Digitale Pulse-Shape-Diskriminierung in der LSC mit neuronalen Netzen

G. Langrock, N. Wiehl, H.O. Kling, M. Mendel, U. Tharun, K. Eberhardt, N. Trautmann, J.V. Kratz
Institut für Kernchemie, Universität Mainz

Ausgehend von Experimenten mit dem Flüssig-Flüssig-Extraktionssystem SISAK, bei denen die Flüssigszintillationsspektroskopie (LSC) als Detektionsmethode unter Verwendung eines Szintillationscocktails von Dimethyl-POPOP und Methylnaphthalin in Toluol genutzt wird, sollen Möglichkeiten zur Pulse-Shape-Diskriminierung (PSD) untersucht werden.

Ziel ist es, α-Ereignisse sicher von β-, γ-, β-β-pile ups und Spontanspaltereignissen zu unterscheiden. Die Unterscheidung zwischen α- und β-Ereignissen erfolgt bisher recht zuverlässig mit Hilfe konventioneller Analogelektronik [1]. Jedoch zeigten Experimente zur Chemie von Rutherfordium (Rf), dass trotzdem ein großer Untergrund zurückblieb, der eine eindeutige Identifikation von Rf-Ereignissen verhindert [2].

Mit Hilfe eines Transientenrecorders, einer oszilloskopartigen PC-Steckkarte, und eines selbst entwickelten Programms ist es möglich, Pulse mit einer Auflösung bis zu 2 ns bei einer Genauigkeit im Pikosekunden-Bereich digitalisiert aufzunehmen [3].

Beim SISAK-Experiment am Paul-Scherrer-Institut im Frühjahr 2000 wurde dieses System erstmals eingesetzt, um experimentelle Daten aufzunehmen. Dem Transientenrecorder war eine analoge PSD-Einheit vorgeschaltet, die den β-Untergrund drastisch reduzieren konnte. Die übrigen Signale ließen sich in der Regel α-, β-Ereignissen und pile ups zuordnen (Abbildung 1). Die pile ups treten relativ häufig auf und sind mutmaßlich zu einem großen Teil korreliert (Abbildung 2), da man nur eine geringe Zahl zufälliger pile ups erwarten würde. Der zeitliche Abstand der beiden Peaks dieser pile ups liegt üblicherweise im Bereich von 50 bis 300 ns. Das heißt, dass ein β-Zerfall ein angeregtes Niveau im Tochterkern bevölkert, das nach einer gewissen Lebensdauer elektromagnetisch zerfällt. Ein häufig auftretendes, sehr großes Signal konnte zunächst nicht erklärt werden. Erst durch eine spätere Online-Messung von ^{252}Cf fand die These Unterstützung, dass diese Signale offenbar durch Spaltprodukte erzeugt werden. Diese zeigen große Signale, deren Form aber α-Ereignissen sehr ähnlich ist.

Die beim Experiment gewonnen Daten wurden gemeinsam mit am Mainzer TRIGA-Reaktor gemessenen Signalen verwendet, um Datensätze zum Training und Test künstlicher neuronaler Netze zu erstellen [4]. Zum Einsatz kommen „back propagation"-Netze, deren Lernvorgang sich durch eine automatische Änderung der vom Netz verwendeten Gewichte entsprechend der Fehler der Ausgabe auszeichnet [5,6].

Verwendet werden (intern normalisierte) Datensätze mit 250 Datenpunkten á 2 ns. Das Netz ist aufgebaut aus 250 Neuronen in der Eingabe- und 2 Neuronen in der Ausgabeschicht sowie 4-10 Neuronen in der verdeckten Schicht. Es wurden verschiedene Transferfunktionen getestet, wobei sich nur die Sigmoid-Funktion (1/(1+exp(-x)) als geeignet erwies. Die Neuronen in der Ausgabeschicht können Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei 1 für ein sicher erkanntes Ereignis steht.

Eine erste Evaluierung zeigte, dass Spaltereignisse Ausgabeparameter $\approx$1 haben, d.h. sicher erkannt werden. Eine große Zahl von α- und β-Ereignissen wird mit Ausgaben $\geq$0.7 korrekt zugeordnet. Schwierigkeiten bestehen noch bei pile ups mit größerer Amplitude. Diese führen zu falsch positiven Ausgaben.

Damit zeigt sich die prinzipielle Eignung neuronaler Netze für eine automatische Pulsformklassifikation. Ziel weiterer Arbeiten ist es, die Erkennungsleistung des Netzes zu verbessern und durch Kombination mit einer geeigneten mathematischen Behandlung der Daten falsch positive Ergebnisse auszuschließen und somit auf digitalem Wege eine quasi untergrundfreie α-Flüssigszintillationsspektroskopie zu ermöglichen. Weiterhin ist noch eine Auswertung der oben erwähnten mutmaßlich korrelierten pile ups in Arbeit.

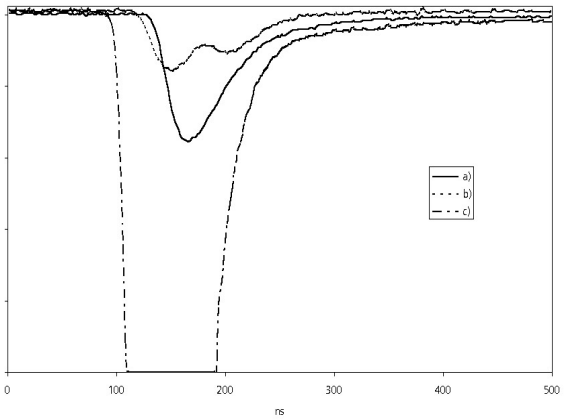

Abbildung 1: Typische Pulsformen von
a) α-,
b) pile up- und
c) Spalt-Ereignissen

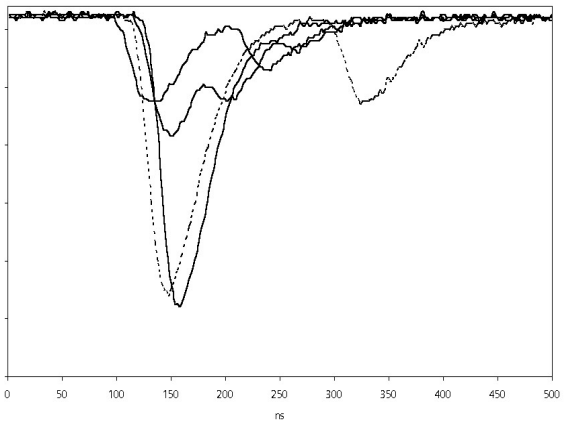

Abbildung 2: Beispiele für mutmaßlich korrelierte pile ups

[1] K. Weiner, FH-Diplomarbeit, Mainz (1995)
[2] K. Eberhardt et al., Jahresbericht, Mainz (2000)
[3] H.O. Kling, Acqiris Digitizer (1999)
[4] G. Langrock, „AQR 2000" (2000-2001)
[5] J. Meiler, „Smart 1.0" (1997-2000)
[6] G. Langrock, Jahresbericht, Mainz (2000)