

## **Die Radioaktivitäts Zähler / Radiocativity Counter App von Rolf-Dieter Klein**

Bernd Laquai, 16.1.13

Die Radioaktivitäts Zähler / Radiocativity Counter App von Rolf-Dieter Klein ist eine App für Android Mobiltelefone, die das Telefon zum Geigerzähler machen. Die App ist eine sehr gute Entwicklung, die auch ausgiebig und wissenschaftlich korrekt getestet ist. Der einzige Nachteil daran ist eine Bedienungs-Anleitung, die so manchen Nutzer frustriert. Viele Anwender kaufen die App, da sie für weniger als 5 Euro um Größenordnungen billiger ist als jeder Geigerzähler. Und praktisch ist es auch so eine Funktion im Handy zu haben denn ein weiteres Extra-Gerät ist damit zunächst mal nicht mehr nötig.

Nach der Installation wird die App meist gleich eingeschaltet und wenn das Handy nicht in der Tabelle des Autors aufgeführt ist, dann ist die Wahrscheinlichkeit eher gering, dass der Benutzer die App gleich auf Anhieb zum Funktionieren bekommt. Dann wird die App wieder weggelegt, ohne jemals ihren gedachten Zweck zu erfüllen. Das liegt nicht an der App und meist auch nicht am Handy, sondern an der Tatsache, dass die Zusammenhänge nicht ganz trivial sind und die Erklärungen in der Hilfefunktion und auf der Webseite etwas verwirrend sind. Deswegen hier noch mal ein Versuch einer weiteren Erklärung von einer anderen Seite her.

Es muss aber auch gleich einleitend gesagt sein, dass das Marketing für diese App in den Android Shops und in mindestens einem YouTube Video in zweierlei Hinsicht etwas fragwürdig ist. Zum einen ist auf einem der Bilder in der Beschreibung der Autor vor einer Amersham-Buchler Strahlungsquelle am Helmholtz-Zentrum in München zu sehen, wie er ein Handy bei einer Dosisleistung von 10Gy/h testet. Man sieht unter anderem ein Bild mit dem von „Einschlägen“ der Radioaktiven Strahlung übersäten Bildausschnitt der bestrahlten Kamera. Das sieht materialisch-cool aus und unterstreicht vielleicht den hohen Aufwand, den der Autor spendiert hat um die App zu testen. Allerdings besteht die große Gefahr, dass einige Anwender versuchen könnten, so etwas in ähnlicher Form auch zu erreichen oder ein Wettbewerb entsteht, wer die meisten Einschläge zählen kann. Dubiose Händler bieten gelegentlich hochgefährliche, ausgediente starke Strahlungsquellen aus ausgedienten medizinischen Bestrahlungsgeräten oder aus alten Radionuklidbatterien russischer Leuchttürme an. Man muss sich im Klaren sein, dass eine Dosisleistung von 10Gy/h, wenn ein Mensch ihr direkt und großflächig ausgesetzt wäre, in relativ kurzer Zeit zum Strahlentod führt. Schon 1Gy/h kann zu massiven Verbrennungen und anderen unkalkulierbaren schweren Schäden führen, von stochastischen Spätschäden ganz zu Schweigen.

Das Zweite ist die Frage, wie gut das Handy und die Kamera gewisse Dosiswerte, die durchaus auch akkumuliert über die Zeit betrachtet werden müssen, übersteht. Es muss klar sein, dass jede Strahlung oberhalb des Energiebandabstands im Halbleiter Ladungsträger erzeugt, von der ein kleiner Teil an den Grenzflächen zwischen dem Halbleiter und den dünnen isolierenden Oxiden hängenbleibt („surface trapping“). Erzeugt man nun mit hohen Dosen und mit bestimmten Energien Ladungsträger im Halbleiter, können größere Ladungsmengen permanent an den Grenzflächen verbleiben und so dauerhaft die Schaltschwellen der Transistoren verschieben, was deren Schaltfähigkeit irgendwann blockieren kann. Das heisst, ein Bit in einer Speicher-, Logik- oder Pixelzelle kann dann nicht mehr kippen. Das heisst, die Kamera wird beispielsweise auf diesem Pixel dauerhaft blind,

oder ein Bit des Arbeitsspeichers im Flashmemory des Telefons wird unbrauchbar. Wenn das Betriebssystem mit solchen Fehlern ab einer gewissen Fehlerrate nicht mehr umgehen kann (eine limitierte Fehlerkorrektur ist möglich) wird das Gerät damit unbrauchbar. Das passiert sicher nicht, wenn man nur gelegentlich die Leuchtziffern einer alten Armbanduhr ausmisst oder das Handy auf einen thorierten Glühstrumpf einer alten Gaslaterne legt. Wer sich aber ein Stück Pechblende besorgt und das Handy längere Zeit darauf deponiert, der braucht sich nicht wundern, wenn danach in späteren Fotos einige Bildpunkte der Kamera permanent grün oder rot sind. Soweit also eine gewisse Warnung gleich als Vorbemerkung. Eine ähnliche Warnung ist dann auch in der Hilfe-Dokumentation der App ganz am Ende zu lesen.

Was aber Radioaktivität im Bereich unterhalb zulässiger Grenzwerte anbelangt, hat Rolf-Dieter Klein mit seinem Radioktivitäts Zähler eine coole Idee in eine wirklich interessante App für Smartphones umgesetzt. Jedes Smartphone bzw. Mobiltelefon oder Handy mit Kamera enthält einen Halbleiter-Sensor, der auf elektromagnetische Strahlung oberhalb des Infrarot Spektrums reagiert. Gedacht ist das für sichtbares Licht, um ein Foto zu erzeugen, aber ein derartiger Kamerasensor reagiert auch auf weit kurzwelligere radioaktive Strahlung im Bereich der Röntgen- und Gammastrahlung, die das Gehäuse bzw. ein schwarzes Klebeband durchdringt. Das heißt, wenn man das Kamerafenster mit einem schwarzen Klebeband für Licht undurchlässig aber für radioaktive Strahlung durchlässig macht, dann hat man einen Sensor für radioaktive Strahlung.

Der Kamerasensor selbst besteht aus vielen Millionen Sensorzellen für die Bildpunkte (Pixel) und jede Sensorzelle / Pixel ist eine nur wenige Mikrometer kleine PN-Diode, deren Halbleiterübergang strahlungsempfindlich ist. So gesehen handelt es sich wie beim Stuttgarter Geigerle um einen Halbleiter-Dioden Detektor. Der Unterschied besteht darin, dass beim Stuttgarter Geigerle nur 3 großflächige PIN-Dioden mit einer Fläche von etwa  $7\text{mm}^2$  je Diode verwendet werden, so dass die gesamte Detektorfläche etwa  $21\text{mm}^2$  beträgt. Der Kamerasensor, der aus sehr vielen sehr kleinen PN-Dioden besteht, weist in der Regel eine Gesamtfläche von weniger als  $10\text{mm}^2$  auf. Von daher muss bei einem Kamerasensor von vorneherein mit einer geringeren Empfindlichkeit und längeren Messzeiten verglichen zum Geigerle bzw. einem Geigerzähler gerechnet werden. Die Empfindlichkeit reicht aber bei den meisten Handys um natürliche Strahlungsquellen mit einigen  $\mu\text{Sv/h}$  Dosisleistung bei einigen Minuten Messzeit grob vermessen zu können oder auch schwache, technisch erzeugte Radioaktivität aufspüren zu können. Das ist auch das, was die meisten Anwender von der App in der Regel erwarten.

### **Der Noise Einstellparameter**

Das Hauptproblem der App ist aber die Vielzahl und Unterschiedlichkeit der am Markt verfügbaren Android Smartphones und die hohe Rate mit der neue Geräte von den Herstellern auf den Markt geworfen werden. Der Autor kommt kaum nach, selbst die Topseller rechtzeitig zu vermessen. Deswegen sind auch die Tabellen, mit denen Einstellparameter auf der Webseite des Autors zur Verfügung gestellt werden, für viele Anwender eine Enttäuschung: das eigene Gerät ist nicht oder noch nicht dabei. Dann kommt dazu, dass die automatische Suchfunktion für den Haupt-Einstellparameter (Noise) nicht immer einen guten Wert liefert. Wenn die Einstellparameter (Settings) aber nicht stimmen, dann funktioniert die App nicht richtig. Und so wird die App dann unzufrieden wieder zur Seite gelegt (vermutlich meist ohne Feedback an den Autor), was schade ist.

Wenn man aber die Funktion der App richtig verstehen könnte, dann könnte man sich helfen und sie doch zum Spielen bekommen, indem man nämlich den wichtigen Noise-Wert vermisst und dann manuell einstellt.

Daher erst mal eine Vermutung zum Grundprinzip. Die App benutzt die Videofunktion der Kamera und stellt die Kamera so ein, dass ein Bildpunkt (Pixel) im Kameraausschnitt des Hauptmenüs entweder den Wert weiß oder schwarz zurückliefert. Jeder Bildpunkt ist normalerweise schwarz, da die Kamera kein Licht bekommt. Wenn nun aber ein Gamma- oder Beta-Strahlungsquantum durch das Klebeband und das Fenster eindringt, dann ersetzt dieses die Wirkung des Lichts und führt dazu, dass das Pixel weiß wird. In jedem Teilbild des Videos (Frame) werden die weißen Bildpunkte aufsummiert und als Counts gewertet. Nach Ablauf des Zählintervalls werden die Counts angezeigt und ggf. aufgezeichnet.

Nach dem Einschalten wird vermutlich die Kamera eingestellt (Helligkeit und Kontrast, so dass eine schwarz/weiß Abbildung erfolgt. Dabei ist nun ganz entscheidend wo der Schwellwert hingelegt wird, der entscheidet, ab welchem Signalwert das Pixel auf weiß gesetzt wird. Der Noise Parameter hat ganz offensichtlich die Funktion des Schwellwerts. Denn jeder Signalwert unterhalb dieses Schwellwerts wird zu Null (schwarz) gesetzt und als Noise betrachtet und daher nicht als Count gezählt. Was darüber liegt wird als ein durch Strahlung hervorgerufenen Signal gewertet, was den Count hochzählt und dazu führt, dass der Bildpunkt im Kamerafenster des Hauptmenüs weiß erscheint.

Der Hintergrund für den Noiseparameter ist die Tatsache, dass jeder Halbleiterübergang, der Strahlungsempfindlich ist, auch ohne Strahlung ein zufälliges Rauschsignal produziert. Ein Problem dabei ist, dass auch das Nutzsignal ein zufälliges Signal ist, bei dem man nicht weiß ob es dem Grundrauschen momentan überlagert ist oder nicht. Nur wenn das Strahlungssignal deutlich größer ist als das Rauschen kann man mit hoher Wahrscheinlichkeit sagen, dass die Strahlung für den in einem Bildpunkt auftretenden Signalwert verantwortlich war.

Nun ist es so, dass das Rauschen des Halbleiterübergangs in den Bildpunkten des Kamerasensors annähernd normal verteilt ist (Gauß-Verteilung der Amplitude). Das aber bedeutet, dass zwar der Hauptteil der Signalwerte den Wert der dreifachen Streuung ( $3 \cdot \sigma$ ) nicht überschreiten, aber manchmal eben doch. Das ist wie wenn man mit 10 Spielwürfeln gleichzeitig würfelt und bei jedem Wurf die Augen zusammenzählt. Dann entstehen auch Werte die annähernd normalverteilt sind und Werte unter 20 und über 50 sind sehr selten, aber sie treten dennoch auf und überlagern sich einem möglichen Nutzsignal, selbst wenn dieses eine gewisse Größe hat.

Das Signal, welches ein Strahlungsquantum in einem Bildpunkt erzeugt, ist nun ebenfalls unterschiedlich hoch und man kann es nur mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung mathematisch beschreiben. Das liegt an mehreren Faktoren. Die Größe des Signals hängt von dem Winkel ab mit der das Signal eintrifft und wie es durch das Eintrittsfenster und das Halbleitermaterial in seiner Energie abgeschwächt wird. Dann hängt es vom Radionuklid ab, das beim Zerfall das Strahlungsquantum ausgesendet hat. Wenn zum Beispiel ein uranhaltiges Mineral vermessen werden soll, dann sind meist alle Zerfallsprodukte des Urans ebenfalls vorhanden und senden Strahlungsquanten mit unterschiedlicher Energie aus, was

zu vielen unterschiedlich starken Signalen führt. Man kann aber sagen, dass die Signalpegel unter Einfluss von Strahlung im Halbleiter ungefähr negativ exponentiell verteilt sind. Dabei sind die niedrigen Werte sehr häufig und die Häufigkeit der größeren Signalwerte nimmt exponentiell mit der Signalgröße ab.

Im Prinzip überlagern sich nun beide Verteilungen zum Gesamtsignal, mathematisch gesehen ist es eine Faltungsoperation beider Verteilungsfunktionen. Die große Kunst ist nun, den Schwellwert so festzulegen, dass er einerseits das immer vorhandene Rauschen ohne Strahlung ausblendet, aber andererseits möglichst viele durch Strahlung hervorgerufene größere Signalwerte in Counts umzusetzen. Das geht meist nicht ohne dass auch hin und wieder ein nur durch das Grundrauschen hervorgerufenes größeres Signal fälschlicherweise als Count gewertet wird. Nur wenn die durch Strahlung hervorgerufenen Signale sehr groß sind und sich deutlich vom Rauschen unterscheiden, dann ist es leichter einen Schwellwert zur Trennung festzulegen. Genau das ist dann bei einem „guten“ Halbleitersensor der Fall. Unterstützen kann man das noch durch thermische Kühlung, in Profi-Geräten mit flüssigem Stickstoff. Zudem verwenden Profi-Halbleiterdetektoren hochreine Germanium Dioden mit geringerem Bandabstand als bei Siliziumzellen in Kamerasensoren.

Um nun diesen Schwellwert selbst manuell festzulegen und damit dann die App ans Spielen zu bekommen kann man so vorgehen: Man vermisst in strahlungsarmer Umgebung die Verteilungsfunktion des Grundrauschens indem man den Schwellwert (Noise Parameter) schrittweise erhöht und den Mittelwert der Counts über dem Noise-Wert logarithmisch aufträgt. Der kleinste Noise Wert ist 1 und als größter Wert sollte man den Wert auftragen, bei dem der Count dann mindestens 1000 beträgt. Man kann dabei durchaus auch zunächst mit größeren Schritten als 1 den Noise-Wert erhöhen um schneller einen Überblick zu bekommen. Das Vermessen der Verteilung kann aber mehrere Stunden dauern, da man die Mittelwertbildung über die Counts schon etwa in 10 Minuten Intervallen machen sollte und das für jeden Noise-Einstellwert.

Zunächst wird die App gestartet. Dann wartet man die Kameraeinstellung ab (Meldung „Warten“). Dann setzt man einen etwaigen vorherigen Mittelwert auf Null in dem man den Button „clear“ im Main Menu drückt. Danach drückt man die Menu Taste und dann den „settings...“ Button. Nun erscheinen die Einstellparameter unter anderem der Parameter Noise. Setzt man den auf 1 sollte ein Count von mehreren 1000 (kCPM) oder gar Millionen CPM (MCPM) entstehen. Erhöht man diesen Noise-Wert reduziert sich die Countzahl sehr schnell (logarithmisch). Ab einem bestimmten Wert sinkt die Countzahl nicht mehr so dramatisch und beginnt selbst merklich zu Rauschen. Die Steigung der Kurve nimmt dann deutlich ab.

Was bei dieser Messung entsteht ist ein Graph wie in Abb. 1 gezeigt. Hier ist der starke Abfall der Counts bei dem Noise Wert von 7 zu Ende. Danach nehmen die Counts nicht mehr so stark und auch nicht mehr stetig ab.

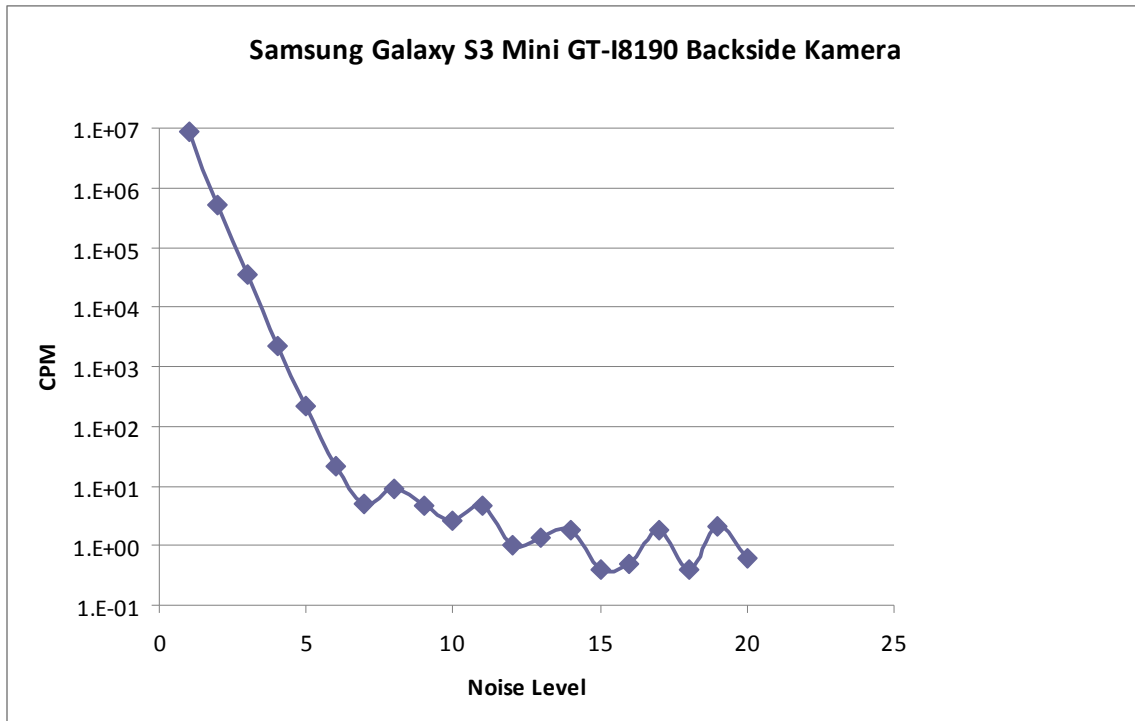


Abb. 1: Verteilung des Grundrauschens über dem Noise Parameter beim Galaxy S3 Mini von Samsung

An diesem Graphen kann man nun ablesen, dass der ideale Noise-Wert etwa zwischen 8 und 10 liegen muss. Erhöht man den Wert weiter, nehmen zwar die durch das Grundrauschen erzeugten Counts weiter im statistischen Sinne ab, aber man muss sich nun darüber im klaren sein, dass ein größerer Schwellwert (hier etwa ab 10) dann auch signifikante Teile der Verteilung der durch die Strahlung entstehenden Signale unterdrückt werden, ohne dass man am Grundrauschen noch groß etwas reduzieren kann. Die anderen Parameter unter den Settings kann man vorerst auf dem voreingestellten Wert stehen lassen.

Mit einer derartigen Noiseparameter-Einstellung müsste man nun bei einer Strahlungsquelle mit etwa 5-10uSv/h (Leuchtziffern einer Uhr, thorierter Glühstrumpf oder Keramik mit Uranglasur) in den meisten Fällen einen deutlichen Unterschied zu der Anzeige ohne Strahlungsquelle sehen. Allerdings ist es dennoch empfehlenswert, für eine Messung mindestens über ein Intervall von 10 Minuten zu mitteln. Einzelne Messwerte können durch die oben beschriebenen Effekte immer noch ausreißen.

Hat man aus dieser Messung nun eine Vorstellung über die Auswirkung der Einstellung des Noiseparameters, kann man ans Fine-Tuning gehen. Stellt man nun den Noise Wert ein, an dem sich die Steigung der Kurve am stärksten ändert, schneidet man bei der Messung den größten Teil des strahlungsunabhängigen Grundrauschens ab. Mit der Voraussetzung kann man jetzt in die Spektrum Darstellung wechseln (Im Main Menu der Button „spekt“).



Abb. 2: Messung mit der Grobeinstellung von Noise=8 auf einem Wecker mit Radiumhaltigen Leuchtziffern

Dieses Diagramm zeigt nämlich etwas sehr Ähnliches an, wie die oben beschriebene Kurve nur mit linear skalierte y-Achse. Ganz offensichtlich ist es die Häufigkeitsverteilung der Signalwerte, welche den Noise-Wert überschritten haben. Das Diagramm heißt also nicht Spektrum weil es die Fourier-Transformation der zeitlichen Abfolge der Counts ist, sondern weil man es als Energiespektrum der Strahlungsquanten werten könnte (mit gewissen Einschränkungen).

Da nämlich die Menge der Ladungsträger, die im pn-Übergang eines Pixels beim Eintreffen eines Strahlungsquantums von dessen Energie abhängt und die Energie über das Planck'sche Wirkungsquantum mit der Frequenz der Strahlung zusammenhängt, wenn man sie als Welle auffasst, hat man nun eine spektrale Häufigkeitsdarstellung über der Energie, also quasi so etwas ähnliches wie ein Spektrogramm eines Gamma-Spektroskops.

In x-Richtung stehen die Signalpegel, wobei die Achse am eingestellten Noise-Wert beginnt. Die y-Achse ist wohl die Häufigkeit mit der die x-Werte im Messzeitraum aufgetreten sind. Diese Darstellung ist nun nicht mehr logarithmisch. Das heißt, dieses Diagramm zeigt erst dann etwas Sinnvolles über die strahlungsinduzierten Signale an, wenn der Hauptteil des Grundrauschens durch einen passenden Noise-Wert ausgeblendet ist.

Legt man nun den Kamerasensor auf eine radioaktive Probe, baut sich bei der Spektrumdarstellung ein Häufigkeitsdiagramm auf, das die negativ-exponentielle Verteilung der detektierten Signalenergien der Strahlung repräsentiert. Man kann nun die Auswirkung

einer weiteren Erhöhung des Noise-Werts erkennen. Schon bei einer kleinen Erhöhung (um nur 1) schneidet man die Spitze der Verteilung ab, die für die meisten Counts sorgt. Deswegen muss dieser Wert auch so genau stimmen, wenn man empfindlich sein will. Auf der anderen Seite gewinnt man durch weiteres Erhöhen mehr Sicherheit, denn ein Teil der Counts im ersten Balken sind noch durch das Grundrauschen erzeugt. In diesem Fall hat man beim Noise Wert von 8 noch etliche nicht strahlungsbedingte Counts (siehe Bild 3). Das sieht man auch wenn man die Messung mit und ohne Probe vergleicht. Erhöht man den Wert auf 10, zeigt der erste Balken prozentual weniger Counts aber der Unterschied in den Messungen mit und ohne Probe wird größer. Man kann also erkennen, dass es bei der Backside Kamera des Galaxy S3 Mini durchaus sinnvoll ist, den Noise-Wert auf 10 zu setzen. Vergleicht man bei einer Einstellung von 10 den Wert im Zeitbereich (Menu Button „graph“) mit Probe (Wecker mit Radium-haltigen Leuchtziffern) mit dem Wert ohne Probe erkennt man ein Verhältnis von 156.3/3.5, was einem Signal- zu Rausch Verhältnis von etwa 16.5 dB entspricht.

Mit einer derartigen Einstellung und der daraus resultierenden Empfindlichkeit im Falle des Samsung Galaxy S3 Mini Smartphone kann man die App also durchaus sinnvoll einsetzen. Die Empfindlichkeit würde ausreichen um zum Beispiel in Fukushima, Gebiete von denen Gamma-Ortsdosisleistungen  $> 5\text{Sv/h}$  berichtet werden, eindeutig zu identifizieren.

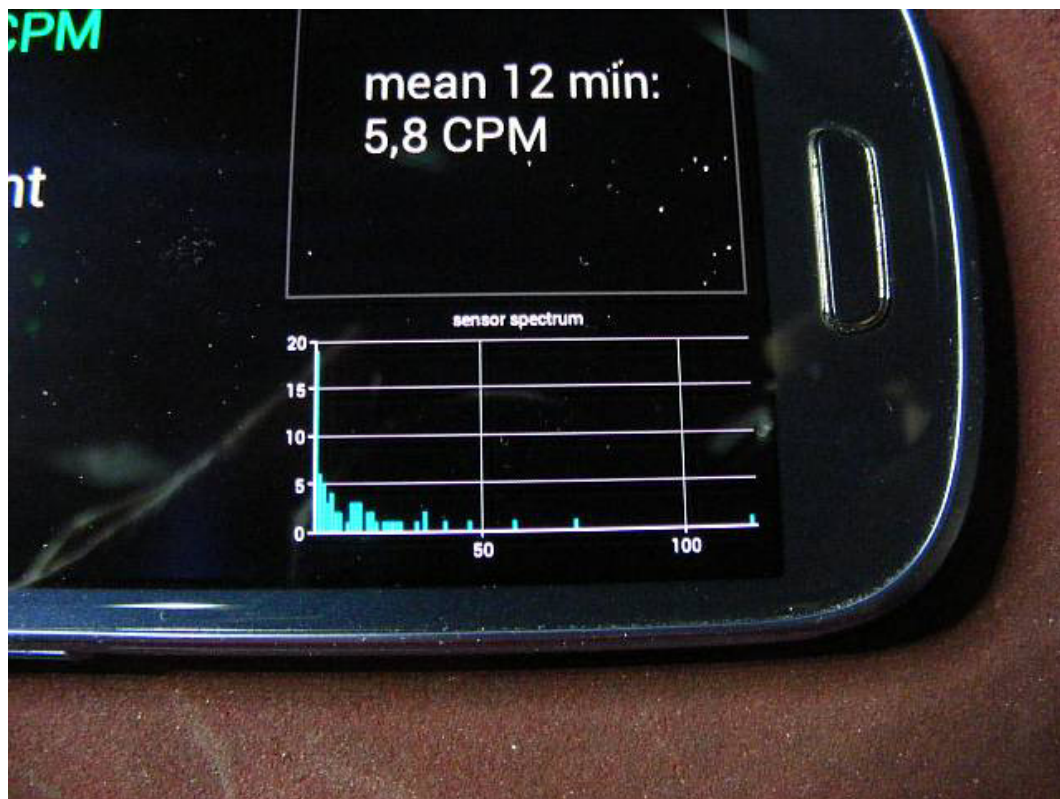


Abb. 3: Spektrum des Grundrauschens bei Noise=8

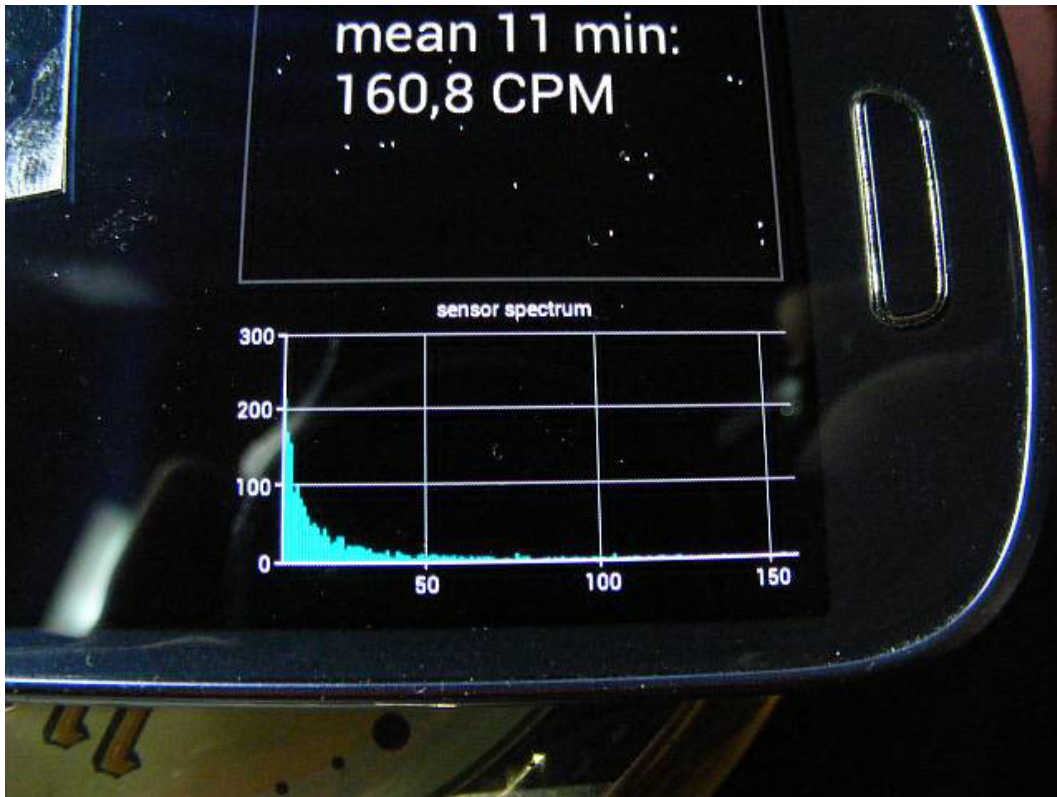


Abb. 4: Spektrum mit Probe bei Noise=8



Abb. 5: Spektrum des Grundrauschens bei Noise=10





Abb. 6: Zeitdiagramm (History) des Grundrauschens bei Noise=10

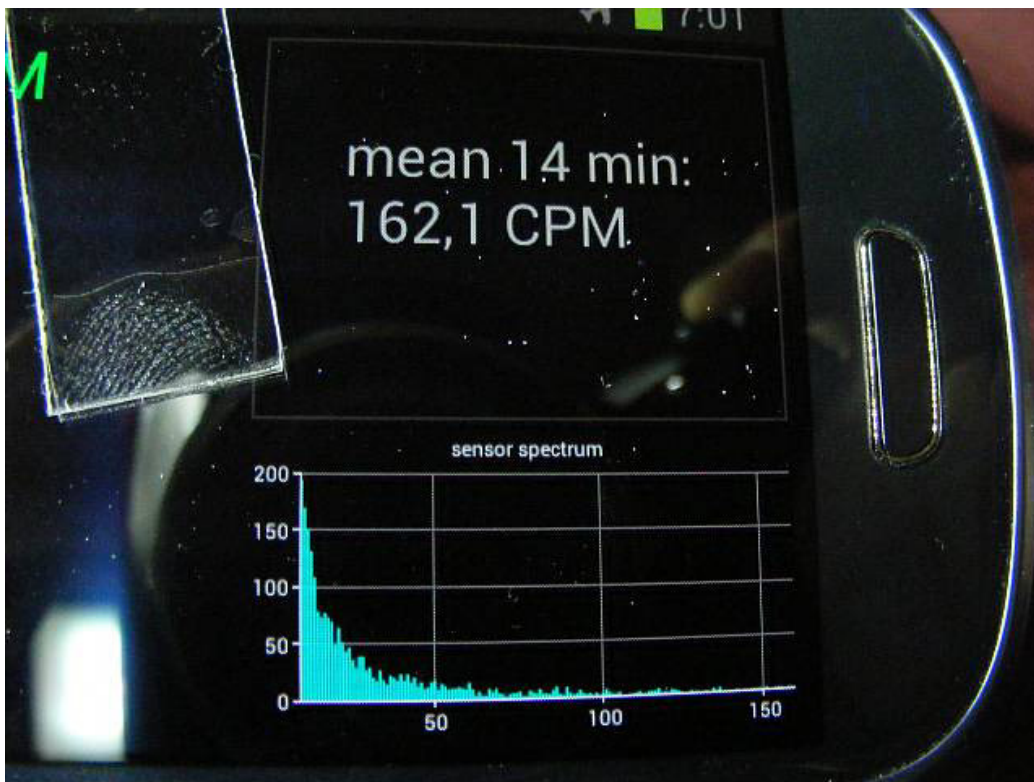


Abb. 7: Spektrum mit Probe (Leuchtziffern) bei Noise=10

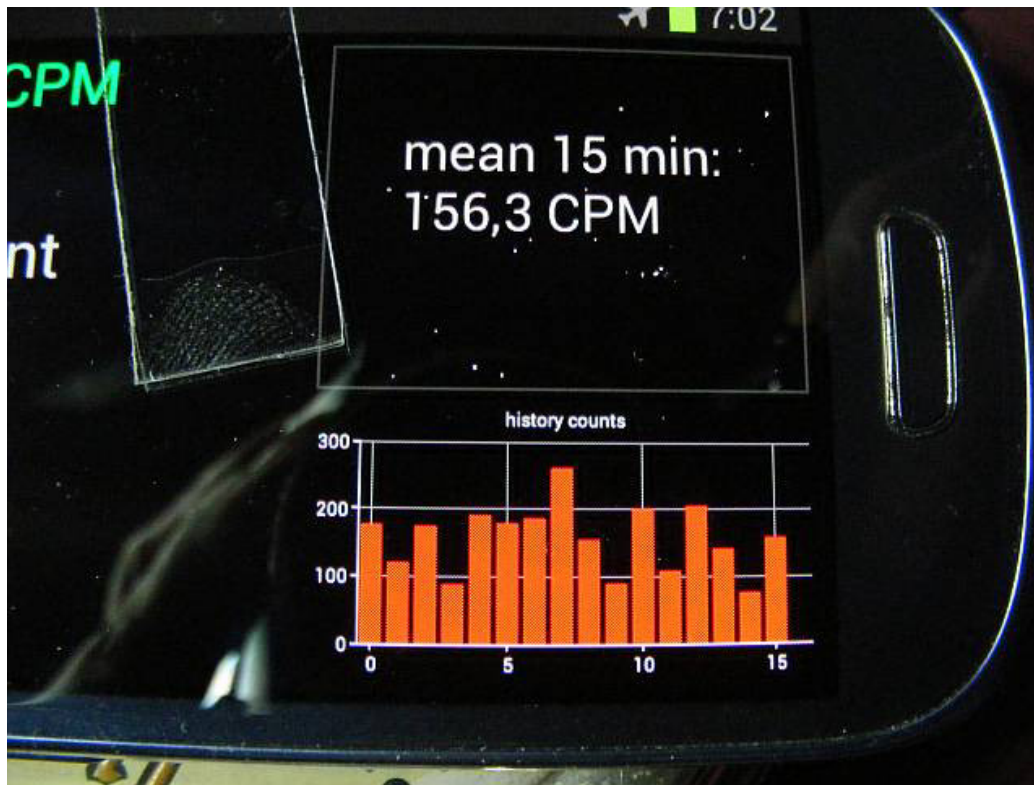


Abb. 8: Zeitdiagramm mit Probe (Leuchtziffern) bei Noise=10

### Vergleich mit der Schwellwert-Einstellung beim Stuttgarter Geigerle

Beim Stuttgarter Geigerle ist der Zusammenhang der Zählimpulse, wie sie hinter dem Komparator auftreten von der SchwellwertEinstellung (mit dem Poti hinter dem Transimpedanzverstärker) völlig identisch. Man hat ebenfalls ein normalverteiltes Grundrauschen der Photodioden und des Verstärkers. Messungen am Ausgang des Transimpedanz-Verstärkers zeigen ebenfalls einen negativ-exponentiell verteilten Signalpegel der detektierte Strahlungsquanten. So gesehen ist die App eine schöne Verifikation des Funktionsprinzips eines Halbleiter-Detektors generell. Rolf-Dieter Klein hat somit auch einen wertvollen didaktischen Beitrag zur Ausbildung geleistet. Dabei muss vor allem die gute Datenaufbereitung von der App gewürdigt werden.

Beim Stuttgarter Geigerle zeigt sich aber auch durch einfaches Austauschen, dass PIN-Dioden für Strahlungsquanten deutlich empfindlicher sind als normale pn-Photodioden. Von daher ist auch zu verstehen, dass ein Kamerasensor (meist billige CMOS Technologie, selten CCD Technologie) mit auf den sichtbaren Bereich des Lichts und sehr kleine Fläche optimierten Sensorzellen nicht so empfindlich sein kann wie eine PIN Diode. Denn beim Kamerasensor steht auch die gute Ortsauflösung mit möglichst vielen Bildpunkten im Vordergrund. Die PIN-Diode generiert im intrinsischen Teil des PN-Übergangs bei einem einfallenden Strahlungsquantum schon bei geringerer Energie deutlich mehr Ladungsträger, ohne dass das Grundrauschen merklich zunimmt. In einer Sensorzelle des Kamerasensors würde das aber stören, da der Sensor dann auch merklich infrarotempfindlich werden würde, was bei Fotos eher unerwünscht ist und spezielle Filter erfordern würde.