

## Zur Frage der Eichung der kernphysikalischen Bohrlochmessverfahren und zu ihren Entwicklungsmöglichkeiten\*

W. LÖTZSCH – W. GERSTENBERGER

*A dolgozat vázolja a nukleáris mélyfúrás mérés feladatait és a belső, valamint a külső zavaró paramétereiket. Az egyes mérési eljárásoknál szereplő fizikai mennyiségeknek és azok célszerű egységeinek bemutatása után diszkutálja az NDK-ban végzett rutinméréseknél használható hitelesítési módszereket és rámutat arra, hogy az egzakt hitelesítési eljárások bevezetését nemcsak a gyakorlat igényei, hanem a fejlődő mérés technika szempontjai is szükségessé teszik. Erre a célra természetes radioaktív nuklidok és neutronbefogási- $\gamma$ -minta-spektrumok kerülnek alkalmazásra, melyeket  $Ge(Li)$ -félvezető-detektorokkal vesznek fel.*

*Szerzők javasolják, hogy az egyes eljárásoknál szereplő és mérendő fizikai mennyiségeket és azok mérőegységeit nemzetközi megállapodásokkal általánosan szabványosítsák.*

*Коротко излагаются задачи методов РК, а также возникающие при этом внешние и внутренние помехи. Обсуждаются измеряемые физические величины и применяемые при этом единицы измерения для методов ГГК, селективного ГГК, ГК, НК, рентгено-радиологического метода, спектроскопических методов ГК и НК.*

*Подробно анализируются возможности методов эталонирования, широко применяемые в ГДР.*

*Предлагается достигнуть соглашения в международном масштабе в отношении физических величин, используемых отдельными методами.*

*Aufgaben und die inneren und äusseren Störparameter der kernphysikalischen Bohrlochmessverfahren werden umrissen. Die zu messenden physikalischen Grössen und ihre zweckmässigen Einheiten werden für die einzelnen Messverfahren behandelt. Die Möglichkeiten der Eichung werden für die in der DDR routinemässig eingesetzten Messungen diskutiert. Die Notwendigkeit der Einführung exakter Eichverfahren wird neben praktischen Belangen auch durch die sich weiterentwickelnde Messtechnik begründet. Dazu werden Spektren von natürlich radioaktiven Nukliden und Neutroneinfang- $\gamma$ -Spektren von Proben herangezogen, die mit  $Ge(Li)$ -Halbleiterdetektoren aufgenommen wurden. Es wird vorgeschlagen, die bei den einzelnen Verfahren zu messenden physikalischen Grössen und ihre Masseinheit durch internationale Abmachungen generell festzulegen.*

Aufgabe der kernphysikalischen Bohrlochmessung ist, aus einem im Bohrloch vorhandenen natürlichen Strahlungsfeld oder aus einem durch Wechselwirkungsprozesse von eingebrachten Strahlungsquellen mit dem Gebirge erzeugten Strahlungsfeld auf Eigenschaften des durchteuften Gebirges zu schliessen. Dabei kann es sich auch um zeitlich nicht konstante Strahlungsfelder handeln. Infolge des im allgemeinen komplizierten Aufbaues des Untersuchungsobjektes „Gebirge“ ist der Zusammenhang zwischen dem Messeffekt der kernphysikalischen Verfahren, d. h. dem Ergebnis der Vermessung des Strahlungsfeldes und den gesuchten Eigenschaften des Gebirges nicht immer eindeutig. Es sind bei fast allen kernphysikalischen Bohrlochmessverfahren innere Störparameter zu berücksichtigen, die durch das Gebirge selbst bedingt sind, die den Zusammenhang „Eigenschaft des Gebirges – Messeffekt“ beeinträchtigen. Hinzu kommt, dass das Bohrloch selbst infolge seiner Geometrie, der Spülungsart, des eventuellen Vorhandenseins von Filterkuchen und von Infiltrationszonen diesen Zusammenhang beeinflussen kann; ausserdem können Schicht-

\* Gekürzte Fassung eines einleitenden Vortrages zur Diskussionssitzung „Eichung von radioaktiven Bohrlochmessgeräten“ auf dem XIII. Geophysikalischen Symposium, 24. bis 27. 9. 1968, Budapest.

mächtigkeitseffekte die Messungen verfälschen. Diese Einflussgrössen seien als äussere Störparameter gekennzeichnet; sie sollen hier nicht zur Diskussion stehen.

Ausgehend von diesen prinzipiellen Gesichtspunkten ist es notwendig, die einzelnen kernphysikalischen Bohrlochmessverfahren hinsichtlich ihrer Aussagemöglichkeiten zu untersuchen, die zu messenden physikalischen Grössen und deren zweckmässige Masseinheiten festzulegen und durch Eichverfahren für eine Realisierung dieser Grössen zu sorgen. Daran schliesst sich eine Optimierung der Messanordnung für die zu messende Grösse an. Dieser Vorgang sollte stattfinden unter Beachtung der zukünftigen messtechnischen Möglichkeiten. Er wird geradezu gefordert durch den Übergang zur maschinellen Auswertung der Bohrlochmessergebnisse.

Es sollen kurz die Routinebohrlochmessverfahren einschliesslich ihrer zukünftigen Aspekte und die dabei gemessenen physikalischen Grössen unter Berücksichtigung ihrer inneren Störparameter diskutiert werden.

Relativ einfach liegen die Verhältnisse bei der *Gamma-Gamma-Messung*, denn hier wird auf Grund der Compton-Wechselwirkung der  $\gamma$ -Strahlung der Quelle mit dem Gebirge die Elektronendichte und damit die Gebirgsdichte gemessen, wobei  $(Z/A)_{\text{eff}}$  und, da auch der Photoeffekt im niederenergetischen Gebiet wirksam wird,  $Z_{\text{eff}}$  als innere Störparameter auftreten. Durch Filterung der  $\gamma$ -Strahlung bei Zählrohrsonden bzw. Diskriminierung bei Szintillationssonden lässt sich der Energiebereich unter  $200 \text{ keV}$  unterdrücken, so dass nur  $(Z/A)_{\text{eff}}$  bei exakten Messungen berücksichtigt werden muss. Die äusseren Störparameter werden bei der Gamma-Gamma-Messung durch Andrücken der Sonde an die Bohrlochwand und durch Verwendung von Sonden mit zwei verschiedenen Sondenlängen weitgehendst ausgeschaltet. Die Eichung erfolgt auf den einzelnen Stützpunkten unseres Betriebes in  $2\pi$ -Modellen aus Granit ( $2,6 \text{ g/cm}^3$ ), Zement ( $2,2 \text{ g/cm}^3$ ), einem Zement-Flugasche-Gemisch ( $1,6 \text{ g/cm}^3$ ) und für Messungen in der Braunkohle zusätzlich in Wasser. Die Masseinheit ist  $\text{g/cm}^3$  bzw.  $10^3 \text{ kg/m}^3$ .

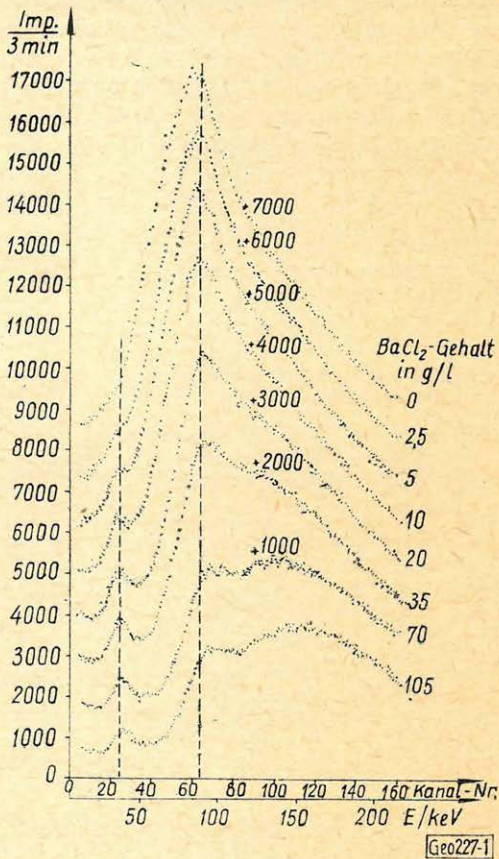
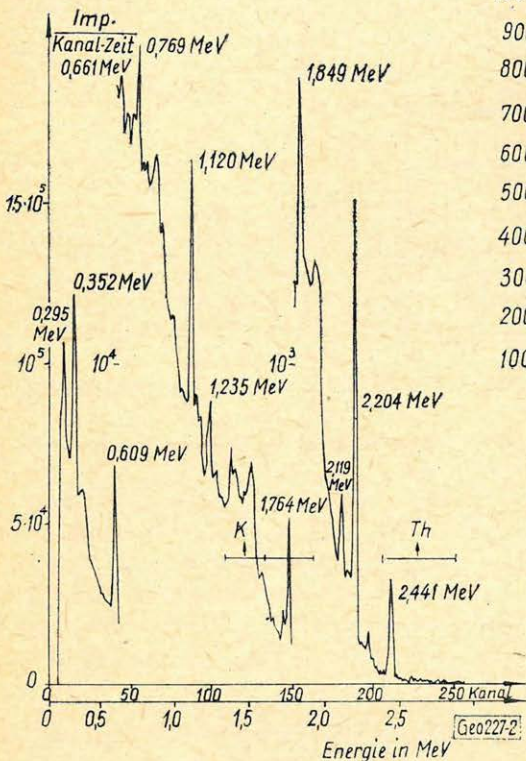
Der bei der Dichtemessung störende Parameter  $Z_{\text{eff}}$  tritt bei der *selektiven Gamma-Gamma-Messung* als zu messende physikalische Grösse auf. Unabhängig von den speziellen Erkundungsaufgaben dieser Methode halten wir eine Orientierung auf  $Z_{\text{eff}}$  für zweckmässig; nur über diese Grösse lassen sich die weiteren Auswertungen vornehmen. Auf *Abb. 1* sind die mit einer Versuchssonde erhaltenen Streuspektren in einem  $Z_{\text{eff}}$ -Bereich von  $7,6$  (*Wasser*) bis  $20$  zu sehen. Die einzelnen  $Z_{\text{eff}}$ -Werte wurden nach Czubek [1] durch  $\text{BaCl}_2$ -Lösungen unterschiedlichen Gehalts nachgebildet. Bei Verwendung einer Primärstrahlungsquelle mittlerer Energie,  $>200 \text{ keV}$  (hier  $^{137}\text{Cs}$ ), erhält man die günstigsten Ergebnisse, wenn man das Verhältnis der Impulsrate im Energiebereich von etwa  $60 \text{ keV}$  bis  $90 \text{ keV}$  und der Impulsrate  $>200 \text{ keV}$  nimmt. Damit lässt sich der Dichteinfluss hinreichend eliminieren.

Auf dieser *Abbildung 1*. deutet sich ausserdem eine weitere Gamma-Gamma-Methode an: die *röntgenradiometrische Methode*, die von Meier und Otschkur [2] in Leningrad für Bohrlochmesszwecke angegeben wurde. Sie basiert auf der Anregung und Messung der charakteristischen Röntgenstrahlung der chemischen Elemente im Gebirge, wobei natürlich nur die schweren Elemente messtechnisch erfasst werden können. Auf *Abb. 1* ist diese Röntgenstrahlung von Barium ab Gehalten von  $5 \text{ g/l}$  zu erkennen. Diese Methode ist elementspezifisch und es erscheint angebracht, die Messergebnisse in Gehalten

1. ábra. Gamma-gamma-szóródási spektrumok különböző koncentrációjú  $BaCl_2$ -oldatokon. Szondahossz: 20 cm.  $^{137}Cs$ .  
A görbék 1000 imp/3 perccel eltolva

Фиг. 1. Спектры гамма-гамма-рассеяния в смесях различной концентрации  $BaCl_2$ . Длина зонда 20 см  $^{137}Cs$ . Кривые смещены на 1000 имп./3 мин.

Abb. 1. Gamma-Gamma-Streuspektren an  $BaCl_2$ -Lösungen unterschiedlichen Gehalts. Sondenlänge 20 cm.  $^{137}Cs$ . Die Kurven sind um 1000 Imp/3 min versetzt aufgezeichnet



2. ábra. Szurokérceminta impulzus-magasság-eloszlása  $Ge(Li)$ -félvezető detektorral

Фиг. 2. Распределение высоты импульсов для образца смоляной руды поданным полупрово дникового детектора  $Ge(Li)$

Abb. 2. Impulshöhenverteilung einer Pechblendeprobe mit  $Ge(Li)$ -Halbleiterdetektor

anzugeben. Als innere Störparameter treten vornehmlich die unterschiedlichen Absorptionsverhältnisse des Gebirges auf.

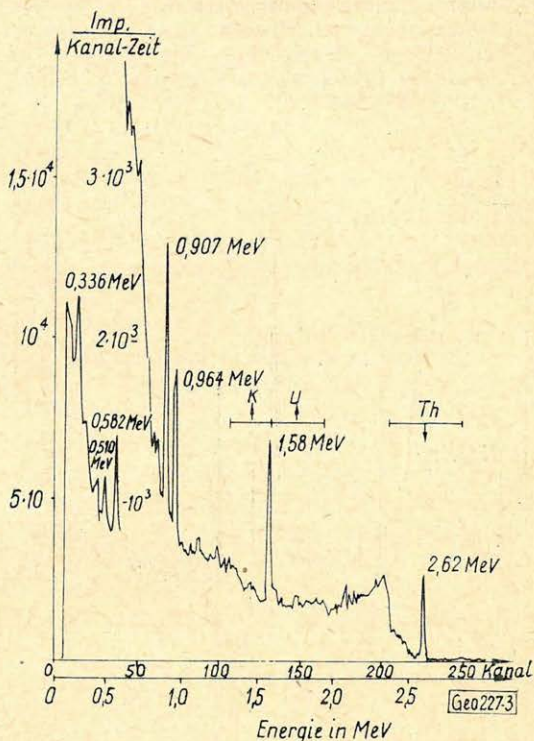
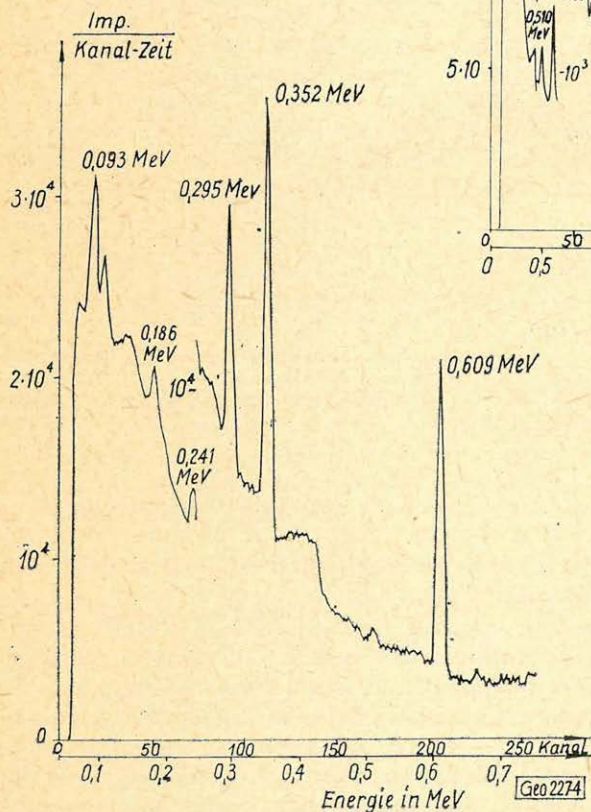
Bei der *Gamma-Messung* wirken mehrere Eigenschaften des Gebirges auf den Messeffekt ein: Der Gehalt an Nukliden der beiden radioaktiven Zerfallsreihen ( $U$  und  $Th$ ) und des  $^{40}K$  und die Streu- und Absorptionsbedingungen des Gebirges. Es entsteht im niederenergetischen Gebiet eine intensive Streustrahlung mit peakförmiger Verteilung, die analog der Gamma-Gamma-Messung von  $Z_{eff}$  abhängig ist; hinzu kommt die niederenergetische Primärstrahlung der beiden Zerfallsreihen. Um die Verhältnisse hinsichtlich der Primärstrahlung

besser überblicken zu können, haben wir von einer Pechblende- (Abb. 2) und einer Monazitsandprobe (Abb. 3) die Primärstrahlungsverteilungen mit einem Germanium (Lithium-diffundierten)-Halbleiterdetektor untersucht. Damit lässt sich ein genauer Überblick über die vorhandenen und praktisch interessierenden  $\gamma$ -Linien gewinnen. Auch im niederenergetischen Bereich z. B. der Pechblendeprobe (Abb. 4) wird eine Verbesserung der Intensitätsangabe der einzelnen Linien möglich.

3. ábra. Monacit-homokminta impulzusmagasság-eloszlása Ge(Li) félvezető detektorral

Fig. 3. Распределение высоты импульсов для образца монацитового песка, по данным полупроводникового детектора Ge(Li)

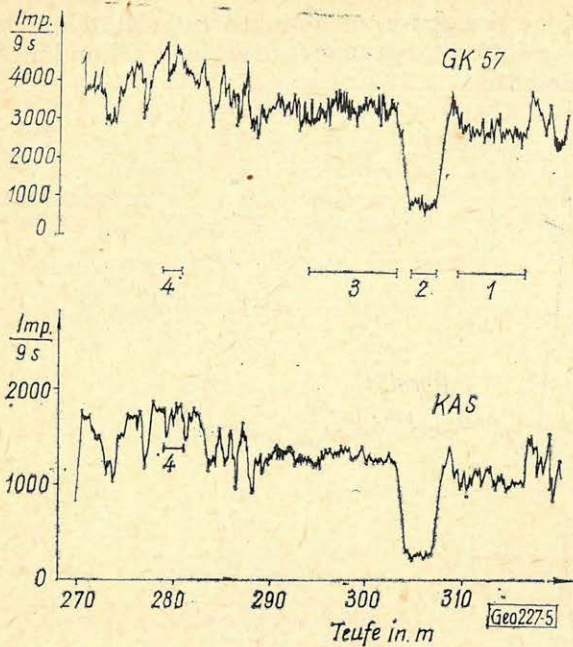
Abb. 3. Impulshöhenverteilung einer Monazitsandprobe mit Ge(Li)-Halbleiterdetektor



4. ábra. Szurokércminta impulzusmagasság-eloszlása Ge(Li) félvezető detektorral az alacsonyabb energiájú részben

Fig. 4. Распределение высоты импульсов для образца смоляной руды по данным полупроводникового детектора Ge(Li) в диапазоне низких величин энергии

Abb. 4. Impulshöhenverteilung einer Pechblendeprobe mit Ge(Li)-Halbleiterdetektor im niederenergetischen Teil



5. ábra. Gamma-mérés a GK57 számlálócső-szondával és a KAS szcintillációs szondával

Фиг. 5. Измерение гамма-излучения при помощи зонда со счетчиком GK57 и сцинтиляционного зонда KAS

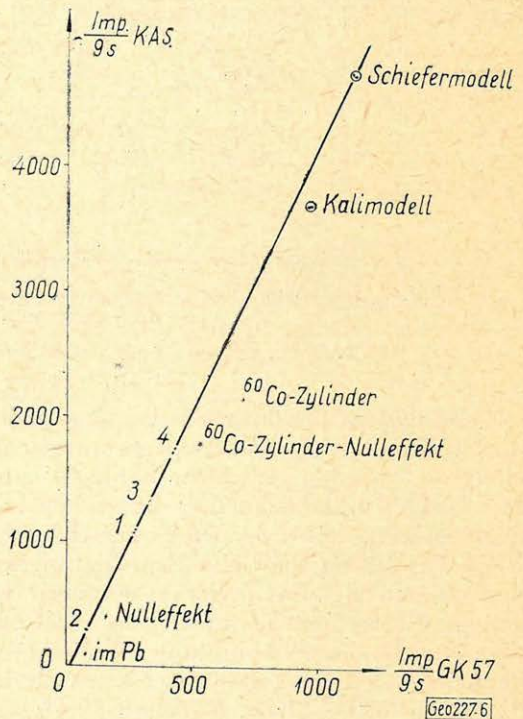
Abb. 5. Gamma-Messung mit Zählrohrsonde GK57 und Szintillationssonde KAS

Die Frage nach der bei der Gamma-Messung gemessenen physikalischen Grösse ist nicht einfach zu beantworten. Dazu ist die Kenntnis des Einflusses der drei unterschiedlichen Primärstrahlungen auf die Streustrahlung bzw. von  $Z_{eff}$  auf die Streustrahlung notwendig. Unabhängig von den dafür erforderlichen umfangreichen theoretischen und experimentellen Arbeiten halten wir es für die einfache Gamma-Messung zunächst für angebracht, eine Äquivalentgehaltsangabe, z. B.  $g\text{ Ra-Äquivalent/t}$ , einzuführen und  $Z_{eff}$  als inneren Störparameter zu betrachten. Ein Abschneiden der Streustrahlung

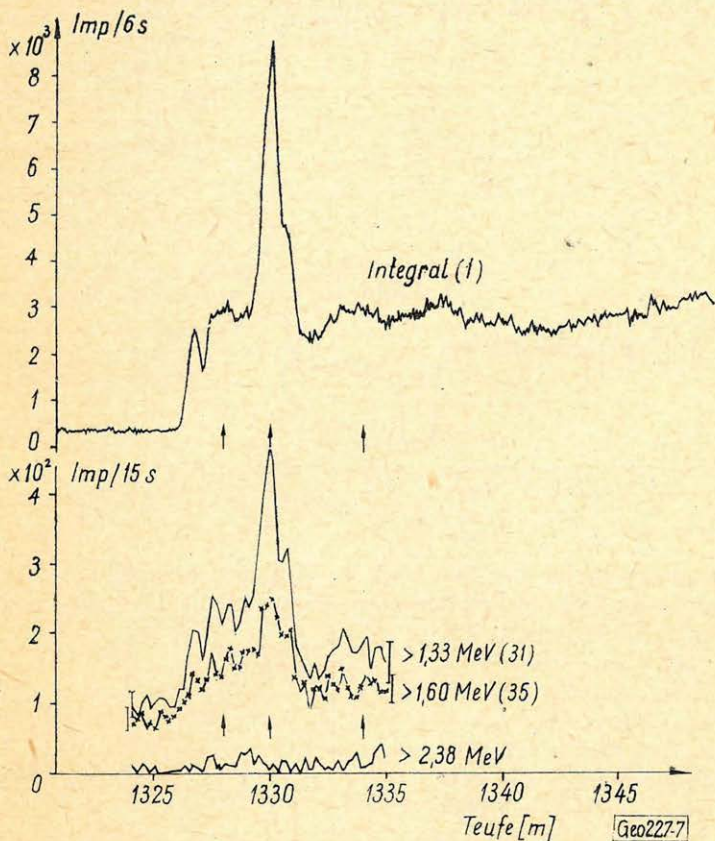
6. ábra. Középlelt impulzusszámok az 5. ábrán látható gamma-szelvény 4 szintjében és különböző modelleken GK57-es és KAS szondákra

Фиг. 6. Осредненное количество импульсов для 4 горизонтов, по данным измерения, представленным на фиг. 5, для моделей GK57 и KAS

Abb. 6. Gemittelte Impulsraten in 4 Horizonten der Gamma-Messung von Abb. 5 und in Modellen für GK57 und KAS



ist aus praktischen Gründen infolge der dann zu geringen Intensitäten nicht sinnvoll; nur bei hohen Strahlungsintensitäten und für spezielle Erkundungsaufgaben erscheint das zweckmässig.

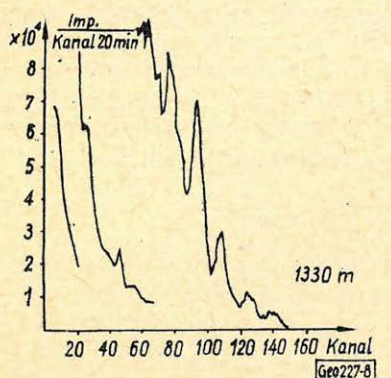


7. ábra. Gamma-mérés különböző diszkriminációs szintekkel egy anomáliában  
 Фиг. 7. Измерение гамма-излучения различными уровнями дискримикадий при наличии аномалии

Abb. 7. Gamma-Messung mit unterschiedlichen Pegeln in einer Anomalie

Besonders prekär wird die Lage bei der einfachen Gamma-Messung dadurch, dass hier Detektoren mit unterschiedlichem Energieansprechvermögen eingesetzt werden und zwar Zählrohr- und Szintillationsdetektoren. Wir haben deshalb mit beiden Detektortypen in einem Bohrloch digitale Messungen durchgeführt (Abb. 5). Die Sonde GK 57 ist eine Zählrohrsonde (Zählrohrtyp SI 4 G) und die KAS eine Szintillationssonde (mit  $NaJ(Tl)$ -Kristall). Die in den gekennzeichneten vier Horizonten gemittelten Impulsraten wurden gegeneinander aufgetragen (Abb. 6); alle Punkte liegen auf einer Geraden. Ausserdem sind in dieser Abbildung die Messergebnisse mit beiden Sonden in einem Schiefermodell mit erhöhtem  $U$ -Ra-Gehalt ( $3 \cdot 10^{-3}\%$   $U$ ) und etwa normalem  $Th$ - ( $0,5 \cdot 10^{-3}\%$ ) bzw.  $K$ -Gehalt (2,6%) eingetragen.  $Z_{eff}$  beträgt 13,5. Durch

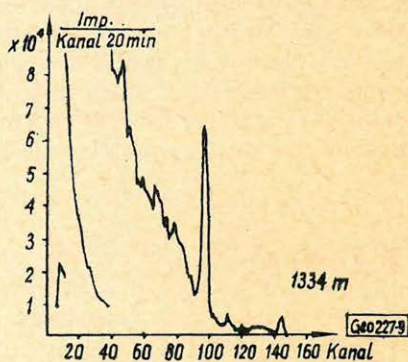
Extrapolation der Geraden erreicht man den Punkt für dieses Modell, während die Punkte für ein Kalimodell (27% KCl, 68% NaCl und  $Z_{eff}$  16,2) und einen über die Sonde geschobenen Zylinder – auf dessen Mantel eine gewisse Flächenaktivität  $^{60}Co$  aufgebracht ist – deutlich rechts dieser Geraden liegen. Das beweist, dass man der spektralen Verteilung bei der Eichung Aufmerksamkeit schenken muss, will man verschiedene Detektortypen zu einem gleichen Ergebnis bringen. Es ist durchaus möglich, dass unter veränderten lithologischen Bedingungen andere Ergebnisse erzielt werden.



8. ábra. Impulzus-magasság-eloszlás a 7. ábra anomáliáján 1330 méternél

Фиг. 8. Распределение высоты импульсов при аномалии, представленной на фиг. 7, на глубине 1330 м

Abb. 8. Impulshöhenverteilung in der Anomalie (Abb. 7.) bei 1330 m



9. ábra. Impulzus-magasság-eloszlás a 7. ábra anomáliája alatt 1334 méternél

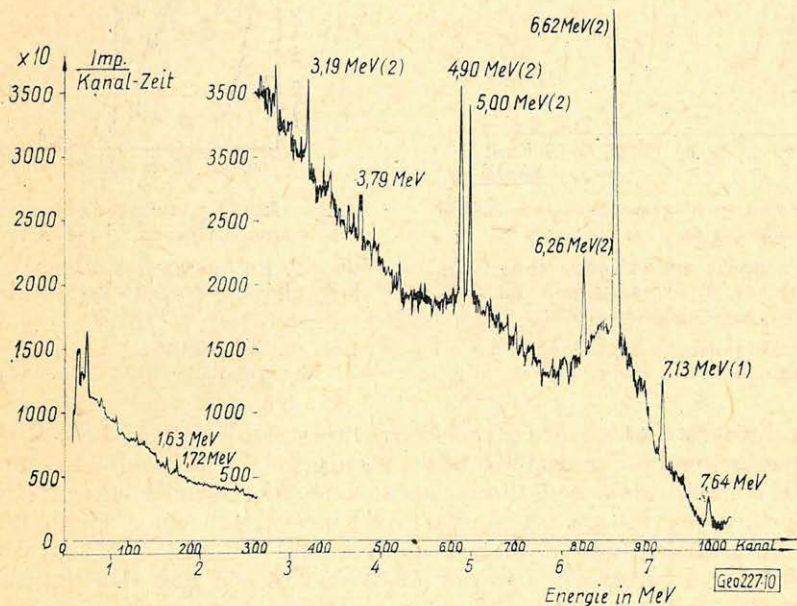
Фиг. 9. Распределение высоты импульсов под аномалией фигуры 7 на глубине 1334 м

Abb. 9. Impulshöhenverteilung unterhalb der Anomalie (Abb. 7.) bei 1334 m

Für die *spektrometrische (oder selektive) Gamma-Messung* ist die Möglichkeit einer Gehaltsangabe der drei Komponenten gegeben, da man zweckmässigerweise die hochenergetischen Linien heranzieht. Als Beispiel ist auf Abb. 7 das digital gemessene integrale Gamma-Profil im Bereich einer Anomalie gezeigt und darunter die Profile mit einem Pegel vor dem  $^{40}K$ -Peak, vor dem  $^{214}Bi$ -Peak (1,76 MeV) und vor dem  $^{208}Tl$ -Peak (2,62 MeV). Die Abb. 8 bringt die gemessene Impulshöhenverteilung in der Anomalie bei 1330 m und die Abb. 9 vier Meter darunter. Aus dem Vergleich dieser beiden Abbildungen ist sofort zu sehen, dass die Anomalie durch die U-Ra-Zerfallsreihe bedingt ist (Peak bei 1,76 MeV  $\cong$  Kanal 105). Es sei erwähnt, dass man neben der direkten Gehaltsbestimmung auch durch Messung in zwei Energiebereichen das Verhältnis zweier Gehalte ermitteln kann.

Für die *Neutronenmessungen* ergeben sich Schwierigkeiten zunächst infolge der Verschiedenheit der eingesetzten Messanordnungen. Es werden die aus Wechselwirkungsprozessen der Primärneutronen mit dem Gebirge entstehenden  $\gamma$ -Quanten gemessen, die beim Abbremsprozess vorhandenen epithermischen Neutronen, schliesslich die thermischen Neutronen oder Mischungen mit unterschiedlichen Anteilen. Jede der Methoden spricht jedoch auf verschiedene physikalische und geologische Parameter an und nur unter bestimmten geologischen Verhältnissen sind die Messergebnisse für einen Parameter charakteristisch.

Das gestattet einerseits die Neutronenverfahren zur Bestimmung verschiedener Parameter einzusetzen (z. B. zur Bestimmung der Porosität, der Gassättigung, des Öl-Wasser-Kontaktes), andererseits tritt aber der eine Parameter gleichzeitig als Störfaktor bei der Bestimmung eines anderen Parameters auf. So tritt die Gassättigung als Störparameter bei der Porositätsbestimmung auf und umgekehrt. Da selbst Messanordnungen gleichen Typs auf die verschiedenen Parameter unterschiedlich ansprechen, kann man sich bei der Eichung der Messanordnungen nur auf die jeweils zu bestimmende Eigenschaft des Gebirges orientieren. Die wichtigste Aufgabe bei der quantitativen Interpretation der Neutronenmessungen ist die Bestimmung der Porosität vollständig wasser- oder ölgesättigter Gesteine. Bei der Eichung der Messanordnungen zur Porositätsbestimmung muss also auf die Porosität bzw. den Wassergehalt als zu messende physikalische Grösse orientiert werden. Dabei tritt, durch die Methode bedingt, eine Reihe innerer Störparameter auf, z. B. die chemische Zusammensetzung der Gesteinsmatrix, die Mineralisation der Porenflüssigkeit.

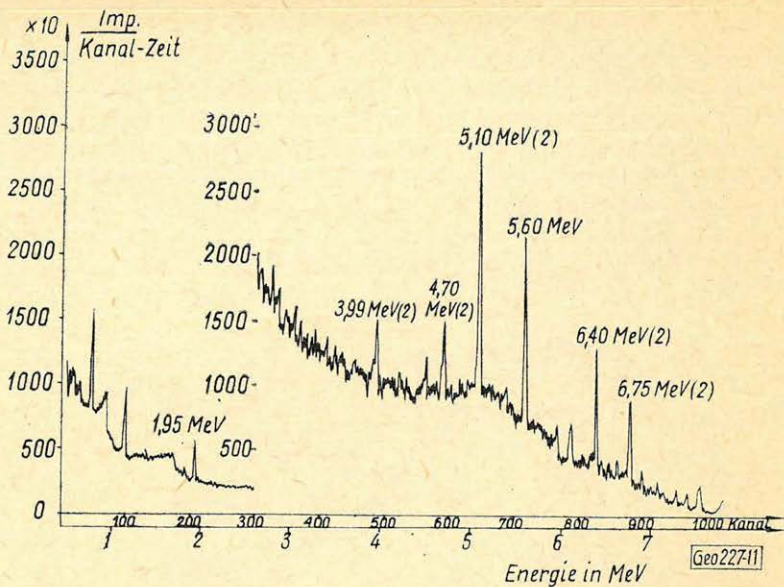


10. ábra. Impulzus-magasság-eloszlás neutronbefogásos- $\gamma$ -sugárzásnál vas-minta esetén  $Ge(Li)$  félvezető detektorral

Fig. 10. Распределение высоты импульсов при гамма-излучении с захватом нейтронов, для образца железа, по данным полупроводникового детектора  $Ge(Li)$

Abb. 10. Impulshöhenverteilung der Neutroneneinfang- $\gamma$ -Strahlung einer Fe-Probe mit  $Ge(Li)$ - Halbleiterdetektor

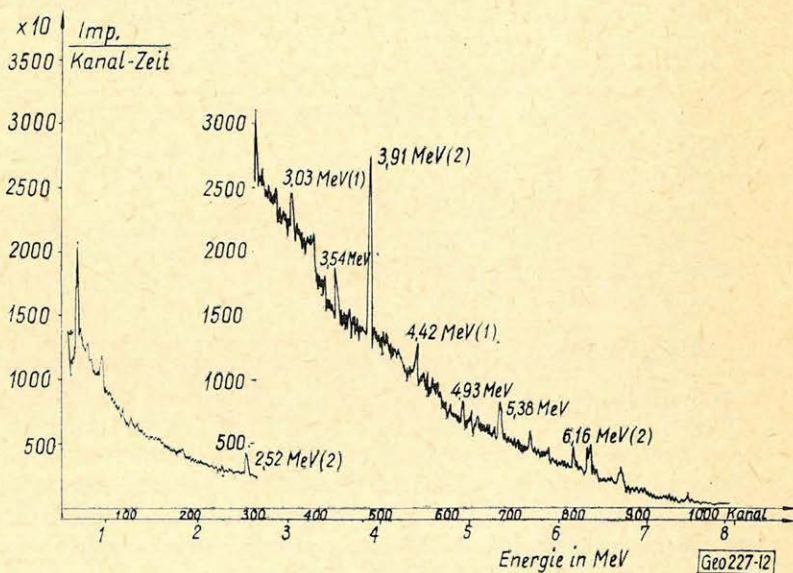
Eine Eichung der Messanordnungen in Porositätsprozenten erfordert bekanntlich einen grossen Aufwand [3]. Deshalb begnügt man sich bei den einfachen Neutronenverfahren im allgemeinen damit, dass man über eine fiktive Einheit die erzielten Messergebnisse standardisiert und damit die Messungen mit verschiedenen Sonden miteinander vergleichbar macht. Es ist jedoch sinnvoll,



11. ábra. Impulzus-magasság-eloszlás neutronbefogásos- $\gamma$ -sugárzásnál  $\text{NaCl}$ -minta esetén  $\text{Ge}(\text{Li})$  félvezető detektorral

Фиг. 11. Распределение высоты импульсов при гамма-излучении с захватом нейтронов для образца  $\text{NaCl}$ , по данным полупроводникового детектора  $\text{Ge}(\text{Li})$

Abb. 11. Impulshöhenverteilung der Neutroneneinfang- $\gamma$ -Strahlung einer  $\text{NaCl}$ -Probe mit  $\text{Ge}(\text{Li})$ -Halbleiterdetektor

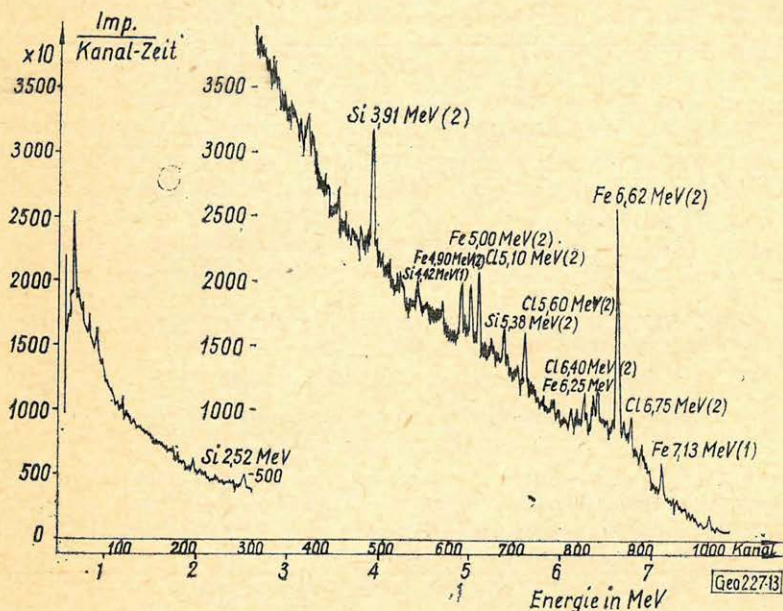


12. ábra. Impulzus-magasság-eloszlás neutronbefogásos- $\gamma$ -sugárzásnál  $\text{SiO}_2$ -minta esetén  $\text{Ge}(\text{Li})$  félvezető detektorral

Фиг. 12. Распределение высоты импульсов при гамма-излучении с захватом нейтронов, для образца  $\text{SiO}_2$ , по данным полупроводникового детектора  $\text{Ge}(\text{Li})$

Abb. 12. Impulshöhenverteilung der Neutroneneinfang- $\gamma$ -Strahlung einer  $\text{SiO}_2$ -Probe mit  $\text{Ge}(\text{Li})$ -Halbleiterdetektor

schon bei der Wahl der fiktiven Einheit auf den zu messenden Parameter zu orientieren. Deshalb ist beabsichtigt, als Einheit für die Neutron – Gamma-Messung die Differenz der Messwerte in Wasser und in einem Gestein mit geringer Porosität einzuführen. Für die routinemässige Eichung wird ein sekundärer Standard verwendet, der ebenfalls eine Zwei-Punkt-Eichung gestattet.



13. ábra. Impulzus-magasság-eloszlás neutronbefogásos- $\gamma$ -sugárzásnál  $\text{SiO}_2 - \text{Fe} (20\%) - \text{NaCl} (1,06\%)$  20% porozitásnak felelve meg 120 g/l-nél keverékminta esetén  $\text{Ge}(\text{Li})$  félvezető detektorral

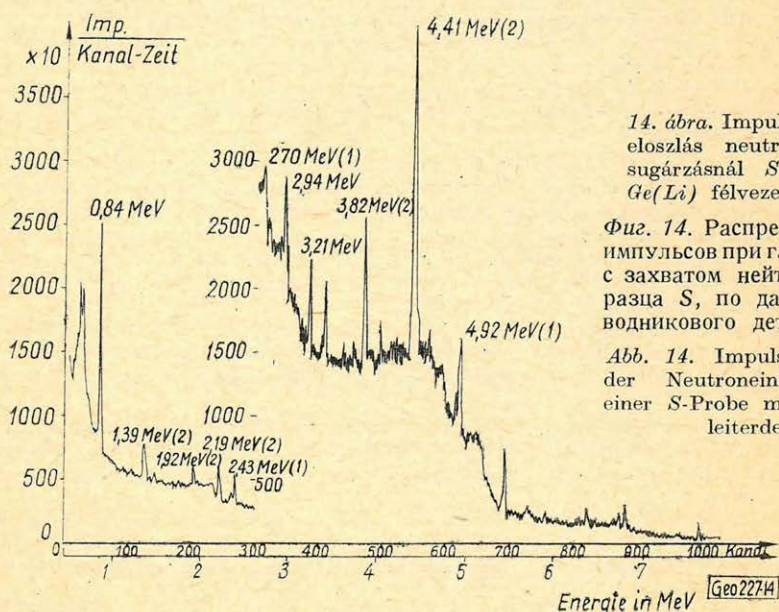
Fig. 13. Распределение высоты импульсов при гамма-излучении с захватом нейтронов для образца смеси  $\text{SiO}_2 - \text{Fe} (20\%) \text{NaCl} (1,06\%)$  (соответствующей пористости 20% при 120 г/лит)

Abb. 13. Impulshöhenverteilung der Neutroneneinfang- $\gamma$ -Strahlung einer  $\text{SiO}_2 - \text{Fe} (20\%) - \text{NaCl} (1,06\%)$  entsprechend einer Porosität von 20% bei 120 g/l) – Probe mit  $\text{Ge}(\text{Li})$ -Halbleiterdetektor

Wie u. a. in [4] gezeigt, haben vor allem die *gamma-spektrometrischen Neutronenverfahren* elementsspezifischen Charakter. Ausser *Fe* sind unter entsprechenden geologischen Bedingungen *Co, Ni, Cr, Ca, Si, Cl* und *S* nachzuweisen. Es ist aber nicht nur eine qualitative Aussage möglich [5], sondern auch quantitative Angaben, wie die Vermessung einer grösseren Anzahl von Bohrlöchern einer mesozoischen Eisenerzlagerstätte beweist. Bei Bezugnahme auf einige Analyseergebnisse lassen sich mit der bei uns vorhandenen Messtechnik *Fe*-Gehalte im Bohrloch auf  $\pm 2,5\%$  *Fe* angeben; durch etwas erhöhten Aufwand lässt sich die Genauigkeit auf  $\pm (1 \text{ bis } 2)\%$  *Fe* steigern.

Auch auf dem Gebiet der Neutroneneinfang- $\gamma$ -Spektrometrie wurden von uns die Entwicklungsmöglichkeiten durch Einsatz von Halbleiterdetektoren untersucht. Mit den gleichen Proben, die vor einigen Jahren zur Abschätzung des Einsatzes von Szintillationsdetektoren in der Bohrlochmessung dienten, wurden am thermischen Neutronenstrahl des Reaktors in Rossendorf/Dresden

Impulshöhenverteilungen mit  $Ge(Li)$ -Detektoren aufgenommen. Auf den Abb. 10 bis 14 werden einige Beispiele gezeigt, die in ihrer Energieauflösung Vergleiche mit der optischen Spektroskopie gestatten. Damit eröffnen sich Möglichkeiten einer direkten Gehaltsbestimmung in situ. Die beiden noch vorhandenen Nachteile dieser Detektoren für die Praxis, die etwas geringere Effektivität und die Notwendigkeit der Kühlung, betrachten wir als nicht prinzipieller Art. Man ist dabei Halbleitermaterialien zu finden, die eine höhere Ordnungszahl als Germanium und eine grössere Lücke zwischen Valenz- und Leitfähigkeitsband aufweisen [6].



14. ábra. Impulzus-magasság-eloszlás neutronbefogásos  $\gamma$ -sugárzásnál S-minta esetén  $Ge(Li)$  félvezető detektorral

Фиг. 14. Распределение высоты импульсов при гамма-излучении с захватом нейтронов, для образца S, по данным полупроводникового детектора  $Ge(Li)$

Abb. 14. Impulshöhenverteilung der Neutroneinfang- $\gamma$ -Strahlung einer S-Probe mit  $Ge(Li)$ -Halbleiterdetektor

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass auf dem Gebiet der kernphysikalischen Bohrlochmessung die Entwicklung von den einfachen, zunächst nur qualitative Aussagen liefernden Verfahren über die quantitative Fassung der Ergebnisse zu Verfahren geht, die direkten elementspezifischen Charakter besitzen. Um die Ergebnisse aus Bohrungen auch international vergleichbar und maschinell auswertbar zu gestalten, ist es erforderlich, die Frage der bei den einzelnen Verfahren zu messenden physikalischen Grössen und der Masseinheiten generell festzulegen. Am zweckmässigsten wären internationale Abmachungen, da zum Teil von der Methode her keine zwingende Notwendigkeit für eine einheitliche Festlegung besteht.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] J. Czubek: Vortag zum „IAEA-Symposium on Radioisotope Instruments in Industry and Geophysics“ 18–22. Oktober 1965, Warschau
- [2] W. A. Meier, A. P. Otschkur, u. a.: Voprosy Rudnoj Geofiziki, wip. 6. Leningrad, 1965.
- [3] S. J. Pirson: Handbook of Well Log Analysis, 1963.
- [4] W. Löttsch: Freiburger Forschungshefte, C 205 (1966).
- [5] W. Gerstenberger, W. Löttsch: Isotopenpraxis 3, Heft 9 (1967), 375–379.
- [6] J. W. Mayer: Nucl. Instr. & Meth., 43 (1966), 55–64.