001 (2024)

9.2 Andere Veröffentlichungen (z. B. Konferenzbeiträge wie Vorträge und Poster, unreferierte Proceedings, Conference Notes)

[4] D. Bonete-Wiese; C. Hauf; C. Reiter, **First steps of a Serpent-McStas coupling for the optimization of experimental facilities at FRM II during conversion.** *The International Conference on Mathematics and Computational Methods Applied to Nuclear Science and Engineering, Niagara Falls, Ontario, Canada, 13-17 August 2023.*

[5] D. Bonete-Wiese; C. Hauf; C; Reiter, **Initial Steps in a Serpent-McStas Two-Way Coupling and its Potential Applications at FRM II.** *International Conference on Physics of Reactors, San Francisco USA, 21–24 April 2024.*

[6] C. Hauf, D. Bonete-Wiese, M. Grujovic, M. Hölzel, C. Reiter, A. Senyshyn, **Monte-Carlo simulations of the new radiation shielding at the thermal beamport SR8 at FRM II with Serpent 2.** *Eighth **European Conference on Neutron Scattering, Garching,** 20-23 März 2023.*

[7] C. Hauf, D. Bonete-Wiese, M. Grujovic, M. Hölzel, C. Reiter, A. Senyshyn**, Monte-Carlo simulations of the new radiation shielding at the thermal beamport SR8 @ FRM II with Serpent 2.** *6th International Workshop on Neutron Delivery Systems, Grenoble, Frankreich, 10-12 Juli 2023.*

9.3 Abschlussarbeiten (Bachelor, Master, Diplom, Staatsexamen, Promotion, Habilitation)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.