

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

**KARLSRUHE**

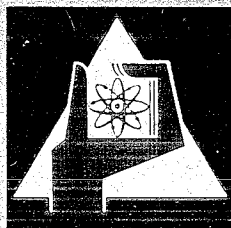
April 1970

KFK 1171

Zyklotron-Laboratorium

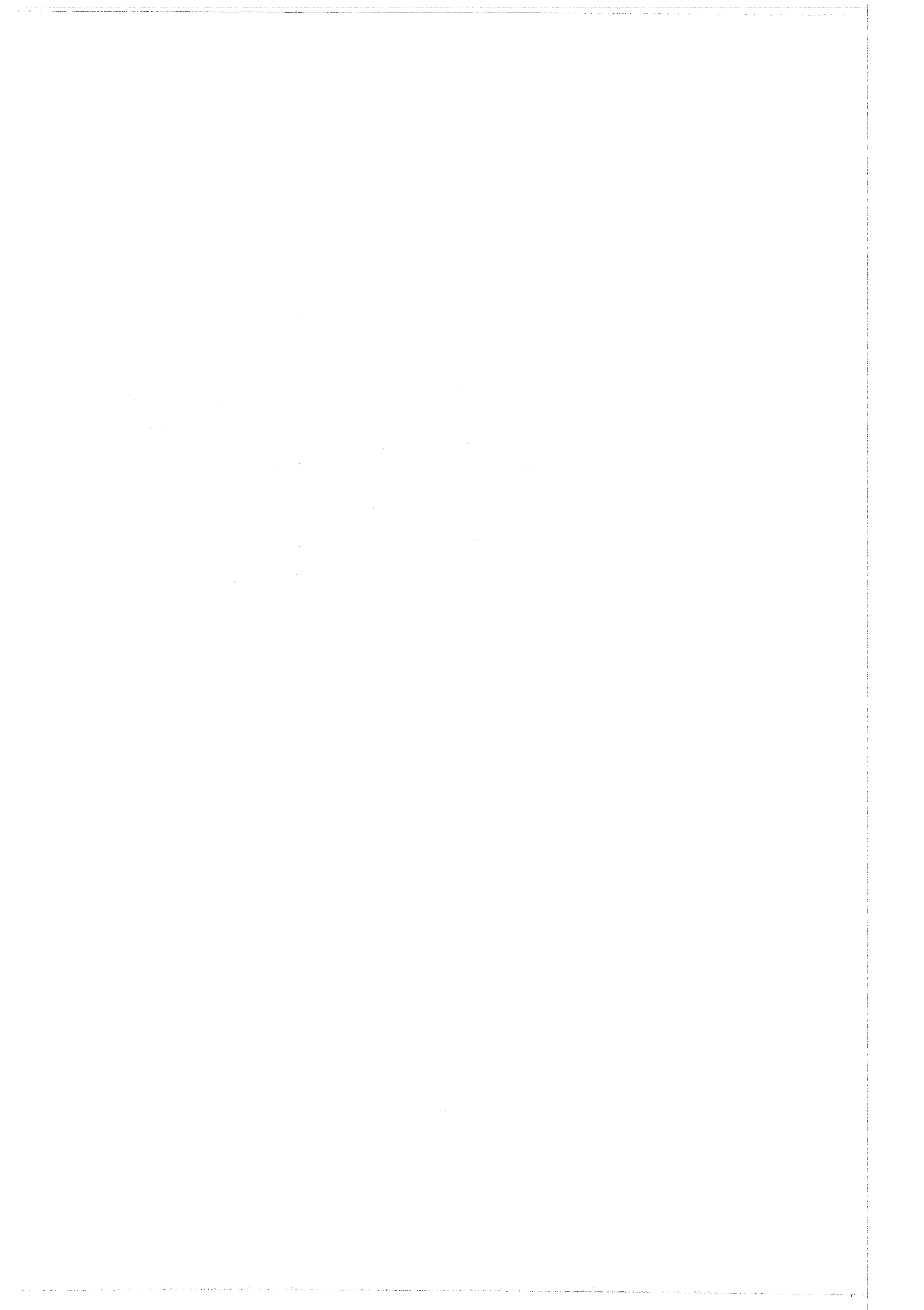
Messung von Anregungsfunktionen der (d, x)-Reaktionen am  $^{59}\text{Co}$

R. Bilabel



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

April 1970

K F K 1171

Zyklotron-Laboratorium

Messung von Anregungsfunktionen der (d,x)-Reaktionen  
am  $^{59}\text{Co}$

---

von

R. Bilabel

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H., KARLSRUHE



### Zusammenfassung

Es wurden Anregungsfunktionen für die Bildung von  $^{57}\text{Ni}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Mn}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  und  $^{51}\text{Cr}$  durch Beschuß von  $^{59}\text{Co}$  mit Deuteronen von maximal 52 MeV bestimmt. Als Targets wurden sowohl Einzelfolien (Energiebereich 10 - 20 MeV) als auch ein Folienpaket (Energiebereich 20 - 52 MeV) benutzt. Der Deuteronenstrom wurde mit Monitorfolien über die Reaktion  $^{27}\text{Al}(d,\alpha)^{24}\text{Na}$  gemessen. Der Fehler der Wirkungsquerschnittswerte wurde zu ca. 15 % abgeschätzt.

### Abstract

Excitation functions for the production of  $^{57}\text{Ni}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Mn}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  and  $^{51}\text{Cr}$  by irradiation of  $^{59}\text{Co}$  with deuterons were measured, with single foils and a stacked foil arrangement, in the energy range from 10 to 52 MeV. The beam current of the incident deuterons of the Karlsruhe Isochronous Cyclotron was determined with Aluminium monitor foils using the  $^{27}\text{Al}(d,\alpha)^{24}\text{Na}$  reaction. The error in the absolute cross section scale was estimated as 15 %.



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Experimentelle Anordnung	2
3. Auswertung der Messungen	3
4. Meßergebnisse	5
5. Diskussion	5
Literaturverzeichnis	7
Tabellen	
Abbildungen	





## 1. Einleitung

Die Kenntnis der Energieabhängigkeit bei der Bildung von radioaktiven Isotopen durch Bestrahlung geeigneter Targets mit beschleunigten Projektilen ist von praktischer Bedeutung für die Abschätzung der Aktivitäten bei der Isotopenproduktion mit einem Beschleuniger. Darüber hinaus ermöglichen in günstigen Fällen der Verlauf gemessener Anregungsfunktionen sowie Wirkungsquerschnittsverhältnisse für verschiedene Reaktionen kernphysikalische Aussagen, z.B. über den Reaktionsmechanismus.

In dieser Arbeit wurden Anregungsfunktionen für die Produktion radioaktiver Isotope (Halbwertszeiten  $> 1$  Stunde) bei Bestrahlung von  $^{59}\text{Co}$  mit Deuteronen des Karlsruher Isochron-Zyklotrons im Energiebereich von 10 - 52 MeV untersucht. Der erste der obengenannten Gesichtspunkte stand im Vordergrund des Interesses. Die bisherigen Messungen am  $^{59}\text{Co}$  beschränkten sich auf wenige Wirkungsquerschnittswerte für Deuteronenenergien bis zu 26,5 MeV (1,2,3). Auch an anderen Targets waren für höhere Deuteronenenergien ( $E_d > 27$  MeV) bisher nur wenige Anregungsfunktionen bestimmt worden (4,5,6,7,8).

In Tabelle I sind einige der mit 52 MeV Deuteronen am  $^{59}\text{Co}$  energetisch zu erwartenden Reaktionen zusammengestellt. Für die Berechnung der Schwellwerte wurden die Tabellen von Mattauch u.a. (9) benutzt; bei Emission

Tabelle I : Energetisch mögliche  $^{59}\text{Co}(d,x)$ -Reaktionen mit 52 MeV Deuteronen (ohne Berücksichtigung der Coulombbarrieren)

Reaktion	Schwelle (MeV)	Reaktion	Schwelle (MeV)
$(d,4n)^{57}\text{Ni}$	26.2	$(d,t\alpha)^{54}\text{Mn}$	11.3
$(d,5n)^{56}\text{Ni}$	36.8	$(d,t)^{58}\text{Co}$	4.4
$(d,p)^{60}\text{Co}$	0	$(d,tn)^{57}\text{Co}$	13.2
$(d,2p)^{59}\text{Fe}$	3.1	$(d,t2n)^{56}\text{Co}$	25.0
$(d,p\alpha)^{56}\text{Mn}$	2.0	$(d,t3n)^{55}\text{Co}$	35.4

eines geladenen Teilchens ist der Schwellwert um den entsprechenden Wert C für die Coulombbarriere zu vergrößern. Die Coulombbarriere für ein auslaufendes Teilchen (s. Tabelle III) wurde nach der folgenden Beziehung abgeschätzt:

$$C = 1.44 \cdot \frac{Z_3 \cdot Z_4}{R_3 + R_4} \approx \frac{Z_3 \cdot Z_4}{A_3^{1/3} + A_4^{1/3}} \text{ [MeV]}$$

Hierbei bedeuten  $Z_3$ ,  $R_3$  und  $A_3$  bzw.  $Z_4$ ,  $R_4$  und  $A_4$  die Protonenzahl, den Kernradius\* und die Massenzahl des emittierten Teilchens bzw. des Restkerns. C gibt das Potential zweier Punktladungen im Abstand  $R_3 + R_4$  wieder. Für Energien des einlaufenden Deuterons unterhalb der Coulombbarriere ist für die (d,p)-Reaktion der Oppenheimer-Phillips-Prozess am wahrscheinlichsten, so daß die Coulombbarriere keine Mindestschwelle darstellt (wie z.B. bei (d,n)-Reaktionen). Daher wurde in diesem Fall die Coulombschwelle für das auslaufende Proton nicht berücksichtigt. Dagegen sind für die (d,pxn)-Reaktionen die Coulombbarrieren angegeben, obwohl diese Reaktionen auch als stripping-Reaktionen betrachtet werden können.

Von besonderem Interesse sind die (d,xn)-Reaktionen, da es nicht bekannt ist, wieviel Neutronen maximal bei diesen Deuteronenenergien abdampfen können, und ob mit 52 MeV Deuteronen Reaktionen mit  $x > 5$  zu Ni-Isotopen weit weg von der Stabilitätslinie möglich sind.

## 2. Experimentelle Anordnung

Die  $^{59}\text{Co}$ -Targetfolien wurden sowohl als Folienpaket (Bereich 20-52 MeV) als auch als Einzelfolien (Bereich 10 - 20 MeV) bestrahlt. Hierzu wurden die ursprünglich 0,1 mm starken Co-Bleche, die aus spektroskopisch reinem Ausgangsmaterial (Johnson u. Matthey, London: Grade I) hergestellt waren, durch Auswalzen mit anschließendem Ausglühen im Vakuum auf 0,05 mm gebracht. Das Folienpaket bestand aus 18 Folien dieser Stärke ( $44 \text{ mg/cm}^2$ ), wobei die Co-Folien abwechselnd mit Absorberblechen aus Aluminium ( $63,6 \text{ mg/cm}^2$  bzw.  $26,8 \text{ mg/cm}^2$ ) in einem Bestrahlungskopf als Sandwich montiert waren. Die Bestrahlung dieses Folienpaketes erfolgte im "abgehobenen Strahl" des Zyklotrons. Dies ist eine Position im Innern der Maschine auf dem

\* Einheiten in Fermi

größten Radius hinter dem elektrostatischen Ablensystem (Septum); der abgelenkte Deuteronenstrahl trifft hierbei auf die Mitte des Folienpaketes.

Deuteronen mit einer maximalen Anfangsenergie von 52 MeV wurden beim Durchlaufen des Folienpaketes auf ca. 20 MeV abgebremst. Die Dicke der Absorberfolien war mit Hilfe von Reichweitentabellen <sup>(10)</sup> so berechnet, daß die Energie der Deuteronen von Targetfolie zu Targetfolie in Schritten von etwa 2 MeV abnahm. Für die Anfangsenergie von 52 MeV wurde auf Grund mehrerer Energiebestimmungen ein Fehler von ca.  $\pm 0,5\%$  gefunden; infolge zunehmender Energieaufspreizung im Deuteronenstrahl muß für die niedrigen Energien im Folienpaket eine Abweichung bis zu  $\pm 1$  MeV angenommen werden. In dem Energiebereich von 10 - 20 MeV wurden die Einzelfolien auf den entsprechenden Radien im Innenstrahl in 1 MeV Schritten bestrahlt; hierbei beträgt der Fehler in der Energie ca.  $\pm 1\%$ .

Der Teilchenstrom (ca.  $1\ \mu\text{A}$ ) konnte nur bei den Bestrahlungen der Einzelfolien einwandfrei mit einem Stromintegrator (Fa. Elcor, Modell A 309 B) bestimmt werden. Bei der Bestrahlung des Folienpaketes trat ein beträchtlicher Fehlstrom auf und verhinderte eine Ladungsmessung mit dem Stromintegrator. Daher wurde in diesem Fall der Teilchenstrom indirekt gemessen. An 3 Stellen im Folienpaket wurden zwischen die <sup>59</sup>Co-Folien Monitorfolien aus Aluminium ( $6,3\ \text{mg}/\text{cm}^2$ ) eingefügt. Aus den in den Monitorfolien erzeugten Aktivitäten konnte mit Hilfe der bekannten Anregungsfunktion <sup>(4,8)</sup> der Reaktion  $^{27}\text{Al}(d,p\alpha)^{24}\text{Na}$  der tatsächliche Teilchenstrom berechnet werden.

### 3. Auswertung

Zur Identifizierung der Reaktionsprodukte, die in Tabelle II aufgeführt sind, mit Hilfe von Halbwertszeiten und Zerfallsenergien wurden die  $\gamma$ -Spektren der einzelnen Folien mit einem Ge(Li)-Detektor (ca.  $12\ \text{cm}^3$ ) mehrmals während eines Zeitraumes von 5 Monaten mit einem Vielkanalanalysator gemessen. Die Zählraten in den  $\gamma$ -Linien wurden durch Anpassung einer schiefen Gaußkurve mit einem  $\chi^2$ -Minimalisierungsprogramm <sup>(11)</sup> bestimmt. Für den Untergrund wurde ein linearer Ansatz gewählt. Die so für verschiedene Zeitpunkte nach Ende der Bestrahlung gewonnenen Linieninhalte wurden hinsichtlich ihres zeitlichen Abfalls analysiert und mit Hilfe der bekannten Halbwertszeiten den erzeugten Isotopen zugeordnet.

Tabelle II : Nachgewiesene Nuklide mit Halbwertszeiten, Energien der intensivsten  $\gamma$ -Linien sowie Zahl der  $\gamma$ -Quanten pro Zerfall (12)

Nuklid	Halbwertszeit	Energie (keV)	Zahl der $\gamma$ -Quanten pro 100 Zerfälle
$^{57}\text{Ni}$	36,0 h	1375	86
$^{60}\text{Co}$	5,26 a	1173	99
		1332	99,4
$^{58}\text{Co}$	71,3 d	810	99,4
$^{57}\text{Co}$	270 d	122	88,8
$^{56}\text{Co}$	77 d	846	100
		1238	68
$^{59}\text{Fe}$	45 d	1100	55,6
		1290	43,5
$^{56}\text{Mn}$	2,58 h	846	99
$^{54}\text{Mn}$	303 d	835	100
$^{51}\text{Cr}$	27,8 d	320	9

Zur Bestimmung der absoluten Ansprechwahrscheinlichkeit des verwendeten Ge(Li)-Detektors wurden unter identischen Versuchsbedingungen mit  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{203}\text{Hg}$  als Eichpräparaten (IAEA, Wien; Fehler  $< 1\%$ ) mehrere Messungen ausgeführt und eine Ansprechwahrscheinlichkeitskurve ermittelt. Mit den Werten aus dieser Kurve für die jeweiligen Energien, den oben ermittelten Linieninhalten, dem errechneten Stromwert sowie den entsprechenden Konstanten wurden die Wirkungsquerschnittswerte berechnet.

Für die statistischen und systematischen Fehler der absoluten Wirkungsquerschnitte wurden ca. 15 % abgeschätzt. Der einfache statistische Fehler für die Linieninhalte schwankte für die einzelnen Anregungsfunktionen zwischen 1 % und 5 %. Für die Ansprechwahrscheinlichkeitswerte wurde ein Fehler von ca. 8 % angenommen. Da die Strommessung für das Folienpaket nur mit Hilfe der Aluminium-Monitorfolien möglich war, ist dieser Wert relativ unsicher und nur auf etwa 10 % bekannt. Die Zahl der  $\gamma$ -Quanten pro Zerfall wurde Ref. (12) entnommen.

#### 4. Ergebnisse

In den gemessenen  $\gamma$ -Spektren konnten  $\gamma$ -Übergänge der folgenden Nuklide identifiziert werden:  $^{57}\text{Ni}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Mn}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ . In den Figuren 1 - 4 sind die gemessenen Anregungsfunktionen wiedergegeben und in den Tabellen III und IV die Ergebnisse zusammengefaßt. Auf keiner der bestrahlten Targetfolien konnte eine  $\gamma$ -Linie des  $^{56}\text{Ni}$  oder des  $^{55}\text{Co}$  nachgewiesen werden; die Nachweisgrenze für den Bildungsquerschnitt dieser Kerne lag bei ca. 50  $\mu\text{b}$ .

Bei Bestrahlung des Folienpakets mit 52 MeV Deuteronen werden sehr energiereiche Neutronen erzeugt, deren Spektrum in Vorwärtsrichtung ein Maximum bei ca. 20 MeV hat und bei ca. 33 MeV bereits um eine Zehnerpotenz abgefallen ist <sup>(13)</sup>. Daher müssen für die Bestrahlung des Folienpaketes, d.h. für den Energiebereich oberhalb 20 MeV, Beiträge von (n,x)-Reaktionen in Betracht gezogen werden. Für Zwecke der Diskussion sind mögliche Beiträge dieser Art in Tabelle III berücksichtigt.

#### 5. Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse liefern keine detaillierten Aussagen über den Bildungsmechanismus der erzeugten Isotope und den Beitrag der möglichen Kanäle. Nur in günstigen Fällen läßt sich aus dem Vergleich der berechneten Schwellen und der beobachteten Einsatzpunkte ein Hinweis gewinnen. Dies ist z.B. der Fall bei der Bildung von  $^{56}\text{Co}$  und  $^{54}\text{Mn}$ , wobei mindestens für den Beginn der Anregungsfunktionen der Tritonenkanal und (was bei Annahme eines Compound-Mechanismus plausibel ist) Kanäle mit schwereren Teilchen ( $A > 4$ ) unterdrückt erscheinen.

Wie bereits oben erwähnt, können im Energiebereich oberhalb 20 MeV die von schnellen Sekundärneutronen induzierten Reaktionen einen Beitrag liefern. Auf Grund des Energiespektrums der Neutronen und der Reaktionsschwellen (s. Tabelle III) spielen solche Beiträge bei den vorliegenden Messungen allenfalls bei der Bildung von  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$  und  $^{56}\text{Mn}$  eine Rolle. Einen Hinweis über die Größe des Beitrages kann man aus dem Vergleich der Bestrahlungen des Folienpaketes und der Einzelfolien am Anschlußpunkt (20 MeV) erhalten. Es zeigt sich, daß dort die Meßwerte im Rahmen der Genauigkeit (ca. 15 %) übereinstimmen und sich somit eine obere Grenze für den Beitrag eines Neutronenkanals ableiten läßt. Damit kann größenord-

nungsmäßig die Neutronenausbeute abgeschätzt werden, wenn man z.B. die Wirkungsquerschnittsmessungen von Jessen u.a. <sup>(14)</sup> für die  $^{59}\text{Co}(n,2n)^{58}\text{Co}$ -Reaktion heranzieht. Danach sollte die Neutronenausbeute für die gegebenen Bestrahlungsbedingungen bei ca.  $8 \cdot 10^{10}$  Neutronen/ $\mu\text{C}$  liegen. Eine hiervon unabhängige Abschätzung der Neutronenausbeute aus den experimentellen Ergebnissen von Schweimer <sup>(13)</sup> ergibt einen ähnlichen Wert. Hieraus kann geschlossen werden, daß die Beiträge der (n,2n)-, (n,3n)-, (n,p)- und (n, $\alpha$ )-Reaktionen sicher kleiner als 10 % sind.

Auf Grund der experimentellen Bedingungen sollten als (d,xn)-Reaktionen die (d,4n)-Reaktion zum  $^{57}\text{Ni}$  und die (d,5n)-Reaktion zum  $^{56}\text{Ni}$  nachweisbar sein. Es ist auffällig, daß die Bildung von  $^{56}\text{Ni}$  nicht nachgewiesen werden konnte, im Gegensatz zu der Erzeugung von  $^{56}\text{Co}$ . Ferner fällt auf, daß der Einsatzpunkt der  $^{59}\text{Co}(d,4n)^{57}\text{Ni}$ -Reaktion deutlich höher liegt als die berechnete Schwelle, ein Effekt, der vielleicht einen Hinweis auf das Ausbleiben der  $^{59}\text{Co}(d,5n)^{56}\text{Ni}$ -Reaktion gibt.

In den Spektren von 5 Folien wurde eine schwache Linie bei ca. 320 keV gefunden, die bei der Analyse als einzig möglichem Nuklid dem  $^{51}\text{Cr}$  zugeordnet werden mußte. Die sehr unsicheren Werte für den Wirkungsquerschnitt sind mit einem Fehler von etwa 50 % behaftet und zeigen aufgetragen keinerlei Struktur (Fig. 4).

Herrn Dr. G. Schatz und Herrn Dr. H. Rebel danke ich für wertvolle Hinweise und kritische Diskussionen.

Literaturverzeichnis

1. N. Baron and B.L. Cohen, Phys. Rev. 129 (1963) 2636
2. S. Mayo, W. Schimmerling, M.J. Sametband and R.M. Eisberg,  
Nucl. Phys. 62 (1965) 393
3. J.B. Natowitz and R.L. Wolke, Phys. Rev. 155 (1967) 1352
4. G. Christaller, European Colloquium on A.V.F. Cyclotrons, Eindhoven 1965
5. J. Lange, H. Münzel, Radiochim. Acta 9 (1968) 66
6. A. Karpeles, Radiochim. Acta 12 (1969) 212
7. J.W. Clark, C.B. Fulmer and I.R. Williams, Phys. Rev. 179 (1969) 1104
8. U. Martens and G.W. Schweimer, KFK-Report No. 1083 (1969)
- ~~9. J.H.E. Mattauch, W. Thiele and A.H. Wapstra, Nucl. Phys. 67 (1965) 1~~
10. C.F. Williamson, J.P. Boujot and J. Picard, Rapport CEA-R 3042 (1966)
11. J. Specht, H. Rebel, G. Schatz, G.W. Schweimer, G. Hauser and R. Löhken,  
KFK-Report No. 967 (1969)
12. C.M. Lederer, J.M. Hollander and I. Perlman, Table of Isotopes (1967)
13. G.W. Schweimer, KFK-Report No. 504 (1966)
14. P. Jessen, M. Bormann, F. Dreyer and H. Neuert,  
Nuclear Data Section A, Vol. 1 No. 2 (1966)

Tabelle III: Zusammenstellung der möglichen Reaktionskanäle (einschließlich der durch Sekundär-Neutronen induzierten Reaktionen) und der entsprechenden Schwellen für die gebildeten Endkerne sowie Beginn, Lage und Höhe der Maxima der gemessenen Anregungsfunktionen.

Mögliche Reaktionskanäle	Schwelle (MeV)	Coulombbarriere (MeV)	Gemessener Einsatz (MeV)	Lage des Maximums (MeV)	$\sigma$ im Maximum (mb)
$^{59}\text{Co}(d,4n)^{57}\text{Ni}$	26.2	-	31	> 52	ca. 6.3
$^{59}\text{Co}(d,p)^{60}\text{Co}$	0	-	10	ca. 8	290
$^{59}\text{Co}(d,t)^{58}\text{Co}$	4.4	5.2			
(d,dn)	10.8	5.4	10	33	520
(d,p2n)	13.1	5.7			
(n,2n)	10.7	-			
$^{59}\text{Co}(d,tn)^{57}\text{Co}$	13.2	5.3			
(d,d2n)	19.7	5.5	20	47	230
(d,p3n)	22.0	5.8			
(n,3n)	19.4	-			
$^{59}\text{Co}(d,t2n)^{56}\text{Co}$	25.0	5.3			
(d,d3n)	31.5	5.5	37	> 52	-
(d,p4n)	33.8	5.8			
(n,4n)	31.0	-			
$^{59}\text{Co}(d,2p)^{59}\text{Fe}$	3.1	5.5	13	ca. 28	11
(n,p)	0.8	5.4			
$^{59}\text{Co}(d,p\alpha)^{56}\text{Mn}$	2.0	9.5	11	27	8.6
(n, $\alpha$ )	0	9.4			
$^{59}\text{Co}(d,^7\text{Li})^{54}\text{Mn}$	8.7	13.6			
(d,t $\alpha$ )	11.3	9.6	34	> 52	7.5
(d,p $\alpha$ 2n)	20.1	9.6			
(n, $\alpha$ 2n)	17.5	9.4			
$^{59}\text{Co}(d,^{10}\text{Be})^{51}\text{Cr}$	10.6	16.9	(43)	keine Struktur	(16)
(d,2 $\alpha$ 2n)	19.3	9.4			



Tabelle IV: Gemessene Wirkungsquerschnitte in mb für die Bildung von  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Mn}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Ni}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{51}\text{Cr}$  bei Bestrahlung von  $^{59}\text{Co}$  mit Deuteronen im Energiebereich 10-52 MeV.

$E_d$ (MeV)	$^{60}\text{Co}$ (1173 keV)	$^{58}\text{Co}$ (810 keV)	$^{57}\text{Co}$ (122 keV)	$^{59}\text{Fe}$ (1100 keV)	$^{56}\text{Mn}$ (846 keV)
10	264	2.98			
11	215	6.15			0.005
12	208	8.40			0.027
13	178	9.06			0.076
14	162	11.7			0.247
15	143	13.0		2.33	0.598
16	128	18.3		3.11	1.31
17	114	25.2		2.90	1.72
18	122	70.5		5.51	3.75
19	103	92.6		6.08	4.04
19.9	100	120		7.01	4.74
19.9	87.4	102	1.60	5.71	4.25
22.0	95.8	207	1.93	9.12	6.35
23.9	65.0	306	3.63	9.58	7.93
25.7	77.3	385	5.09	10.7	8.35
27.5	66.6	438	7.47	9.40	8.41
29.3	62.6	491	17.0	10.4	7.96
30.8	51.8	511	32.0	10.5	7.36
32.4	54.0	519	54.8	9.48	7.11
33.8	58.0	516	81.2	10.2	6.85
35.2	52.0	509	110	10.0	6.62
37.4	41.4	490	153	10.3	6.14
39.4	38.2	468	183	8.66	6.23
41.4	25.6	446	208	9.48	5.55
43.3	32.1	430	215	9.57	5.12
45.3	28.2	425	228	9.16	5.27
47.2	75.7	406	225	9.30	4.99
49.0	82.0	396	226	7.71	4.91
52.0		373	218	10.5	5.30

Fortsetzung Tabelle IV

$E_d$ (MeV)	$^{56}_{\text{Co}}$ (846 keV)	$^{56}_{\text{Co}}$ (1238 keV)	$^{57}_{\text{Ni}}$ (1378 keV)	$^{54}_{\text{Mn}}$ (834 keV)	$^{51}_{\text{Cr}}$ (320 keV)
30.8			0.079		
32.4			0.313		
33.8			0.616	3.46	
35.2			0.930	4.14	
37.4	0.88		1.74	11.2	
39.4	2.21		2.79	25.5	
41.4	2.42	2.51	3.64	34.2	
43.3	4.26	4.62	4.64	41.9	22.8
45.3	6.85	6.87	5.14	58.8	11.1
47.2	10.9	11.4	5.95	66.9	12.6
49.0	16.7	18.3	5.93	71.2	16.2
52.0	27.9	28.0	6.04	73.1	14.5

Bildunterschriften

Fig. 1 : Anregungsfunktionen für die Bildung von  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$  und  $^{58}\text{Co}$  bei Bestrahlung von  $^{59}\text{Co}$  mit Deuteronen.

Fig. 2 : Anregungsfunktionen für die Bildung von  $^{57}\text{Ni}$  und  $^{56}\text{Mn}$  bei Bestrahlung von  $^{59}\text{Co}$  mit Deuteronen.

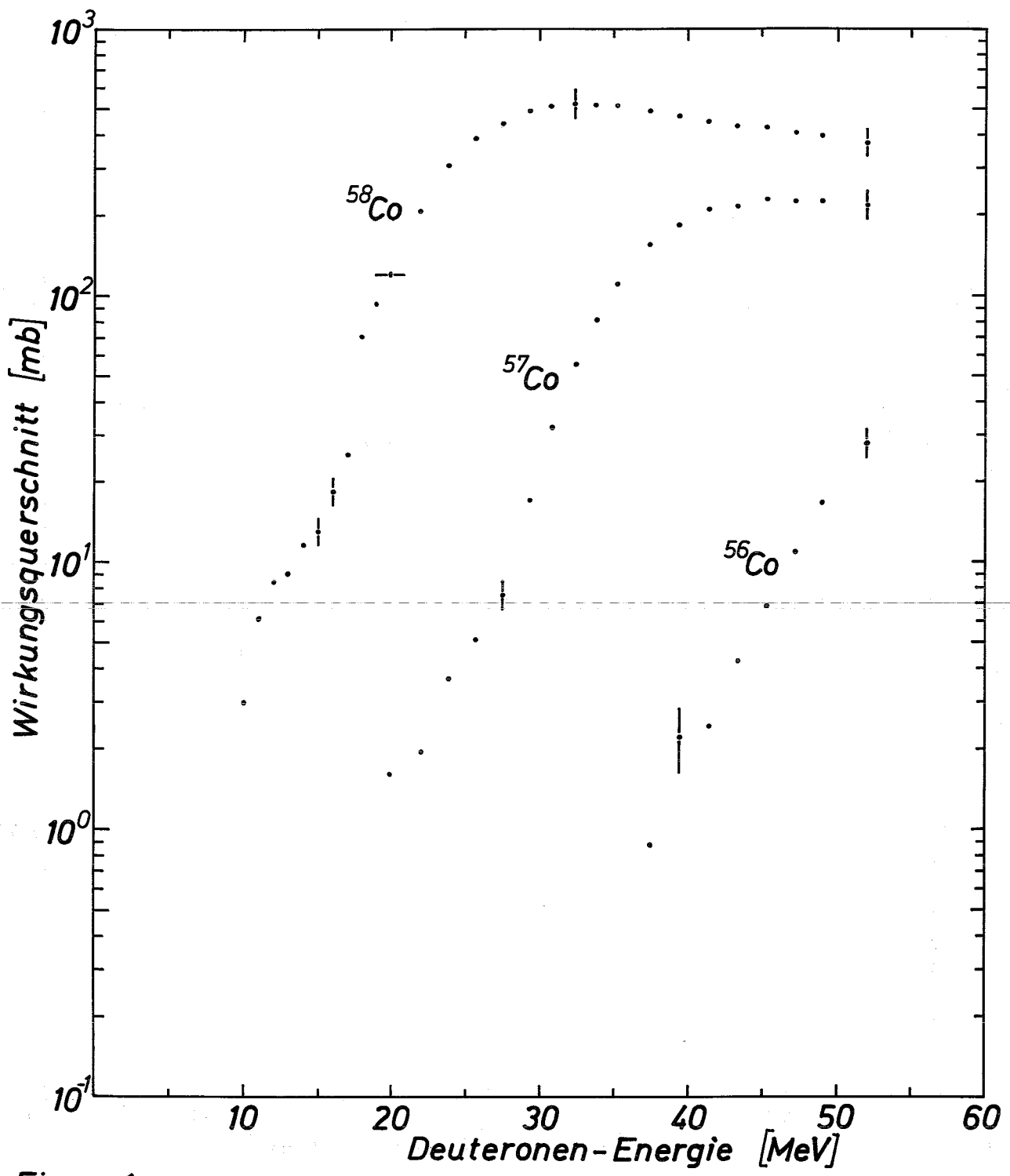
Fig. 3 : Anregungsfunktionen für die Bildung von  $^{59}\text{Fe}$  und  $^{60}\text{Co}$  bei Bestrahlung von  $^{59}\text{Co}$  mit Deuteronen. Bereits bekannte Meßwerte wurden berücksichtigt von:

o Baron and Cohen <sup>(1)</sup>,  $\Delta$  Natowitz and Wolke <sup>(3)</sup>

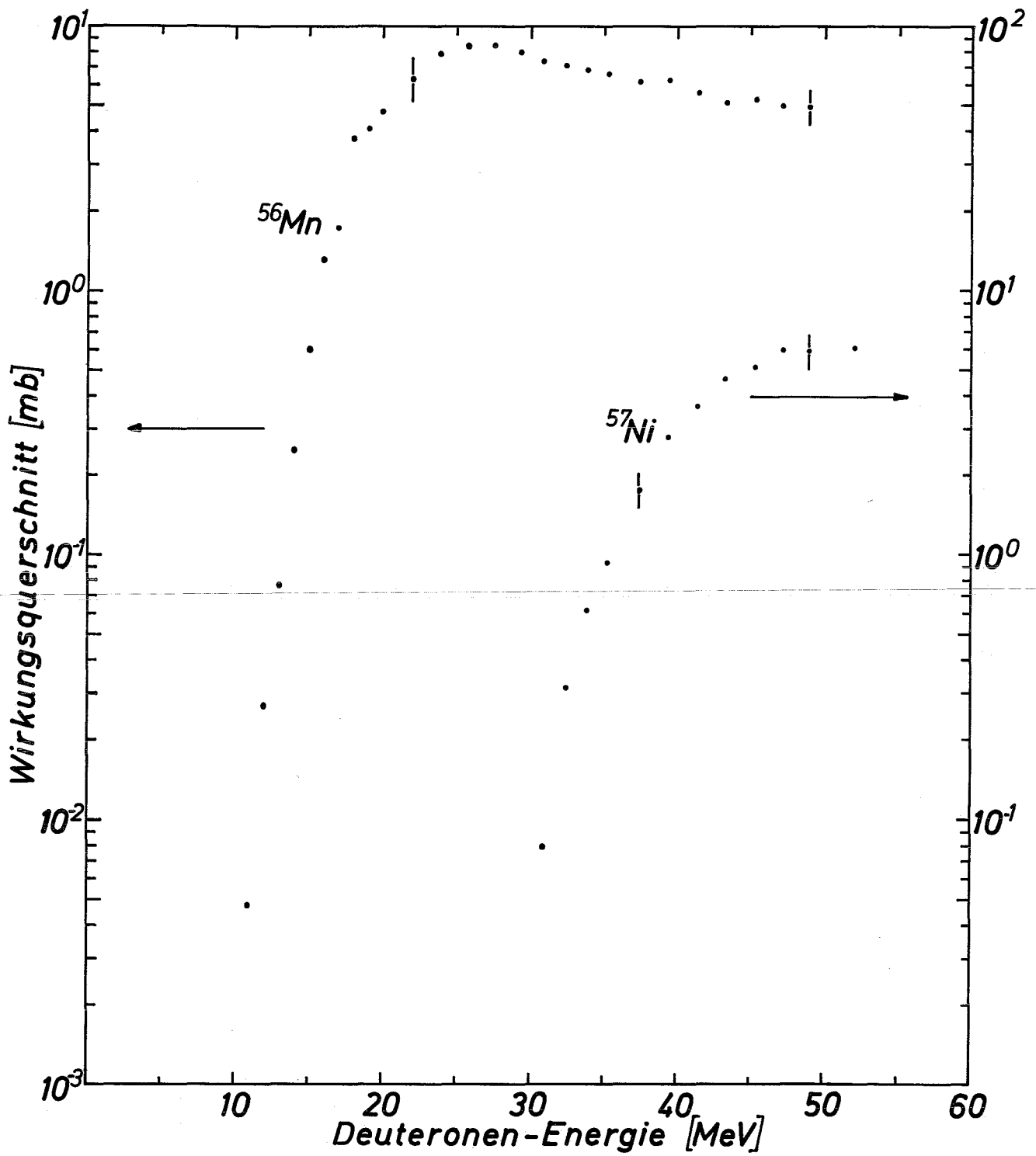
+ Clarke and Irvine (berichtet in Ref. (3)).

Fig. 4 : Anregungsfunktionen für die Bildung von  $^{54}\text{Mn}$  und  $^{51}\text{Cr}$  bei Bestrahlung von  $^{59}\text{Co}$  mit Deuteronen.

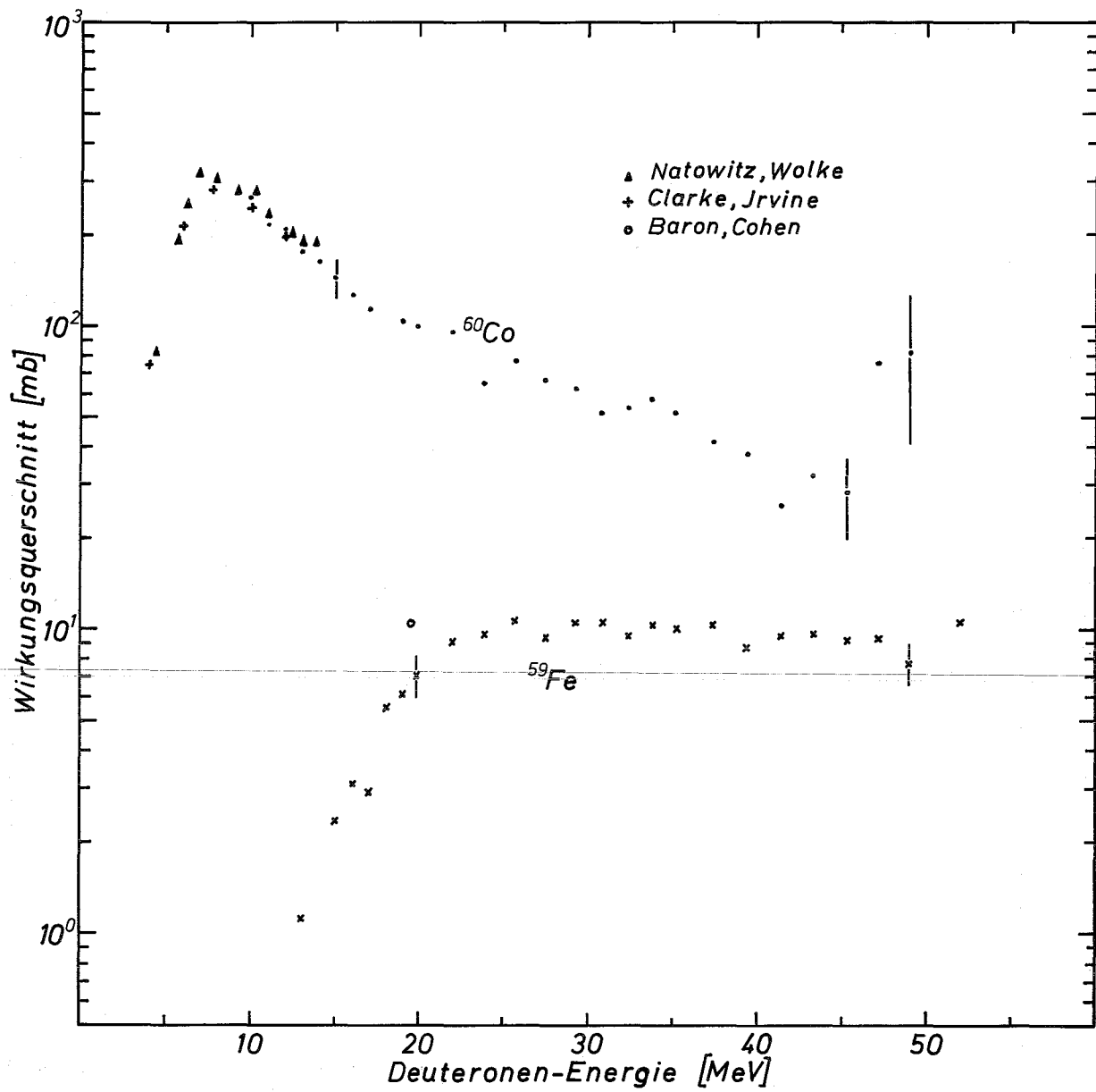




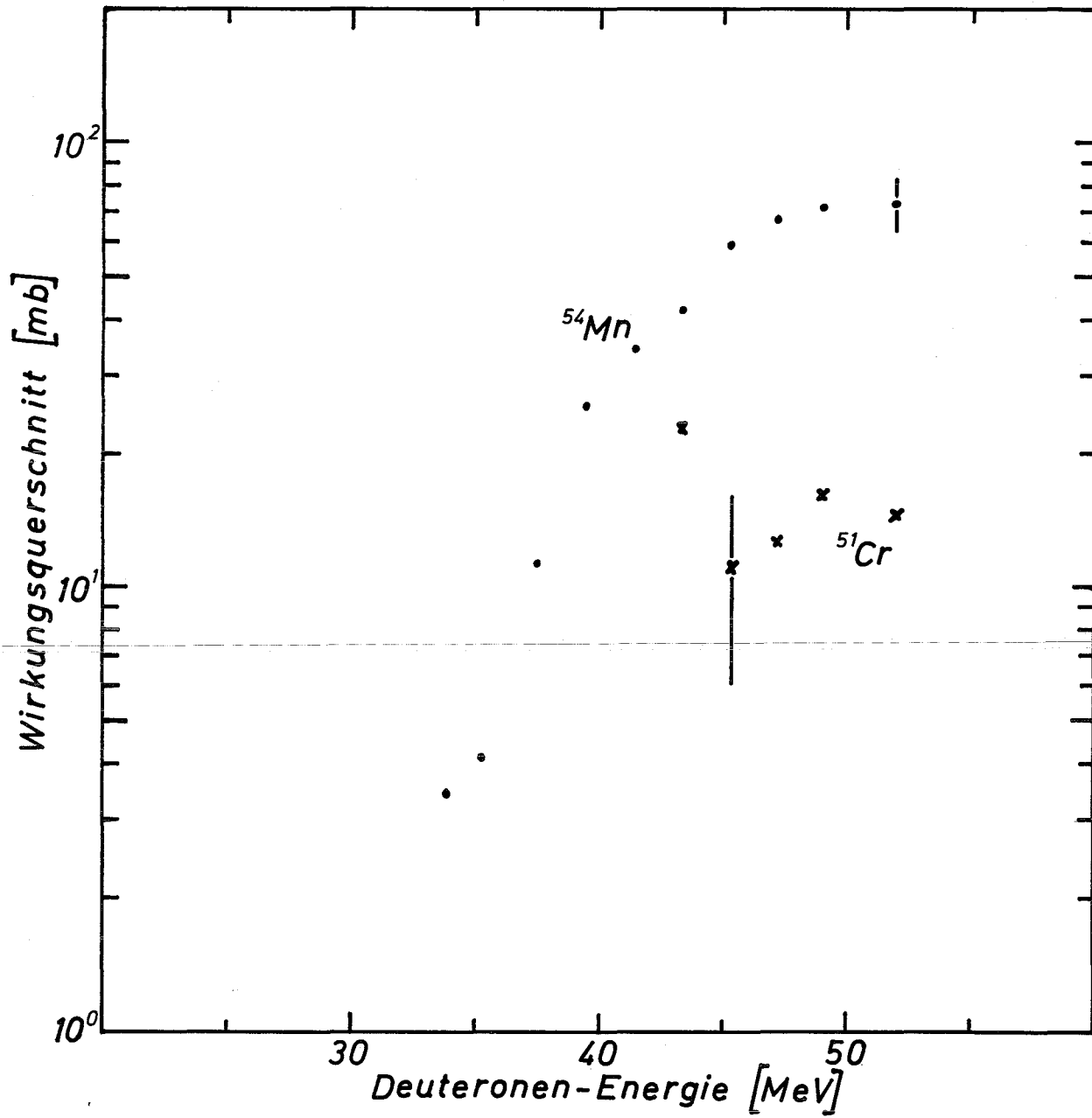
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4