

Institut für Reaktorexperimente
KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH
des Landes Nordrhein-Westfalen

Vermessung von Gold- und Manganfolien
als Sonden zur Neutronenflußmessung

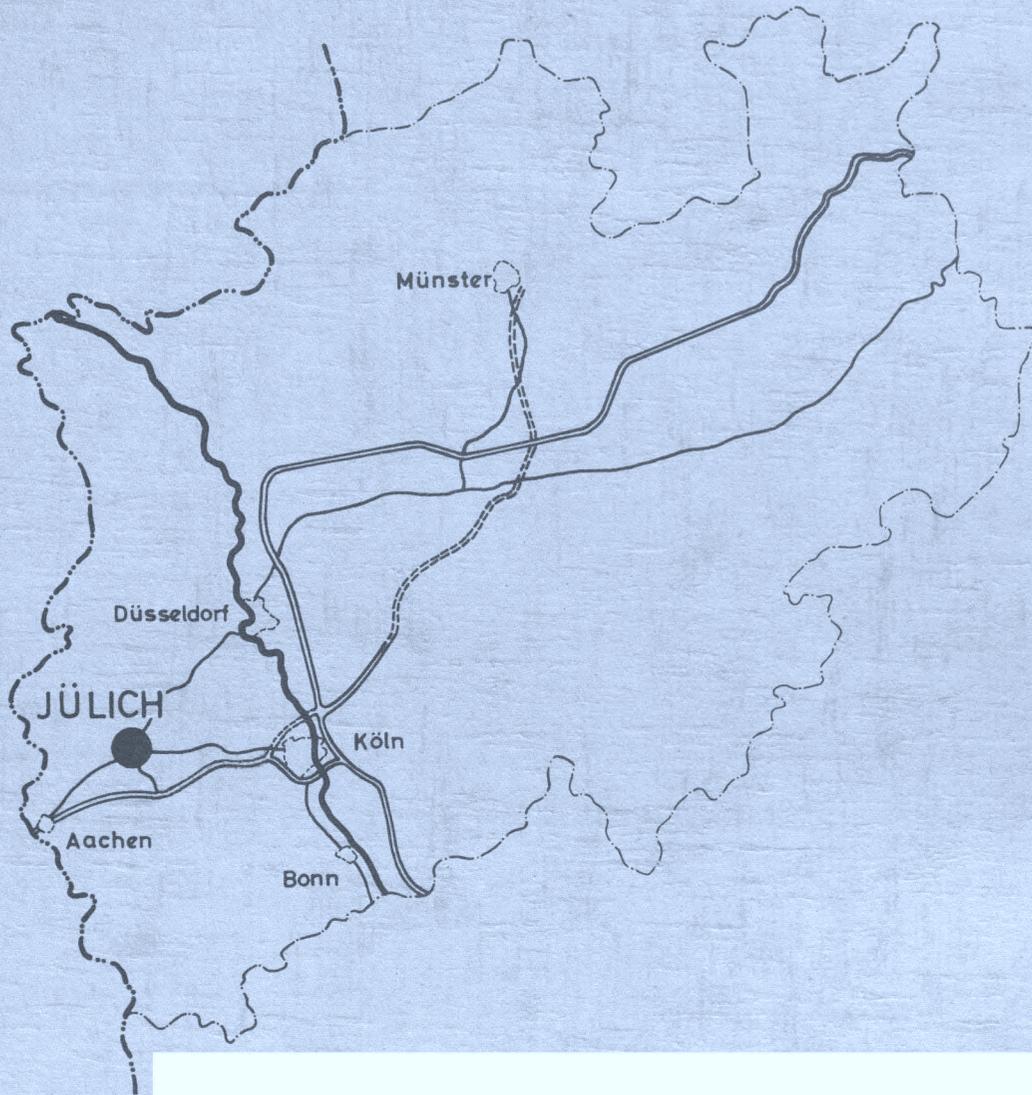
von

W. Schneider

Jül - 9 - RX

März 1961

Als Manuskript gedruckt



Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 9

Institut für Reaktorexperimente Jül – 9 – RX

Dok.: METALLIC FOLLS-CALIBRATION * DK 539.1.074.85

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich
Jülich, Bundesrepublik Deutschland

Vermessung von Gold- und Manganfolien
als Sonden zur Neutronenflußmessung. I.

Zusammenfassung.

Masse und Durchmesser von je 50 Au- und Mn-Folien wurden bestimmt. Die dazugehörigen Fehlerrechnungen wurden durchgeführt und Korrekturen zur Folienform und Zählrohrbeute berechnet. Ein weiterer Bericht, enthaltend die Messung der Dicken- schwankung über die Folienfläche sowie Aktivierungsvergleiche der Folien, soll folgen.

I. Einleitung.

Die Folien sind kreisförmig mit 1 cm^2 Nennfläche. Die Nenn- dicke der Goldfolien beträgt $0,020 \text{ mm}$ ¹⁾, das Nennflächen- gewicht der Mangan-Folien etwa 90 mg/cm^2 ²⁾, deren Nenn- dicke also rd. $0,120$ bis $0,130 \text{ mm}$.

¹⁾ nach Beschluß der Vierten Sitzung des Arbeitsausschusses für Verwaltungs- und Betriebsfragen der deutschen Reaktor- stationen am 23.6.1959 in Frankfurt/M.

²⁾ entspr. AEI-Bericht A 950 von K.G. STEPHENS und W.M. COOPER vom Juli 1959.

Die Folienauswahl ²⁾ erfolgt so, daß die jeweils 50 Folien in höchstens 5 Gruppen zu je mindestens zehn zusammengefaßt sind; innerhalb jeder Gruppe sind die Folien ohne Korrekturen austauschbar. Die nach Gewichtsintervallen sortierten Gruppen schließen so aneinander an, daß sich zwei benachbarte Gruppen um nur eine (β -Selbstabsorptions-) Korrekturereinheit unterscheiden; s. Tab. Vb.

Abschnitt II beschreibt die Folien, Abschnitt III diskutiert die Korrekturen, Abschnitt IV beschreibt die durchgeführten Messungen und Abschnitt V stellt die Meßergebnisse zusammen.

II. Folien-Beschreibung

- a) Allgemein. Die Folien wurden durch möglichst feines Einritzen am Rande mit einer Reißnadel gekennzeichnet.
- b) Goldfolien. Diese wurden als Walz-Feingoldfolie 99,99 bis 99,999 % reinst von Fa. Heraeus, Hanau, bezogen. Chemisch nachweisbare Verunreinigungen sollen sein: Cu, Pt, Ag. Mit dem Hersteller wurden folgende Lieferbedingungen vereinbart:
 - a) Da Lochfreiheit bei Foliendicken unter 70 μm nicht garantiert werden kann, soll beim Walzen darauf geachtet werden, daß die Zahl der Löcher pro m^2 Foliensfläche im Rahmen des normalen Herstellungsvorgangs möglichst gering bleibt.

B) Da keine zahlenmäßige Zusage über die Einhaltung einer Dickentoleranz gemacht werden konnte, soll beim Walzen auf möglichst geringe Abweichung von der Dickenhomogenität geachtet werden.

Die Folien wurden mit einem Präzisions-Stanzwerkzeug gestanzt, das die Fa. Rhein. Nadelfabriken G.m.b.H., Aachen, in Sonderanfertigung gebaut hat.

Nach dem Eintreffen zeigte die Gesamtfolie eine glatte Oberfläche und war nahezu knitterfrei. Nach dem Stanzen waren die Einzelfolien unverändert, hatten visuell saubere Stanzränder und keine Verbeulungen. Unter dem Mikroskop (s. IV) zeigten die Folienoberflächen eine Textur von wenigen dünnen langen geraden Linien. Die Stanzränder erwiesen sich unter dem Mikroskop hin und wieder als ausgezackt oder ausgehöhlt, die Tiefe der Unregelmäßigkeiten ist jedoch nirgends größer als wenige μm . Der Rand ist praktisch überall scharf gestanzt. Unregelmäßigkeiten des Randes sowie gelegentlich vorkommende Löcher sind in Tabelle Vc aufgeführt; sie zeigten nie größere Flächen als $\sim 10^{-5} \text{ cm}^2$.

c) Manganfolien. Von diesen wurden 300 Stück gestanzt in einer Mn-Ni-Legierung (ca. 11 % Ni) "für Neutronenfluß-dichte-Messungen" in der selben Qualität wie für AEI geliefert bei Fa. Johnson, Matthey u. Co., London, bezogen. Die vom Hersteller angegebene Foliendicke beträgt $(0,005 \pm 0,0005) \mu\text{m} \approx (125 \pm 12,5) \mu\text{m}$.

Die Folien haben völlig glatte Oberflächen mit breiten durchgehenden hellen Streifen. Sie zeigen keine Textur. Mit wenigen Ausnahmen enthalten sie starke mechanische Spannungen (Durchwölbung), die jedoch keine Korrektur notwendig macht (s. IIIId). Die Stanzränder sind visuell sauber und erwiesen sich unter dem Mikroskop als frei von Auszackungen, sind aber häufig unscharf. Löcher traten in den Folien keine auf.

III. Korrekturen

a) für Neutronenflußabsenkung in der Folie ³⁾.

Die Aktivierung einer Folie der Dicke δ [g/cm²] mit makroskopischem Aktivierungskoeffizient $\mu_a(v_0)$ [cm²/g] im thermischen Neutronenfluß $\Phi_{th} = nv_0$ (n Neutronendichte) beträgt für Absorber mit Wirkungsquerschnitt $\frac{1}{v}$ pro cm² Folienfläche

$$A = \Phi_{th} \mu_a(v_0) \delta K_s K_d \quad (1)$$

v_0 ist die wahrscheinlichste Geschwindigkeit der MAXWELL-Verteilung. Der Flußabsenkungsfaktor, gemittelt über die Geschwindigkeitsverteilung, ist:

³⁾ nach K. WIRTZ und K.H. BECKURTS, Elementare Neutronenphysik, Springer-Verlag 1958, bes. Abschn. 8

$$K_s = \frac{\overline{\varphi_0(x)}}{2x_0} \quad (2)$$

mit $x = \mu\delta$, $x_0 = \mu(v_0)\delta$, μ [cm²/g] ist der makroskopische Absorptionskoeffizient der Folie.

In (2) ist für 1/v-Absorber

$$\overline{\varphi_0(x)} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \varphi_0(x_0) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \left[1 - (1-x_0) e^{-x_0} + x_0^2 \text{Ei}(-x_0) \right] \quad (3)$$

Für unsere Folien können wir wegen $x_0 \ll 1$ in (2a)

setzen:

$$\varphi_0(x_0) = 2x_0 + (\ln x_0 - 0,7194) x_0^2 - \frac{x_0^3}{3} + \dots \quad (3a)$$

In Tabelle Vb sind die numerischen Werte zusammengestellt.

b) für Neutronendepression in der Umgebung der Folie ³⁾.

Der Korrekturfaktor K_d für Flußdepression in (1) ist gegeben durch

$$K_d = \frac{1}{1+K_c} \text{ mit } K_c = \left[\frac{3}{4} \frac{L}{\lambda_{tr}} (1 - e^{-\frac{R}{L}}) - 0,06 \right] \overline{\varphi_0(\mu\delta)} \quad (4)$$

Darin sind L die Diffusionslänge und λ_{tr} die Transportweglänge in [cm] im Moderator und R der Folienradius in [cm].

(3) ist eine im Bereich $1,5 \ll R/\lambda_{tr} \ll 3$ empirisch gewonnene Formel, die auf unseren Fall noch anwendbar ist.

In Tabelle Vb sind die berechneten Korrekturfaktoren zusammengestellt.

c) für β -Selbstabsorption in der Folie ^{3a)}.

Der dickenabhängige β -Ausbeutefaktor einer β -strahlenden Substanz ist gegeben durch

$$a_{\beta} = MK_{\text{selbst}} \quad (5)$$

worin M [g] die Masse der Substanz und bei Annahme von senkrechtem Strahlengang

$$K_{\text{selbst}} = \frac{1 - e^{-\chi\delta}}{\chi\delta} \quad (6)$$

der Selbstabsorptionskoeffizient ⁴⁾ ist mit δ wie bisher und dem β -Massenabsorptionskoeffizienten χ [cm²/g]. Für zwei Folien mit wenig voneinander abweichendem δ ist die Ausbeuten-Abweichung (Index "H" bezieht sich auf die "Hauptfolie" der betreffenden Foliengruppe)

^{3a)} entsprechend dem Fall: kleine Neutronen- und große Elektronenabsorption bei WIRTZ-BECKURTS, S. 125

⁴⁾ nach R.D. EVANS. The Atomic Nucleus, Mc Graw Hill Co. 1955, Kapitel 21, kann die Schwächung auch eines kontinuierlichen β -Spektrums durch ein von einer Energie $E = E_{\text{max}}$ abhängiges Exponentialgesetz beschrieben werden.

$$\left| \frac{a_{\beta} - a_{\beta}^{(H)}}{a_{\beta}^{(H)}} \right| = \frac{e^{-\chi \delta_H} - e^{-\chi \delta}}{1 - e^{-\chi \delta_H}} \approx \frac{\chi(\delta - \delta_H)}{e^{\chi \delta_H} - 1} \quad (7)$$

unter der berechtigten Annahme, daß die Folienfläche $\frac{M}{\sigma}$ im Vergleich zu σ über alle Folien als konstant anzusehen ist.

Verlangt man aus Gründen des Eich-Anschlusses der Folien ²⁾

$$\left| \frac{a_{\beta} - a_{\beta}^{(H)}}{a_{\beta}^{(H)}} \right| \leq 0,01 \quad (8)$$

dann folgt für die zulässige Dickendifferenz innerhalb einer Foliengruppe:

$$\left| \delta - \delta_H \right| \leq 0,01 \frac{e^{\chi \delta_H} - 1}{\chi} \quad (9)$$

Tabelle Vb stellt die betreffenden Werte zusammen.

d) für abweichende Folienform.

Die von JOHNSON, MATHEY u. Co. gelieferten Mn-Folien zeigen großenteils mechanische Spannungen, denzufolge sie leicht gewölbt sind. Eine dieser Folien wurde mit dem Auflichtmikroskop vermessen. Es zeigte sich eine Krümmung von etwa der Form einer Kugelkalotte. Der wahre Radius R_0 der (gestreckten) Folie verhält sich zu dem gemessenen R wie:

$$\frac{R_0}{R} = 1 + \frac{2}{3} \left(\frac{B}{R} \right)^2 \quad (10)$$

Da $R = 6$ mm und die Durchbiegung $B = 0,03$ mm betragen, macht sich die Folienwölbung erst in der fünften Dezimale bemerkbar. Diese Abweichung liegt innerhalb unserer Fehlergrenze für die Folienfläche F , für die wir gefordert haben:

$$\frac{\Delta F}{F} = 2 \frac{\Delta R}{R} \approx \frac{1}{3} \% , \text{ also } \Delta R \leq 0,01 \text{ mm} \quad (11)$$

Diese Bedingung wurde eingehalten, s. Tabelle Vc.

IV. Messungen

a) Ausführung.

Die Folien wurden je sechsmal mit einer METTLER-Analysewaage Typ B6 (mit $\pm 0,02$ mg Genauigkeit im optischen Bereich) gewogen. Die Durchmesser wurden mit einem LEITZ-Forschungsmikroskop ORTHOLUX II in Durchlichtbeobachtung gemessen. Die wagrechte Längenmessung erfolgte mittels zweier in Schlittenebene rechtwinklig zueinander angebrachten Meßuhren mit ± 1 μm Ablesegenauigkeit. Die Höheneinstellung und -ablesung des Folienrandes geschah mit dem Feintrieb des Mikroskops.

Benutzt wurde ein Trockenobjektiv 10:1 mit Apertur 0,25 und ein Meßokular Periplan GF 25x. Der Durchmesser jeder Folie wurde dreimal in einer bestimmten Lage gemessen. Die Lage der Folien wurde zwischen vier solchen Meßreihen um je eine Vierteldrehung geändert.

b) Ergebnisse.

Die Meßwerte der Masse M , des Durchmessers \varnothing und des Flächengewichts $\delta \equiv 4M/\pi \varnothing^2$ sind in Tabelle Vc aufgeführt; diese enthält ferner die Ergebnisse folgender Fehlerrechnungen:

I. Die mittleren Meßfehler $E_{\bar{M}}$ und $E_{\bar{\varnothing}}$ der Mittelwerte \bar{M} und $\bar{\varnothing}$ für jede Folie.

II. Die Abweichungen $\Delta_{\bar{M}}$ und $\Delta_{\bar{\varnothing}}$ der Mittelwerte \bar{M} und $\bar{\varnothing}$ von den Mittelwerten aller Folien:

$$M_m = \sum \bar{M}/50, \quad \varnothing_m = \sum \bar{\varnothing}/50.$$

III. Die mittlere Unrundheit $(\overline{\Delta\varnothing/\varnothing})$ jeder Folie, gegeben durch die Abweichung der Größe $E_{\bar{\varnothing}}$ vom Mittelwert der mittleren Fehler E_{\varnothing} der mittleren Durchmesser \varnothing in den $l=4$ Folienlagen:

$$\frac{\overline{\Delta\varnothing}}{\bar{\varnothing}} = \frac{1}{\bar{\varnothing}} \left[\overline{E_{\bar{\varnothing}}^2} - \overline{E_{\varnothing}^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{mit} \quad E_{\varnothing}^2 \equiv \frac{1}{l} \sum E_{\varnothing}^2 \quad (12)$$

IV. Entsprechend I den zur mittelbaren Größe δ gehörigen mittleren Fehler: $E_{\bar{\delta}}$ ($E_{\bar{M}}$, $E_{\bar{\varnothing}}$).

V. Entsprechend II die zu δ gehörigen mittleren Abweichung.

$$\Delta_{\bar{\delta}} (\Delta_{\bar{M}}, \Delta_{\bar{\varnothing}}).$$

c) Diskussion.

Der mittlere Fehler der einzelnen Wägungen stimmt mit der vom Hersteller angegebenen Genauigkeit (s.o.) überein; er lag bei sechs Wägungen stets unter $\pm 0,05$ mg.

Der Mittlere Fehler der Durchmesser-Bestimmung lag bei den Goldfolien stets unter 9μ , bei den Manganfolien immer unter 12μ . Vergleich der Tabellen Vc und Vd zeigt, daß die Durchmesser alle innerhalb der durch (11) geforderten Flächengenauigkeit liegen.

Die mittleren Fehler der Durchmessermittelwerte weichen nur wenig vom Standardfehler des Mittelwerts aller Durchmesser ab; dies kann als Beweis dafür dienen, daß stets mit der gleichen Genauigkeit gemessen wurde. Die durch $(\overline{\Delta\phi}/\phi)$ in Tabelle Vc gegebene Unrundheit zeigt eine Flächenabweichung von höchstens $1/5$ des durch (11) geforderten Wertes. Die in Tabelle Vc aufgeführten Löcher und einzelnen unscharfen oder gezackten Stanzstellen haben alle eine Fläche $\Delta F \leq 10^{-5} F$, erfüllen also ebenfalls Forderung (11).

Die Spalten Δ_M , Δ_ϕ ; Δ_δ in Tabelle Vc zeigen, daß die Flächengewichtsstreuung praktisch allein von der Gewichtsstreuung abhängt. Die Masse der Folien ist demnach ein Maß für ihre Dicke, und es braucht bei den Folien untereinander nur für Massenstreuung, d.h. Dickenstreuung, korrigiert zu werden.

V. Tabellen

a) Allgemeine Daten

	Goldfolien	Manganfolien	Daten nach
I. Chem. Reinheit	Au-Gehalt 99,99 bis 99,999 %	neben Mn: Ni Gehalt ca. 11 %	Hersteller
II. Isotopenhäufigkeit	in Au ^{nat} : 100 % Au ¹⁹⁷	in Mn ^{nat} : 100 % Mn ⁵⁵ in Ni ^{nat} : 68,0 % Ni ⁵⁸ 26,2 % Ni ⁶⁰ 1,1 % Ni ⁶⁴ 3,7 % Ni ⁶² 1,0 % Ni ⁶⁴	5)
III. Aktivierungsreaktionen	<u>Au¹⁹⁷ (n, p) Au¹⁹⁸</u>	<u>Mn⁵⁵ (n, p) Mn⁵⁶</u> <u>Ni⁶⁴ (n, p) Ni⁶⁵ 2,57h</u> (Aktivierungsanteil 10 ⁻⁴ gegenüber Mn ⁵⁶) Andere Ni-Aktivitäten zu langlebig	" "
IV. Aktivierungsquerschnitte für unterstrichene Reaktionen σ_a für $v_0 = 2200 \text{ m/s}$	98,8 ± 0,3 b $\sigma_a = \sigma$ gesetzt	11,8 ± 0,2 b	6)
V. Absorptionsquerschnitte σ für $v_0 = 2200 \text{ m/s}$	98,8 ± 0,3 b	12,3 ± 0,2 b	"
VI. Aktivierungskoeffizient μ_a [cm ² /g] nach Zeile IV	0,301	0,128	
VII. Absorptionskoeffizient μ [cm ² /g] nach Zeile V Vom Endkern emittierte β -Strahlung (Zeilen VIII bis X)	0,301 Au ¹⁹⁸	0,133 Mn ⁵⁶	
VIII. E _{max}	99 % 0,963 MeV 1 % 0,290 " 0,01 % 1,37	50 % 2,86 MeV 30 % 1,05 " 20 % 0,7 "	7)
IX. T _{1/2}	2,69 d	2,6 h	"
X. β -Absorptionskoeffizient [cm ² /g]	25	6	2)

5) General Electric-Chart of the Nuclides, Edition 1956

6) D.J. HUGHES, R.F. SCHWARTZ, Neutron Cross Sections, BNL-325, 1958

7) O.R. FRISCH, Nuclear Handbook NEWNESS 1958

b) Korrekturgrößen nach Abschnitt III

	Goldfolien		Manganfolien		Berechnung
	in H ₂ O	in Paraffin	in H ₂ O	in Paraffin	
$\mu(v_0)\delta$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{max} \\ \text{min} \end{array} \right.$	0,01216		0,01224		Tab. Va,c
$\varphi_0(\mu(v_0)\delta)$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{max} \\ \text{min} \end{array} \right.$	0,02354		0,02371		(3a)
K_s $\left\{ \begin{array}{l} \text{max} \\ \text{min} \end{array} \right.$	0,8595		0,8591		(2)
R/λ_{tr}	1,32	· 1,43	1,32	· 1,43	3) , S.60
K_d $\left\{ \begin{array}{l} \text{min } (\mu\delta) \\ \text{max } (\mu\delta) \end{array} \right.$ mit \bar{R} und	0,9838	· 0,9826	0,9838	· 0,9826	(4)
K_d $\left\{ \begin{array}{l} \text{min } R \\ \text{max } R \end{array} \right.$ mit $\bar{\mu\delta}$ und	0,9832 ₉	· 0,9820 ₉	0,9833 ₇	· 0,9821 ₁	(4)
B-Selbst- absorptions- korrektur- einheit $ \delta - \delta_H $ $[mg/cm^2]$	0,6		1,0		(9)

(..): Gleichungen im Text

..): Anmerkungen im Text

c) Gemessene Folienwerte

Die Zeichen sind in Abschnitt IVb erläutert.

1. Goldfolien

Folien-Gruppe	Nr. der Folie	\bar{M} [mg]	$\frac{E_M}{M}$ [mg]	$\Delta \bar{M}$ [mg]	$\bar{\phi}$ [mm]	$\frac{E_{\bar{\phi}}}{\bar{\phi}}$ [mm]	$\Delta \bar{\phi}$ [mm]	$\frac{\Delta \bar{\phi}}{\bar{\phi}}$ [%]	$\bar{\delta}$ [$\frac{mg}{cm^2}$]	$\frac{E_{\bar{\delta}}}{\bar{\delta}}$ [$\frac{mg}{cm^2}$]	$\Delta \bar{\delta}$ [$\frac{mg}{cm^2}$]	Bemerkungen
I.	H IX	40,46	0,0106	0,78	11,293	1,91	0,006	0,014	40,39	0,0173	0,78	
	F VIII	40,41	0,0132	0,73	11,297	1,35	0,002	0,019	40,31	0,0214	0,73	
	H V	40,40	0,0128	0,72	11,292	0,695	0,007	< 0,010	40,34	0,0130	0,72	
	F IX	40,32	0,0061	0,64	11,294	1,82	0,005	0,014	40,24	0,0138	0,64	
	A I	40,26	0,0065	0,58	11,301	1,23	0,002	< 0,010	40,14	0,0109	0,58	
	K V	40,24	0,0055	0,56	11,296	2,24	0,003	< 0,010	40,16	0,0146	0,56	
	K III	40,11	0,0044	0,43	11,301	2,19	0,002	< 0,010	39,99	0,0162	0,43	
	H VI	40,10	0,0130	0,42	11,302	0,36	0,003	< 0,010	39,97	0,0148	0,42	
	E V	40,10	0,0101	0,42	11,294	1,18	0,005	< 0,010	40,02	0,0299	0,42	
	A II	40,04	0,0111	0,36	11,299	1,21	0,000	< 0,010	39,93	0,0140	0,36	
	K VI	40,04	0,0066	0,36	11,298	1,58	0,001	< 0,010	39,93	0,0129	0,36	
	F X	40,04	0,0132	0,36	11,293	1,50	0,006	< 0,010	39,97	0,0167	0,36	
	A III	40,03	0,0051	0,35	11,295	1,26	0,004	< 0,010	39,95	0,0103	0,35	
	E VII	40,02	0,0075	0,34	11,296	1,90	0,003	< 0,010	39,94	0,0154	0,34	
	E IX	40,02	0,0063	0,34	11,291	1,36	0,008	< 0,010	39,97	0,0165	0,34	
	H VII	40,01	0,0104	0,33	11,298	1,51	0,001	< 0,010	39,91	0,0148	0,33	
	A VII	40,01	0,0066	0,33	11,299	2,07	0,000	< 0,010	39,90	0,0160	0,32	
	E III	39,98	0,0118	0,30	11,302	1,80	0,003	< 0,010	39,85	0,0144	0,30	
	F I	39,98	0,0114	0,30	11,295	0,76	0,004	< 0,010	39,90	0,0126	0,30	
	K IV	39,96	0,0100	0,28	11,292	1,80	0,007	< 0,010	39,90	0,0157	0,28	
F VII	39,94	0,0095	0,26	11,296	1,68	0,003	< 0,010	39,85	0,0153	0,26		
E VIII	39,93	0,0128	0,25	11,293	1,82	0,003	< 0,010	39,86	0,0180	0,25		
E VI	39,90	0,0073	0,22	11,291	1,87	0,008	< 0,010	39,84	0,0151	0,22		
E X	39,86	0,0139	0,18	11,295	2,14	0,004	0,012	39,78	0,0202	0,18		
II.	K VII	39,85	0,0106	0,17	11,296	1,25	0,003	< 0,010	39,76	0,0138	0,17	Rand gezackt
	K II	39,82	0,0086	0,14	11,293	1,51	0,006	0,011	39,76	0,0134	0,14	Rand gezackt
	H VIII	39,80	0,0104	0,12	11,305	1,51	0,006	< 0,010	39,65	0,0148	0,08	4 kleine Löcher
	E IV	39,75	0,0068	0,07	11,300	1,29	0,001	< 0,010	39,64	0,0234	0,07	
	K VIII	39,74	0,0094	0,06	11,300	2,11	0,001	< 0,010	39,62	0,0174	0,06	Rand gezackt und kleine durchscheinende Stellen
	A IV	39,68	0,0086	0,00	11,302	0,98	0,003	< 0,010	39,55	0,0109	0,02	
	A V	39,66	0,0041	0,02	11,293	1,52	0,006	0,012	39,59	0,0114	0,02	
	E II	39,55	0,0082	0,13	11,298	0,93	0,001	< 0,010	39,44	0,0104	0,13	
	A VI	39,51	0,0057	0,17	11,298	2,51	0,001	0,017	39,41	0,0185	0,17	Rand gezackt
	F VI	39,47	0,0098	0,21	11,293	1,07	0,006	< 0,010	39,40	0,0128	0,21	
	K IX	39,46	0,0089	0,22	11,296	1,28	0,003	< 0,010	39,37	0,0125	0,22	Rand gezackt
	F II	39,42	0,0086	0,26	11,296	0,98	0,003	< 0,010	39,34	0,0109	0,26	
	H X	39,36	0,0052	0,32	11,296	1,14	0,003	< 0,010	39,27	0,0080	0,32	
	K X	39,35	0,0089	0,33	11,294	0,96	0,005	< 0,010	39,28	0,0111	0,33	
	E I	39,34	0,0163	0,34	11,304	1,00	0,005	< 0,010	39,20	0,0149	0,32	
H I	39,32	0,0090	0,36	11,300	1,89	0,001	< 0,010	39,21	0,0158	0,36	Rand gezackt, kleines Loch	
III.	K I	39,26	0,0111	0,42	11,291	0,98	0,008	< 0,010	39,21	0,0138	0,43	kleines Loch
	A X	39,16	0,0102	0,52	11,304	1,68	0,005	< 0,010	39,02	0,0157	0,52	Rand gezackt
	A VIII	39,15	0,0068	0,53	11,304	1,08	0,005	< 0,010	39,01	0,0101	0,53	Rand gezackt
	F III	39,07	0,0078	0,61	11,297	1,35	0,002	< 0,010	38,98	0,0120	0,61	
	H II	39,03	0,0045	0,65	11,290	2,20	0,009	< 0,010	38,98	0,0156	0,65	Rand mehrfach gezackt, 2 kleine Löcher
	F V	38,75	0,0116	0,93	11,294	2,06	0,005	0,011	38,68	0,0185	0,93	
	H III	38,74	0,0045	0,94	11,293	0,790	0,006	< 0,010	38,67	0,0071	0,94	Rand gezackt
	A IX	38,63	0,0094	1,05	11,303	2,46	0,004	0,020	38,50	0,0193	1,05	
	F IV	38,46	0,0048	1,22	11,295	1,42	0,004	< 0,010	38,38	0,0108	1,22	
H IV	38,24	0,0048	1,44	11,292	0,360	0,007	< 0,010	38,18	0,0090	1,44	kleines Loch	

c) Gemessene Folienwerte

Die Zeichen sind in Abschnitt IVb erläutert.

2. Manganfolien

Folien- gruppe	Nr. der Folie	\bar{M} [mg]	$ \bar{E}_P $ [mg]	$ \Delta \bar{M} $ [mg]	$\bar{\phi}$ [mm]	$ \bar{E}_{\bar{\phi}} $ [μm]	$ \Delta \bar{\phi} $ [mm]	$ \Delta \bar{\phi} $ [%]	$\bar{\delta}$ [$\frac{mg}{cm^2}$]	$ \bar{E}_{\bar{\delta}} $ [$\frac{mg}{cm^2}$]	$ \Delta \bar{\delta} $ [$\frac{mg}{cm^2}$]	Bemerkungen
I.	A X	92,57	0,0086	2,90	11,315	1,17	0,003	< 0,010	92,06	0,0210	2,84	
	K VI	92,51	0,0035	2,84	11,308	1,35	0,004	0,011	92,11	0,0210	2,84	
	H IX	92,45	0,0034	2,78	11,313	2,60	0,001	0,022	91,97	0,0420	2,78	Rand unscharf
	L X	92,25	0,0036	2,58	11,320	1,40	0,008	< 0,010	91,66	0,0230	2,58	
	L VI	92,17	0,0051	2,50	11,308	1,68	0,004	0,014	91,77	0,0277	2,50	
	E II	92,15	0,0020	2,48	11,300	2,30	0,012	0,019	91,88	0,0420	2,48	Rand unscharf
	M I	91,99	0,0036	2,32	11,318	2,01	0,006	0,017	91,43	0,0328	2,32	
	L VII	91,80	0,0041	2,13	11,316	2,24	0,004	0,020	91,27	0,0326	2,13	Rand unscharf
	L III	91,71	0,0094	2,04	11,312	1,25	0,000	< 0,010	91,25	0,0222	2,04	
	E IX	91,52	0,0055	1,85	11,310	2,06	0,002	0,018	91,09	0,0338	1,87	Rand unscharf
II.	M V	91,37	0,0036	1,70	11,301	1,80	0,011	0,015	91,09	0,0292	1,71	
	M II	91,18	0,0036	1,51	11,300	0,840	0,012	< 0,010	90,92	0,0140	1,52	Rand unscharf
	M III	91,16	0,0048	1,49	11,315	1,22	0,003	0,011	90,65	0,0201	1,49	
	F III	91,13	0,0080	1,46	11,320	0,630	0,008	< 0,010	90,55	0,0128	1,46	
	N VIII	91,07	0,0096	1,40	11,317	3,15	0,005	0,031	90,53	0,0515	1,40	
	A V	90,95	0,0098	1,28	11,317	0,920	0,005	< 0,010	90,41	0,0170	1,28	
	N IV	90,92	0,0059	1,25	11,316	2,35	0,004	0,020	90,40	0,0380	1,25	
	E IV	90,86	0,0077	1,19	11,314	1,44	0,002	0,012	90,37	0,0244	1,19	
	N V	90,64	0,0057	0,97	11,308	1,93	0,004	0,016	90,24	0,0319	0,97	Rand unscharf
	K IV	90,55	0,0163	0,88	11,316	1,33	0,004	0,012	90,03	0,0268	0,88	
III.	N VI	90,17	0,0131	0,50	11,311	1,55	0,001	0,013	89,73	0,0280	0,50	
	N VII	90,00	0,0001	0,33	11,318	0,492	0,005	< 0,010	89,45	0,0078	0,34	
	M VIII	89,96	0,0063	0,29	11,328	3,00	0,016	0,026	89,26	0,0480	0,383	kleine Einkerbung
	E VII	89,84	0,0070	0,17	11,301	1,17	0,002	0,030	89,28	0,0555	0,10	
	N I	89,76	0,0082	0,09	11,314	3,48	0,002	0,030	89,28	0,0555	0,10	
	H II	89,75	0,0044	0,08	11,308	0,750	0,004	< 0,010	89,36	0,0126	0,10	
	M X	89,61	0,0148	0,06	11,302	0,680	0,010	< 0,010	89,32	0,0183	0,17	
	M IX	89,50	0,0058	0,17	11,307	0,810	0,005	< 0,010	89,13	0,0137	0,18	
	N IX	89,23	0,0026	0,44	11,318	1,60	0,006	< 0,010	88,69	0,0159	0,45	Rand unscharf
	A VIII	89,09	0,0150	0,58	11,310	1,81	0,002	0,016	88,67	0,0322	0,58	
IV.	A II	88,75	0,0066	0,92	11,312	0,66	0,000	< 0,010	88,30	0,0124	0,92	
	F VI	88,68	0,0050	0,99	11,324	2,70	0,012	0,017	88,05	0,0426	1,02	
	K III	88,64	0,0067	1,03	11,314	1,26	0,002	< 0,010	88,16	0,0210	1,03	
	E I	88,62	0,0142	1,05	11,318	0,890	0,006	< 0,010	88,08	0,0200	1,05	
	N III	88,50	0,0051	1,17	11,308	2,40	0,004	0,021	88,12	0,0382	1,17	
	K I	88,35	0,0107	1,32	11,321	1,74	0,009	0,015	87,77	0,0293	1,32	
	K IX	88,29	0,0056	1,38	11,316	0,930	0,004	< 0,010	87,79	0,0155	1,38	
	N II	88,19	0,0030	1,48	11,302	1,03	0,010	< 0,010	87,90	0,0164	1,48	
	M VII	87,83	0,0018	1,84	11,317	1,54	0,005	0,013	87,31	0,0240	1,84	
	A I	87,80	0,0122	1,87	11,307	1,23	0,005	< 0,010	87,44	0,0226	1,87	
V.	A VII	87,80	0,0117	1,87	11,313	0,510	0,001	< 0,010	87,34	0,0141	1,87	
	M VI	87,60	0,0048	2,07	11,325	1,16	0,013	< 0,010	86,96	0,0184	2,08	
	K VII	87,45	0,0149	2,22	11,312	1,18	0,000	< 0,010	87,01	0,0236	2,22	
	H V	87,16	0,0146	2,51	11,318	0,430	0,006	< 0,010	86,63	0,0160	2,51	
	A III	87,08	0,0082	2,59	11,299	1,09	0,013	< 0,010	86,84	0,0186	2,60	
	T I	87,01	0,0157	2,66	11,312	1,13	0,000	< 0,010	86,57	0,0238	2,66	
	E VI	86,98	0,0082	2,69	11,314	2,13	0,002	0,016	86,51	0,0432	2,69	
	A IV	86,91	0,0085	2,76	11,315	1,44	0,003	0,012	86,43	0,0230	2,76	
	N X	86,84	0,0151	2,83	11,308	0,730	0,004	< 0,010	86,47	0,0188	2,83	Rand unscharf
	K V	86,74	0,0042	2,93	11,313	1,45	0,001	0,012	86,29	0,0218	2,93	

d) Mittelwerte aus den Meßwerten in c)

ϵ_{ϕ_m} mittlerer Fehler der Durchmesser-Einzelmessung

	Goldfolien	Manganfolien
M_m	39,68 mg	89,67 mg
ϕ_m	11,299 mm	11,312 mm
ϵ_{ϕ_m}	$\pm 4,8 \mu\text{m}$	$\pm 6,6 \mu\text{m}$
δ_m	39,46 mg/cm ²	89,20 mg/cm ²