

# **Die Entdeckung der Kosmischen Strahlung durch Viktor Franz Hess (1883-1964) vor 100 Jahren und ihre Bedeutung bei der Messung geringer Radioaktivitäten**

Siegfried Niese, Wilsdruff

## **Zusammenfassung**

Es wird die 1912 erfolgte Entdeckung der Kosmischen Strahlung durch Viktor Franz Hess, deren Vorgeschichte und die nachfolgende Entdeckung einiger Elementarteilchen als deren atmosphärische Umwandlungsprodukte beschrieben, die den Untergrund von mit dicken Metallschichten gegen die natürliche Radioaktivität abgeschirmten Strahlungsdetektoren bestimmen. Es wird dargestellt, wie durch Antikoinzidenz- und Koinzidenzverfahren sowie Messungen untertage der durch die Kosmische Strahlung verursachte Untergrund vermindert wurde.

## **Summary**

The discovery of the cosmic rays by Victor Franz Hess in 1912, the previous achievements and the following discovering of elementary particles are described, which are created in the atmosphere. These particles determine the background of detectors, shielded with heavy metals against natural radioactivity of the vicinity. It is shown, how the cosmic ray caused background is reduced by coincidence, anti - coincidence as well as underground measurements.

## **Einleitung**

Bei einem Ballonfahrt von Aussig (Usti, Tschechische Republik) nach Pieskow (Bad Saarow) am Juli 1912 erreichte Viktor Franz Hess eine Höhe von 5500m. Bei dieser Fahrt konnte er mit den drei mitgeführten Elektrometern mit der Höhe nach einen Abfall eindeutig einen Wiederanstieg der Strahlung messen, der er einem kosmischen Ursprung zuschrieb. In dieser Kosmischen Strahlung entdeckte man später neue Elementarteilchen was eine Hochenergiephysik begründete. Bald erkannte man, dass die Kosmische Strahlung auch bei der Messung geringer Radioaktivitäten einen störenden Untergrund verursachte, den man zuerst durch spezielle Koinzidenzverfahren und später durch Messungen untertage weitgehend unterdrücken konnte. Solche geringen Radioaktivitäten waren bei Nukliden langer Halbwertszeiten, durch kosmische Strahlung in der Hochatmosphäre aktivierten und zur Altersbestimmung genutzten  $^3\text{H}$  und  $^{14}\text{C}$  und im Kosmos in Meteoriten aktivierten Nukliden, bei der Aktivierungsanalyse hochreiner Materialien und kleinster Proben und schließlich bei der Untersuchung der Verteilung von Nukliden in der Umwelt zu messen.

## **Was der Entdeckung der Kosmischen Strahlung voraus ging**

Marie Curie vermutete Kosmische Strahlung als Ursache für die Radioaktivität. Nachdem Becquerel die Strahlung des Urans festgestellt hatte, prüfte sie viele Elemente und chemische Verbindungen auf ihre Radioaktivität. Sie stellte nur bei Uran, Thorium und deren chemische Verbindungen eine spontane Emission einer der Röntgenstrahlung ähnliche Strahlung fest, wobei die dazu erforderliche Energie den radioaktiven Elementen von einer äußeren Strahlung zugeführt worden sein könnte. Sie vermutete, dass das ganze All von Strahlen durchdrungen ist, die nur von bestimmten Elementen mit hohem Atomgewicht, wie Uran und Thorium, absorbiert werden kann. Sie schreibt in einem Beitrag am Ende: «Pour interpréter le rayonnement spontané de l'uranium et du thorium on pourrait imaginer que tout l'espace est constamment traversé par des rayons analogues aux rayons de Röntgen mais beaucoup plus pénétrants et ne pouvant être absorbés que par certains éléments à gros poids atomique, tels que l'uranium et le thorium.»<sup>1</sup>

Diese Annahme wurde 1898 durch Julius Elster und Hans Geitel aus Wolfsburg überprüft, indem sie in 300m and 800m Tiefe in inzwischen zusammengefallenen Salzbergwerken im Asse - Bergland im Harz Messungen durchführten. Sie gingen von der unter dem damaligen Kenntnisstand bemerkenswert richtigen Annahme aus, dass die von Marie Curie vermutete aus dem Kosmos stammende Strahlung von den Gesteinsmassen absorbiert wird. Da die Intensität der Strahlung der radioaktiven Proben oberirdisch und in der Tiefe gleich war, musste die Quelle der Energie der radioaktiven Strahlung von den radioaktiven Elementen selbst stammen. Das waren auch die ersten unterirdischen Messungen der Radioaktivität überhaupt. Sie schrieben: "Nach diesen Versuchen erscheint uns die Hypothese der Erregung der Becquerel-Strahlung durch andere im Raum präexistierende Strahlen im höchsten Grade unwahrscheinlich."<sup>2</sup>

Bald stellten sich mehrere Wissenschaftler die Frage, ob die auf der Erdoberfläche durch die natürliche Radioaktivität der Gesteine verursachte Ionisation der Luft unter der abschirmenden Wirkung der Atmosphäre mit größeren Höhen auch abnimmt. Das wollte auch Karl Bergwitz prüfen. Er nutzte 1908 eine Ballonfahrt des Braunschweiger Luftsportvereins für die Registrierung der Luftionisation in Abhängigkeit von der aufsteigenden Höhe. Das merkwürdige Resultat seiner Messungen, dass die Ionisierung allmählich abnahm, dann aber doch wieder anstieg, führte er auf einen Defekt an der Messeinrichtung zurück und verzichtete deshalb auf eine Publikation der Ergebnisse.<sup>3</sup> Der deutsche Jesuitenpater Theodor Wulf, der sich um die Entwicklung der Elektrometer verdient gemacht hat, untersuchte ebenfalls die Strahlung, die die Ionisation der Luft bewirkt. Um zu überprüfen, wie die Ionisierung der Luft mit der Höhe abnimmt, erklimmte Theodor Wulf für seine Messungen im Jahre 1910 den 1889 errichteten Eiffelturm in Paris. Er stellte fest, dass die Ionisation oben viel höher war, als sie nach 300m abschirmender Luft hätte sein dürfen, wenn sie nur von den radioaktiven Elementen der Erdoberfläche verursacht würde und stellte die Hypothese auf, dass aus dem Kosmos eine außerirdische Strahlung stetig auf die Atmosphäre hereinfalle. Er forderte seine Kollegen auf, mit Drachen und Ballonen Messungen in noch größeren Höhen durchzuführen.<sup>4</sup> Mit dem Wulf'schen Strahlungsapparat machte der schweizer Physiker Albert Gockel zur Messung der Ionisation der Luft ab Dezember 1909 mehrere Ballonfahrten bis auf 4500 m Höhe. Er schrieb: „Das Resultat der Messungen ist demnach, dass in der freien Atmosphäre zwar eine Verminderung der durchdringenden Strahlung eintritt, aber lange nicht in dem Maße, wie man es erwarten könnte, wenn die Strahlung in der Hauptsache vom Boden ausgeht“ Nach zwei Fahrten kommt er zum Ergebnis:... „, dass selbst in Höhen von 4500 m die Abnahme der Strahlung nur sehr gering ist. ... Es muss diese Strahlung daher zum Teil entweder aus der Atmosphäre oder von einem Gestirn ausserhalb der Erde kommen“.<sup>5</sup>

In den Jahren 1911 und 1912 führte auch der sich intensiv mit Lufterlektrizität und Strahlungsmesstechnik im Wiener Radiuminstitut beschäftigende Physiker und leidenschaftlicher Ballonfahrer Viktor Franz Hess<sup>6</sup> vom Klubplatz des österreichischen Aeroclubs in Wien aus Ballonfahrten durch, um zu prüfen, warum die von der Radioaktivität der irdischen Gesteine ausgehende Strahlung nach Messungen von Wolf und Gockel mit der Höhe nicht so schnell abnimmt, wie man von der durch die Dicke der Luftschicht verursachte Absorption zu erwarten hat. Er hatte für seine Fahrten eine Prüfung als Ballonführer abgelegt. Bei diesen Flügen deutete sich ebenfalls eine Erhöhung der Strahlungsintensität in großen Höhen an.<sup>7</sup> Da die Ergebnisse schwankten und ihm keine eindeutige Aussage erlaubten, war er daran interessiert, eine Ballonfahrt in größeren Höhen durchzuführen. Da das aber mit den in Wien zur Verfügung stehenden leuchtgasgefüllten Ballons nicht möglich war, suchte er nach einem mit Wasserstoff gefüllten Ballon.

Der pariser Physiker Charles hatte bereits 1783 bei den ersten bemannten Aufstiegen eines Gasballons diesen mit dem 1766 entdeckten Wasserstoff gefüllt, das durch die Reaktion von Schwefelsäure mit Eisen erzeugt wurde.<sup>8</sup> Sehr umständlich war auch später die Wasserstoffherstellung durch Übergießen von Wasser auf glühendes Eisen, wie es Lavoisier bei seiner Entdeckung der Konstanz der Massen demonstriert hatte. Auf diese umständliche

Weise wurde auch der Wasserstoff für die Ballonfahrten von Wilhelmine Reichard von ihrem Ehemann hergestellt<sup>9</sup>.

Eine entscheidende Wende brachte die Entwicklung der Chlor-Alkali-Elektrolyse und ihre Anwendung zur Herstellung des begehrten Chlorkalkes und der Natronlauge, wofür 1892 in Griesheim unter Ignatz Stroof, 1893 in Bitterfeld und später in Aussig elektrochemische Fabriken erbaut wurden. Dort war dann Wasserstoff als billiges Nebenprodukt preiswert für eine Ballonfüllung erhältlich. Wohlhabende Bürger des Badeortes Teplitz-Schönau, dem jetzigen Teplice gründeten im Jahre 1911 einen Luftschiffverein und kauften einen Ballon, den sie mit Wasserstoff aus der chemischen Fabrik in Aussig füllten und auf den Namen „Böhmen“ taufte.<sup>10</sup>

### **Die siebte Fahrt und die Entdeckung der Höhenstrahlung am 7. August 1912**

Als Hess von dem Ballon „Böhmen“ erfuhr, bereitet er eine Fahrt mit diesem Ballon für den 7. August 1912 vor, über die er folgendes berichtete<sup>11</sup>: Der Start war auf dem Flugplatz von Karbitz, dem jetzigen Chaborovice 7km westlich des Stadtzentrums von Usti, nachdem Mitglieder des Aeroclubs in der Nacht vorher den Ballon aus auf Waggonen geladenen Wasserstoff gefüllt hatten. "Es erübrigte sich jetzt nur noch, einmal eine Hochfahrt zu machen, um das Verhalten der Gamma-Strahlung in Höhen von mehr als 3000 m zu erforschen. Zu diesem Zwecke habe ich am 7. August eine Fahrt mit dem 1.680 m<sup>3</sup> fassenden Ballon "Böhmen" des deutschen Luftfahrtvereines in Böhmen von Aussig a. d. Elbe unternommen. Die Füllung des Ballons erfolgte bereits während der Nacht. Es wurde sehr reiner Wasserstoff zur Füllung benützt, der pro Kubikmeter eine Tragfähigkeit von 1,1 kg aufwies. Es war also Hoffnung vorhanden, eine Höhe von 6000 m zu erreichen. An der Fahrt nahmen teil: Herr Hauptmann W. Hoffory als Führer, Herr E. Wolf als meteorologischer Beobachter und meine Wenigkeit. Um 6 Uhr 12 Minuten früh wurden wir vom Fahrwart, Herrn Ing. Walter Mitscherlich, hochgelassen. Die Platzfrage gestaltete sich recht schwierig, denn für drei Personen, drei große Sauerstoffzylinder, Sitzbank, Instrumentenkorb und Handgepäck schien der an sich bequeme Ballonkorb doch etwas zu eng. An Ballast nahmen wir 52 Sack mit (etwa 800 kg). Ein Teil der Säcke war so gehängt, dass ihre Entleerung durch Abschneiden eines Bindfadens bewirkt werden konnte, was in größeren Höhen zur Vermeidung jeder körperlichen Anstrengung wichtig ist. ... Unsere Fahrtrichtung war bisher westlich, dann aber nördlich, so dass wir um 7.30 Uhr die deutsche Grenze bei Peterswalde übersetzten. Um 8 Uhr schwebten wir über Struppen bei Pirna mit prächtiger Aussicht auf die Festung Königsstein und die sächsische Schweiz. Um 8.30 Uhr haben wir 3000 m (bei Bischofswerda) erreicht ... Um 9.15 Uhr wurden 4000 m erreicht; wir standen über Elstra im östlichen Sachsen. .... Um 10.45 Uhr hatten wir 5350 m erreicht. Trotz Sauerstoff fühlte ich mich so schwach, dass ich nur noch mit Anstrengung an zwei Apparaten die Ablesungen ausführen konnte, die dritte Ablesung misslang. So entschloss ich mich, obwohl wir noch zwölf Sack Ballast hatten, herunterzugehen, und bat Hauptmann Hoffory, Ventil zu ziehen. ... Wir ließen den Ballon, der mehrmals von selbst zu fallen aufhörte, durch mehrfaches Ventilziehen bis zirka 1 000 m herabgehen, dann orientierten wir uns über die Terrain- und Windverhältnisse und landeten bei schwachem Bodenwinde sehr glatt um 12.15 Uhr mittags auf einer sandigen Wiese bei Pieskow (Brandenburg), etwa 50 km östlich von Berlin. Nachdem uns ein Gutsbesitzer in freundlicher Weise Landungshilfe zur Verfügung gestellt und uns gastfreundlich aufgenommen hatte, fuhren wir gegen 4 Uhr nach Berlin, von wo wir mit dem Nachtschnellzuge nach Wien zurückkehrten. Mit dem wissenschaftlichen Ergebnis dieser Fahrt konnte ich sehr zufrieden sein; es war mir gelungen, mit drei Apparaten unabhängig den Verlauf der durchdringenden Strahlung bis über 5000 m zu verfolgen. Nachdem ich schon bei den ... von Wien aus unternommenen Fahrten gefunden hatte, dass die Gesamtstrahlung in Höhen von 1000 bis 2000 m ebenso groß ist wie am Boden, also größer als in 500 und 1 000 m ist, ergab sich in den Höhen von 2000 m aufwärts eine noch viel auffallendere Steigerung der Gamma-Strahlung mit der Höhe. In 4000 m war die Gamma-Strahlung schon um die Hälfte stärker als am Boden, im 5000 m mehr als doppelt so stark. Das war ein Ergebnis, welches vollkommen neue

Gesichtspunkte schuf: Es war der Beweis erbracht, dass in 5000 m Höhe eine viel stärkere Gamma-Strahlung wirkt als auf der Erde ... Dass ein Teil der Gamma-Strahlung von der Sonne kommt, ist unwahrscheinlich, da ich bei den von Wien aus unternommenen Fahrten in der Nacht und während der Sonnenfinsternis am 17. April 1912 keine Verminderung der Gamma-Strahlung fand".

Die wissenschaftlichen Ergebnisse seiner Ballonfahrten publizierte er in der Zeitschrift für Physik.<sup>12</sup> Wegen des durchdringenden Charakters der Kosmischen Strahlung nannte Hess sie „Ultra-Gammastrahlung“. Hess plante für weitere Untersuchungen der Kosmische Strahlung ein hochgelegenes Observatoriums, um diese über längere Zeiträume hinweg registrieren zu können. Dort sollten Präzisionsgeräte mit massiven Bleiplatten zur Abschirmung der Umgebungsradioaktivität bei konstanter Temperatur aufgestellt werden können. Er fand dafür den Alpengipfel Hafelekar (2300 m) bei Innsbruck, wo er seit September 1931 kontinuierliche Messungen durchführen konnte.<sup>13, 14</sup>

### **Das Wesens der Kosmischen Strahlung und die Entdeckung von Elementarteilchen**

Die Entdeckung der Höhenstrahlung 1912 wurde von den meisten Physikern anfangs nicht ernst genommen und auch 1913 noch verschiedentlich angezweifelt, als sich der aus der Schule des Hallenser Physikers Ernst Dorn hervorgegangene Werner Kolhörster diesem Problem zuwandte und die Versuche von Hess wiederholte und dessen Ergebnisse bestätigte. Er führte von Bitterfeld zuerst drei Fahrten aus, bei denen er Höhen von 3500m, 4000m und 6300m<sup>15</sup> und bei einer Fahrt am 28. Juni 1914 von Bitterfeld mit dem 2200m<sup>3</sup> fassenden Ballon „Metzeler“ unter Führung von Dr. Everling aus Adlershof eine Höhe von 9300m erreichte. Er konnte aus dem Anstieg der Strahlungsintensität sogar einen Absorptionskoeffizienten der Kosmischen Strahlung berechnen.<sup>16</sup>

1913 wurde von Johannes Geiger ein Elektronenzählrohr beschrieben<sup>17</sup>, das 1928 mit Walter Müller zu dem bekannten Geiger - Müller - Zählrohr weiterentwickelt wurde<sup>18</sup>. Walter Bothe und Hans Geiger hatten 1924 zur Bestätigung des Energieerhaltungssatzes beim Comptoneffekt eine Koinzidenzmethode mit zwei Zählrohren angewandt.<sup>19</sup> Kolhörster brachte 1928 in ein Gammastrahlungsfeld zwei Geigersche Elektronenzähler übereinander und fand in beiden Zählrohren einige gleichzeitige Ereignisse, die anzeigten, dass ein „Comptonelektron“ durch beide Detektoren gegangen ist. Entsprechend der bevorzugten vertikalen Richtung der Kosmischen Strahlung hat er mit 10cm Bleiabschirmung bei übereinander angeordneten Zählrohren „die dreifache Anzahl von Koinzidenzen“ als bei nebeneinander angeordneten beobachtet. Damit hat er sowohl die Koinzidenzmesstechnik in die Untersuchung der kosmischen Strahlung eingeführt als auch die bevorzugte vertikale Richtung und hohe Energie der Strahlung nachgewiesen.<sup>20</sup> Indem er mit Walter Bothe zwischen zwei übereinander angeordneten in Koinzidenz geschalteten Geiger-Müller-Zählrohren verschieden dicke Blei- und Goldplatten untergebracht hatten, bestimmten sie einen Massenabsorptionskoeffizienten der Strahlung und zeigten, dass bei allen bisherigen Messungen keine harte Gammastrahlung sondern eine korpuskulare Strahlung mit einer Energie von mindestens  $10^9$  eV gemessen wurde. „Es kommen außer den negativen Elektronen auch positive Teilchen wie Protonen und Alphateilchen in Frage“.<sup>21</sup> 1929 entwickelten beide die Koinzidenzmethode weiter. Damit hat Kolhörster Messungen bis 1000mwe (mwe = Meter Wasser Äquivalent =  $100\text{gcm}^{-2}$ ) Tiefe in einem Salzbergwerk bei Staßfurt durchgeführt und für den Massenabsorptionskoeffizient den oberen Grenzwert von  $1,5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$  gefunden.<sup>22</sup>

Dimitri Skobelzyn fand in vertikaler Richtung bevorzugte Spuren in einer Wilsonkammer, die durch den Magneten nicht abgelenkt wurden und er Elektronen einer Energie über 15 MeV als Sekundärteilchen der Hessschen Ultragammastrahlen zuschrieb.<sup>23</sup>

Der durch die Bestimmung der Elementarladung bekannte Physiker Andrews Millikan beauftragte 1932 seinen frisch promovierten Assistenten Carl David Anderson zur Untersuchung der Kosmischen Strahlung eine mit einem starken Elektromagneten

versehene Wilson'sche Nebelkammer zu bauen. Damit fuhr dieser auf den 4300 Meter hohen Pike's Peak und fand in der Kosmische Strahlung zu gleichen Teilen positive und negative Teilchen auf Bahnen, die nach links und rechts gekrümmt waren. Nach Millikan sollte es sich bei den positiven Teilchen um Protonen handeln, die von einer extrem hochenergetischen kosmischen  $\gamma$ -Strahlung aus den Atomkernen der Atmosphäre geschlagen worden sind. Anderson konnte das nicht glauben, weil die Bahnen der positiven Teilchen ähnlich stark wie die der negativen gekrümmt waren. Nachdem er in die Mitte seiner Nebelkammer eine Bleiplatte eingefügt hatte, konnte er zeigen, dass es sich bei den eigenartigen Teilchenbahnen weder um die Spuren von Protonen noch von Elektronen handeln konnte. Aus der erhaltenen Teilchenbahn schloss er auf eine ungefähre Masse des Elektrons, aber eine positive elektrische Ladung. Damit hatte Anderson das positive Antielektron, das Positron, nachgewiesen<sup>24</sup>, das bereits einige Jahre zuvor vom theoretischen Physiker Paul Dirac vorhergesagt worden war. Dafür wurde Carl David Anderson im Jahre 1936 im Alter von 31 Jahren, gemeinsam mit Viktor Franz Hess mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet. Eine große Anzahl radioaktiver Nuklide senden Positronen aus, die zur Aktivitätsbestimmung genutzt werden, indem von den bei ihrer Annihilation mit Elektronen gebildeten zwei in einem Winkel von  $180^\circ$  ausgesandten Gammaquanten von 511 keV eines oder beide gemessen werden. Im Untergrund eines Gammapektrums findet sich oft eine ausgeprägte Linie bei 511 KeV, die vorwiegend von der kosmischen Strahlung verursacht wird.

Um die Einführung fotografische Emulsionen in die Erforschung der Kosmischen Strahlung hat sich besonders die österreichische Physikerin Maritette Blau verdient gemacht hat. Sie hat in Berlin in einer Fabrik für Röntgenröhren, danach in Frankfurt über Röntgenuntersuchungen und die Eigenschaften von Röntgenfilmen gearbeitet und später eng mit der Firma Ilford zusammen gearbeitet, die damals schon das Material für photographische Detektoren lieferte. Sie half bei der Herstellung, bis man die Filme zum Nachweis von Strahlung verwenden konnte, und testete 1934 Filme bei Marie Curie im Institut du Radium in Paris mit starken radioaktiven Quellen. Nach weiterer Verbesserung setzte sie ihre Filme 1937 fünf Monate lang im Forschungslabor von Viktor Hess am Hafelekar bei Innsbruck in einer Höhe von 2300 Metern der Kosmischen Strahlung aus. Blau und ihre Diplomandin Wambacher fanden Spuren von Protonen einer nie zuvor gesehenen Länge. An einigen Stellen entdeckten sie seltsame Sterne, bei denen von jeweils einem Punkt einige Spuren ausgingen, die von Protonen oder Heliumkernen stammen konnten, und wiesen so eine Kernzertrümmerung durch Kosmische Strahlung nach. Da bis zu neun Spuren von seinem Zentrum ausgingen, musste dessen Kernladungszahl größer als neun sein und konnten am ehesten von den Brom- oder Silberatomen stammen. Damit hatten sie als erste eine Kernzertrümmerung sichtbar gemacht<sup>25</sup>

1936 entdeckten Anderson und Neddermeyer in der kosmischen Strahlung ein geladenes Teilchen mit einer Masse zwischen der des Elektrons und des Protons, das sie Meson nannten (Myon)<sup>26</sup>. Wie sich später herausstellte, stellt das Myon in Seehöhe die überwiegende Komponente der Kosmischen Strahlung dar und findet deshalb die größte Aufmerksamkeit bei der Messung geringer Radioaktivitäten. Elster und Geitel gingen recht in ihrer Annahme, dass die Intensitäten der Kosmischen Strahlung in den Tiefen eines Bergwerkes beträchtlich reduziert wird. Der britische Physiker Cecil Frank Powell entdeckte dann 1946 das Pion auf fotografischen Platten, die er mit Ballonen in größere Höhen brachte. Für die Entwicklung der Emulsionstechnik und die Entdeckung des Pions erhielt er den Nobelpreis 1950.

Während die Entdeckung der Höhenstrahlung 1912 von den meisten Physikern anfangs nicht ernst genommen wurde, entwickelte sie sich, nachdem man in ihr neue Teilchen entdeckt und deren hohe Energien erkannt hatte, daraus die Hochenergie - Teilchenphysik zu einem eigenen Arbeitsgebiet der Physik. Die Kosmische Strahlung war die einzige Quelle zur Untersuchung der Elementarteilchen, bis dann Teilchenbeschleuniger für die erforderlichen hohen Energien zur Verfügung standen.

## Die Bestandteile der Kosmischen Strahlung und ihre Wirkung auf die Materie.

In intensiver Forschungsarbeit konnte man die Bestandteile und deren Energien der Kosmischen Strahlung ermitteln. Heute weiß man, dass außerhalb der Erdatmosphäre die primäre Kosmische Strahlung aus 87% Protonen, 12% Alphateilchen und ca. 1% an schwereren Atomkernen bestehen. Die Energie der Protonen reicht bis weit über  $10^{20}$  MeV. Im Energiespektrum der Protonen kann man zwei Quellen erkennen. Die von der Sonne stammende Kosmische Strahlung ist wesentlich intensiver, reicht aber nicht zu solch hohen Energien wie die von einer außerhalb unserer Galaxis stammende Quelle. Durch die hochenergetischen Protonen der primären Kosmischen Strahlung werden in den oberen Schichten von Himmelskörpern z.B. Meteoriten, die über keine mit der Erde vergleichbare Atmosphäre verfügen, durch Kernreaktionen aus den vorhandenen Kernen stabile oder radioaktiv gebildet, aus deren Isotopenhäufigkeiten oder Radioaktivität Aussagen über deren Geschichte gewonnen werden können.

Die hochenergetischen Protonen treffen in der oberen Atmosphäre auf die Protonen und Neutronen der Kerne und im Ergebnis einer Folge von Kernreaktionen entstehen u.a. langlebige Radionuklide wie  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ , die auf der Erde zu Altersbestimmungen in der Hydrologie und der Archäologie genutzt werden, sowie verschiedenartige kurzlebige Elementarteilchen, von denen die meisten schon zerfallen oder absorbiert worden sind, bis sie die Erdoberfläche erreicht haben. Auf Meeresniveau finden wir dann ein durch die Atmosphäre stark verändertes Teilchenspektrum. Die in  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  angegebenen Flussdichten der einzelnen Bestandteile betragen im Mittel 190 für Myonen, 64 für Neutronen, 46 für Elektronen und 0,13 für Pionen.<sup>27</sup>

Die Kosmische Strahlung wirkt ionisierend und leistet damit auch einen mit der Höhe ansteigenden Beitrag zur Strahlendosis. Während dieser auf der Erdoberfläche in geringen Höhen über N.N. zu vernachlässigen ist, muss er bei Langstrecken- und Raumflügen berücksichtigt werden.

## Abschirmung der kosmischen Strahlung bei der Messung geringer Aktivitäten

Bei der Messung geringer Aktivitäten kommt es darauf an, dass die Zählrate der Messanordnung ohne Messpräparat so gering wie möglich ist. Zur Abschirmung gegen die Radioaktivität der umgebenden Materialien bringt man die Zählrohre meist in Abschirmkammern aus Blei unter. Der verbleibende Untergrund stammte zum größeren Teil aus der Kosmischen Strahlung. Um deren Einfluss zu unterdrücken, umgab Bothe das zur Messung genutzte zentrale Zählrohr mit einem Kranz weiterer Zählrohre. Wenn ein Ereignis sowohl im zentralen als auch in einem der umgebenden Zählrohre einen Ladungsimpuls auslöste, wurde das Ereignis im zentralen Zählrohr nicht registriert, weil es nicht durch die Aktivität der Probe sondern durch die Kosmische Strahlung verursacht worden ist<sup>28</sup>. Libby umgab ein Zählrohr für die Messung geringer Radioaktivitäten von  $^{14}\text{C}$  mit 7 anderen, um die durch Myonen verursachten Ereignisse im Messzählrohr von der Registrierung auszuschließen.<sup>29</sup> Die mit  $^{14}\text{C}$  durchgeführte Altersbestimmung biologischer Materialien war die spektakulärste frühe Anwendung der Antikoinzidenzmethode und wurde mit einem Nobelpreis für Libby gewürdigt. Jetzt sind mit einem Antikoinzidenzschirm umhüllte Gas – und Flüssigkeitsszintillationszähler kommerziell erhältlich. Ein Ge(Li)- Gammaspektrometer, mit einem außerhalb der Bleibabschirmung angeordneten NaI-Antikoinzidenzdetektor zur Messung geringer Gammastrahlungsintensitäten beschrieben Coopers und Mitarbeiter.<sup>30</sup> Entsprechende Anordnungen sind jetzt in vielen Laboratorien im Einsatz.

Bei der Koinzidenzspektrometrie, die der selektiveren Messung einzelner Nuklide oder Strahlungsübergänge und der Verringerung des Einflusses der Umgebungsradioaktivität dient, ist die Verringerung des Einflusses der Kosmischen Strahlung ein vorteilhafter Nebeneffekt. Ein gutes Beispiel dafür ist dafür die Beta – Gamma – Koinzidenz-

Spektrometrie, die von uns erstmals zur Verbesserung der Nachweisgrenze in der Aktivierungsanalyse angewandt wurde.<sup>31</sup> Dabei wird die Probe zwischen einen möglichst kleinen Beta- und einen der Gammaenergie angepassten Gammastrahlungsdetektor oder gemeinsam mit dem Betadetektor in ein Bohrloch des Gammadetektors untergebracht. Der Strahlungsanteil der nicht von der Bleiabschirmung zurückgehaltenen Umgebungsstrahlung wird um mehr als drei Größenordnung reduziert, von der Eigenaktivität der Messanlage wird auch nur der Beitrag aus dem Material zwischen Beta- und Gammadetektor gemessen. Bei der Messung der Gammastrahlung im Energiebereich des Nachweisnuklids wird von Myonen nur dann ein Untergrund verursacht, wenn deren Weglänge so klein ist, dass die absorbierte Energie in den Nachweisbereich des Nuklids fällt. Das trifft nur zu, wenn die Myonen schräg auf die Kanten beider Detektoren treffen. Wenn der Betadetektor kleiner als der Gammadetektor ist und sich nahe an dessen Oberfläche befindet, werden bei der Koinzidenzspektrometrie nur Ereignisse von den extrem seltenen sehr schräg einfallenden Myonen registriert. Das wird besonders deutlich, wenn man, um Messzeit zu sparen, neben einen zentral über den größeren Gammadetektor Betastrahlungsdetektor weitere an dessen Rand anordnet<sup>32</sup>.

Dicke Materialschichten über dem Untergeschoss oder Keller mehrstöckiger Gebäude und untertägigen Laboratorien schirmen die Komponenten der Kosmischen Strahlung unterschiedlich ab. Während Neutronen und Protonen schon mit einer 4m dicken zusätzlichen Schicht aus Gestein oder Beton der Dichte 2,3 um den Faktor 300 abgeschirmt werden, braucht man zur Abschirmung der Myonen wesentlich dickere Materialschichten. Für Messung geringer Aktivitäten in aktivierten Proben und Umweltproben sind schon 50m Gestein wie im Felsenkellerlabor in Dresden sehr hilfreich, weil dabei die Myonen um den Faktor 50 abgeschirmt werden.<sup>33</sup> Für anspruchsvollere Aufgaben wie die Untersuchung des doppelten Betazerfalls oder den Nachweis von Neutrinos hat man Labors mit größeren Gesteinsabdeckungen eingerichtet, z.B. das Nationallaboratorium Gran Sasso (LNGS) innerhalb eines Autobahntunnels durch das Gran Sasso Gebirge. Die 1400m dicke Gesteinschicht schirmt die Myonen ungefähr um den Faktor eine Million auf  $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ab<sup>34</sup>.

Die Radioaktivität der Gesteine kann man dabei mit Eisen, Blei oder ultrabasischen Gestein abschirmen. Zur Verringerung des durch die Wechselwirkung der Myonen mit schweren Elementen verursachten Neutronenflusses ist eine Abschirmung mit einem radioaktivitätsarmen Gestein wie Marmor oder Serpentin sinnvoll, da deren mittlere Kernladungszahl geringer als die der o.g. Metalle ist.

Messungen geringer Radioaktivitäten in einem Untertagemesslabor mittlerer Tiefe wurden zuerst in Japan zur Bestimmung von  $\text{Al}^{26}$  in Meteoriten<sup>35</sup>, danach auch bald in Bern zur Messung von  $^{14}\text{C}$  und radioaktiven Edelgasen durchgeführt<sup>36</sup>. In der Folgezeit wurden in verschiedenen alten Bergwerken, Autobahntunneln oder anderen Stollen mit unterschiedlichsten Gesteinsabdeckungen Messlabors eingerichtet<sup>37</sup>. Das 1982 eingerichtete Messlabor „Felsenkeller“ in Dresden war das erste, das zur Bestimmung geringster Aktivitäten für die Aktivierungsanalyse eingesetzt wurde. Dazu kamen später Aktivitätsmessungen in Meteoriten, Arbeiten zur Umweltanalytik, Bestimmungen der Radioaktivität in Nahrungsmitteln, Messungen von Neutronenaktivierungssonden nach Kernunfällen und den Abwurf von Kernwaffen und die Installation eines Ganzkörperzählers.

Bei der Bestimmung radioaktiver Reaktionsprodukte der kosmischen Strahlung in Meteoriten haben wir sowohl die Veränderung und Wirkung der kosmischen Strahlung in den Objekten im Kosmos als auch die für eine empfindliche Messung erforderliche Abschirmung der Kosmischen Strahlung zu beachten. Da sich in einem der Kosmischen Strahlung ausgesetzten Objekt mit der Eindringtiefe deren Intensität, Zusammensetzung und Energiespektren ändert, kann man aus den unterschiedlichen Aktivitäten der verschiedenen Nuklide auch auf die Größe der Objekte beziehungsweise deren Lage im einem Mutterkörper schließen. Das ist zum Beispiel an einer Teilstück des Meteoriten Kosice zu erkennen, bei der eine mehrfach erhöhte Aktivität an  $^{60}\text{Co}$  gemessen wurde. Das weist auf eine tiefe Lage

im Inneren des ursprünglichen Körpers hin, denn die zur Aktivierung von Co zu  $^{60}\text{Co}$  erforderlichen thermischen Neutronen müssen erst durch Kernreaktionen der primären kosmischen Protonen gebildet und anschließend abgebremst werden.<sup>38</sup>

Im 100. Jahr der Entdeckung der Kosmischen Strahlung findet zu den in diesem Beitrag erörterten Fragen von 16. und 7. Oktober in Lingolsheim, Frankreich das 11. CELLAR (Collaboration of European low-level underground laboratories) Meeting über Messung geringer Radioaktiven statt. Die Entdeckung der Kosmischen Strahlung und die Entwicklung der Teilchenphysik werden auf einer Reihe größerer wissenschaftlicher Veranstaltungen behandelt, von denen hier das Victor Franz Hess-Symposium "100 Years of Cosmic Particles" 3.-5. Mai 1912 in Innsbruck, Österreich, das „Centenary Symposium 2012: Discovery of Cosmic Rays“, 26. – 28. Juni, an der University of Denver, USA und „100 Years Cosmic rays – Aniversary of the discovery by V.F.Hess“, 6.-8.August 2012 in Bad Saarow genannt werden.

## Danksagung

Ich möchte Herrn Federmann danken, dass er seine der Biografie von Hess gewidmete Diplomarbeit ins Internet gestellt hat, die mir auf diese Weise so leicht zugänglich war. Herrn Rudolf Fricke aus Wolfenbüttel danke ich dafür, dass er mir Arbeiten von Kolhörster kurzfristig zur Verfügung gestellt hat.

## Literatur

1. Maria Sklodowska Curie, Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium, *Comptes rendus heptomadaires des séances de l'Académie des sciences* 126(1898)1101 – 1103.
2. Julius Elster, Hans Geitel, Versuche an Becquerelstrahlen, *Annalen der Physik und Chemie* 66 (1898)740.
3. Karl Friedrich August Bergwitz, \* 7. November 1875 in Wolfenbüttel; † 14. November 1958 in Braunschweig, aus: [http://de.wikipedia.org/wiki/Karl\\_Bergwitz](http://de.wikipedia.org/wiki/Karl_Bergwitz), gelesen 29.07.2011
4. Theodor Wolf, Über die in der Atmosphäre vorhandene Strahlung von hoher Durchdringungsfähigkeit, *Physikalische Zeitschrift* 10(1909)152-157
5. Albert Gockel, Luftelektrische Beobachtungen bei einer Ballonfahrt, *Physikalische Zeitschrift* 11(1910)280 und *Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles*, 19(1911)28, zitiert von Hansruedi Völkle, Ballonfahrten von Gockel, [http://www.sps.ch/artikel/physik\\_anekdoten/zwei\\_pioniere\\_auf\\_dem\\_gebiet\\_kosmische\\_strahlung\\_6/albert\\_gockel\\_und\\_die\\_kosmische\\_strahlung/](http://www.sps.ch/artikel/physik_anekdoten/zwei_pioniere_auf_dem_gebiet_kosmische_strahlung_6/albert_gockel_und_die_kosmische_strahlung/), gelesen 29.07.2011
6. Viktor Franz Hess wurde am 24.6.1863 im Schloss Waldstein in der Steiermark. Österreich geboren und starb am 17. 12. 1964 in Mt. Vernon, New York, USA. Er studierte an der Universität Graz, wo er 1906 promovierte. 1910 bis 1919 arbeitete er an der Universität und anschließend im 1911 gegründeten Radiuminstitut in Wien als Assistent und stellvertretender Direktor über Radioaktivität. Im Ersten Weltkrieg leitete er in einem Lazarett die Röntgenabteilung. 1919 bis 1938 war er nacheinander Professor an den Universitäten Graz, Innsbruck und Graz. 1936 erhielt er mit Carl Andersen den Nobelpreis für Physik. Als Gegner des Nationalsozialismus wurde er nach dem Anschluss von Österreich 1938 kurzzeitig verhaftet und fristlos ohne Pensionsanspruch entlassen. Daraufhin emigrierte er noch im gleichen Jahr in die USA und erhielt dort 1944 die Staatsbürgerschaft.
7. Viktor Franz Hess, Über die Absorption der  $\gamma$ -Strahlung in der Atmosphäre, *Physikalische Zeitschrift* 12(1911)998-1001 und Messungen der durchdringenden Strahlung bei zwei Freiballonfahrten, *Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung, Aus den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch - Naturwissenschaftliche Klasse, Bd. CXX, Abt. IIa*, November 1911, S. 1-11
8. [http://en.wikipedia.org/wiki/Jacques\\_Charles](http://en.wikipedia.org/wiki/Jacques_Charles), gelesen 19.02.2012
9. [http://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelmine\\_Reichard](http://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelmine_Reichard), gelesen 19.02.2012



10. Josef Kapoun, Luftschiffe in Teplitz: – deutsch - tscheschische Fliegerei in Böhmen, *Brünner Zeitung*, 29.01.2011
11. Viktor Franz Hess, *Jahrbuch des Österreichischen Aeroclubs* (1912)190
12. Viktor Franz Hess, Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten, *Physikalische Zeitschrift* 13(1912)1084-1091 und *Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung, Sitzungsberichte der mathematisch - naturw. Klasse der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften* 121(1912)2001-2032
13. Georg Federmann, Viktor Hess und die Entdeckung der Kosmischen Strahlung, Diplomarbeit, Wien 2003, unter <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/public/vfHess.pdf> gelesen am 19.02.2012
14. Viktor Franz Hess, Die Station für Ultrastrahlenforschung auf dem Hafelekar (2300m) bei Innsbruck, *Forschungen und Fortschritte, Nachrichtenblatt der deutschen Wissenschaft und Technik*, 7(1931)410 und Viktor Franz Hess, Fritz Rieder, Effects of Cosmic Radiation in a Wilson Chamber at the Hafelekar Observatory (2,300 m.) near Innsbruck, *Nature*, 134(1934)772
15. Werner Kolhörster, Messungen der durchdringenden Strahlung im Freiballon in größeren Höhen, *Physikalische Zeitschrift* 14(1913)1153-1156
16. Werner Kolhörster, Über Messungen der durchdringenden Strahlung bis in Höhen von 9300m, Bericht auf der Sitzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft am 10.Juli 1914, *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 16(1914)719-721.
17. Hans Geiger, Über eine einfache Methode zur Zählung von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen, *Verhandlungen der Deutschen physikalische Gesellschaft*, 15(1913)534-539
18. Hans Geiger, Walther Müller, Elektronenzählrohr zur Messung schwächster Aktivitäten, *Die Naturwissenschaften*, 16(1928)617-618.
19. Walther Bothe, Hans Geiger (1924) aus Walther Bothe, The Coincidence Methode, Nobel lecture, 1954, [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1954/bothe-lecture.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1954/bothe-lecture.html) (gelesen 22.06.2012)
20. Werner Kolhörster, Eine neue Methode zur Richtungsbestimmung von Gamma-Strahlen, *Naturwissenschaften* 16(1928)1044
21. Walther Bothe, Werner Kolhörster, Die Natur der Höhenstrahlung, *Naturwissenschaften* 17(1929)271-272 und Walther Bothe, Werner Kolhörster, Untersuchungen über die Natur der Höhenstrahlung, *Forschungen und Fortschritte* 29(1929)333.
22. Werner Kolhörster, Cosmic rays under 600m of water, *Nature* 606 (1934)1
23. Dimitry F. Skobelzyn, Über eine neue Art von schnellen  $\beta$ -Strahlen, *Zeitschrift für Physik* 54(1929)686)
24. Carl David Anderson, The positiv electron, *Physical Reviews* 43(1933)491-494
25. Marietta Blau, Hertha Wambacher, Disintegration Processes by Cosmic Rays with the Simultaneous Emission of Several Heavy Particles, *Nature* 140(1937)585
26. Carl David Anderson, Seth Henry Neddermeyer, *Physical Reviews* 50(1936)263, Seth Henry Neddermeyer, Carl David Anderson, Note of the nature of the cosmic-ray particles, *Physical Reviews* 51(1937)884-886
27. Report of the National Council of Radiation Protection and Measurement (NCRP) Nr 94,(1987) Bethesda, MD, USA
28. Walther Bothe, Zur Vereinfachung von Koinzidenzzählungen, *Zeitschrift für Physik* 59(1930)1-5
29. Williard Frank Libby, D.D. Lee, *Physical Reviews* 55(1939)245
30. J. A.Cooper, L. A. Rancitelli, R. W. Perkins, An anticoincidence –shielded Ge(Li) gamma-spectrometer and its application to radioanalytical problems, *Radioanalytical Chemistry* 6(1970)147-163
31. Siegfried Niese, Gerhard Loos, Anwendung der Beta-Gamma-Koinzidenzmeßtechnik in der Aktivierungsanalyse von Halbleitermaterialien, *Ausführliche Zusammenfassungen des 3. Intern. Symposiums „Reinststoffe in Wissenschaft und Technik“*, 1970, Dresden, 229-230 1970 und Siegfried Niese, Beta-gamma-coincidence spectroscopy of radiochemical separated nuclides in high sensitivity neutron activation analysis, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 5(1973) 567-574

32. Siegfried Niese, Wolf Görner, Heinz Kleeberg, A multiple beta - single gamma detector assembly for low - level coincidence spectroscopy, *Nuclear Instruments and Methods* 118(1974)217-220
33. Wolfgang Helbig, Siegfried Niese, Dieter Birnstein: Untergrundlaboratorium für die Messung geringer Radioaktivität, *Isotopenpraxis* 20 (1984) 60 – 64
34. C. Arpecella, A low background facility at laboratori nazionali del Gran Sasso, *Applied Radiation and Isotopes* 47(1996)991-996
35. S. Tanaka, K. Sakamoto, J. Takagi, An extremely low-background gamma ray spectrometer, *Nuclear Instruments and Methods* 134(1967)519-524
36. Hans Oeschger, Heinz Hugo Loosli, New developments in sampling and low level counting of natural radioactivity. *Proceedings of the International Conference on Low Radioactivity Measurements and Applications*, The High Tatras 1975, Bratislava 1977, 13-22
37. Siegfried Niese, Messung geringer Radioaktivitäten in Untergrundlaboratorien mit Hilfe mehrdimensionaler Spektrometrie, *VKTA Report* 87 (2008) und Underground laboratories for low-level radioactivity measurements, in Pavel. P. Povinec (ed.), *Analysis of environmental radionuclides*, Elsevier, Amsterdam, 2008, hier S. 209 – 240
38. D. Kovacik, I. Sykora, P. P. Povinec, V. Porubcan, Nondestructive gamma.spectrometry of cosmogenic radionuclides in fragments of the Kosice meteorite, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 293(2012)339-347