

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

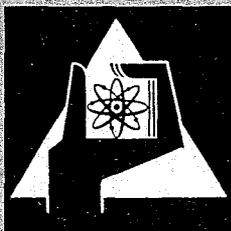
Juli 1966

KFK 488

Institut für Angewandte Kernphysik

Das Karlsruher Präzisions-Kristallspektrometer für Neutronen

E. Albold



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

Das Karlsruher Präzisions-Kristallspektrometer für Neutronen The Karlsruhe precision crystal-spectrometer for neutrons

Von E. Albold Aus dem Institut für Angewandte Kernphysik, Kernforschungszentrum Karlsruhe

1. Einleitung

1.1 Physikalische Einführung

Neutronenkristallspektrometer dienen zur Abtrennung monoenergetischer Neutronen wählbarer Energie aus einem Reaktorstrahl. Ein Kristall mit Gitterebenen im Abstand d kann aus einem Neutronenbündel nur die Neutronen kohärent heraus streuen, die gleichzeitig das Reflexionsgesetz (Fig. 1)

$$\alpha = \beta \quad (1)$$

und die Braggsche Interferenzbedingung

$$\sin \vartheta = \frac{n \lambda}{2d} \quad (2)$$

erfüllen, wobei lediglich die 1. Ordnung ($n = 1$) für die weiteren Betrachtungen wesentlich ist. Für den Zusammenhang zwischen Wellenlänge λ , Masse m und Energie E der Neutronen gilt

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} \quad (3)$$

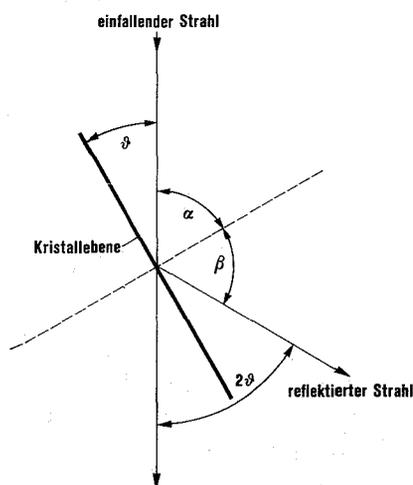


Fig. 1: Der Strahlengang bei der Neutronenreflexion in Kristallen

Fig. 1: The beam path by the neutron reflection in a crystal

(h Wirkungsquantum). Die unter dem Winkel 2ϑ abgelenkten Neutronen haben demnach die Energie

$$E = \frac{1}{8m} \left(\frac{nh}{d \sin \vartheta} \right)^2 \quad (4)$$

Bei einer Winkeldivergenz $\Delta\vartheta$ des Neutronenbündels befinden sich im Reflex Neutronen mit Energien im Bereich

$$\Delta E = 2 \frac{\cos \vartheta}{\sin \vartheta} \Delta\vartheta \cdot E \quad (5)$$

1.2 Aufbau eines Kristallspektrometers

Ein Kristallspektrometer besteht grundsätzlich aus

1. einem Primärkollimator mit der Winkeldivergenz $\Delta\vartheta_1$,
2. einem Monochromatorkristall, dessen zur Reflexion benutzte Gitterebenen den Winkel ϑ zur Neutroneneinfallrichtung haben, und
3. der Versuchsanordnung für die monoenergetischen Neutronen im Winkel 2ϑ zur Neutroneneinfallrichtung.

Die am meisten verwendeten Sollerkollimatoren bestehen aus vielen parallelen Kanälen der Breite b_1 und der Länge l_1 . Die Winkeldivergenz der hindurchgegangenen Neutronen beträgt

$$\Delta\vartheta_1 = \frac{b_1}{l_1} \quad (6)$$

Ist der Mosaikspread des Monochromatorkristalls $\Delta\vartheta_2 \geq \Delta\vartheta_1$, so muß zur Erhaltung eines guten Energieauflösungsvermögens vor der Versuchsanordnung ein Sekundärkollimator mit der Winkeldivergenz $\Delta\vartheta_3 \approx \Delta\vartheta_1$ aufgestellt werden. Die Versuchsanordnung wird künftig kurz als Detektor bezeichnet.

1.3 Energiebereich und Auflösungsvermögen

Kristallspektrometer für Neutronen haben ihren günstigsten Energiebereich zwischen 25 meV und 1 eV. Sie sind oberhalb von etwa 10 eV anderen Meßmethoden (z. B. Lauf-

zeitmessungen mit Linearbeschleunigern) unterlegen, da mit steigender Energie die Flußdichte der reflektierten Neutronen stark abnimmt.

Für die Untersuchung enger Resonanzlinien im eV-Bereich (Linienbreite etwa 50 meV) ist eine Gesamtkollimation $\Delta\theta$ von ungefähr $1'$ erforderlich (Fig. 2). Dabei muß die Einstellgenauigkeit des Monochromatorkristalls sehr hoch sein (ungefähr $6''$), wenn größere Meßfehler vermieden werden sollen (Tab. 1).

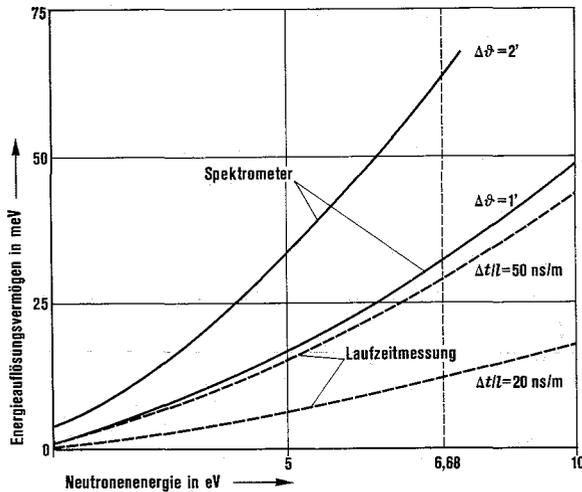


Fig. 2: Das Energieauflösungsvermögen von Kristallspektrometern (Be-2461-Reflex, $d = 0,371 \text{ \AA}$) und Flugzeitspektrometern im eV-Bereich mit der Gesamtkollimation $\Delta\theta$ des Kristallspektrometers bzw. der Auflösung $\Delta t/l$ des Flugzeitspektrometers als Parameter

Fig. 2: The energie resolution ΔE of a crystal spectrometer (Be 2461, $d = 0,371 \text{ \AA}$, parameter is the total collimation $\Delta\theta$) and of a time of flight spectrometer (parameter is the resolution $\Delta t/l$) as function of the energy E

Tab. 1: Die bei gleicher Primär- und Sekundärkollimation ($\Delta\theta_1 = \Delta\theta_3$) in Abhängigkeit von der relativen Kristallfehleinstellung $\bar{\theta}/\Delta\theta_1$ berechnete relative Neutronenintensität

Parameter ist der Mosaikspread $\Delta\theta_2$ des Kristalls

$\frac{\bar{\theta}}{\Delta\theta_1}$	Relative Intensität		
	$\Delta\theta_2 = 0$	$\Delta\theta_2 = 1/2\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2 = \Delta\theta_1$
0	1,000	1,000	1,000
0,1	0,980	0,987	0,993
0,2	0,923	0,948	0,974
0,3	0,835	0,887	0,942

2. Der Aufbau des Kristallspektrometers

Die Konstruktion und die Herstellung der mechanischen Einrichtungen des Spektrometers (Fig. 3 und 4) wurden von der technischen Abteilung des Kernforschungszentrums durchgeführt. Das Spektrometer ist vor dem Kanal C3 des Reaktors FR2 aufgestellt. Es besteht aus einer Grundeinheit, zu der die wichtigsten mechanischen Baugruppen zusammengefaßt sind, aus Zusatzeinrichtungen, die sich speziellen Wünschen entsprechend anpassen oder auswechseln lassen, und aus Steuerungseinrichtungen.

Bei der Grundeinheit trägt das Spektrometergestell die Hohlwelle mit dem Detektorarm, in der die Kristallwelle um die gleiche senkrechte Achse drehbar angeordnet ist. Eine mechanische Kopplung sorgt für die Einhaltung der 1:2-Winkelbedingung für Kristall und Detektor. Die zugehörigen Antriebe mit Positionsmeldern und die Winkelmeßeinrichtungen sind in das Spektrometergestell eingebaut. Der Tisch für die Kristallabschirmung (5 t) ist an der Detektor-

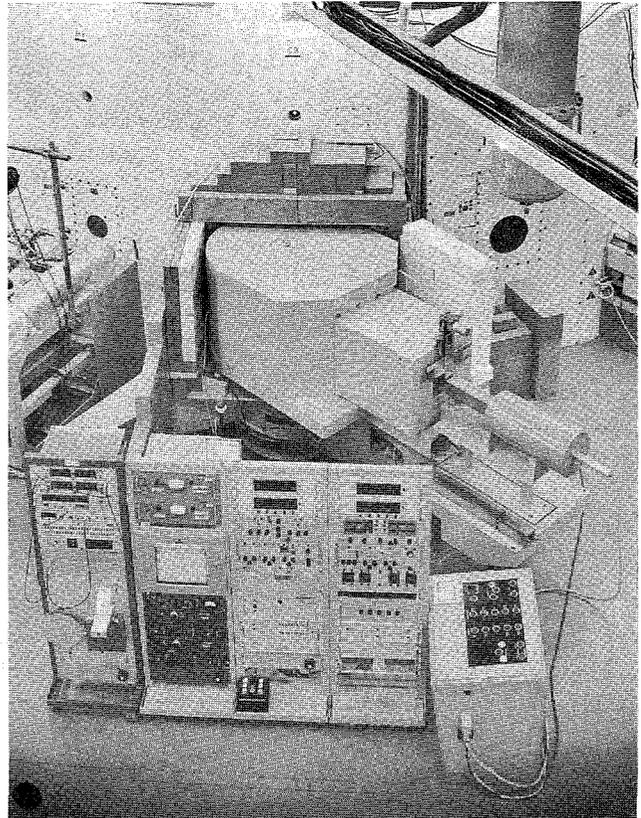


Fig. 3: Das Karlsruher Kristallspektrometer

Fig. 3: The Karlsruhe crystal spectrometer

armwelle befestigt. Zusätzliche Detektorabschirmungen (maximal 5 t) können von einem Wagen aufgenommen werden, der auf einer kreisbogenförmigen Bahn von 4 m Durchmesser um die Spektrometerachse fährt und vom Detektorarm gesteuert wird.

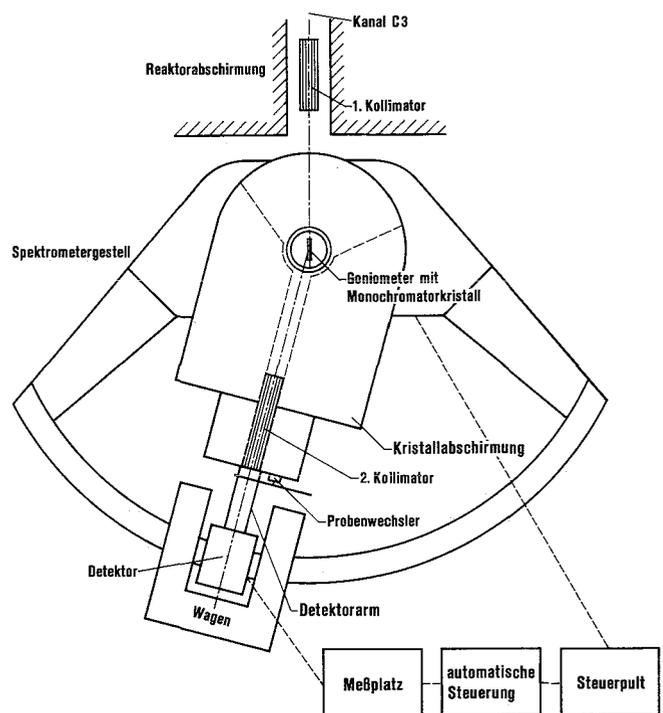


Fig. 4: Skizze der Spektrometeranordnung

Fig. 4: Sketch of the spectrometer

Zu den Zusatzeinrichtungen zählen zwei Kollimatoren, die in den Reaktorkanal und in den Ausgangskanal der Kristallabschirmung eingesetzt werden, das auf die Kristallwelle aufschiebbare Goniometer mit dem Monochromatorkristall, die Kristallabschirmung, der Probenwechsler und die Detektoren. Die aus einem Steuerpult, einem Meßplatz und einer automatischen Steuerung bestehenden Steuerungseinrichtungen sind getrennt aufgestellt.

3. Die Grundeinheit des Spektrometers

3.1 Das Spektrometergestell

Das Spektrometergestell ist als schwere Schweißkonstruktion ausgeführt worden. Durch Rütteln wurde versucht, Materialspannungen auszugleichen. Es kann mit allen Lasten auf 4 drehbar angeordneten Wälzwanen in die richtige Position vor den Reaktorkanal gefahren werden und dort mit Hilfe von 3 in der Höhe verstellbaren Füßen einjustiert werden. Ein weiterer Hilfsfuß dient zum Abstützen der Bahnmitte.

3.2 Der Detektorarmtrieb

Zur Drehung der Detektorarmwelle (Fig. 5) wird über ein Getriebe eine 900 mm lange Präzisionsspindel angetrieben. Auf ihr gleitet eine spielfrei einstellbare Mutter, die mit einem auf Schienen fahrenden Tisch verbunden ist. An den beiden Enden des Tisches sind Stahlbänder befestigt, die gegenläufig zu einem kreissektorförmigen Ansatz der Detektorarmwelle geführt sind. Wird der Bandtisch angetrieben, so wird diese Linearbewegung von den Stahlbändern auf den Umfang des Kreissektors übertragen und somit in eine Drehung umgewandelt.

Übersetzung des Getriebes, Steigung der Spindel und Radius des Kreissektors sind so gewählt, daß bei einer Viertelumdrehung der Getriebeingangswelle eine Drehung der Detektorarmwelle um $6''$ erfolgt. Das Getriebe kann über elektromagnetische Kupplungen von 2 verschiedenen Motoren entweder mit 1 Umdrehung/s ($4 \times 6''/s$) im Normalgang oder mit 10 Umdrehungen/s ($40 \times 6''/s$) im Schnellgang angetrieben werden.

3.3 1:2-Kopplung

Die 1:2-Kopplung (Fig. 5) ist mechanisch durchgeführt worden. Der Übersetzungsfehler ist im gesamten Drehbereich der Detektorarmwelle von 90° nicht größer als $12''$. Lang-

same Temperaturänderungen führen zu keiner wesentlichen Störung der 1:2-Kopplung.

Mittels eines Stahlbandes wird die Drehung der Detektorarmwelle auf eine Hilfswelle übertragen. Die Radien sind so gewählt, daß sich dabei eine Übersetzung von $1:\sqrt{2}$ ergibt. Von der Hilfswelle wird durch Stahlbänder eine in der Detektorarmwelle gelagerte Kopplungswelle wieder mit einer Übersetzung $1:\sqrt{2}$ angetrieben, so daß sich eine Gesamtübersetzung der Kopplungswelle zur Detektorarmwelle von 1:2 ergibt.

3.4 Untergrundantrieb

Mit diesem Antrieb (Fig. 5) kann man Rocking-Kurven aufnehmen, die Kristalle in Reflexstellung bringen und durch Herausdrehen aus der Reflexstellung den Neutronenuntergrund messen. Deshalb wurde dieser Antrieb als Untergrundantrieb bezeichnet.

Die das Goniometer mit dem Monochromatorkristall tragende Kristallwelle ist drehbar in der Kopplungswelle gelagert. An der Kopplungswelle ist ein Getriebe [B1] befestigt, das mittels eines geteilten, vorgespannten kleinen Zahnrads ein 540 mm großes, an der Kristallwelle befestigtes Zahnrad spielfrei antreibt. Tritt es in Tätigkeit, so dreht sich die Kristallwelle zusätzlich zur 1:2-Drehung um den durch das Getriebe verursachten Winkel. Dieses Getriebe wird von einem Motor über 2 verschiedene Vorgelege und elektromagnetische Kupplungen wahlweise mit 1 Umdrehung/s ($4 \times 6''/s$) oder mit 10 Umdrehungen/s ($40 \times 6''/s$) angetrieben.

3.5 Die Positionsmeldung der Antriebe

An die Antriebswelle des Getriebes der Detektorarmwelle und an die Antriebswelle des Untergrundgetriebes sind mit der Übersetzung 1:2,5-Getriebe gekuppelt, die den Drehwinkel in mehreren Stufen jeweils im Verhältnis 1:10 bzw. 1:6 verkleinern, so daß die Einstellung dieser Getriebe den Winkel in Zehntelminuten, Minuten und Grad angibt (Fig. 6).

Die Getriebebestellung wird von kleinen, an den verlängerten Wellen befestigten Magneten auf Schaltkontakte übertragen. Die so gewonnenen elektrischen Winkelwerte, für deren Eindeutigkeit eine elektronische Schaltung sorgt, werden angezeigt und der Datenausgabe zugeführt.

Zum exakten Weiterschalten der niedrigsten Dekade und für die automatische Steuerung befinden sich auf den Antriebswellen 90° -Sektorenscheiben, die die Drehbewegung mit Hilfe von jeweils 2 um 45° gegeneinander versetzten Glühlämpchen und Photozellen elektrisch in $6''$ -Schritten

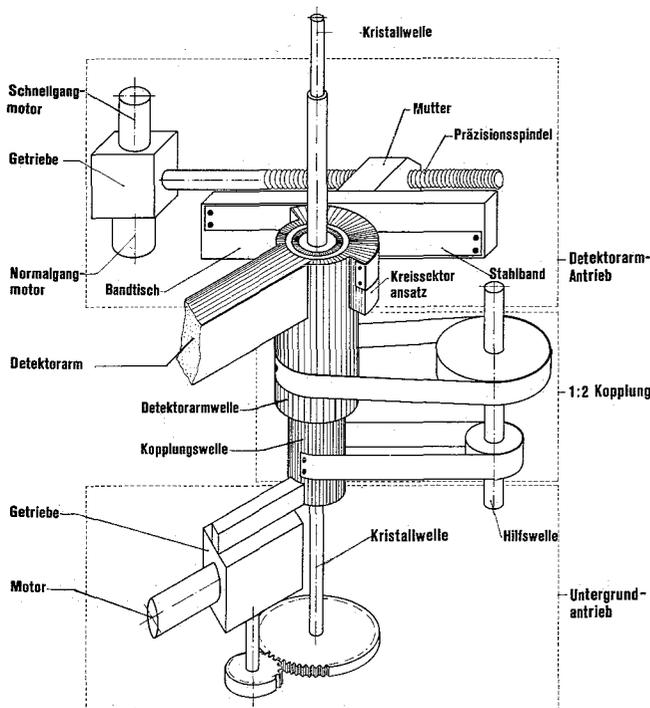


Fig. 5: Schematische Darstellung der Spektrometerantriebe
Fig. 5: Schematic diagram of the driving systems

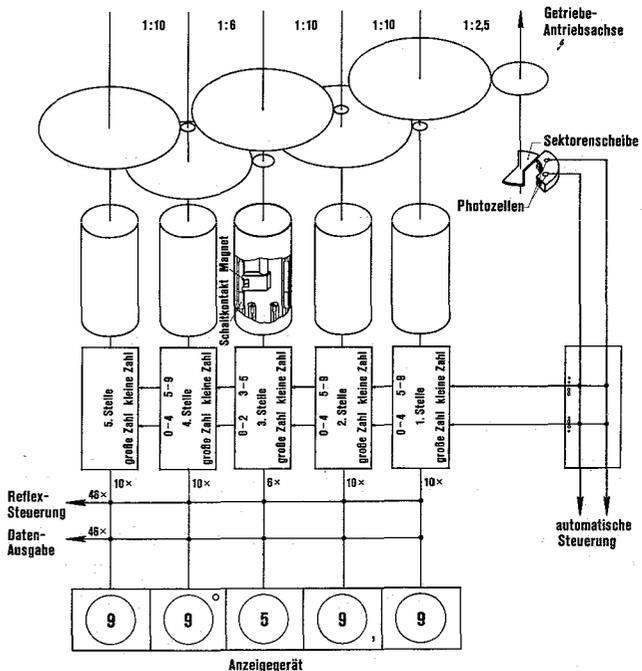


Fig. 6: Schematische Darstellung der Positionsmelder
Fig. 6: Schematic diagram of the angle indicating systems

(Viertelumdrehungen der Getriebeantriebswellen) aufgliedern. An den Positionsmeldern des Untergrundantriebes ist außerdem noch eine elektronische Einheit angeschlossen, mit der es möglich ist, den Untergrundantrieb an einen vorgewählten Winkelwert (Reflexstellung) automatisch heranfahren zu lassen.

3.6 Die Winkelmeßeinrichtungen

Für sehr genaue Untersuchungen ist zusätzlich eine Winkelmeßeinrichtung eingebaut, die frei von Getriebefehlern ist.

Sie arbeitet mit Impulsscheiben [B2], die direkt an der Detektorarmwelle und an der Kristallwelle befestigt und zentriert sind. Die Impulsscheiben sind Glasplatten von 540 mm Durchmesser, auf die eine 12"-Strichteilung metallisch aufgebracht ist. Die Ableseköpfe werden mit Ableseköpfen photoelektrisch abgetastet. Die Ableseköpfe bestehen aus einer Beleuchtungseinrichtung oberhalb der Impulsscheibe und einer direkt unter der Teilung befindlichen Abtastplatte mit zwei um $\frac{1}{4}$ -Strich-Abstand versetzten 12"-Teilungen, unter denen sich hinter Sammellinsen die Photozellen befinden. Sie liefern bei Drehung der Impulsscheibe zwei um 90° phasenverschobene sinusförmige Ströme, die vorwärts- und rückwärtszählende elektronische Zähler [B3] unter Berücksichtigung der Drehrichtung in $6''$ -Schritten antreiben. Der so von den Zählern ermittelte Winkel wird angezeigt und elektrisch dem Meßplatz übermittelt, damit er jederzeit ausgedruckt oder auf Lochband übertragen werden kann. Um die letzten Zentrierfehler ausschalten zu können, sind beide Impulsscheiben mit je zwei diametral gegenüberstehenden Ableseköpfen ausgerüstet. Die Genauigkeit der Teilung läßt es zu, über Strommessungen auf $1''$ genau zu interpolieren. Beim Justieren durchgeführte Messungen mit dieser hohen Genauigkeit zeigten, daß beide Wellen den Antriebsbewegungen kontinuierlich folgten (Schwankungen kleiner als $1''$) und der tote Gang bei Richtungswechsel kleiner als $6''$ war. Auf den Impulsscheiben befinden sich weiterhin alle 10° Marken, die über zusätzliche Ableseköpfe abgetastet werden. Mit dieser Einrichtung können die Winkelzähler nach Spannungsausfall oder Störungen wieder auf den richtigen Wert gestellt werden.

4. Die Zusatzeinrichtungen

4.1 Die Kollimatoren

Um die Kollimation den jeweiligen Bedingungen anpassen zu können (hohe Auflösung oder hohe Intensität), stehen drei Paar Kollimatoren von $17'$, $4'$ und $2'$ Einzelkollimation zur Verfügung.

Bei den feineren Kollimatoren (Fig. 7) bestehen die Lamellen aus weichem Nickelblech von ursprünglich 800 mm Länge, 88 mm Höhe und 0,05 mm Dicke, deren Längsseiten konkav ausgeschnitten sind. An den Enden befinden sich zwischen den Lamellen 10 mm lange, 88 mm hohe und 1 bzw. 0,5 mm dicke Abstandshalter aus hartem AlMg3. Diese Pakete von Lamellen und Abstandhaltern an den beiden Enden werden mit Hilfe von Druckplatten und Druckschrauben in den beiden Spannköpfen der Kollimatoren befestigt und mit Spannschrauben um 2 mm gedehnt. Die für Neutronen durchlässige Fläche dieser Kollimatoren hat 60 mm Höhe und 40 mm Breite. Die an beiden Kollimatorenden im Neutronenweg liegenden Abstandsbleche bedingen einen Neutronenverlust von 17%. Wie Ziehversuche einwandfrei zeigten, läßt sich die Querkrümmung der Lamellenbleche beim eindimensionalen Spannen nur dann genügend klein halten, wenn die Bleche in voller Höhe von den Spannköpfen gefaßt werden. Ausschnitte an den Schmalseiten brachten keinen Erfolg, dagegen waren konkave Ausschnitte an den Längsseiten nützlich.

4.2 Das Goniometer

Das Goniometer dient zur Justierung des Monochromatorkristalls. Es gestattet Drehungen des Kristalls um zwei rechtwinklig zueinander stehende waagerechte Achsen mit einer Genauigkeit von $1'$ auszuführen. Der maximale Drehwinkel beträgt jeweils 40° . Beide Drehachsen liegen 40 mm über den höchsten Bauelementen des Goniometers. Bei richtiger Justierung befindet sich das Goniometer außerhalb des direkten Neutronenfeldes. Die Drehung um die senkrechte Achse wird, wie schon beschrieben, vom Spektrometer selbst mit der notwendigen großen Genauigkeit von $6''$ bewirkt. Das Goniometer kann außerdem zwei rechtwinklig zueinander verlaufende waagerechte Linearbewegungen von maximal 50 mm Länge mit einer Genauigkeit von 0,1 mm durchführen.

Das Goniometer wird von kleinen Gleichstrommotoren bewegt. Die Rückmeldung der Bewegung erfolgt wie bei den Antrieben des Spektrometers photoelektrisch mittels Sektorenscheiben und Photozellenköpfen, die außer

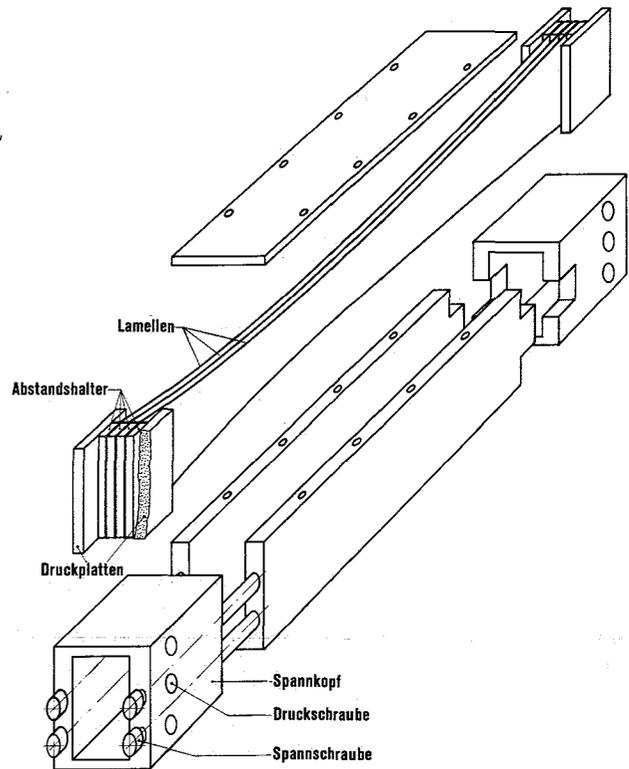


Fig. 7: Prinzip des Aufbaus der Kollimatoren

Fig. 7: The construction of the collimators

der automatischen Steuerung auch noch mechanische vor- und rückwärtszählende Impulzzähler antreiben. Von den Zählern wird die Goniometerstellung direkt in Winkelminuten bzw. in 0,1 mm angezeigt. Trotz der im Goniometer angebrachten vier Antriebe mit Positionsrückmeldung benötigt es selbst bei völlig ausgefahrenen Antrieben nur einen Raum von 200 mm Durchmesser und 110 mm Höhe.

4.3 Der Monochromatorkristall

Als Monochromatorkristall wird ein Be-Einkristall von $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ Größe verwendet. Berylliumkristalle sind, abgesehen vom Diamant, für hohe Neutronenenergien am günstigsten, da sie bei kleinen Gitterabständen sehr große Verhältnisse von kohärentem zu inkohärentem und von kohärentem zu Absorptionswirkungsquerschnitt haben, wodurch sie bei geringem Neutronenuntergrund große Neutronenintensitäten im Reflex liefern. Außerdem haben sie wegen ihrer hexagonalen Struktur den Vorteil, daß eine Reihe der wichtigsten Netzebenen, bei geringer Schwächung der 1. Ordnung (auf 75%), die 2. Ordnung stark reduziert (auf 25%) und die 3. Ordnung völlig unterdrückt. In Tab. 2 sind die wichtigsten Netzebenen dieser Art eingetragen.

Tab. 2: Die wichtigsten Be-Netzebenen und das bei 6,7 eV gemessene Verhältnis der Intensitäten verschiedener Reflexe

I ist die Intensität des Reflexes an der in der ersten Spalte bezeichneten Netzebene,

$I(01\bar{1}1)$ ist die Intensität des Reflexes an der Netzebene $01\bar{1}1$

Netzebene	Gitterabstand 10^{-8} cm	I
		$I(01\bar{1}1)$
$01\bar{1}1$	1,729	100 %
$02\bar{2}1$	0,952	28 %
$12\bar{3}1$	0,731	13 %
$13\bar{4}1$	0,542	5 %
2351	0,450	2 %
2461	0,371	1 %

Zur Resonanzaktivierung, wo höhere Ordnungen nicht stören, kann man auch den 1120-Reflex ($d = 1,14 \cdot 10^{-8}$ cm) verwenden.

5. Die Steuerungseinrichtungen

5.1 Das elektrische Steuerpult

Das Spektrometer läßt sich nur elektrisch bedienen. An das elektrische Steuerpult sind der Detektorantrieb, der Untergrundantrieb mit automatischem Aufsuchen der Reflexstellung, die Motoren des Wagens, der Probenwechsler und die Stromversorgung der gesamten elektronischen Einrichtungen angeschlossen. Das Steuerpult ist gegen gefährliche Fehlschaltungen gesichert. Es läßt sich auf automatischen Betrieb umschalten. Dabei wird es gegen Handbetätigung verriegelt.

5.2 Der Meßplatz

Wegen der Verschiedenartigkeit der Versuche, die mit dem Spektrometer durchführbar sein sollen, müssen recht hohe Anforderungen an den Meßplatz gestellt werden. Als geeignetste Anordnung erwies sich eine Anlage (B 4), die das Ausdrucken und gleichzeitige Ausstanzen auf Lochband derjenigen ihrer maximal 98 Datengeber (Zähler bis 100 MHz Zählfrequenz oder anderer Geräte mit Anpassungseinheiten) gestattet, die durch Kontaktschluß von Schaltern oder von Relais der automatischen Steuerung gekennzeichnet wurden.

Die Einstellung der Kontakte kann vor jedem Ausgabezyklus neu vorgenommen werden. Die Ausgabezeit beträgt für jeden wirklich auszugebenden Kanal 0,2 s und bei Beschränkung auf das Ausstanzen von 6 Stellen 0,1 s.

Die Datenausgabeeinheiten werden rückwirkungsfrei von den Ausgangspotentialen der Datengeber gesteuert. Deshalb können auch ständig eingeschaltete Zähler, wie z. B. die beiden Winkelzähler, angeschlossen werden.

5.3 Die automatische Steuerung

Die automatische Steuerung (Fig. 8) besteht aus einzelnen elektronischen Bausteinen, die an eine gemeinsame Stromversorgung von 24 V angeschlossen sind. Jedem Baustein obliegt die Steuerung einer bestimmten Funktion des Spektrometers. Dazu ist er mit seiner Funktionsgruppe über Befehlsleitungen und Rückmeldeleitungen verbunden. Außerdem besitzt jeder Baustein eine Eingangsleitung, über die er in Tätigkeit gesetzt werden kann, und einen oder mehrere Ausgangsschalter, an die jeweils die Eingänge aller Bausteine angeschlossen sind. Nach erfolgreicher Beendigung der vom Baustein gesteuerten Tätigkeit schaltet sich der Baustein selbst ab und den an seinem Ausgangsschalter gewählten nächsten ein usw. Durch Einstellen der Ausgangswahlschalter wird also die Reihenfolge der vom Spektrometer durchzuführenden Funktionen, das sogenannte Meßprogramm, festgelegt.

Die automatische Steuerung ist mit Bausteinen für die Antriebssteuerung, Reflex- und Untergrundsteuerung, Probenwechslersteuerung, Meßplatzsteuerung und zur Spektro-

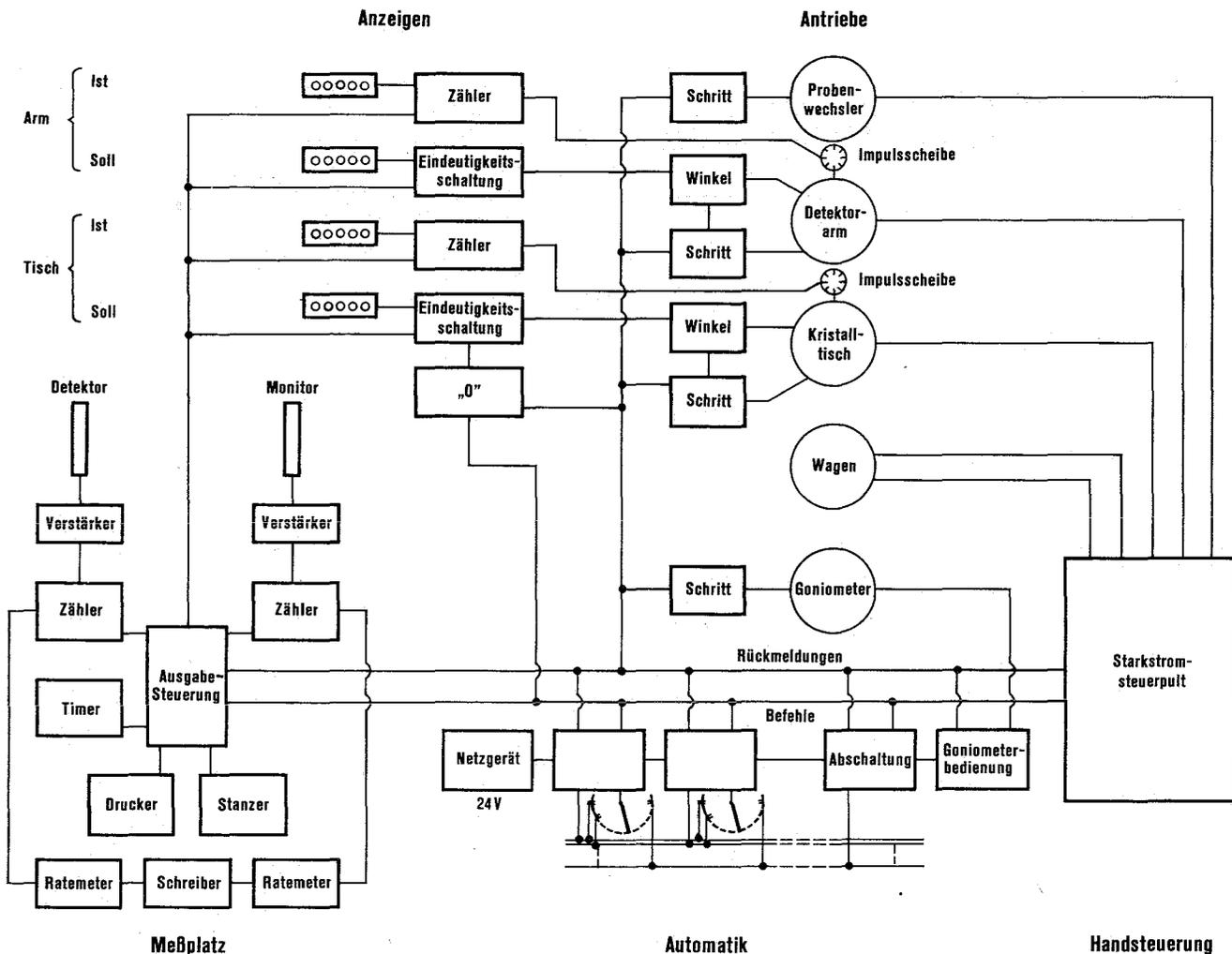


Fig. 8: Blockschaltbild der Spektrometersteuerung und der Datenausgabe

Fig. 8: Block diagram of the control and data output systems

meterabschaltung nach Beendigung der Messung oder bei Störungen ausgerüstet. Außerdem gibt es Steuerbausteine zum Wiederholen und Verzögern von Vorgängen im Meßprogramm. Auch kann die jeweils am Spektrometer aufgebaute Versuchsanordnung mit Hilfe spezieller Steuerbausteine leicht mit in die automatische Steuerung einbezogen werden.

Mit Hilfe von zwei Antriebssteuerungen kann ein zweidimensionales Positionsprogramm automatisch durchgeführt werden. Da die beiden Spektrometerantriebe und die vier Goniometerantriebe bezüglich Ansteuerung und Rückmeldung gleichartig sind, können beide Antriebssteuerungen auf jeden dieser Antriebe umgeschaltet werden. Bei der ersten Antriebssteuerung läßt sich das gewünschte Positionsprogramm von Hand an mechanischen Impulszählern einstellen. Die zweite arbeitet mit Lochbändern, die vom gesteuerten Antrieb vermittelt der über die beiden Rückmeldeleitungen übertragenen Schrittimpulse in der richtigen Richtung mitbewegt werden. Die gerade abgetasteten Löcher im Band geben an, welcher Steuerbefehl in dieser Position an den Antrieb weitergegeben werden soll (Anhalten mit Meßprogramm I oder II, langsam oder schnell weiterfahren, umkehren). Trotz des relativ geringen Aufwandes hat sich diese Lochbandsteuerung als sehr leistungsfähig erwiesen.

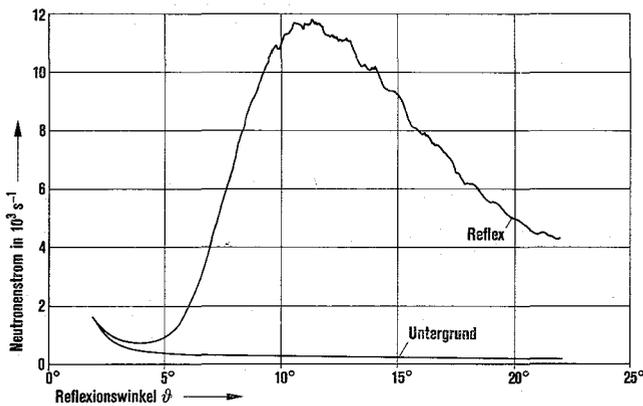


Fig. 9: Der Neutronenstrom als Funktion des Reflexionswinkels beim 111-Reflex eines Ge-Einkristalls von 41 mm Durchmesser und 1 mm Dicke (Reaktorleistung 12 MW, Einzelkollimation 4')

Fig. 9: The neutron flux as function of the reflection angle for the 111 reflex of a Ge single crystal with a diameter of 41 mm and a thickness of 1 mm (reactor power 12 MW, collimation of each collimator 4')

6. Ergebnisse

6.1 Durchgeführte Messungen

Bisher wurden mit dem Spektrometer Aktivierungsmessungen [1, 2], Spaltquerschnittsbestimmungen [3], Messungen von totalen Neutronenquerschnitten und Untersuchungen

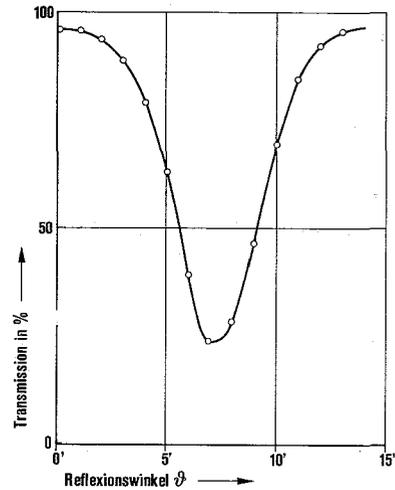


Fig. 10: Die Transmissionskurve eines 0,25 mm dicken Uranbleches bei 4' Einzelkollimation (Be-0221-Reflex)

Fig. 10: The transmission of an uranium sheet (0,25 mm thick) as function of the energy (Be 0221, two 4' collimators)

von Kristallreflektivitäten durchgeführt, die zum Teil an anderer Stelle ausführlicher behandelt sind und auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Bei den Aktivierungen wurden bei einer Reaktorleistung von 12 MW mit dem Be-1120-Reflex und 17' Einzelkollimation Neutronenstromdichten von $5000 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ bei 1,5 eV und von $750 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ bei 9,1 eV erreicht. Zur Zeit werden Messungen der Dopplerbreite von U 238 in Abhängigkeit von der Temperatur durchgeführt. Weiterhin sind Messungen mit polarisierten Neutronen und (n, γ) -Messungen in Resonanzen geplant.

6.2 Meßbeispiele

Einen guten Einblick in die Meßmöglichkeiten mit dem Spektrometer geben Fig. 9 und 10.

Für das einwandfreie Funktionieren des Spektrometers bin ich besonders den Herren Jentzsch und Köpke zu Dank verpflichtet, die sich um die Konstruktion und den Zusammenbau des Spektrometers außerordentlich bemüht haben.

(Eingegangen am 20. 1. 1966)

Literatur

- [1] Albold, E., und P. v. Blankenhagen: Nukleonik 7, 406 (1965)
- [2] Pönitz, W.: Nucl. Physics 66, 297 (1965)
- [3] Wahl, H. P.: Bau eines Gasszintillationszählers und Messung des Wirkungsquerschnitts für Kernspaltung von U 235. Diplomarbeit, Techn. Hochschule Karlsruhe 1965

Bezugsquellen

- [B1] Provita Uhrenfabrik und Apparatebau Franz Schnurr OHG, Pforzheim
- [B2] Dr. Johannes Heidenhain Präzisionsteilungen, Traunreut über Traunstein
- [B3] Philips Industrie Elektronik GmbH, Hamburg
- [B4] Borer & Co. Electronic, Solothurn, Schweiz