

1 Einleitung

Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der uns umgebenden festen und flüssigen Stoffe, der kondensierten Materie, beruhen auf den zwischen ihren Bausteinen (Atomen und Molekülen) wirkenden Kräften. Ein tieferes Verständnis der Stoffeigenschaften verlangt deshalb die detaillierte Kenntnis der Wechselwirkungen der Bausteine untereinander und der dadurch hervorgerufenen kollektiven Phänomene in diesen Vielteilchensystemen. Die Wechselwirkungen stellen sich in der Anordnung (Struktur) und Bewegung (Dynamik) der Bausteine am direktesten dar. Die Erforschung der Struktur und Dynamik kondensierter Materie zielt auf ein quantitatives, möglichst mikroskopisches Verständnis der Stoffeigenschaften ab. Forschungsgegenstand im Bereich der Grundlagenforschung sind Modellsysteme, an denen beispielhaft Phänomene der Physik der kondensierten Materie untersucht werden können. Im Bereich der anwendungsorientierten Grundlagenforschung werden Materialien und Modellsysteme im Hinblick auf die Entwicklungsmöglichkeiten für neue Werkstoffe mit vorbestimmten physikalischen (z.B. mechanischen, thermischen oder magnetischen) Eigenschaften untersucht.

Um die Anordnung und Bewegung der Atome und Moleküle untersuchen zu können, werden verschiedene Methoden verwendet. Neben den Ionenstrahltechniken, den Sondenmethoden und der Röntgenbeugung unter Verwendung der Synchrotronstrahlung ist die Neutronenstreuung eine der wichtigsten Untersuchungsmethoden. Dabei werden in Forschungsreaktoren oder Spallationsquellen freie Neutronen im MeV-Bereich erzeugt, deren Energie durch Stoßprozesse in sog. Moderatoren in den Bereich von meV, d.h. auf typische Anregungsenergien in Festkörpern, reduziert wird. Mit diesen Neutronen kann eine Vielzahl von Prozessen untersucht werden, beginnend im μeV -Bereich z.B. mit dem Quantentunneln, über molekulare Translations-, Rotations- und Vibrationsanregungen bis zu Kristallgitterschwingungen. Die Neutronenwellenlänge kann dabei ähnlich wie die atomaren Abstände gewählt werden, so daß Diffraktionsmessungen durchgeführt werden können. Für thermische Neutronen, mit einer Energie von 25.4 meV, ergibt sich z.B. eine de Broglie-Wellenlänge von 1.81 Å, während typische Atomabstände in kondensierter Materie bei 1 – 2 Å liegen. Die Neutronen werden in einem Spektrometer an der zu untersuchenden Probe gestreut und anschließend von einem Detektor nachgewiesen. Durch Bestimmung der bei dieser Streuung erfolgten Energie- und Impulsüberträge können Aussagen über die Struktur und Bewegungszustände der Atome oder Moleküle in der untersuchten Probe gemacht werden.

Neutronen wechselwirken als neutrale Teilchen in erster Linie mit dem attraktiven Kernpotential und nur unwesentlich mit den Elektronen der Atomhülle. Daher skaliert das Streupotential für Neutronen nicht primär mit der Kernladung Z , im Gegensatz zu Röntgenbeugung und Elektronenstreuung. Ein großer Vorteil der Neutronenstreuung gegenüber der Röntgenstrukturanalyse ist daher die Möglichkeit, verschiedene Isotope des gleichen Elements sowie im Periodensystem benachbarte Elemente unterscheiden zu können. Außerdem ist es möglich, leichte Elemente wie Wasserstoff in einer schweren Matrix zu untersuchen. Dabei wird die untersuchte Probe durch die Neutronen kaum gestört, da diese nur wenig mit den Probenatomen wechselwirken. Obwohl neutral, besitzen Neutronen ein magnetisches Moment vom -1.913 Kernmagnetonen. Daher wechselwirken sie auch mit dem magnetischen Moment von Elektronenhüllen und Atomkernen. Neutronenstreuung eignet sich dadurch hervorragend zur Bestimmung magnetischer Strukturen.

Die Anforderungen der Wissenschaftler an Neutronenquellen und Detektoren sind in den letzten Jahren stark gestiegen. Von einigen Modellsystemen sind nur kleinste Mengen her-

stellbar, und die Bestrahlungszeit von biologischen Proben muß kurz gehalten werden, so daß schon heute daran gedacht wird, z.B. in Pulver-Diffraktionsspektrometern mit Proben von weniger als 10 mg Spektren in wenigen Minuten zu messen. Dafür sind Neutronenquellen notwendig, die einen hohen gepulsten Neutronenfluß zur Verfügung stellen, sowie Detektoren, die die Neutronen nach der Streuung mit möglichst hoher Effizienz nachweisen. Ferner sind in den letzten Jahren erhebliche Verbesserungen der Neutronenflußdichten in der Probe durch Optimierung der Neutronenoptik erzielt worden und weitere Verbesserungen sind auf diesem Gebiet aufgrund der intensiven Forschungstätigkeit zu erwarten. Eine bessere Fokussierung auf kleine Proben macht auch eine bessere Ortsauflösung der Detektoren sinnvoll; die Auflösung im Spektrum wird voll nutzbar, sofern die Ortsauflösung den Probendurchmesser unterschreitet. Ferner steigt informationstheoretisch der in einem Ortsspektrum nutzbare Informationsgehalt linear mit der Anzahl der Ortskanäle, jedoch nur langsam mit dem Logarithmus aus der Wurzel der Zählrate pro Ortskanal [Joh97].

Die bisher verwendeten Detektoren liefern für viele zukünftige Experimente nicht die erforderliche Ortsauflösung. Die Bestimmung der Flugzeit der Neutronen ist nicht ausreichend genau oder gar nicht möglich. Daher ist es sinnvoll, für die existierenden und im Bau befindlichen Neutronenquellen neuartige Detektoren zu entwickeln.

Aus der Flugzeit der Neutronen kann deren Energie und damit auch der Energieübertrag auf die zu untersuchende Probe bestimmt werden. An Neutronenquellen mit zeitlich konstantem Fluß, wie dem Forschungsreaktor BER II am Hahn-Meitner-Institut, werden gepulste Neutronenstrahlen durch sog. Chopper (Zerhacker) erzeugt, die den kontinuierlichen Neutronenstrahl des Reaktors in einzelne Neutronenpakete aufteilen. Aber auch bei Experimenten ohne Flugzeitmessung werden großflächige, zweidimensional ortsauflösende Detektoren mit guter Nachweiswahrscheinlichkeit und genauer Ortsbestimmung benötigt.

Die z.Z. verwendeten Detektoren arbeiten häufig mit gasförmigen Neutronenkonvertern und erreichen aufgrund des Konversionsprozesses nur Ortsauflösungen von mehreren Millimetern. Für die Untersuchung von biologischen Proben mittels Einkristall-Diffraktometrie und bei Experimenten im Bereich der Radiographie sind aber Ortsauflösungen im Submillimeterbereich wünschenswert. Da diese Ortsauflösung mit den vorhandenen Detektoren nicht realisiert werden kann, war diese Arbeit ein Teil eines Projektes zur Entwicklung eines neuartigen Neutronendetektors mit Folienkonverter. Dabei lag der Schwerpunkt auf dem Verständnis und der vollständigen Modellierung der physikalischen Prozesse in dem neuartigen Detektor, um diesen zu optimieren.

Dieser Neutronendetektor hat eine sensitive Fläche von ca. $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ und besitzt gleichzeitig zweidimensional eine Ortsauflösung unter 0.3 mm FWHM. Außerdem hat er eine Flugzeitauflösung von wenigen Nanosekunden und seine lokale und totale Zählratenkapazität beträgt ca. 10^7 Neutronen pro Sekunde. Diese Daten entsprechen Anforderungen, die bei einer Konferenz über die Instrumentierung der amerikanischen Spallationsquelle SNS für ortsauflösende Detektoren für einige Experimenttypen festgelegt wurden und i.w. auch für die geplante europäische Spallationsquelle ESS Gültigkeit haben. Der hier entwickelte Detektortyp zielt auf den Einsatz bei ESS ab.

Gliederung der Arbeit

In Kapitel 2 dieser Arbeit werden verschiedene Konzepte für Neutronendetektoren kritisch verglichen. Abschnitt 2.7 gibt einen Überblick über das Funktionsprinzip des in dieser Arbeit entwickelten neuartigen Neutronendetektors. Dieser basiert auf einem Mehrschichtenfolienkonverter mit zwei angrenzenden Niederdruckgasräumen, die beidseitig durch neuartige Mikrostreifengaszähler in Mehrschichtenaufbau abgeschlossen werden. Eine Zweistufenverstärkung im Gasraum ermöglicht den Nachweis auch weniger im Konverter freigesetzter

Elektronen und damit eine hohe Nachweiseffizienz. Die einzelnen Komponenten dieses Detektors werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer erläutert. Kapitel 3 veranschaulicht die Funktion und Modellierung des Mehrschichtenkonverters und die bei der Schichtentwicklung erzielten experimentellen Ergebnisse. Die Berechnung der Gasverstärkung und der simulierten Signale sowie der sich aus den Modellrechnungen ergebende optimierte Aufbau des Mikrostreifendetektors für niedrige Gasdrücke wird in Kapitel 4 diskutiert. Ferner werden die experimentellen Ergebnisse und Probleme bei der Realisierung des Mehrschichtenaufbaus des Mikrostreifendetektors dargestellt. Die Simulation der Auslese der auf den Mikrostreifen influenzierten Signale anhand eines vollständigen elektrischen Netzwerkes unter Einschluß der für das Auslesen verwendeten mehrfach unterteilten Verzögerungsleitungen findet sich in Kapitel 5. Schließlich wird das für diesen Detektor neu entwickelte Datenaufnahmesystem beschrieben (Kapitel 6). In Kapitel 7 sind noch einmal alle Daten des Detektors zusammengefaßt.

