

Bestimmung der Anregungsfunktion $^{90}\text{Zr}(p,n)^{90}\text{Nb}$

S. Busse¹, J. Brockmann¹, S. M. Qaim², F. Rösch¹

¹Institut für Kernchemie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, ²Institut für Nuklearchemie, FZ Jülich

^{90}Nb ist auf Grund seiner nuklearen Daten ($T_{1/2} = 14,6$ h; 53 % β^+ ; stabiles Tochternuklid) ein potentielles PET-Nuklid. Die Herstellung ist über $^{89}\text{Y}(\text{He},2n)-$, $^{89}\text{Y}(\alpha,3n)-$, $\text{Zr}(d,2n)-$ oder $\text{Zr}(p,n)-$ Kernreaktionen denkbar. Der (p,n)-Prozeß ist an kleinen Zyklotronen ($E_p \geq 15$ MeV) zu bewerkstelligen und läßt die größten Ausbeuten erwarten. Da aus der Literatur nur wenige Daten zu dieser Kernreaktion vorhanden sind [1,2], sollten detaillierte Messungen der Wirkungsquerschnitte im zur Produktion relevanten Energiebereich von der Reaktionsschwelle E_s bis $E_p = 19$ MeV durchgeführt wurden.

Targetpräparation

Alle verwendeten Targets waren als Folienstapel [3,4] konzipiert. Zum einen wurden 10 μm dicke $^{\text{nat}}\text{Zr}$ -Metallfolien (Reinheit: 99,8+%), 13 mm \varnothing verwendet. Da $^{\text{nat}}\text{Zr}$ insgesamt fünf stabile Isotope besitzt (51,45% ^{90}Zr , 11,32% ^{91}Zr , 17,19% ^{92}Zr , 17,28% ^{94}Zr , 2,76% ^{96}Zr), sind für die untersuchte Kernreaktion die Konkurrenzprozesse $^A\text{Zr}(p,n)^A\text{Nb}$ mit $A = 91, 92, 94$ und 96 zu berücksichtigen. Bei der Bestrahlung von $^{\text{nat}}\text{Zr}$ mit Protonenenergien $E_p \geq 17$ MeV trägt in zunehmendem Maße der $^{91}\text{Zr}(p,2n)$ -Prozeß zur Produktion von ^{90}Nb bei.

Zur Unterdrückung dieser Beiträge wurde hochangereichertes ^{90}Zr (99,22% ^{90}Zr) in der Form von ZrO_2 verwendet. Mit dem angereicherten Material wurden auf 25 μm dicken Kupferfolien dünne Schichten von ca. 6 mg/cm^2 mittels einer speziellen Sedimentationstechnik abgeschieden [5]. Die Homogenität der erzeugten Schichten wurde bestimmt, indem analoge $^{\text{nat}}\text{ZrO}_2$ -Proben im TRIGA II Reaktor in Mainz (2 h, $7 \cdot 10^{11} \text{ n s}^{-1} \text{cm}^{-2}$) bestrahlt wurden. Nach einem Tag wurde die $^{95/97}\text{Zr}$ -Verteilung der Proben autoradiographisch vermessen (Abb.1). Der relative Fehler für die Inhomogenität im Bereich der Schicht, die in Abb.1 durch einen schwarzen Kreis angedeutet ist, beträgt 5%.

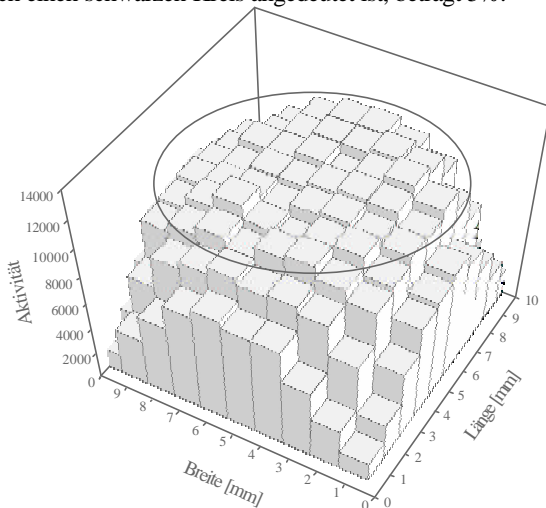


Abb.1: Targetinhomogenität eines sedimentierten ZrO_2 -Targets ($\varnothing = 10$ mm)

Bestrahlungen

Alle Bestrahlungen wurden am Kompaktyzyklotron CV 28 des FZ Jülich GmbH durchgeführt. Der Strahlstrom betrug nominell 0,1 μA , die Bestrahlungsdauer jeweils 30 Minuten. Die Wirkungsquerschnitte wurden nach γ -spektrometrischer Messung in jeder einzelnen Folie mittels der Aktivierungsgleichung berechnet.

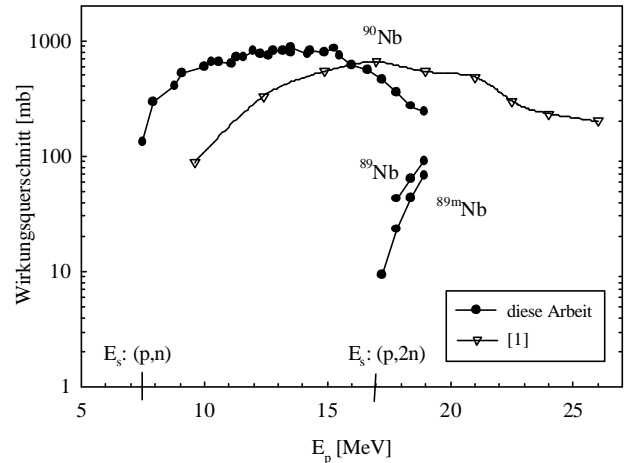


Abb.2: Anregungsfunktionen für $^{90}\text{Zr}(p,xn)$ -Prozesse ($x = 1, 2$)

Ergebnisse

Die Anregungsfunktion (Abb.2) weist $\sigma_{\text{max}} = 822 \pm 152$ mb bei 13,5 MeV auf. ^{90}Nb kann mit maximaler Ausbeute im Energiebereich von $E_p = 18 \rightarrow 8$ MeV produziert werden. Die Berechnung der integralen Ausbeute Y

$$Y = \frac{N_L \cdot H \cdot I}{M} \cdot (1 - e^{-I \cdot t}) \int_{E_s}^{E'} \left(\frac{dE}{d(r \cdot x)} \right)^{-1} S(E) dE$$

N_L : Loschmidtsche Zahl	E : Projektilenergie
H : Häufigkeit Targetnuklid	E' : Austrittsenergie Projektil
I : Teilchenstrom	E_s : Reaktionsschwellenenergie
M : Molmasse Target	$r \cdot x$: Flächengewicht Target
I : Zerfallskonstante ^{90}Nb	$S(E)$: Anregungsfunktion
t : Bestrahlungsdauer	$dE/d(r \cdot x)$: Massenbremsvermögen

ergibt, daß mit 100% angereichertem ^{90}Zr unter diesen Bedingungen Ausbeuten von 620 MBq $^{90}\text{Nb}/\mu\text{Ah}$ erreicht werden. In diesem Energiebereich entstehen über den $^{90}\text{Nb}(p,2n)$ -Prozeß gleichzeitig jeweils ca. 20 MBq/ μAh ^{89}Nb ($T_{1/2} = 2$ h) und ^{89m}Nb ($T_{1/2} = 1,1$ h), entsprechend ca. 6% der Gesamtaktivität aller drei Radioisotope des Nb. Unter dem Schwellenwert dieser Reaktionskanäle im Bereich von $E_p = 15 \rightarrow 8$ MeV beträgt die Ausbeute an ^{90}Nb mit 420 MBq/ μAh immer noch 67% der für $E_p = 18 \rightarrow 8$ MeV erreichbaren. Über den $^{90}\text{Zr}(p,n)$ -Prozeß sind praktische Gesamtaktivitäten in der Größenordnung von 10 GBq isotonenreinem ^{90}Nb für potentielle nuklearmedizinische Anwendungen dieses PET-Nuklids produzierbar.

Im Falle von $^{\text{nat}}\text{Zr}$ als Targetmaterial sind die zu erzielenden ^{90}Nb -Ausbeuten um den Faktor der natürlichen Häufigkeit von ^{90}Zr von 0,5146 geringer. Wegen des höheren Anteils anderer Zr-Isotope als ^{90}Zr ist dann die isotopische Reinheit des ^{90}Nb herabgesetzt.

- 1 Kondratiev S N et al., Atomnaja Energija **71**, 325 (1991).
- 2 Michel R et al., Nucl Instr and Meth B **129**, 153 (1997).
- 3 Weinreich R et al., Int J Appl Radiat Isotop **25**, 353 (1974).
- 4 Qaim S M et al., Int J Appl Radiat Isot **28**, 947 (1977).
- 5 Rösch F et al., Radiochim. Acta **61**, 1 (1993).