

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

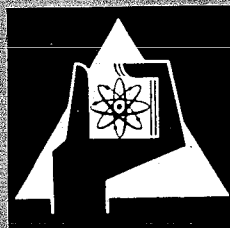
Juni 1971

KFK 1404

Institut für Angewandte Kernphysik
Projekt Aktiniden

Bestimmung des Wolframgehalts
von natürlichen Gesteinsproben aus Scheelitlagerstätten
mit Hilfe der prompten (n,γ) -Analyse

U. Fanger, D. Heck, P. Martens, R. Pepelnik, H. Schmidt



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Juni 1971

KFK 1404

Institut für Angewandte Kernphysik

Projekt Aktiniden

(Nr. 3)

Bestimmung des Wolfrangehalts von natürlichen
Gesteinsproben aus Scheelitlagerstätten mit Hilfe
der prompten (n,γ) -Analyse

von

U. Fanger, D. Heck, P. Martens, R. Pepelnik, H. Schmidt

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

Abstract

Six mineral samples from scheelite camps in Austria have been irradiated with thermal neutrons at the Karlsruhe FR-2 reactor and their promptly emitted gamma radiation has been analyzed in the energy range from 2.5 to 8.5 MeV. A method is deduced and discussed which allows the determination of element concentration independent of neutron flux, geometry and sample mass. The application of this method on the spectra measured yields results which agree quite well with the chemical data as far as known.

Handwritten text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is mostly illegible due to fading and bleed-through.



1. Einleitung

Bei der quantitativen Analyse von Elementen in natürlichen Proben zeichnet sich ab, daß gammaspektroskopische Methoden in vielen Fällen mit chemischen Verfahren konkurrenzfähig sind. Eine Reihe von Erfahrungen liegt bereits vor bei der Aktivierungsanalyse herkömmlicher Art, bei der die Gammastrahlung nach der Erzeugung von Aktivitäten über Kernreaktionen untersucht wird. In letzter Zeit gewinnt auch die Analyse der durch Neutroneneinfang induzierten prompten Gamma-Emission an Interesse ¹⁾. Ein charakteristischer Unterschied zur Aktivierungsanalyse mit verzögerter Gammastrahlung beruht darin, daß wegen der höheren Energie prompt emittierter Gammaquanten Selbstabsorptionseffekte im zu untersuchenden Material eine geringere Rolle spielen. Im übrigen sind für die Gammaintensitäten bei der einen wie bei der anderen Methode individuelle Kerneigenschaften verantwortlich, so daß von Fall zu Fall untersucht werden muß, welches kernspektroskopische Analysenverfahren (und ob überhaupt eines) geeignet ist.

In der vorliegenden Arbeit wird die Leistungsfähigkeit der Prompt-Einfanggamma-Analyse am Beispiel von sechs Pulverproben aus natürlichem Gestein von Scheelitlagerstätten demonstriert. Die interessanteste Größe bei allen Proben ist der Wolframgehalt, der durch chemische Voruntersuchungen mehr oder weniger bekannt war. Von praktischem Interesse sind diese Untersuchungen im Hinblick auf mögliche In-situ-Analysen bei Versuchsbohrungen im Rahmen der Wolframprospektion.

2. Experimentelle Verfahren

Sechs Proben aus gemahlenem Gestein in Mengen von durchschnittlich 9 g wurden in dünnwandigen Polyäthylen-Probenhaltern von weniger als 1 g Masse einem thermischen Neutronenfluß von ca. 10^8 n/cm² sec ausgesetzt. Als Neutronenquelle diente der C2-Kanal des Karlsruher FR2 Reaktors. Zur Reduktion von Gammaquanten und schnellen Neutronen aus dem Reaktor wurde ein 20 cm langer Bi-Filter verwendet. Zum Nachweis der Einfanggammastrahlung wurde eine planare Ge(Li)-Diode⁺ mit den Maßen \varnothing 34 mm x

⁺ Diese Diode ist Bestandteil der Multi-Detektor-Anordnung CONCA.

10 mm benutzt, deren Abstand vom Target ca. 70 mm betrug. Trotz der hohen Zählraten von einigen 10^4 cps konnte durch wirksame Pile-up-Unterdrückung und Base-line-Restoration eine Energieauflösung von 6.2 keV für die zweiten Paarlinien des Fe-Dubletts bei 7639 keV in unstabiler 20-Stunden-Messung erreicht werden.

Alle Proben wurden bei gleicher elektronischer Einstellung im Energiebereich⁺⁺ von 2,5 MeV bis 8.5 MeV mit einem Vielkanalanalysator ND 3300 von 8 K Kanälen, also mit einer Kanalauflösung von 730 eV, vermessen. Die auf Lochstreifen ausgegebenen Daten wurden mit dem Programm MESDV am Karlsruher Computer IBM 360/65 graphisch dargestellt. Die weitere Auswertung wurde von Hand vorgenommen. Der durch die Peakflächenbestimmung verursachte Fehler bei der Ermittlung der Konzentration ist von untergeordneter Bedeutung.

3. Spektren

Die interessierenden Ausschnitte aus den gemessenen Spektren aller Proben sind in Abb. 1a bis d dargestellt. Sie umfassen den Energiebereich von 4400 keV bis 7750 keV. Die Spektren sind mit steigender Wolframkonzentration nach oben angeordnet. Mit Ausnahme des obersten Spektrums sind alle Ordinatenmaßstäbe gleich, und die Kanalinhalte wurden auf gleiche Meßzeit-Targetmasse-Produkte normiert. Deutlich erkennbar in nahezu allen Spektren ist die intensivste Wolframlinie bei 6190 keV, die zu 4,4 % Intensität pro Neutronenfänger im Element vorkommt. Bezogen auf 1000 Neutroneneinfänge in einer Probe durchschnittlicher Zusammensetzung (s. Tab. 1) werden bei 1 % Wolframgehalt 5 Gammaquanten der Energie 6190 keV emittiert. Charakteristisch sind drei weitere Wolframlinien annähernd gleicher Intensität bei 5321, 5262 und 5164 keV. Ihre Intensitätswerte können aus Tab. 2 entnommen werden, in der die intensivsten Linien der am häufigsten in den Gesteinsproben vorkommenden Elemente zusammengetragen sind. In den

⁺⁺ In der Energieskala der 2. Paarlinien.

beiden letzten Spalten dieser Tabelle sind die Einfanganteile C und die Gammaintensitätsanteile $I\gamma'$ der einzelnen Elemente für eine Durchschnittsprobe nach Tab. 1 berechnet.

Singular - und daher nicht in den Tabellen aufgeführt - treten auch intensive Ti-Linien auf ($\sigma = 6,1b$, $I\gamma^{6753} = 54\%$). Die Liniendichte in den gemessenen Spektren ist mäßig, obwohl die intensivsten Gammalinien bei etwa 7 MeV mit jeweils den zweiten und ersten Paarlinien sowie dem Totalabsorptionspeak in der Intensitätsproportion $I'' : I' : I = 23 : 3 : 1$ in Erscheinung treten. Ein kleineres Detektorvolumen als das verwendete von 9 cm^3 hätte diese Verhältnis zugunsten der zweiten Paarlinie verschoben, was für künftige Untersuchungen dieser Art von Vorteil wäre. Zur Trennung der Linien wäre ein Detektor weniger guter Energieauflösung ausreichend; indessen muß im Hinblick auf möglichst kleinen statistischen Fehler der Intensitätsbestimmung ein maximales Peak-Untergrundverhältnis und damit optimale Energieauflösung angestrebt werden. Wie sich leicht zeigen läßt, wird die statistische Unsicherheit bei einem Peak-Untergrund-Verhältnis α um den Faktor $\sqrt{1 + 3/\alpha}$ verschlechtert. Am Beispiel der intensivsten Wolfram-Linie bei der Probe V mit 0,7 % Wolframgehalt bedeutet dies bei 26 000 gemessenen Zählereignissen im Peak und $\alpha = 15/33$, daß die statistische Unsicherheit von 0,6 % im hypothetischen untergrundfreien Fall auf 1,7 % im realen Fall vergrößert wird.

4. Auswertungsverfahren

Unter der Voraussetzung eines über alle Meßzeiten⁺ und Targets konstanten Neutronenflusses, gleicher Target-Detektor-Geometrie und vergleichbar hoher Zählraten⁺⁺ entsprechen die Peakflächen einer bestimmten W-Linie bei den verschiedenen Proben gerade den Wolframkonzentrationen. Diese Voraussetzungen sind nur in grober Näherung gegeben. Die ursprüngliche Absicht dieser Meßreihe war die qualitative Bestimmung von Wolframlinien bei Konzentrationen bis knapp unter 1 %. Daher wurde auf die

⁺ Unter Meßzeit wird hier effektive Meßzeit unter Berücksichtigung der Totzeit verstanden.

⁺⁺ Bei Verwendung von Anti-Pile-up-Diskriminatoren wird ein zählratenabhängiger Bruchteil von Ereignissen verworfen.

geometrische Reproduzierbarkeit und auf die Neutronenflußkontrolle kein Wert gelegt. Diese Bedingungen sind daher recht gut vergleichbar mit denen, die bei dem geplanten In-situ-Experiment im Rahmen des Projekts PACT mit einer Spaltneutronenquelle und einem Detektor im Bohrloch herrschen, wo wegen Unkenntnis des zu untersuchenden Materials die Moderationsverhältnisse und daher die Flußverteilungen nur sehr grob bekannt sein werden.

Im folgenden sind die Grundlagen für die Berechnung zusammengestellt. Es sei r_{ij} die Zahl der Neutroneneinfänge pro Sekunde und pro Gramm im i -ten Isotop des Elementes j :

$$r_{ij} = \frac{N_{ij} \cdot \sigma_{ij}}{M} \cdot \varphi = \frac{a_{ij} \cdot \sigma_{ij}}{A_{ij}} \cdot c_j \cdot L \cdot \varphi \quad (1)$$

Hierin sind: M die gesamte homogene Probenmasse; φ der als homogen angenommene thermische Neutronenfluß ($\Sigma_{\text{tot}} \ll 1 \text{ cm}^{-1}$); σ_{ij} der mikroskopische Einfangquerschnitt für thermische Neutronen; A_{ij} das Atomgewicht; a_{ij} die Isotopenhäufigkeit und N_{ij} die Gesamtzahl von Kernen in der Probe vom Isotop i des Elementes j ; $c_j = m_j/M$ der Gewichtsanteil des Elementes j in der Probe; $L = 6 \cdot 10^{23}/\text{Mol}$ (Loschmidtzahl).

Die Impulsrate P_{ijk} (sec^{-1}) im Peak für eine bestimmte γ -Linie k mit der Intensität $I_j(ijk)$ ist:

$$P_{ijk} = q \cdot \epsilon(E_{ijk}) \cdot I_{\gamma}(ijk) \cdot r_{ij} \quad (2)$$

Hier bedeutet $q \cdot \epsilon$ die Wahrscheinlichkeit dafür, daß bei Emission eines Gammaquants der Energie E ein Ereignis im Peak nachgewiesen wird; ϵ ist dabei die energieabhängige relative Ansprechwahrscheinlichkeit, die über eine Vergleichsmessung an einem Isotop mit bekannten Intensitäten bestimmt wird. Aus Gl. (1) und (2) folgt:

$$c_j = \frac{P_{ijk} \cdot A_{ij}}{q \cdot L \cdot \varphi \cdot \epsilon(E_{ijk}) \cdot I_{\gamma}(ijk) \cdot a_{ij} \cdot \sigma_{ij}} \quad (3)$$

Mit der trivialen Summenbedingung für alle n in der Probe vorkommenden Elemente j : $\sum_j^n c_j = 1$ ergibt sich daraus für einen speziellen Gewichtsanteil c_w :

$$c_w = \left(\sum_j^n c_j / c_w \right)^{-1} \quad (4)$$

oder explizit:

$$c_w = \frac{P_w \cdot A_w}{\epsilon(E_w) \cdot I_\gamma(w) \cdot a_w \sigma_w} \cdot \sum_j^n \frac{\epsilon(E_j) \cdot I_\gamma(j) \cdot a_j \sigma_j}{P_j \cdot A_j} \quad (5)$$

Zur Vereinfachung wurden die Indizes i und k weggelassen, da jedem Wert j genau ein Wertepaar (i,k) zuzuordnen ist. Da aber die Größen σ_{ij} , $I_\gamma(ijk)$ und ebenso σ_{iw} , $I_\gamma(iwk)$ mit individuellen Fehlern behaftet sind, ist

$$c_w = c_w(i_1, \dots, i_j, \dots, i_n; k_1, \dots, k_j, \dots, k_n)$$

d.h. die c_w -Werte hängen im allgemeinen von der speziellen Wahl der Linien bzw. der beiden n -tupel $\{i\}$ und $\{k\}$ ab.⁺ Die Gl.(5) enthält nur noch n Meßgrößen P_j und erfordert die Kenntnis der apparativen Funktion $\epsilon(E)$. Alle anderen Größen sind der Literatur zu entnehmen. Der Neutronenfluß φ und der geometrieabhängige Faktor q treten in Gl.(5) nicht in Erscheinung; die Gleichung gilt auch dann, wenn für φ eine Ortsabhängigkeit $\varphi = \varphi(\vec{r})$ zugelassen wird. (Gammaabsorptionseffekte in der Quelle sind hier nicht berücksichtigt).

Für die Berechnung eines Gewichtsanteils c_w ist die Kenntnis aller gewichtsmäßig wesentlich beitragenden Elemente erforderlich. Da große Gewichtsanteile sich nicht notwendig durch hohe Gammaintensitäten verraten müssen (bei Elementen mit extrem kleinen Einfangquerschnitten oder ungün-

⁺ Der Ausdruck für c_w vereinfacht sich, wenn nicht von den Gamma-Intensitäten der Isotope, $I_\gamma(ijk)$, sondern denen der Elemente, $I_\gamma'(jk)$, ausgegangen wird. Die Produkte $a_{ij}\sigma_{ij}$ sind dann durch σ_j' zu ersetzen, ferner A_{ij} durch A_j' . Vorteilhaft dabei ist die kleinere Unsicherheit in σ_j' , die aber u.U. durch größere Fehler in I_γ' kompensiert wird.

stiger Gammalinienverteilung), ist bei gänzlich unbekanntem Proben eine Fehlermöglichkeit durch nichtentdeckte Elemente gegeben. Der Gewichtsanteil c_w wird dann im gleichen Verhältnis fehlerhaft sein, in dem die Masse des nicht berücksichtigten Elements zur gesamten Probenmasse steht. Daher erhöht eine qualitative Kenntnis der Probenzusammensetzung die Sicherheit der aus der Gamma-Analyse resultierenden Aussagen. Von praktischer Bedeutung ist dieser Umstand in der vorliegenden Untersuchung bei der Berücksichtigung des gebundenen Sauerstoffs, der in den Einfang-Gamma-Spektren nicht in Erscheinung tritt, aber einen merklichen Gewichtsanteil (45 % in der Durchschnittsanalyse) ausmacht.

5. Ergebnisse

In Tabelle 3 sind die Daten der Probenanalysen zusammengestellt. Von jeder Probe wurden die sich durch mindestens eine intensive Gammalinie repräsentierenden Elemente mit ihren Einfangsquerschnitten ^{2,3)} angeführt. Die für die Analyse verwendeten Linien[†], in der Tabelle gekennzeichnet durch ihre Energie und Intensität ⁴⁾ in der Einheit "Anzahl der Photonen pro 100 Einfänge", sind nicht notwendigerweise solche mit maximaler Intensität. Ihre Wahl wurde durch spektrale Gegebenheiten für jede Probe gesondert bestimmt. Die Werte ϵ der sechsten Spalte, also die relative Ansprechwahrscheinlichkeit für zweite Paarlinien als Funktion der Energie, sind das Ergebnis einer Messung der Einfangreaktion an natürlichem Stickstoff, wofür die I_γ -Werte aus Ref. ⁵⁾ herangezogen wurden.

In den beiden letzten Spalten schließlich stehen erstens die berechneten Gewichtsanteile aus der (n,γ) -Analyse, zweitens - soweit sie verfügbar waren - die Resultate aus chemischen Analysen. Wie bereits erwähnt, ist bei der Analyse nach der (n,γ) -Methode die Sauerstoff-Korrektur unerlässlich. Es wurde davon ausgegangen, daß der Sauerstoff in folgenden Verbindungen vorliegt: WO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 und H_2O . Etwas unsicher ist der Sauerstoffgehalt durch die beiden letzten Komponenten: 1) neben Fe_2O_3 existiert in schwer abzuschätzendem Verhältnis

[†] Durchweg zweite Paarlinien

auch FeO; ii) der Kristallwassergehalt wurde zu 5 % angenommen; er kann aber auch - je nach Mineral - höhere Werte erreichen. Für die Proben I bis V sind aus der chemischen Analyse leider nur die Wolframkonzentrationen bekannt. Sie stimmen befriedigend mit den (n, γ)-Resultaten überein. Für Probe VI war eine chemische Vollanalyse durchgeführt worden. Die zu 40 ppm ausgewiesene Wolframkonzentration⁺ trat im Gammaskpektrum nicht in Erscheinung; statt dessen aber kann anhand von neun anderen Elementen ein Vergleich angestellt werden. Über die Genauigkeiten der chemischen Analyse und über die Homogenität der Zusammensetzung des Materials, aus dem die eine Probe für die Aktivierungsanalyse, die andere Probe für die chemische Analyse hergestellt wurden, ist nichts bekannt. Andererseits läßt sich leicht abschätzen, daß die Hauptfehlerquelle bei der Prompt-Einfanggamma-Analyse in der Unsicherheit der aus der Literatur bezogenen I_{γ} -Werte liegt. Die erwartete Unsicherheit beträgt etwa 30 %. In Sonderfällen (Ca und Ti) ist die Diskrepanz der Literaturwerte⁶⁾ auffallend hoch. In Anbetracht dieser Umstände ist der Grad der Übereinstimmung erstaunlich gut.

Es läßt sich abschließend feststellen, daß die Prompt-Einfanggamma-Analyse sich bei der Untersuchung von Gesteinsproben aus Scheelitlagerstätten bewährt hat. Die Genauigkeit der Methode ließe sich noch erheblich steigern, wenn es gelänge, einen zuverlässigen Satz von Gammaintensitäten aus den häufigsten Elementen zu generieren. Eine Möglichkeit dazu bestünde in einer gleichartigen Untersuchung wie der beschriebenen unter Verwendung von chemisch sehr genau analysierten Proben. Eine zweite Stufe in der Steigerung der Genauigkeit müßte dann die Präzisionsmessung von Einfangquerschnitten sein, deren Unsicherheit bei den hier untersuchten Elementen durchweg bei 10 % lag.

6. Zusammenfassung

Es wurden sechs natürliche Gesteinsproben aus Scheelitlagerstätten mit thermischen Neutronen am Karlsruher Reaktor FR2 bestrahlt und die prompt emittierten Gammaquanten von 2,5 MeV bis 8,5 MeV spektroskopiert. Im

⁺ Hier wurde die Scheelit-Mineralisation vor der Analyse abgetrennt.

Bericht wird ein von Neutronenfluß, Geometrie und Probenmenge unabhängiges Auswerteverfahren zur Bestimmung der Gewichtsanteile der vorhandenen Elemente hergeleitet und diskutiert. Die Anwendung dieses Verfahrens ergibt Resultate, die konsistent sind mit den teilweise bekannten chemischen Analysenwerten.

Literaturverzeichnis:

- 1) P. Matussek, W. Michaelis, C. Weitkamp, H. Woda; KFK 1214 (1970)
- 2) Nuklidkarte, 3. Ausgabe, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Gersbach, München 1968
- 3) F.P. Cranston und D.H. White, private Mitteilung
- 4) D. Duffey, A. El-Kady und F.E. Senftle, Nucl. Instr. 80 (1970) 149
- 5) L. Jonson und R. Hardell, Neutron capture γ -ray spectroscopy, IAEA, Vienna, 1969, 204
- 6) G.A. Bartholomew et al., Nucl. Data A3, 4-6 (1967) 450 ff und 466
- 7) L.V. Groshev et al., Nucl. Data A5, 3-4 (1969) 333

Tabelle 1

Gemittelte Zusammensetzung einiger wolframhaltiger Mineralien
von der Scheelitlagerstätte Felbertal, Österreich

Element	Gew. %	mol/kg	σ_{abs} (b)
Si	31,0	11,05	0,16 (2) ^{a)}
Al	5,0	1,85	0,235 (5)
Mg	4,3	1,77	0,063 (5)
Ca	4,1	1,02	0,43 (4)
Na	1,9	0,83	0,534 (5)
K	1,4	0,36	2,10 (10)
Fe	3,9	0,70	2,55 (5)
O	45,0	28,15	$2 \cdot 10^{-4}$
W	z.B. 1,0	0,04	18,5 (5)

a) Unsicherheit in Einheiten der letzten Dezimale.

Tabelle 2

Intensive hochenergetische γ -Linien beim Einfang von thermischen Neutronen in natürlichen wolframhaltigen Proben aus dem Felbertal, Österreich

Energie (keV) a,b)	Element	I_{γ} (% Einfänge im Element) a,b)	$c^c)$ (% Einfang- anteil in Probe)	$I_{\gamma}' = c I_{\gamma}^c)$ (% Einfänge in Probe)
9298	Fe	3,8	27	1,0
8472	Si	2,3	27	0,6
7769	K	4,5	11,5	0,5
7724	Al	20,1	6,5	1,3
7646	Fe	22,1	27	6,0
7632	Fe	27,2	27	7,3
7411	W	0,5	12	0,06
7279	Fe	4,6	27	1,2
7199	Si	7,2	27	1,9
6999	K	2,0	11,5	0,2
6742	Si	1,8	27	0,5
6420	Ca	28,1	6,5	1,8
6395	Na	25,7	7	1,8
6380	Si	12,6	27	3,4
<u>6190</u>	<u>W</u>	<u>4,4</u>	<u>12</u>	<u>0,5</u>
6144	W	1,5	12	0,2
6022	W	0,3	12	0,04
6018	Fe	8,1	27	2,2
5921	Fe	8,3	27	2,2
5901	Ca	3,1	6,5	0,2
5752	K	4,4	11,5	0,5
5730	K	1,6	11,5	0,2
5696	K	4,6	11,5	0,5
5617	Na	6,0	7	0,4
5510	K	2,5	11,5	0,3
5380	K	7,3	11,5	0,8
5321	W	2,9	12	0,3

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Energie (keV) a, b)	Element	I_{γ} (% Einfänge im Element) a, b)	$C^c)$ (% Einfang- anteil in Probe)	$I_{\gamma}' = c I_{\gamma}^c)$ (% Einfänge in Probe)
5262	W	4,1	12	0,5
5174	K	2,5	11,5	0,3
5164	W	2,0	12	0,2
5107	Si	3,7	27	1,0
5043	K	1,7	11,5	0,2
4945	C	67,0		
4934	Si	70,5	27	19,0
4810	Fe	1,7	27	0,5
4685	W	1,3	12	0,2
4650	W	0,3	12	0,04
4627	W	1,0	12	0,1
4574	W	0,5	12	0,06
4518	W	0,3	12	0,04
4447	W	0,3	12	0,04
4419	Ca	10,8	6,5	0,7
4407	Fe	1,3	27	0,4
4384	W	0,4	12	0,05
4361	K	3,4	11,5	0,4
4249	W	1,3	12	0,2
4219	Fe	4,0	27	1,1
4201	K	1,7	11,5	0,2

a) Ref. 4)

b) Ref. 7)

c) unter der Annahme 1 % WO_3

Tabelle 3

(n,γ)-Analysenwerte von sechs Gesteinspulverproben
aus österreichischen Scheelitlagerstätten

Probe	Element	σ/b	E_{γ} [keV]	I_{γ} [% Einf. im Element]	$\epsilon''(E_{\gamma})^a$ [%]	Peakereignisse [$\times 10^2$]	Gewichtsanteil (n,γ) [%]	Gewichtsanteil Chemie [%]
I	W	18,5	6190	4,4	97	181,5	55,0	57
	Ca	0,43	6421	28,1	95	39,4	18,7	n ^{b)}
	Fe	2,55	7632	27,2	79	1,7	0,2	n
II	W	18,5	6190	4,4	97	245,3	18,6	14,8
	Ca	0,43	4419	10,8	90	72,8	23,3	n
	Fe	2,55	5921	8,3	99	52,2	4,6	n
	Tl	6,1	6760	54,1	91	27,5	0,14	n
	K	2,1	5380	7,3	100	27,2	2,3	n
	Si	0,16	6381	12,6	96	21,6	10,3	n
	Al	0,235	7724	20,1	78	18,8	4,5	n
Mn	13,3	7244	12,0	87	10,4	0,12	n	
III	W	18,5	6190	4,4	97	184,7	13,9	>8
	Ca	0,43	5901	3,1	99	47,5	48,3	n
	Si	0,16	4934	70,6	97	24,9	2,5	n
	Fe	2,55	7632	27,2	79	15,6	0,52	n
	Al	0,235	7724	20,1	78	9,7	2,3	n
IV	Si	0,16	6381	12,6	96	197,1	39,5	42
	W	18,5	6190	4,4	97	124,8	4,0	4,4
	Ca	0,43	6421	28,1	95	34,4	1,6	n
	Ni	4,6	8533	18,7	65	19,6	2,9	n
V	Si	0,16	6381	12,6	96	165,2	30,8	n
	Fe	2,55	6018	8,1	98	100,8	3,5	n
	Tl	6,1	6760	54,1	91	42,2	0,08	n
	Al	0,235	7724	20,1	78	42,0	3,9	n
	Na	0,534	6395	25,7	95	30,6	0,7	n

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Probe	Element	σ/b	$E\gamma/keV$	$I\gamma/\%$ Einf. im Element	$\epsilon''(E\gamma)^a)$ [%]	Peak-ereignisse $[\times 10^3]$	Gewichtsanteil (n, γ) [%]	Gewichtsanteil Chemie [%]
	Mn	13,3	7244	12,0	87	26,9	0,14	n
	W	18,5	6190	4,4	97	26,3	0,75	0,7
	Ca	0,43	5901	3,1	90	24,2	10,6	n
VI	Fe	2,55	6018	8,1	98	131,5	5,2	5,2
	Al	0,235	7724	20,1	78	99,5	10,5	8,7
	Na	0,534	6395	25,7	96	78,5	2,0	3,1
	Si	0,16	7199	7,2	87	62,4	25,2	26,2
	Ca	0,43	4419	10,8	90	41,5	5,7 ^{c)}	4,0
	K	2,1	5752	4,4	99	29,4	1,8	1,7
	Ti	6,1	6556	6,5	93	25,1	0,47 ^{d)}	0,74
	Mn	13,3	7244	12,0	87	16,0	0,09	n
	Ni	4,6	8533	18,7	65	3,9	0,06	0,08

a) relative Ansprechwahrscheinlichkeit für zweite Paarlinien, normiert auf $\epsilon''_{max} = 1$.

b) Analysenergebnis nicht bekannt.

c) Mit einem $I\gamma$ -Wert von 16,2 (Ref.⁶⁾ erhält man ca. 3,8 % Ca-Anteil.

d) Mit einem $I\gamma$ -Wert von 4 (Ref.⁶⁾ erhält man ca. 0,76 % Ti-Anteil.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that proper record-keeping is essential for transparency and accountability, particularly in financial matters. This section also touches upon the legal implications of failing to maintain such records, which can lead to severe consequences for individuals and organizations alike.

2. The second part of the document delves into the specific requirements for record-keeping, including the types of documents that must be retained and the duration for which they should be kept. It provides a detailed overview of the various categories of records, such as financial statements, contracts, and correspondence, and outlines the best practices for organizing and storing these documents to ensure they are easily accessible and secure.

3. The third part of the document addresses the challenges associated with record-keeping, such as the volume of data generated and the risk of data loss or corruption. It offers practical solutions and strategies to overcome these challenges, including the use of digital storage solutions and the implementation of robust backup and recovery procedures. This section also discusses the importance of regular audits and reviews to ensure the integrity and accuracy of the records.

4. The fourth part of the document focuses on the role of record-keeping in compliance with various regulations and standards. It highlights the importance of staying up-to-date with the latest regulatory requirements and ensuring that all records are maintained in accordance with these standards. This section also discusses the consequences of non-compliance, which can result in fines, penalties, and reputational damage.

5. The fifth and final part of the document provides a summary of the key points discussed throughout the document. It reiterates the importance of record-keeping and offers final thoughts and recommendations for individuals and organizations looking to improve their record-keeping practices. This section also includes a call to action, encouraging readers to take the necessary steps to ensure their records are accurate, complete, and secure.

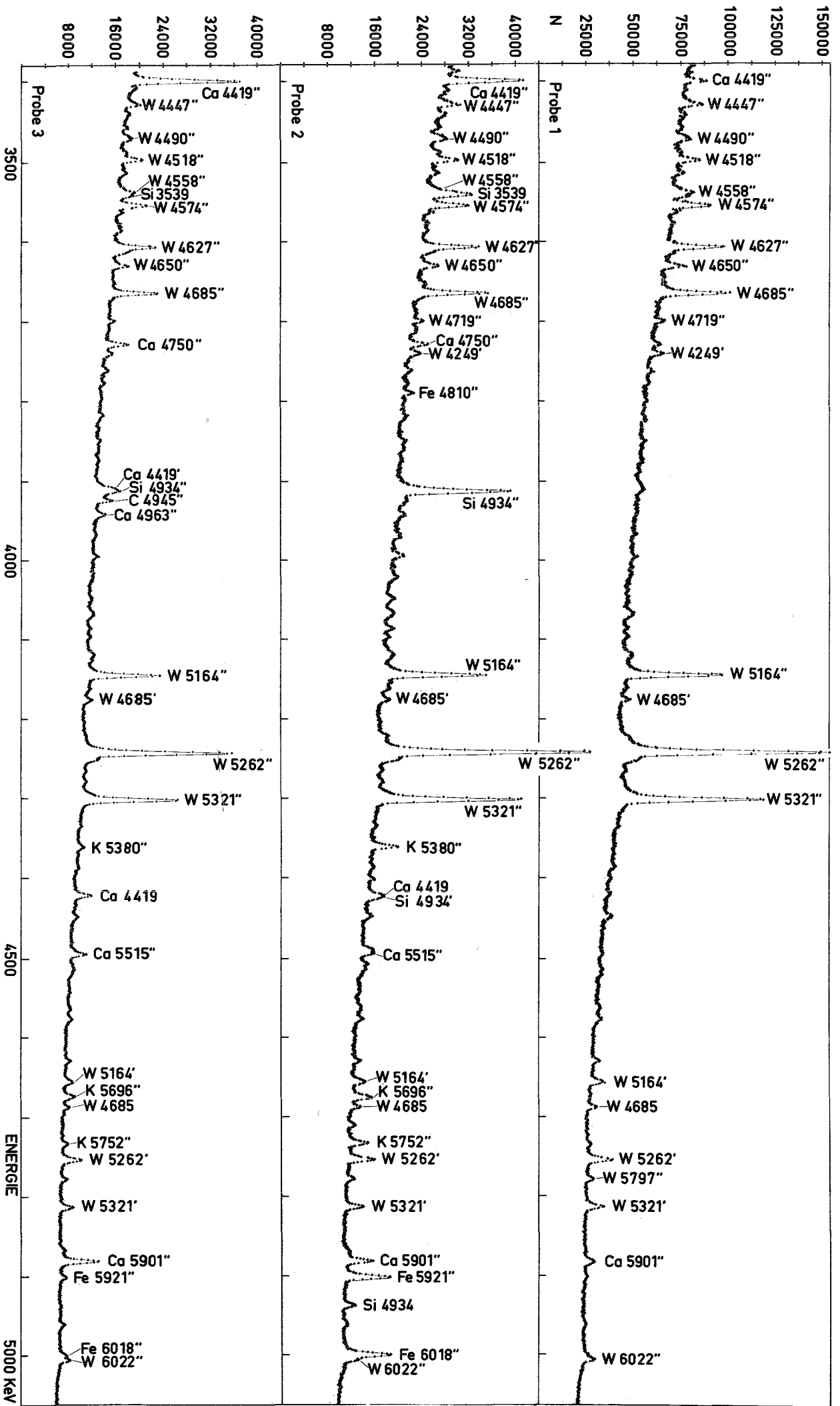


Abb. 1a. Gammaspektren der Proben I, II und III im Energiebereich 3400 bis 5000 keV.

Abb. 1b Gammaskpektren der Proben IV, V und VI im Energiebereich 3400 bis 5000 keV.

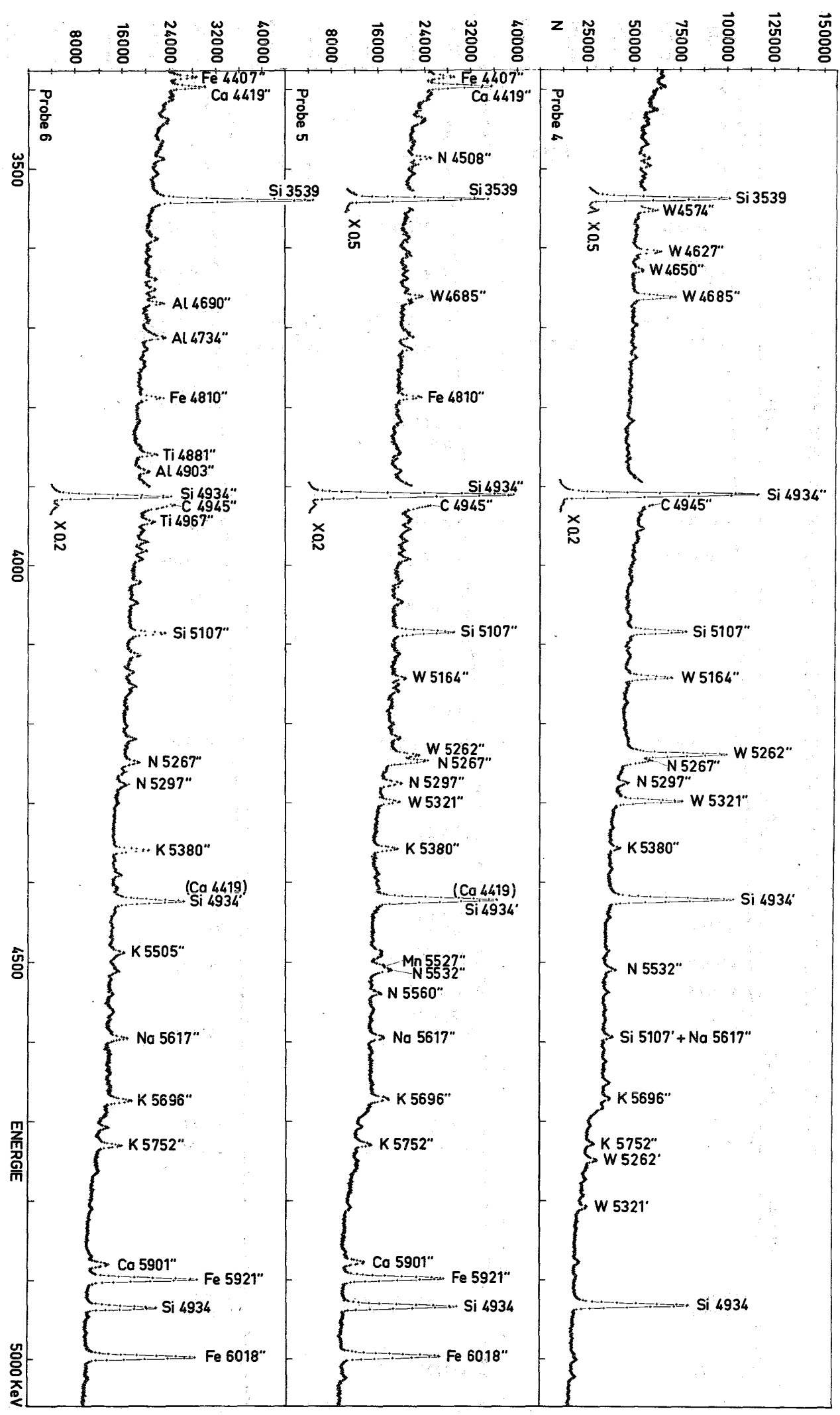


Abb. 1c Gammaskpektren der Proben I, II und III im Energiebereich 5100 bis 6700 keV.

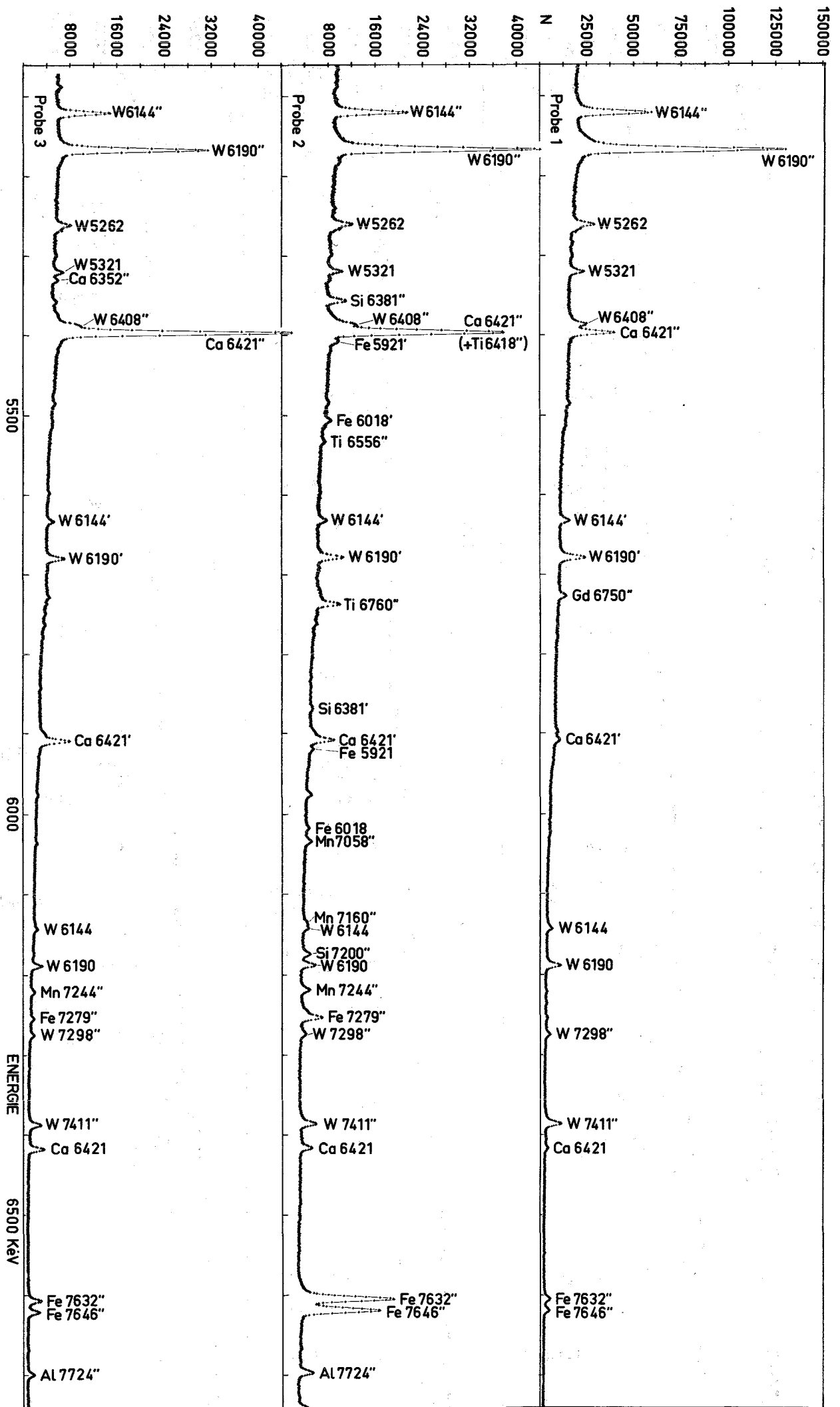


Abb. 1d Gammaskpektren der Proben IV, V und VI im Energiebereich 5100 bis 6700 keV.

