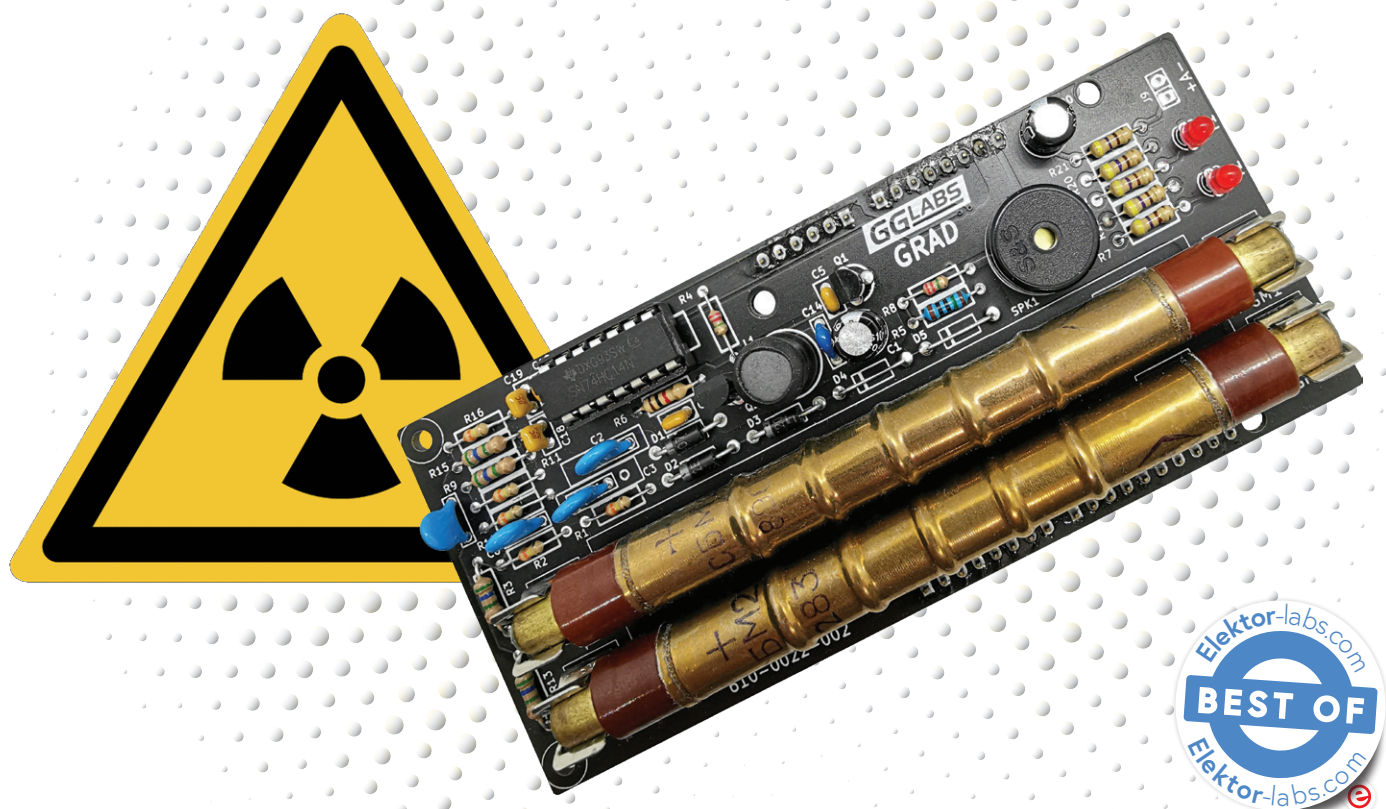


Arduino-shield met dubbele Geiger-Müller buis

uiterst gevoelige en zeer zuinige stralingssensor



Gabriele Gorla (Italië/USA)

Met twee buizen voor meer gevoeligheid kan dit Geiger-Müller shield uw Arduino Uno veranderen in een instrument voor het meten en registreren van radioactieve straling. Het kan zelfs gecombineerd worden met een Dragino-shield voor LoRa-connectiviteit. Verzamel stralingsgegevens “in het veld” – en heb die waar ook ter wereld onder handbereik!

Zoals veel andere hobbyisten ben ik gefascineerd door radioactiviteit en de sensoren om die te detecteren. Geiger-Müller buizen [1] vormen een bekende en relatief goedkope manier om straling te meten. Mijn “GRAD”-project is een complete oplossing voor het meten van straling – in de vormfactor van een Arduino-shield. De belangrijkste kenmerken zijn de ondersteuning van twee buizen om de gevoeligheid te vergroten en een zeer gering stroomverbruik.

Wat zijn Geiger-Müller tellers?

Elke Geiger-Müller teller bestaat uit vier essentiële functiegroepen.

- **Geiger-Müller-buis.** De buis heeft twee aansluitingen en is gevuld met een gasmengsel onder lage druk. Met de juiste voorspanning zal het gas ioniseren en kortstondig elektriciteit geleiden telkens wanneer het door straling wordt geraakt. Afhankelijk van het type buis is het mogelijk alfa-, bèta- en gammadeeltjes te detecteren. De SBM-20 die in de GRAD wordt gebruikt, is gevoelig voor gammastraling en hoogenergetische bètastraling.
- **Hoogspanningsvoeding.** De buis werkt in het zogenaamde Geiger-plateau. Dat is een gebied waar de pulstelling vrijwel

onafhankelijk is van de voorspanning. Voor gewone buizen ligt die voorspanning tussen 400 V en 500 V. Het optimum voor de SBM-20 ligt rond de 400 V.

➤ **Pulsedetector.** De pulsen die de buis levert, zijn zeer kort en hebben een variabele spanning. De pulsdetector conditioneert deze pulsen, zodat ze gemakkelijk door de volgende trap kunnen worden geteld.

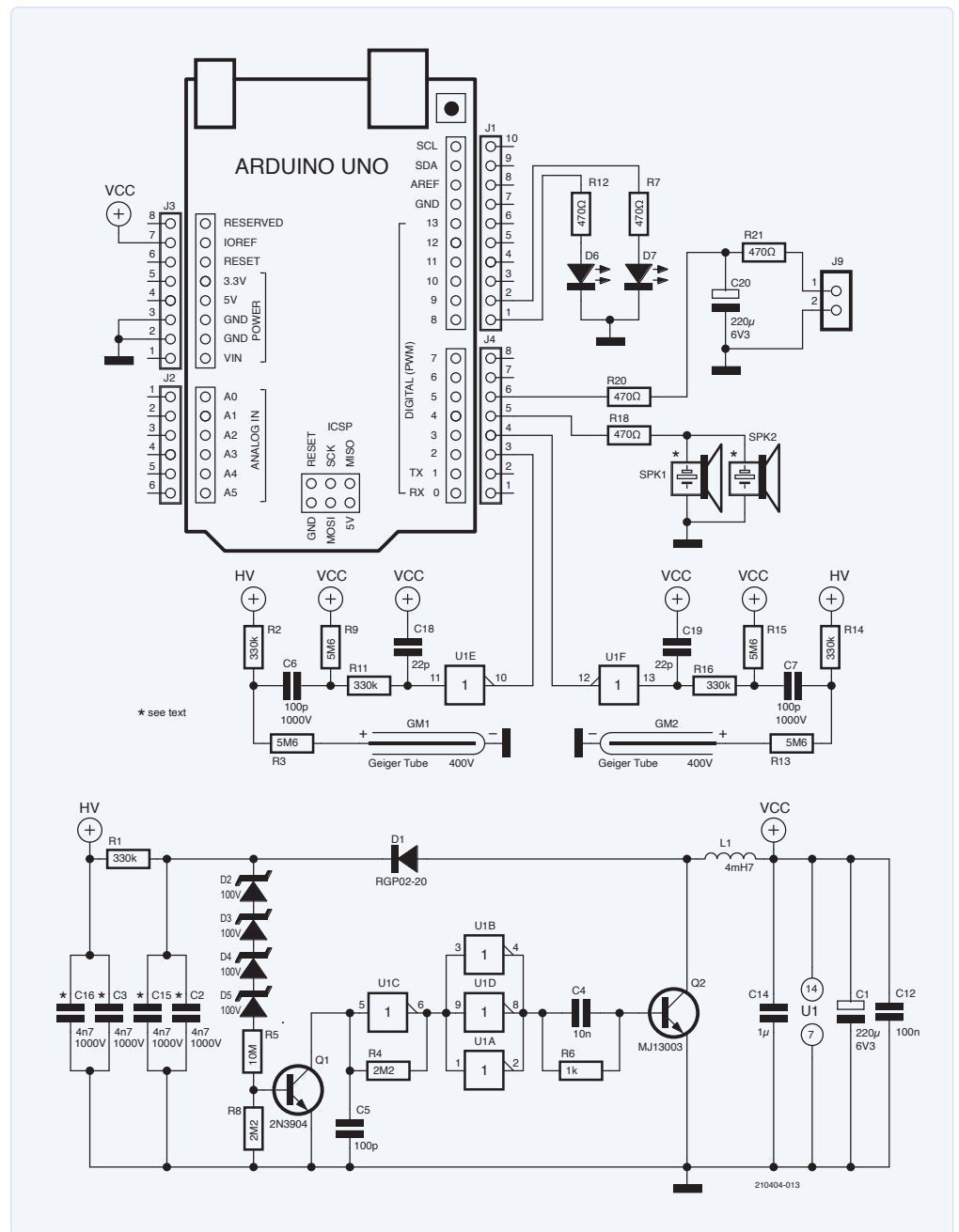
➤ **Pulsteller.** De pulsen worden geteld gedurende een vast tijdsinterval om een CPS-waarde (counts per second) of CPM-waarde (counts per minute) te berekenen. Dit kan ruwweg worden omgezet in een stralingsdosis met behulp van de parameters op het gegevensblad van de buis. We gebruiken hier een Arduino-board voor het tellen van de pulsen en de visualisatie en/of het loggen daarvan.

Voeding

Het web telt veel schakelingen voor de voeding van Geiger-Müller buizen. Veel daarvan zijn boost-converters rond een 555-timer, sommige open-loop, sommige met feedback. De open loop-versies komen niet in aanmerking omdat elk exemplaar apart afgeregeld moet worden en ze geen stabiele spanning leveren wanneer veel pulsen worden gedetecteerd. Closed loop-ontwerpen zijn beter geschikt omdat zij de gewenste stabiliteit bieden. Om het totale stroomverbruik laag te houden, moet echter speciale aandacht worden besteed aan de terugkoppeling (12 μ A bij 400 V is ca. 5 mW).

Om het vermogensverlies van hoogspannings-terugkoppeling te verminderen, maken de elegantste oplossingen gebruik van een niet-geïsoleerde step-up transformator zoals de Analog Devices LT3420. Deze detecteert de spanning aan de primaire zijde.

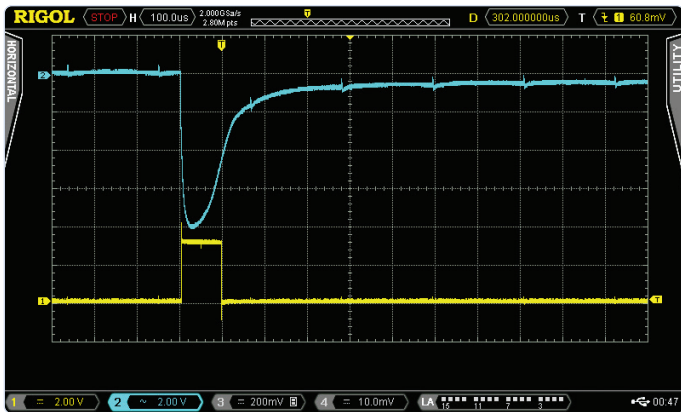
We hebben een eenvoudige schakelende boost-converter geïmplementeerd met een zeer geringe stroomterugkoppeling. Ons ontwerp – te zien in **figuur 1** – leunt zwaar op de Theremino Geiger-adapters [2]. We hebben de SMD, DIY en “Flintstones”-versies gecombineerd tot een ontwerp met zenerdiode-terugkoppeling.



Figuur 1. Schema van het GRAD03-project [3].

De Schmitt-trigger inverter U1C vormt samen met R4 en C5 een oscillator die de pulsen genereert om schakeltransistor Q2 aan te sturen. U1A, U1B en U1D zijn parallel geschakeld om de basisstroom voor Q2 op te voeren.

De terugkoppeling is geïmplementeerd met een reeks zenerdiodes met zeer geringe lekstroom (D2...D5). Wanneer de uitgangsspanning hoger wordt dan de totale zenerspanning, schakelt Q1 door en stopt de oscillator. Als de uitgangsspanning weer daalt, schakelt Q1 uit en wordt de oscillator vrijgegeven. R1 en C3 reduceren de uitgangsrimpel verder. Extra serieweerstanden voeden elke buis afzonderlijk (R2 en R3 voor GM1, R13 en R14 voor GM2).



Figuur 2. De buis wordt door straling getroffen (boven); onder is daar een nette puls van gemaakt.

Tellen

De pulsen worden opgepikt aan de hoogspanningszijde van de buis via condensatoren (C6 en C7) die de gelijkspanning blokkeren. De puls wordt gevormd door de resterende Schmitt-trigger inverters (zie ook **figuur 2**).

J1...J4 zijn de standaard Arduino-connectoren, maar GRAD gebruikt slechts een paar pinnen. Er is gekozen voor digitale ingangen D2 en D3 omdat dit interruptpinnen op de Arduino Uno zijn. Hierdoor kan

de Arduino op de achtergrond pulsen tellen terwijl hij zich met andere zaken bezighoudt.

De digitale uitgangen D8 en D9 van Arduino zijn verbonden met een paar LED's om zichtbaar te maken wanneer ioniserende straling de betreffende buis raakt. Pen D4 is verbonden met piëzo-luidspreker SPK1 om hoorbare terugkoppeling te geven.

Tenslotte is digitale uitgang D5 verbonden met een laagdoorlaatfilter (R20, R21 en C20) om een eenvoudige analoge paneelmeter van 10 mA aan te sluiten (J9).

Printontwerp

Het schema en de print (**figuur 3**) zijn ontworpen in KiCad. De ontwerpbestanden kunnen worden gedownload van de Elektor Labs-pagina [3] onder Project Elements. Daar zijn ook de Gerber- en boorbestanden van de print te vinden. Hiermee kunt u een print bestellen bij de leverancier van uw voorkeur. Tenslotte treft u daar ook een Excel-sheet aan met een zeer gedetailleerde onderdelenlijst, waarin met name de kritische componenten (hoogspanning!) zijn gedocumenteerd die u voor dit project nodig hebt, inclusief gegevens over de fabrikant, het typenummer en zelfs de bestelcode.

In **figuur 4** is de geassembleerde print te zien met geïnstalleerde SBM-20 buizen. Merk op dat de componentenpaartjes SPK1/SPK2, C3/C16 en C2/C15 slechts alternatieve montagemogelijkheden op de



ONDERDELENLIJST

Weerstanden:

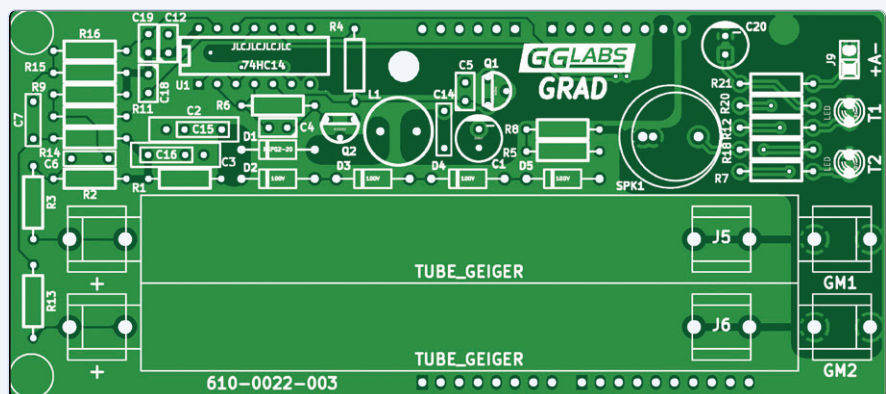
R1,R2,R11,R14,R16 = 330 k
R3,R9,R13,R15 = 5M6
R4,R8 = 2M2
R5 = 10 M
R6 = 1 k
R7,R12,R18,R20,R21 = 470 Ω

Condensatoren:

C1,C20 = 220 μ/6,3 V
C2,C3 = 4700 p/1000 V
C4 = 10 n/6,3 V
C5 = 100 p/50 V
C6,C7 = 100 p/1000 V
C12 = 100 n/50 V
C14 = 1 μ/6,3 V
C15,C16 = 4700 p/1000 V
C18,C19 = 22 p/50 V

Spolen:

L1 = 4mH7



Figuur 3. De print-layout.

Halfgeleiders:

D1 = diode 1 A/800 V
D2,D3,D4,D5 = zenerdiode 100 V/1,5 W
D6,D7 = LED rood, 3 mm (op de print aangegeven als T1 en T2)
Q1 = 2N3904
Q2 = MJ13003

U1 = 74HC14

Diversen:

GM1,GM2 = Geiger-Müller-buis, bijv. SBM-20
J1,J2,J3,J4 = set shield-connectoren voor Arduino Uno
SPK1 = AC-piëzofoon, bijv. AC-1205G-N1LF

print voorstellen; dus alleen SPK1 of SPK2 wordt geïnstalleerd. Hetzelfde geldt voor C3 of C16, en C2 of C15. J5 en J6 op de print zijn twee extra footprints voor de negatieve aansluitingen van kortere Geiger-buizen.

Verschillende buizen

De print is ontworpen voor de 105-mm Sovjet SBM-20, STS-5 en de Chinese J305 of de 90-mm J305 en M4011. Elke andere 400V-buis zal ook werken als de montage wordt aangepast. Daarbij is het van belang de positieve draad zo kort mogelijk te houden om parasitaire capaciteiten tot een minimum te beperken. Voor buizen die andere spanningen vereisen, moet(en) de zener-diode(s) worden vervangen om de juiste spanning te verkrijgen. Elke diode met een lekstroom van 0,5 μ A of minder zou moeten werken.

Prestaties

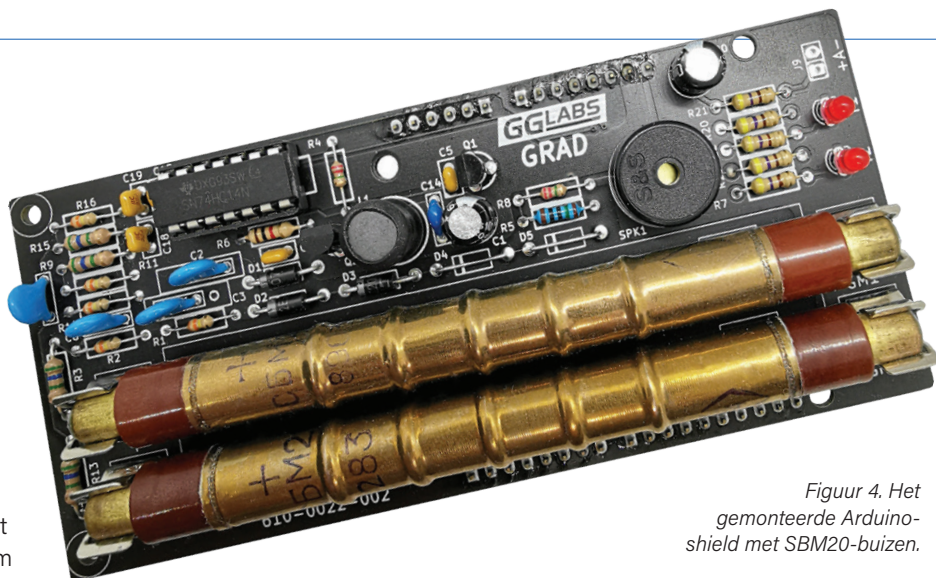
De voeding trekt 325 μ W (65 μ A) bij 5 V. Bij batterijvoeding kan de print ook worden gevoed met 3,3 V. Bij deze lagere spanning daalt het stroomverbruik tot 150 μ W (45 μ A).

Arduino-voorbeeldcode

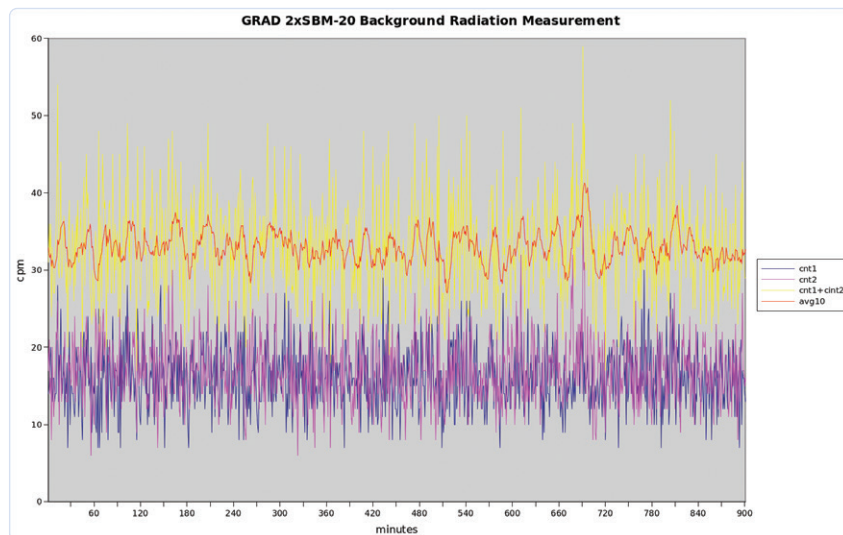
Een eenvoudige Arduino-sketch om de teller aan te sturen staat voor u klaar in de Project Elements-sectie van de Elektor Labs-pagina. Elke 60 seconden zal de software via de seriële poort uitvoeren: een reeks door komma's gescheiden waarden (CSV) met een volgnummer, een ruwe telling voor elke buis, een voortschrijdend gemiddelde van `cnt1` + `cnt2` en een stralingsdosis in μ Sv/h op basis van de gemiddelde telling. Het volgende datafragment toont het begin van een meting van achtergrondstraling in Santa Clara (Californië) met GRAD en twee SBM-20-buizen.

Seq	, cnt1	, cnt2	, avg10	, μ Sv/h
1	, 14	, 19	, 33.0	, 0.075
2	, 10	, 17	, 32.3	, 0.073
3	, 16	, 12	, 31.8	, 0.072
4	, 16	, 24	, 32.5	, 0.074
5	, 13	, 11	, 31.6	, 0.072

De grafiek in **figuur 5** toont de volledige meting over een langere periode. Aan het begin zijn er een paar *defines* die kunnen worden aangepast aan de configuratie van de kaart en/of de voorkeuren van de gebruiker. De eerste set configureert de Geiger-Müller buis-parameters en de grootte van het bewegende venster voor de rapportage. De `CPM2USV`-parameter is het aantal getelde pulsen per minuut voor 1 μ Sv/h voor uw specifieke buis. Helaas is er geen 'juiste' waarde voor



Figuur 4. Het gemonteerde Arduino-shield met SBM20-buizen.



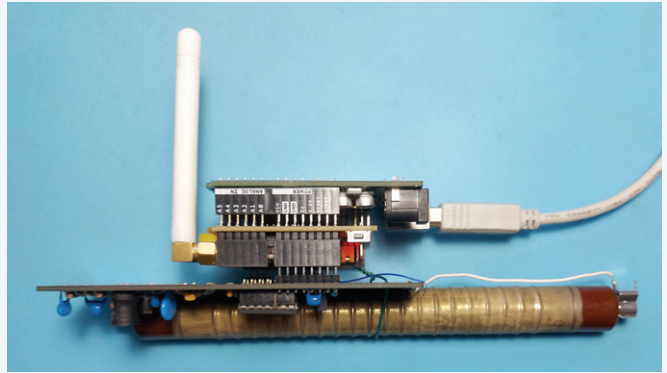
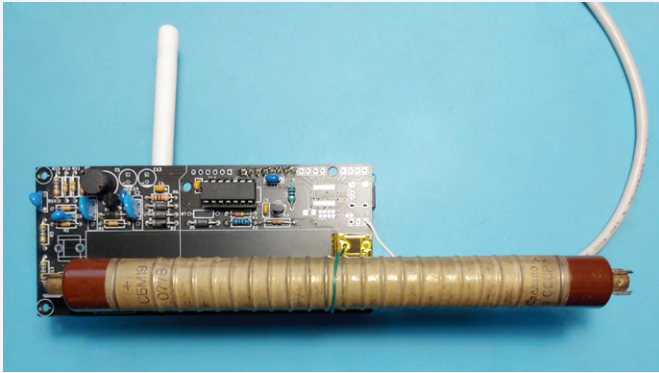
Figuur 5. Achtergrondstraling in Santa Clara (Californië).

deze parameter gepubliceerd. Voor de SBM-20 gebruiken liefhebbers op het web waarden die variëren van 130 tot 220 (omrekeningsfactor van 0,0075 tot 0,0045).

De parameter `TUBES` bepaalt, zoals de naam al zegt, het aantal geïnstalleerde buizen. Geldige waarden zijn 1 en 2. `WSIZE` tenslotte definieert de voortschrijdend-gemiddelde-venstergrootte voor de tellingen. De standaardwaarde van 10 definieert een venster van 10 minuten. De tweede reeks parameters bepaalt hoe de optionele hardwarefuncties worden aangesloten:

```
#define CPM2USV 220 // tube CPM to  $\mu$ Sv/h conversion
                        // factor
#define TUBES 2 // number of tubes installed
#define WSIZE 10 // moving average window (in
                        // minutes)
```

De drie `...PIN` defines selecteren de Arduino-pin waarop de LED of de luidspreker worden aangesloten. `LED_BLINK_MS` definieert de tijd dat de LED blijft branden voor elke puls die de buis detecteert.



Figuur 6. Het GRAD03-board, de Arduino Uno en het Dragino LoRa-shield zijn hier gecombineerd.

Met LoRaWAN-netwerk

De basis-sketch vereist dat het apparaat via USB aan een computer wordt gekoppeld. Vaak is het wenselijk de sensor ver van de computer op te stellen, waar een USB-aansluiting onmogelijk is.

Een Dragino LoRa-shield kan worden gebruikt om LoRa-connectiviteit mogelijk te maken. Helaas gebruikt het Dragino-shield ook Arduino-pin D2, en dus zijn er twee opties – een met één buis en een met twee buizen.

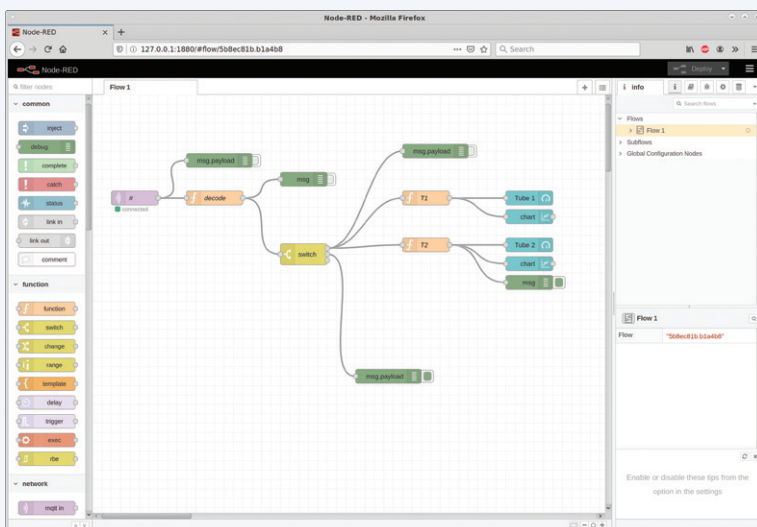
Optie met één buis: in dit geval kan alleen buis GM2 worden gebruikt en moet pin 10 van Schmitt-trigger U1 worden losgekoppeld om interferentie met de LoRa-communicatie te voorkomen. De foto's van **figuur 6** tonen de volledige stack met een enkele Sovjet SBM-19.

Optie met twee buizen: nu moeten zowel het Dragino-shield als het

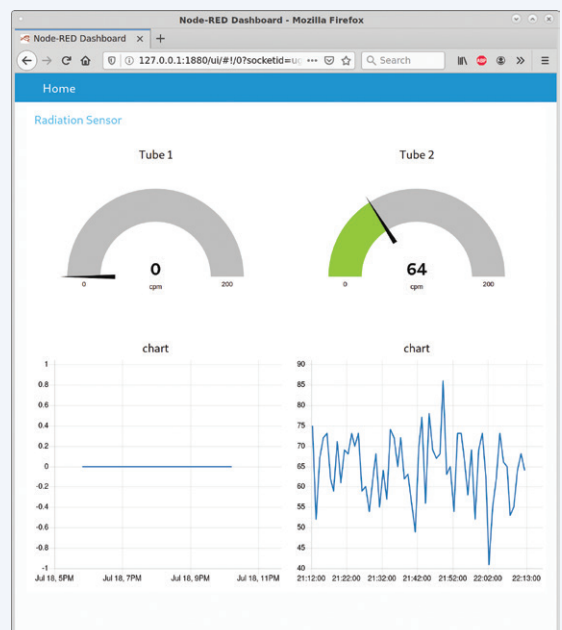
GRAD-board worden aangepast. Bij het Dragino-shield moeten R5 en J_DIO0 worden verwijderd. Een draad moet worden gebruikt om de radio DIO0 met Arduino D7 te verbinden.

Op het GRAD-board moeten R7, R12, C20 en de twee LED's worden verwijderd. R21 moet worden vervangen door een draadbrug, en een enkele LED komt op de plaats van J9 (vervangt de uitgang voor de analoge meter).

Een sketch die communiceert met The Things Network (TTN) en elke 60 seconden het getelde aantal pulsen doorgeeft, kan worden gedownload. Het gebruikt de LMIC Arduino-bibliotheek om een Dragino LoRa-shield aan te sturen en het zal verbinding maken met The Things Network met behulp van Over The Air Activation (OTAA). Een eenvoudige Node-RED flow wordt gebruikt om de gegevens weer te geven (zie **figuur 7**).



Figuur 7. Node-Red flow en dashboard.



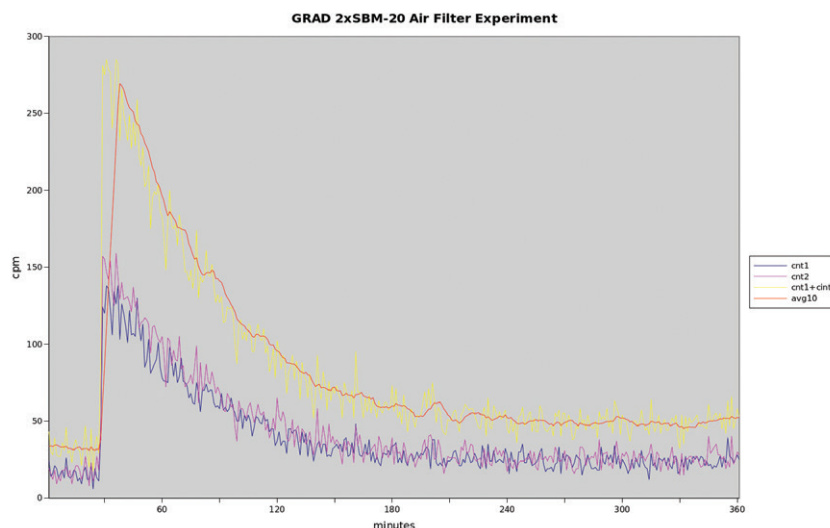
Het meten van straling

Om de goede werking van de geigerteller te controleren is een stralingsbron nodig. Deze kunnen online worden gekocht bij gespecialiseerde leveranciers. Als alternatief kunnen bepaalde *vintage* voorwerpen die met kleine hoeveelheden radioactief materiaal zijn gemaakt, worden gekocht bij een kringloopwinkel of op Ebay. Veel voorkomende radioactieve voorwerpen zijn: voorwerpen van uraniumglas, thorium gasmantels voor lantaarns en bepaalde kleuren van vintage Fiestaware-items.

Als deze niet beschikbaar zijn, is een andere eenvoudige manier om het vervalproduct van radon te controleren dat door het luchtfilter van een airconditioner of luchtreiniger wordt opgevangen (**figuur 8**). Deze hebben een betrekkelijk korte halfwaardetijd (in de orde van grootte van tientallen minuten), dus zorg ervoor dat u de airconditioner een paar uur laat draaien en meet dan onmiddellijk het filter. Als het filter fijn genoeg is om zal het straling uitzenden in een tempo dat vele malen hoger is dan de achtergrondstraling in uw omgeving. In de grafiek is te zien dat de hoeveelheid bijna tien keer zo hoog wordt als de achtergrondstraling en dan een exponentiële curve volgt die kenmerkend is voor radioactief verval.

Dit artikel is gebaseerd op het materiaal dat is gepresenteerd op de Elektor Labs-pagina van dit project [3]. Daar vindt u alle downloads voor GRAD03, plus discussies en opmerkingen over dit onderwerp. 

210404-01



Figuur 8. Straling van een airco-filter ten gevolge van radonverval.

Een bijdrage van

Ontwerp: Gabriele Gorla

Tekst: Gabriele Gorla, Luc Lemmens

Illustraties: Gabriele Gorla, Patrick Wielders

Redactie: Jens Nickel, C. J. Abate

Vertaling: Eric Bogers

Layout: Giel Dols

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via gorlik@yahoo.com of naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



RELATED PRODUCTS

- **Arduino Uno SMD Rev3 (SKU 19938)**
www.elektor.nl/19938
- **MightyOhm Geigerteller Kit (incl. Case) (SKU 18509)**
www.elektor.nl/18509

WEBLINKS

[1] Geiger-Müller buizen: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Geigerteller>

[2] Theremino Geiger-adapter (zie de drie laatste ontwerpen op deze pagina): www.theremino.com/en/technical/schematics

[3] Projectpagina op Elektor Labs: <https://bit.ly/3giMntz>