

ANWENDUNG DES PULSE-SHAPE-VERFAHRENS BEI MESSGERÄTEN MIT GROSSFLÄCHENPROPORTIONALZÄHLROHREN ZUR EINWANDFREIEN TRENNUNG UND GLEICHZEITIGEN ANZEIGE DER α - UND β -IMPULSRATE

H. Kiefer, L. Leidner, B. Reinhardt, H.J. Röber, E. Sadri, S. Ugi
Kernforschungszentrum Karlsruhe
Hauptabteilung Sicherheit 7500 Karlsruhe

Zusammenfassung

Eine verbesserte Trennung bei gleichzeitiger Anzeige und höherem zeitlichen Auflösungsvermögen der α - und β -Impulsrate bei Großflächenproportionalzählrohren ermöglicht das Pulse-Shape-Verfahren gegenüber der bisher üblichen Amplitudendiskriminierung. Ein weiterer Fortschritt wird in einem von der äußeren Gasversorgung unabhängigen, stickstoffbetriebenen Proportionalzähler gesehen.

Zum Pulse-Shape-Verfahren

Um beim Umgang mit ionisierender Strahlung die Sicherheit der Beschäftigten und der Bevölkerung zu gewährleisten, gibt es neben den internationalen Richtlinien eine in jedem Land verbindliche gesetzliche Regelung zur Personen- und Umgebungsüberwachung. Hierfür geeignete Meßgeräte müssen ausreichend empfindlich sein, um die zum Teil sehr hohen Anforderungen des Gesetzgebers erfüllen zu können. Für Kontaminationsmessungen und Bruttoaktivitätsbestimmungen hat sich der Großflächenproportionalzähler durchgesetzt, der eine Trennung der α - von der β -Strahlung ermöglicht, allerdings erst nach Differenzbildung. In der Praxis wurde bisher die von den Teilchen im Zählvolumen abgegebene Gesamtenergie bestimmt. Die von einem α - oder β -Teilchen erzeugten Ladungen wurden gesammelt, d.h. das Zeitintegral über den Zählkammerstrom gebildet. Entsprechend der elektrischen Kapazität der Meßanordnung und der erzeugten Ladungen ergab sich ein Spannungsimpuls, dessen Höhe analysiert wurde. Der prinzipielle Fehler bei diesem Meßverfahren besteht darin, daß vorausgesetzt werden muß, daß jedes α -Teilchen mehr Energie im Zählraumvolumen abgibt als jedes β -Teilchen. Erst dann ist eine Unterscheidung von α - und β -Teilchen anhand der Impulshöhe möglich. Diese Voraussetzung ist jedoch in der Praxis so gut wie nicht erfüllbar. α -Teilchen können durch Selbstabsorption in der Probe, durch Absorption in der Luftschicht zwischen Probe und Zählrohrfenster, sowie im Zählrohrfenster selbst schon vorher den größten Teil ihrer Energie abgegeben haben, so daß ihre Energieabgabe im Detektor letztlich in der gleichen Größenordnung wie die der β -Teilchen liegen kann. In diesem Fall ist eine Trennung mittels einer Amplitudendiskriminierung nicht mehr möglich. Messungen haben ergeben, daß unter gewissen geometrischen Voraussetzungen fast alle aus einer reinen α -Probe (Po-210) stammenden Teilchen fälschlicherweise als β -Teilchen registriert werden.

Ein weiterer Nachteil der bisherigen Meßmethode ist darin zu sehen, daß die α - und β -Teilchen nicht gleichzeitig erfaßt werden können. Bedingt durch das Umschalten der Hochspannung sind zwei Meßschritte und anschließend eine Differenzbildung beider Meßergebnisse notwendig. Wünschenswert ist deshalb ein Meßprinzip, das einerseits wenig abhängig von der im Zähler abgegebenen Energie ist und andererseits simultan α - und β -Teilchen getrennt erfassen kann.

Erreicht man durch konstruktive Maßnahmen, daß die Meßeinrichtung kein integrales Verhalten mehr aufweist, so zeigt sich, daß der zeitliche Verlauf des Kammerstromes mit der sehr unterschiedlichen Ionisationsfähigkeit der α - bzw. β -Teilchen korreliert. α -Teilchen geben auf kürzester Wegstrecke einen großen Teil ihrer Energie ab, während sich die Energieabgabe von β -Teilchen über einen weiten Bereich erstreckt. Die konzentrierte Energieabgabe der α -Teilchen führt zu einem zeitlich rasch anwachsenden Kammerstrom mit entsprechend steilem Kurvenverlauf. Es hat sich gezeigt, daß die Anfangssteigung der α -Stromkurve um den Faktor 2 größer ist, als die der β -Stromkurve.

Die Schwierigkeit bei der Auswertung dieser Tatsache bestand darin, daß sich dieser Unterschied nur innerhalb eines Zeitraums von ungefähr 20 Nanosekunden nach Impulsbeginn bemerkbar macht. Eine entsprechende Schaltung wurde so ausgelegt, daß immer 10 Nanosekunden nach Impulsbeginn der momentane analoge Wert digitalisiert, abgespeichert und nach Ablauf der Meßzeit als α - bzw. β -Zählrate ausgegeben wird.

Die jetzt vorliegende Entwicklung zeigt bei gleichzeitiger Anzeige der α - und β -Impulsrate und höherem zeitlichem Auflösungsvermögen eine um über 1 Zehnerpotenz bessere Trennung unter sonst gleichen Bedingungen als bei Geräten mit Amplitudendiskriminierung. Der Vorteil für den Strahlenschutz - kürzere Meßzeiten bzw. höhere Nachweisempfindlichkeit, Erweiterung des Meßbereichs bei hohen Impulsraten und geringere Meßunsicherheiten, wenn α - und β -Strahlung immer gleichzeitig angezeigt wird - ist offensichtlich.

Stickstoffzähler mit Gasregeneration

Konventionelle Großflächenzähler können entweder im Gasdurchfluß oder als dichte Zähler, mit einer Gasfüllung versehen, betrieben werden. Der Nachteil des Durchflußzählers ist seine Abhängigkeit von einer permanenten und in vielen Fällen sehr aufwendigen Gasversorgung. Beim dichten Zähler mit Gasfüllung bestimmen die Leckrate und die chemische Zerstrahlung seine Lebensdauer. Die Gasmultiplikation eines Proportionalzählers hängt stark von der Reinheit des Zählgases ab. Um geringe Leckraten und damit hohe Lebensdauer zu gewährleisten, braucht ein Zähler mit stationärer Füllung so dicke Fenster, daß α -Strahlung nicht mehr gemessen werden kann. Es ist jedoch wünschenswert, von einer Gasversorgung unabhängig zu sein, ohne auf die Nachweismöglichkeit von α -Strahlen verzichten zu müssen.

Vom Standpunkt der Verfügbarkeit her gesehen, wäre Luft das ideale Zählgas. Die natürliche Umgebungsluft ist als Zählgas jedoch nicht brauchbar. Die ungünstigen elektrochemischen Eigenschaften des Sauerstoffes verbieten den Einsatz von Sauerstoffkonzentrationen in der Höhe des Luftsauerstoffgehaltes. Stickstoff-Sauerstoff-Gemische mit O_2 -Konzentrationen bis zu zwei Prozent sind nach unseren Untersuchungen jedoch als Proportionalzählgas geeignet. Die Gasverstärkung bleibt bis zu dieser Konzentration konstant und ist gleich der des reinen Stickstoffs.

Die Verwendung von Stickstoff als Zählgas in einem langlebigen Detektor ist aus folgendem Grund sinnvoll: Undichtigkeiten im System haben das Eindringen von Luft zur Folge. Wenn es gelingt, die Feuchtigkeit und den Sauerstoff der Luft zu entfernen, bewirkt der mit ein-

diffundierende Stickstoff eine Erneuerung des Zählgases und gewährleistet dessen gleiche Zusammensetzung über lange Zeiträume.

Der Stickstoffzähler mit Gasregeneration besteht im Prinzip aus drei Komponenten: einem stickstoffgefüllten Detektor, einer Gasreinigungspatrone und einer Pumpeinrichtung.

Der Detektor, ein Großflächenzähler konventioneller Bauart, ist mit einer doppelseitig aluminisierten Folie geringer Flächendichte ausgerüstet, so daß Alphastrahlen nachgewiesen werden können. Um Verunreinigungen des Zählgases möglichst zu vermeiden, ist der Detektor über O-Ringe abgedichtet.

Aufgrund der geringen Gasverstärkung des Stickstoffs ist eine Elektronik mit möglichst günstigem Signal-Rausch-Verhältnis erforderlich. In der Anordnung werden deshalb rauscharme, ladungsempfindliche Vorverstärker und kapazitätsarme Detektoren verwendet.

Die Gasreinigungspatrone enthält ein Molekularsieb zur Beseitigung von Wasserdampf. Ein chemisch reduzierter Katalysator entfernt auf der Basis der Kupferoxidation den Sauerstoff aus dem Gas. Gasumwälzung (Pumpe, Ventilator) sorgt für den nötigen Gasdurchsatz durch Absorber und Detektor.

Die Lebensdauer des Detektors wird durch seine Leckrate und die Kapazität des Absorbers bestimmt. Ein Dauerbetrieb ist ohne hohen Wartungsaufwand möglich. Nicht möglich ist es bisher, die Pulse-Shape-Diskriminierung auch beim Stickstoffproportionalzähler anzuwenden.