

Messung der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $H^*(10)$ am Gamma-ODL Referenzpunkt in der Kapelle im Höhenpark Killesberg in Stuttgart

Bernd Laquai, 24.1.2024

Wenn Citizen Scientists mit einem Geigerzähler unterwegs sind und Messungen der Umwelt-Radioaktivität publizieren, wird oft eine mangelnde Qualität der Messdaten unterstellt. Das liegt daran, dass sich Leute, die das Thema nicht als Gelderwerb bearbeiten, meist keine teuren Messgeräte leisten können und daher kostengünstige Geigerzähler aus dem Consumer-Bereich verwenden. Diese erzeugen in der Tat rein von ihrer Systemarchitektur her gewisse Messfehler, selbst wenn man sie richtig handhabt. Diese systembedingten Messfehler werden oft ganz pauschal zur Begründung einer mangelnden Datenqualität herangezogen, ohne dass sie näher spezifiziert oder quantifiziert werden.

Nun gibt es aber professionelle Dosisleistungsmessgeräte, die auf der Basis von Geiger-Müller-Zählrohren arbeiten. Allerdings werden für Dosisleistungsmessungen von professionellen Messgeräten spezielle energiekompensierte Geiger-Müller-Zählrohre eingesetzt. Diese Zählrohre sind mit speziellen Filtermaterialien umwickelt, die dafür sorgen, dass im idealen Fall die Zählrate völlig unabhängig von den Energien ist, die in dem Gammastrahlungsfeld des vorgegebenen Energiebereichs auftreten können. Ein normales unkompensiertes Zählrohr dagegen tendiert normalerweise dazu, dass niedrigere Energien der Gammastrahlung deutlich höhere Zählraten erzeugen als höhere Energien. Deswegen ist es dann systembedingt nicht mehr möglich die Dosisleistung für eine andere Energie als die, auf die kalibriert wurde, oder für ein Gemisch an unterschiedlichen Gammaenergien noch korrekt zu messen. Ein solches Gemisch liegt aber zum Beispiel für die natürlichen auftretenden Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen vor. Wenn das Zählrohr dagegen ideal energiekompensiert wäre, dann wäre es systembedingt nicht mehr relevant, bei welcher Energie das Zählrohr kalibriert ist, dann wäre sichergestellt, dass für alle Energien dieselbe Proportionalität zwischen Dosisleistung und Zählrate besteht, was die notwendige Bedingung für eine korrekte Messung einer Dosisleistung ist. Allerdings gibt es bei der realen Energie-Kompensation immer noch eine schwache Abhängigkeit von der Energie, die man dann aber im Rahmen der geforderten Messgenauigkeit tolerieren kann.

Ein weiterer Aspekt der Qualität von Messdaten einer Ortsdosisleistungs-Messung ist die Berücksichtigung der neuen Strahlenschutzgrößen in der Ortsdosimetrie. Ganz früher hat man die Umgebungs-Äquivalentdosis H durch Gewichtung der Strahlungsart mit einem Qualitätsfaktor Q für die relative biologische Wirksamkeit aus der Ionendosis D durch Multiplikation mit Q berechnet. Dabei wurde der Gammastrahlung (Photonenstrahlung) der Qualitätsfaktor $Q=1$ zugeordnet und man hat die Äquivalentdosis wie auch die Ionendosis in der Einheit Röntgen angegeben. Im Jahre 1980 wurde in Deutschland die Photonen-Äquivalentdosis H_x eingeführt, die in der Einheit Sievert ausgedrückt wurde, wobei man den Umrechnungsfaktor 0.01 Sievert pro Röntgen verwendet hat. Diese Vorgehensweise hat sich auf internationaler Ebene aber nicht durchgesetzt.

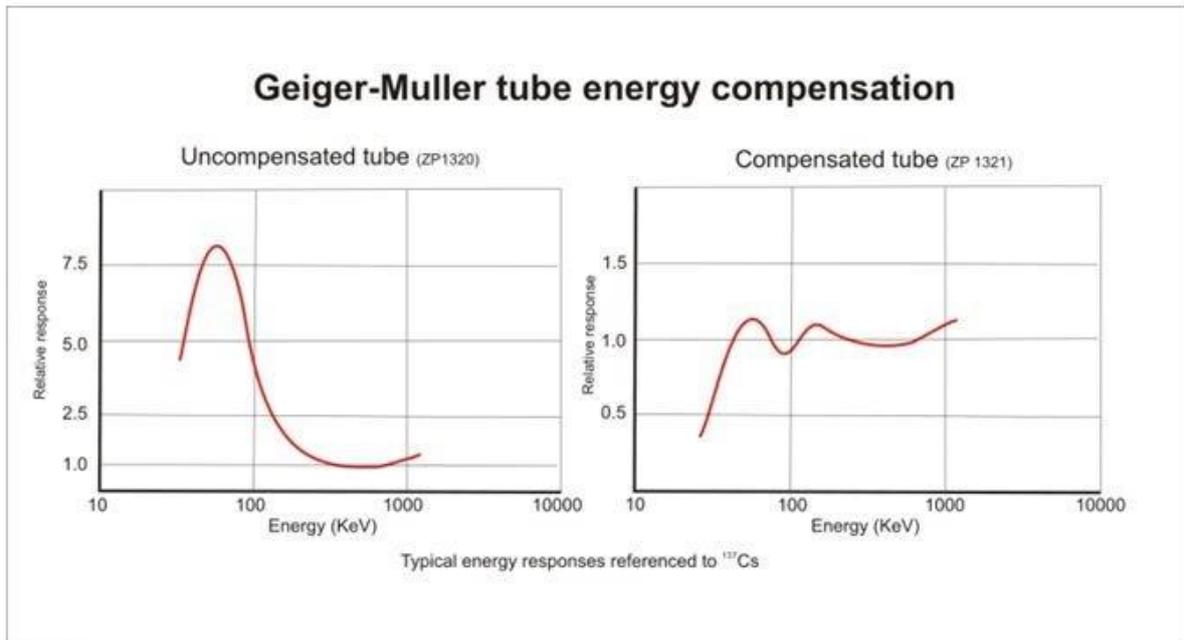


Bild 4.2 © By Dougsim (Own work) [CC BY-SA 3.0]

Abb. 1: Unkompensiertes (links) und Energie-kompensiertes Geiger-Müller-Zählrohr (rechts), Quelle: <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Nukleare%20Messtechnik> Copyright: Dougsim

Im Jahr 2018 wurde schließlich die Strahlenschutzverordnung in Deutschland modernisiert und dabei die international einheitlich definierte Ortsdosis $H^*(10)$ als Äquivalentdosis eingeführt, die mit Hilfe eines ICRU-Kugel-Phantoms in 10mm Tiefe definiert ist. Sie unterscheidet sich von der bisherigen Photonen-Äquivalentdosis H_x um einen energieabhängigen Faktor. Daher muss ein auf $H^*(10)$ energiekompensiertes Zählrohr mit anderen Filterschichten ausgestattet werden als eines, das auf die alte Photonen-Äquivalentdosis H_x energiekompensiert ist.

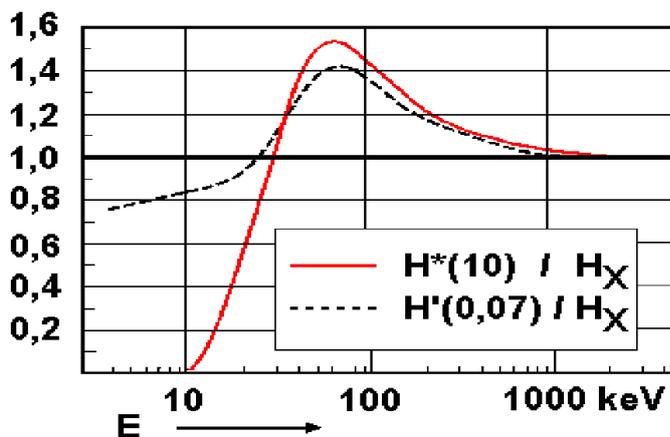


Abb. 2: Das Verhältnis der neuen Äquivalentdosis $H^*(10)$ zur alten Äquivalentdosis H_x Quelle: Landesamt für Arbeitsschutz Sachsen-Anhalt, Dezernat 21, Dr. Bärenwald, https://www.tuev-nord.de/fileadmin/Content/TUEV_NORD_DE/pdf/neu_dmg_dgw.pdf

Abhängig von der Energiekompensation eines Zählrohrs in Bezug auf die alte oder die neue Ortsdosis-Festlegung ändert sich also der Zusammenhang zwischen Zählrate und Ortsdosisleistung (ODL) in einer energieabhängigen Art und Weise, so dass sich bei einer anderen Energie bzw. einem Gemisch an Energien im Vergleich zur Energie, bei der kalibriert wurde (typischerweise 662keV des Cs137) auch dadurch gewisse Unterschiede ergeben können.

Die richtige Energiekompensation auf die heute gültige Definition der Ortsdosis bzw. Ortsdosisleistung betrifft allerdings nur das verwendete Zählrohr, nicht die Zähl- und Auswerteeinheit. Wenn sichergestellt werden kann, dass eine Zähl- und Auswerteeinheit für die bei einer Messung auftretenden Zählraten alle Zählimpulse korrekt registriert, dann verhält sich diese quasi transparent bezüglich der Eigenschaften des verwendeten Zählrohrs und es kann eine Proportionalität zwischen Ortsdosisleistung und Zählrate unterstellt werden. In diesem Fall reicht eine Zwei-Punkte Kalibrierung um den Konversionskoeffizient (Steigung) zwischen Zählrate und Dosisleistung sowie die Eigenrate (Achsenabschnitt) für die vollständige Beschreibung der Proportionalität korrekt zu bestimmen.

Nun war es ein Ziel mit den im Bereich der Citizen Science zur Verfügung stehenden Mitteln die bisher nicht sicher feststehende Gamma-Ortsdosisleistung in der Kapelle im Höhenpark Killesberg /1/ zu bestimmen. Dazu wurde nun ein Geigerzähler als Messgerät mit einem für $H^*(10)$ energie-kompensierten Zählrohr des Typs 70031A von der Firma VacuTec, Dresden aufgebaut. Die Zähl- und Auswerteelektronik auf Basis des Arduino Mikrocontrollers wurde in einem weiten Bereich mit einer Zählimpuls-generator, der Poisson-verteilte Zählimpulse mit vorgebbaren Zählraten bis 1000cps erzeugen kann /3/, getestet.

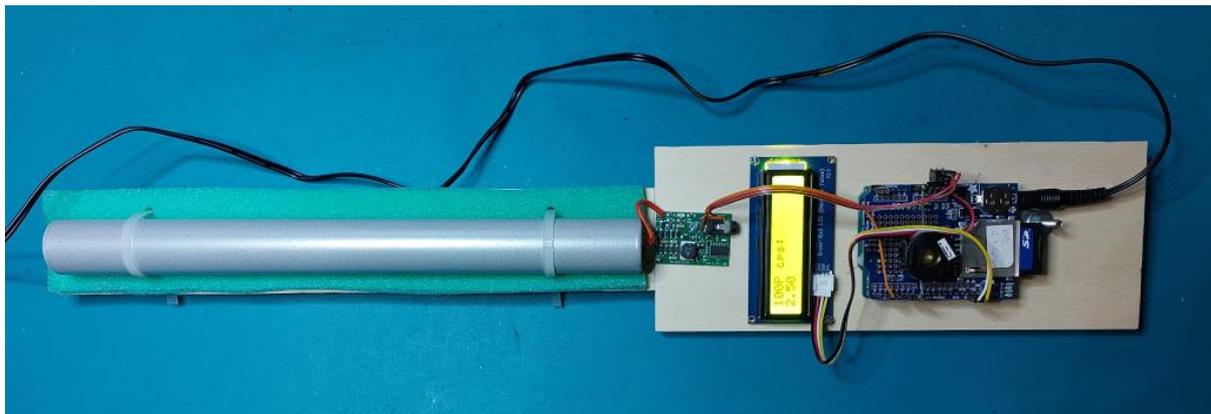


Abb. 3: Die Sonde OM01 als Messgerät für die Ortsdosisleistung auf der Basis des VacuTec Zählrohrs 70031A

Die Zwei-Punkte Kalibrierung für die OM01-Sonde wurde nun mit Hilfe der BfS ODL-Sonde im Stuttgarter Zentrum und einer Messung der ODL auf dem Granitbelag der Stuttgarter Königstraße, die bereits vom Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg detailliert vermessen wurde /2/ durchgeführt.

Die mittlere Zählrate an der BfS ODL Sonde wurde durch eine Mittelung von 43 Messwerten bestimmt, wobei für jeden Messwert die Zählrate aus der Zeit für 100 Zählimpulse bestimmt wurde. Um die mittlere Zählrate auf dem Granitbelag der Königstraße zu bestimmen, wurde die Königstraße 4-mal abgelaufen, um zusätzlich noch eine Mittelung über den Ort zu erreichen.

Bei der Messung entstanden 144 Messwerte, wobei wieder für jeden Messwert die Zählrate aus der Zeit für 100 Zählimpulse bestimmt wurde. Auf diese Weise ergaben sich folgende Mittelwerte für die Zählrate des 70031A Zählrohrs:

- BfS Sonde Stuttgart Mitte: 244.71cpm
- Granitbelag Königstraße: 139.90cpm

Für die Kalibration des Messgeräts müssen nun die genauen Ortsdosisleistungen zu diesen Messorten zugeordnet werden:

- BfS Sonde Stuttgart Mitte, Anzeigewert zum Messzeitpunkt: 0.101uSv/h
- Granitbelag Königstraße, Mittelwert der Handmessungen durch das LUBW: 0.23uSv/h

Mit dieser Zuordnung kann nun eine Gerade durch die beiden Messpunkte gelegt werden, die den Zusammenhang zwischen der Zählrate als Funktion der Ortsdosisleistung approximiert. Nimmt man diesen Zusammenhang als vollständig linear an, lässt dieser sich durch das Modell:

$$ZR = a \cdot ODL + b$$

beschreiben. Darin ist ZR die Zählrate in cpm, ODL die Ortsdosisleistung in uSv/h, a der Konversionskoeffizient in cpm/(uSv/h) und b die Eigenrate des 70031A Zählrohrs in cpm. Für a und b ergeben sich mit dieser Kalibration dann folgende Werte:

- $a = 812.52 \text{cpm}/(\text{uSv/h})$
- $b = 57.83 \text{cpm}$

Dies lässt sich nun mit den Werten des Herstellers VacuTec vergleichen. Im Datenblatt des 70031A Zählrohrs sind für a 840cpm/(uSv/h) genannt und für b 40cpm. Der Zusammenhang zwischen Zählrate und Ortsdosisleistung ist für diese Zählrohr im Datenblatt als Grafik gegeben und zeigt bis 100uSv/h ein sehr lineares Verhalten. Daher kann berechtigterweise angenommen werden, dass die mit der Kalibration gefundenen Werte mit hoher Wahrscheinlichkeit auch genau sind.

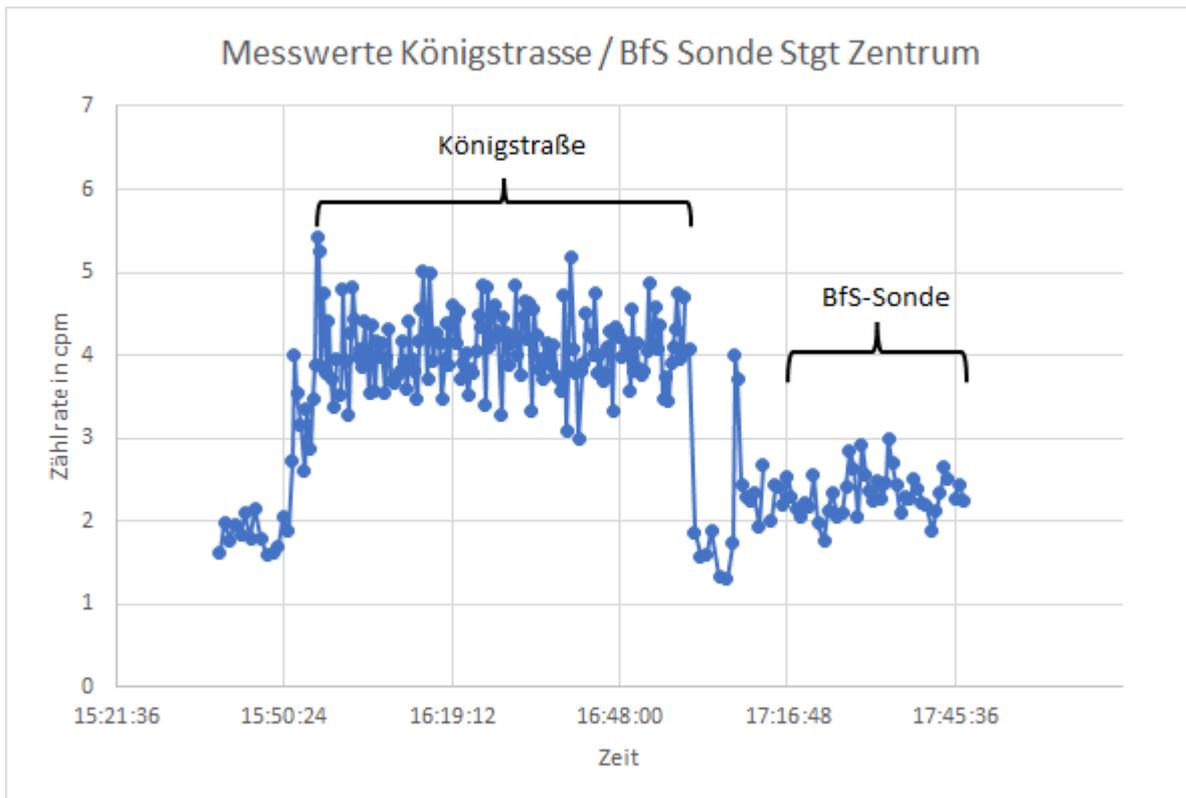


Abb. 4: Zählraten-Messwerte für die Kalibration der OM01-Sonde

	Regression	
cps	cpm	ODL
4.07854167	244.7125	0.23
2.33162791	139.897674	0.101

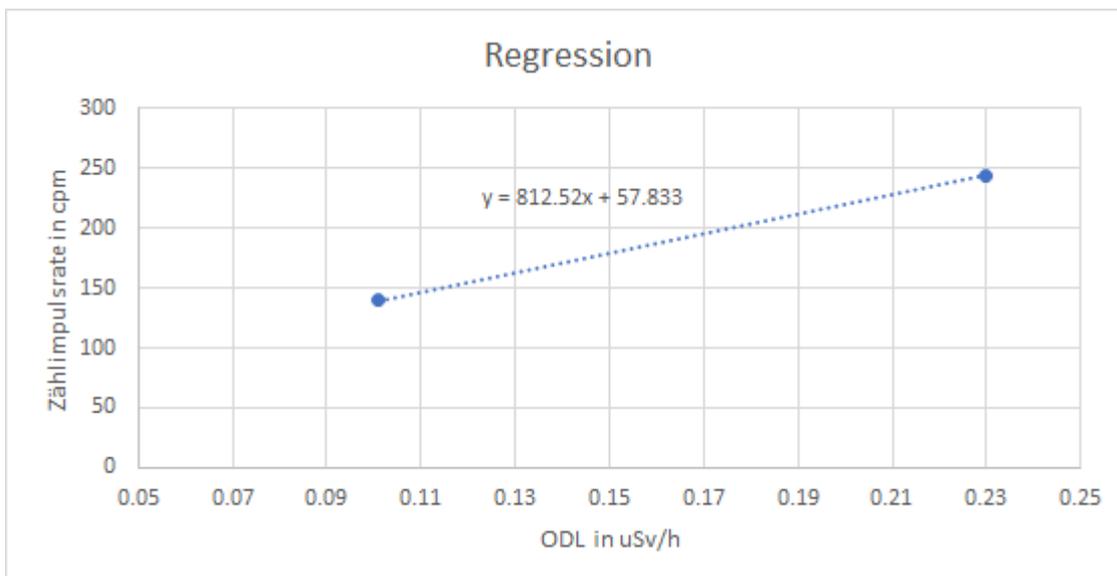


Abb. 5a, b: Verwendete Daten für die Kalibration mit Hilfe einer 2-Punkte Regressionsrechnung und deren Ergebnis

Nun wurde nach der Kalibration der OM01-Sonde an der Bfs Sonde im Stuttgarter Zentrum und auf dem Granitbelag der Königstraße, wo die amtlich gemessenen Gamma-ODL Werte bekannt waren, am

Referenzpunkt in der Kapelle im Höhenpark Killesberg in Stuttgart /4/ eine Messung der bisher nicht durch eine amtliche Messung abgesicherten $H^*(10)$ Gamma-Ortsdosisleistung durchgeführt. Dazu wurde Die OM01-Sonde auf einem Stativ in den Referenzpunkt justiert und über etwa 1 Stunde 365 Messwerte für die Zählrate aufgezeichnet.



Abb. 6: Messung der $H^*(10)$ Gamma-Ortsdosisleistung in der Kapelle im Höhenpark Killesberg mit der OM01-Sonde

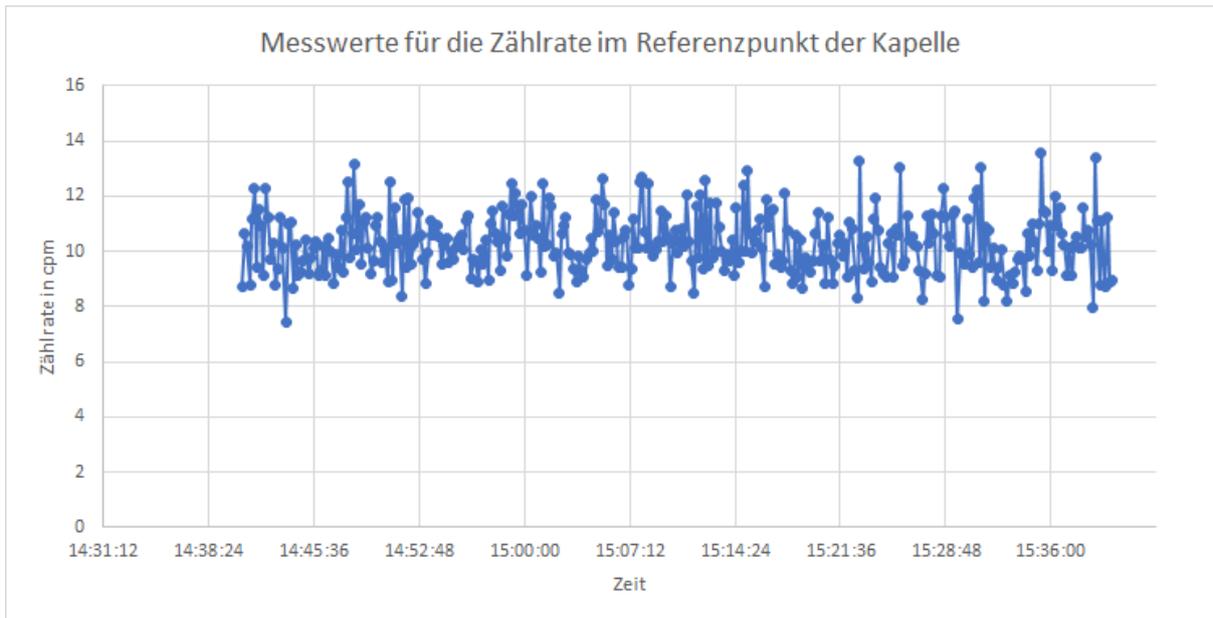


Abb. 7: Zählraten-Messwerte der OM01-Sonde im Referenzpunkt der Kapelle

Regression			
Ort	cps	cpm	ODL
Bfs-Sonde	2.33162791	139.8976744	0.101
Königstrasse	4.07854167	244.7125	0.23
Kapelle	10.306137	618.3682192	0.68958225

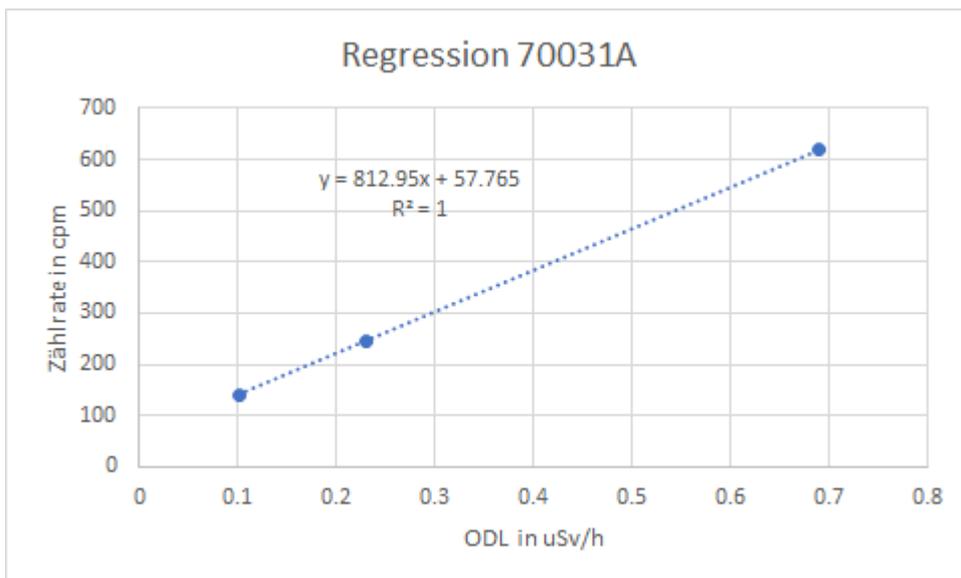


Abb. 8a, b: Verwendete Daten für die Bestimmung der H*(10) Gamma-Ortsdosisleistung mit Hilfe einer 3-Punkte Regressionsrechnung und deren Ergebnis

Die Messung im Referenzpunkt ergab einen Mittelwert für die Zählrate von 10.31cpm. Um jetzt auf der Basis der Kalibration einen möglichst genauen Wert für die $H^*(10)$ Gamma-ODL am Referenzpunkt zu ermitteln, wurde zunächst mit Hilfe einer Regressionsrechnung in MS Excel eine Regressionsgerade (lineare Trendgerade) durch die Kalibrierpunkte und den zusätzlichen Messwert in der Kapelle gelegt, wobei für die Zählrate in der Kapelle zunächst nur ein Schätzwert von 0.67uSv/h als Wert für die Gamma-ODL zugeordnet wurde. Diese Schätzung erfolgte so, dass der ODL-Wert möglichst gut auf der Kalibriergeraden lag. Überprüft wurde das durch die Berechnung des Korrelationskoeffizienten mit der Excel-Funktion Korrel(). Danach wurde das Solver Add-In von MS Excel benutzt, um den ODL-Wert im Referenzpunkt der Kapelle so zu suchen, dass der Korrelationskoeffizient möglichst nah an 1 liegt (Zielwert der Optimierung). Die Suche nach dem besten Wert mit dem Solver ergab schließlich den Wert für die $H^*(10)$ Gamma-Ortsdosisleistung von 0.69uSv/h im Referenzpunkt.

Nun wurde aber das Ziel für den Solver auch noch dahingehend geändert, dass der vom Hersteller im Datenblatt genannte Konversionskoeffizient $a=840\text{cpm}/(\text{uSv/h})$ möglichst gut erreicht wird. Die so formulierte Suche nach der ODL im Referenzpunkt ergibt 0.67uSv/h, wobei der Solver dann tatsächlich auf den Wert $840\text{cpm}/(\text{uSv/h})$ konvergiert. Der Korrelationskoeffizient beträgt dann 0.999973955. Daher kann man annehmen, dass der zuerst gefundene Wert von 0.69uSv/h, näher am wahren Wert liegen müsste, auch wenn kein großer quantitativer Unterschied zwischen den beiden Ergebnissen besteht.

Zusammen mit den Kalibrierpunkten ergibt diese $H^*(10)$ Gamma-Ortsdosisleistung für die gemessene Zählrate im Referenzpunkt in der Kapelle einen maximal linearen Zusammenhang für die Zählrate als Funktion der ODL des VacuTec 70031A Zählrohrs. Für den Wert des Konversionskoeffizienten a ergibt sich damit $a = 812.95\text{cpm}/(\text{uSv/h})$ und für den Wert der Eigenrate $b = 57.77\text{cpm}$, die ebenfalls gut zu den Herstellerwerten aus dem Datenblatt passen der Korrelationskoeffizient R ergibt sich mit den drei Messpunkten schließlich zu 0.999999994, was ein exzellentes Ergebnis darstellt.

Literatur

/1/ Bernd Laquai; Uran in Stuttgarts bester Lage

<http://opengeiger.de/GeigerCaching/UranKillesberg.pdf>

/2/ Eva Funke; Königstraße strahlt, aber nur ein wenig; Stuttgarter Nachrichten, 26.10.2012

<https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.radioaktivitaet-gemessen-koenigstrasse-strahlt-aber-nur-ein-wenig.05593a69-3ec5-43b4-97bc-8103b53199c7.html>

/3/ Bernd Laquai; Ein Zählimpulsgenerator mit Poisson-Statistik zur Prüfung der Auswerteelektronik von Geigerzählern und Szintillationszählern

<http://opengeiger.de/PoissonTestgen.pdf>

/4/ Bernd Laquai; Gamma-ODL Referenzpunkt „Kapelle im Höhenpark Killesberg in Stuttgart“

<http://opengeiger.de/RefpunktKapelleKillesberg.pdf>