

Poor Man's radioastronomie:

de praktijk van SDR – Software-defined Radio

- **Meteoren kun je waarnemen via reflecties van radiogolven aan het ionisatiespoor dat de meteor in de atmosfeer veroorzaakt.**
- **Voor het registreren van deze radio-echo's is de juiste hardware en software nodig.**
- **De softwareprogramma's bieden tal van mogelijkheden, maar de waarnemer van meteor-echo's zal ook tegen verschillende problemen aanlopen.**

Nadat ik een paar jaar geleden gestopt ben met visueel waarnemen, ben ik sinds enige maanden blij verrast met de mogelijkheden van radioastronomie. Dit deelgebied van de sterrenkunde bestudeert het heelal met radiogolven in frequenties (golflengten) tussen 30 MHz (10 m) en 700 GHz (0,4 mm), waarbij de golflengte (in meters) gelijk is aan (in dit geval) de lichtsnelheid gedeeld door de frequentie. Gestimuleerd door de kennis en hulp van Patrick Duis (Werkgroep Astrofotografie) en Simon Bijlsma (CAMRAS Dwingeloo) ben ik mij gaan verdiepen in het vastleggen van meteoren met behulp van SDR, ofwel *software-defined radio*. In plaats van het gebruik van dure ontvangers kun je met een simpel stukje hardware en een laptop (die het rekenwerk doet) een goede ontvanger creëren. Deze ontvanger zou in principe radiosignalen van Jupiter of de zon kunnen ontvangen, maar in dit artikel ga ik specifiek in op het ontvangen van signalen van meteoren en wat daarbij komt kijken in de praktijk.

Door Job Geheniau*

Een meteor zelf kun je niet vastleggen met radio, wel het zogenaamde ionisatiespoor dat een meteor achterlaat. Dit spoor kan bepaalde radiofrequenties reflecteren. Het principe is beschreven in *Zenit* maart 2019, blz. 16-19 door Johan van Kuilenburg. In Frankrijk bevindt zich nabij Dijon de zender van het Graves-radarsysteem. Deze militaire zender heeft een vermogen van 4 maal 10 KW en zendt een specifieke draaggolf uit. Het gereflecteerde signaal kunnen we met SDR opvangen. In België staan twee zenders met een lichter vermogen die je ook kunt gebruiken voor het ontvangen van echo's van meteoren.

Overzicht van te gebruiken zenders voor het waarnemen van radioreflexies van meteoren.

Graves (Dijon)	143.050 Mhz	2 meter	10 KW
Brams (Dourbes)	49.970 Mhz	6 meter	150 Watt
IRIS (Ieper)	49.990 Mhz	6 meter	50 Watt

Aan de slag

Hoe kun je nu deze reflecties thuis ontvangen? Het belangrijkste aspect is geduld. Het gaat om vrij zwakke signalen en er kan dus veel misgaan. Ik beschrijf hier hoe ik te werk ben gegaan met een Apple laptop en apparatuur. Wat heb je nodig?

Hardware

Om te beginnen een goede antenne. Antennes zijn gemaakt voor specifieke banden en in dit geval hebben we een 2

meter band-antenne nodig om Graves (143.050 Mhz) te ontvangen. Die kun je zelf maken, maar ik heb een 4 elements Yagi gekocht bij antennewinkel.nl. Kosten rond de 70 euro. De antenne moet een impedantie van 50 ohm hebben. Vaak hebben antennes 75 ohm, dan zal je met een zogenaamde balun de impedantie moeten aanpassen, wat per SDR-ontvanger (USB dongle = 75 ohm, SDRPlay = 50 ohm) verschilt. Een 4 elements is gevoeliger, maar heeft een kleinere ontvangstbundel, tegenover een 2 elements Yagi die minder gevoelig is, maar een breder bereik heeft. Ik heb gekozen voor een 4 elements. Het beste kun je de antenne in een hoek van 15 graden naar boven richten (en naar het zuiden uiteraard). Dus mocht je ooit een scheve Yagi antenne zien, dan wijst dat niet op een slordigheid maar op een amateur die op meteorenjacht is. Figuur 2 toont een 2 meter band-antenne (150Mhz voor Graves) en daaronder gemonteerd een 6 meter band-antenne (50Mhz) voor de zenders Ieper en Dourbes. Het is mij inmiddels ook gelukt om van deze bakens meteorreflecties te ontvangen in Den Haag.

Bijna nog belangrijker dan een antenne is een goede coaxkabel. Slechte coax heeft veel verlies en die raad ik ten zeerste af. Investeer daarom in een flink wat meters Ecoflex 10. De kabel moet een impedantie van 50 ohm hebben. Omdat er verschillende aansluitmogelijkheden zijn, zul je ook diverse pluggen moeten aanschaffen. Welke pluggen, ligt aan je configuratie. Specifieke pluggen zijn: SMA to UHF, SMA to BNC, SMA to SMB, enz.

De meeste artikelen over de ontvanger in de literatuur gaan over de RTL-SDR Dongle van Nooelec. Ik heb daar helaas geen goede ervaringen mee en ik raad dan ook aan om voor wat tientjes meer

de beduidend betere SDRPLAY RSP1A aan te schaffen (<https://www.sdrplay.com/rsp1a/>) of de RTL-SDR dongle (<https://www.rtl-sdr.com/buy-rtl-sdr-dvb-t-dongles/>). Aan de ene kant plug je de antenne in en aan de andere zijde een USB-kabel van goede kwaliteit naar de laptop. Je kunt eventueel nog een zogenaamde upconverter aanschaffen om in een later stadium ook frequenties tot 65 Mhz te kunnen ontvangen op de SDR-ontvanger. Deze heb je niet nodig voor de detectie van meteoren.

Software

Er zijn diverse softwareprogramma's voor SDR, maar het principe is steeds hetzelfde. Je hebt een SDR-softwarepakket nodig en een spectrumanalyseprogramma, die weer softwarematig gekoppeld is met een audio plugin (tenzij je 2 laptops gebruikt, dan is de normale audio out- en input voldoende). Voor de pc functioneert het programma *SDR-Radio* (<http://SDR-Radio.com>) goed. Voor de Mac gebruik ik *CubicSDR* (<http://cubicsdr.com>), omdat deze een speciale softwareversie heeft voor de SDR Play-module. Het is belangrijk om de goede manier van demoduleren van het ontvangen signaal te kiezen. Geen AM of FM, maar de zogenaamde USB-mode (Upper Side Band). Er is helaas geen goed Mac-alternatief voor het spectrumprogramma, daar gebruik ik het pc-programma *SpecLab* voor. Op de Apple kun je onder *Wine* heel goed pc-programma's draaien, dus heb ik SpecLab geïnstalleerd op mijn Mac onder Wine (een soort Windows simulator). De audio output van SDR-Radio of CubicSDR moet worden doorverbonden met de audio ingang van SpecLab. Omdat beide programma's op één computer draaien gaat dat met een software

audiokoppeling. Voor de pc is dat het programma *VB Cable*. Voor de Mac gebruik ik *MacIshowU*. De belangrijkste programma's zijn:

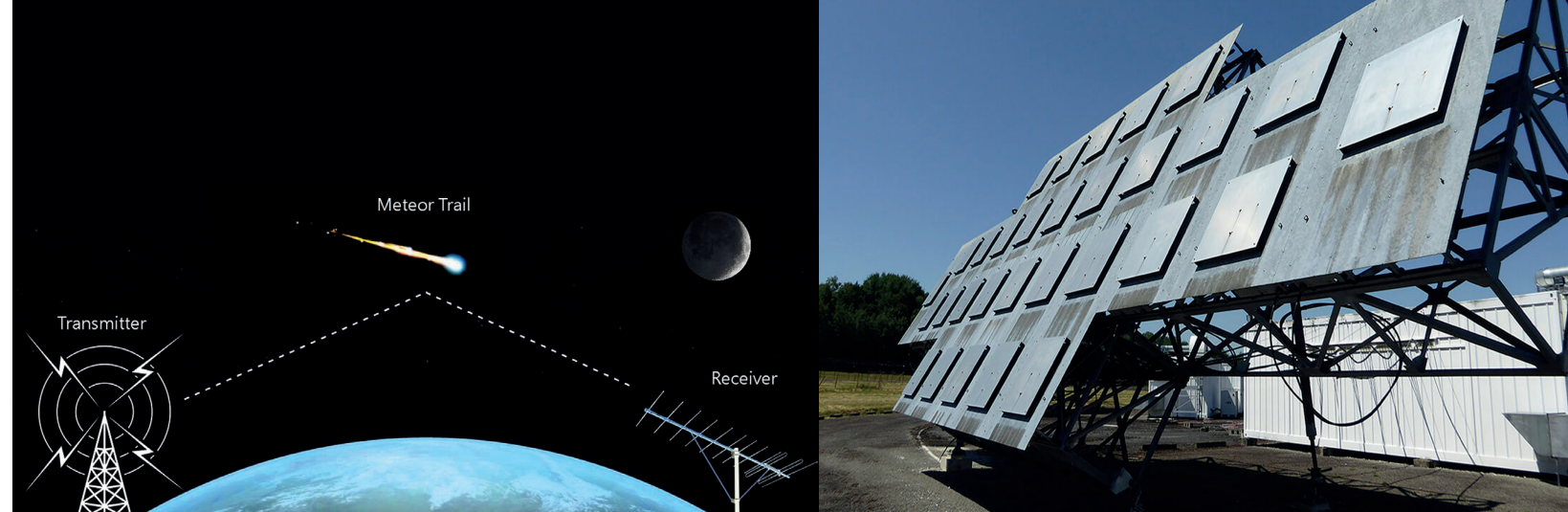
- Cubic SDR voor SDR Play (Mac)
- Cubic SDR voor USB (Mac)
- GQRX voor USB (Mac)
- Baudline (Mac)
- Spectrum Lab (pc) – Wine (settings uitwisselbaar)
- Spectran (pc)
- SDR Radio (pc)
- SDR Sharp (pc)
- Adobe Audition (pc/Mac)

Praktijk

Nadat de antenne op een mast op het dak is geplaatst (totale hoogte 12 meter), gaten voor kabels in deuren zijn geboord, alle kabels zijn gesoldeerd en aangesloten en na heel veel experimenteren en zoeken, werkte de volgende configuratie van het ontvangstprogramma CubicSDR:

- CubicSDR is ingesteld op een frequentie net naast 143.050 Mhz, namelijk 143.048775 Mhz.
- CubicSDR kan audio-opnames automatisch wegschrijven naar disk. Ik laat altijd een file van 10 minuten audio wegschrijven (ongeveer 50 Mb). Elke meteorenbloop is dan achteraf terug te vinden.
- De scrollsnelheid van de SpecLab waterfall (zie verderop) kun je ook instellen. Ik vind een overzicht van 6 minuten op 1 scherm fijn werken. SpecLab maakt dan ook om de 6 minuten automatisch een screenshot en slaat dat op de harddisk op. Zo heb ik zowel het screenshot als de audio van de sessie vastgelegd.

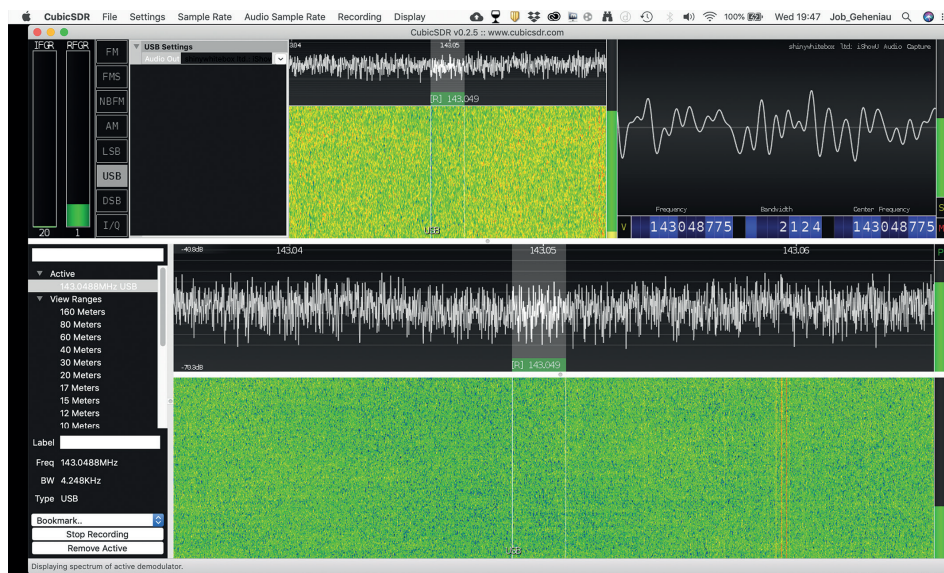
Het Spectrum en het FFT (Fast Fourier)-analyseprogramma Spectrum Lab
Voor SpecLab dien je behoorlijk wat instellingen te doen. Deze kun je als



Figuur 1. Dankzij de reflectie van radiogolven aan het ionisatiespoor van een meteor, is met mogelijk om radargolven van het Franse militaire Graves-systeem (rechts) in Nederland te registreren.



Figuur 2. De 2 meter en 6 meter band-antennes.



Figuur 3. CubicSDR.

persoonlijke INI-file opslaan. Je kunt de ini-file downloaden van mijn radio-astronomie-website (<https://jgeheniau.wixsite.com/radio-astronomy>). Op deze website zijn ook de audio-files te beluisteren van het dopplersignaal (zie verderop). Op de website van Werkgroep Meteoren staat goed uitgelegd hoe je dat moet doen. (<https://werkgroepmeteoren.nl/radio-meteoren-visualiseren/>)

In SpecLab zie je uiteindelijk een zogenaamde *waterfall*, een langzaam scrollend scherm waarin de gedetecteerde frequenties zichtbaar zijn gemaakt door middel van Fast Fourier Transformatie (FFT). FFT is een techniek waarbij de frequentiecomponenten uit elkaar worden gehaald en waarbij het gedetecteerde signaal sterker is dan de aanwezige ruiscomponent. Omdat het ionenspoor van een meteor zich verplaatst als gevolg van luchtstromingen in de hoge atmosfeer, is er sprake van een dopplereffect (veranderende pieptoon) in het spectrum, zowel hoorbaar als zichtbaar! De Graves-zender toont zich als een dun lijntje rond de 1500 Hz. Het frequentiegebied dat ik instel in SpecLab is van 1200 Hz tot 1600 Hz, daarin treden de sterkste reflecties op. Meteoren tonen zich als korte lijntjes loodrecht op de Graves-lijn (Figuur 5 rechtsonder) of als het een wegwaaiende ionisatie-wolk is, zichtbaar als een grote vlek, zogenaamde *overdense cloud* of overdense ionenwolken, die vaak seconden lang blijven hangen (Figuur 6). Schuine lijntjes zijn vaak vliegtuigen, soms satellieten of heel soms het internationale ruimtestation ISS als je geluk hebt. Om te 'oefenen' kun je naar de website van Camras gaan. Daar draait op een webserver ook een SDR Graves-

ontvanger. Zo kun je met SpecLab al heel veel instellingen oefenen. Kies via Firefox (Safari en Chrome werken niet) de website, selecteer dan 2 meter band en de Graves-frequentie (143.050 Mhz) (<http://websdr.camras.nl:8901/?tune=143048.50usb>). Figuur 4 toont het volledige aansluitschema.

Wanneer alles naar behoren werkt en de beelden komen binnen, is het interessant om de verschillende soorten reflecties te interpreteren:

- Korte 'chirps'
- Atmosferische windverwaaiing
- Dopplerverschuivingen
- Meerdere echo's
- Vliegtuigen
- QRM (storing veroorzaakt door elektrische apparaten zoals cv-ketels) en andere radiovervuiling
- Reflecties door de maan
- Reflecties door het ISS

Op 18 mei 2019 slaagde ik erin een maanreflectie te detecteren (Figuur 5). Ook op 19 en 20 mei is de maanecho van Graves geregistreerd. Duidelijk zichtbaar is de verschuiving in het spectrum door de beweging van de maan (dopplereffect, veroorzaakt door de draaiing van de maan om de aarde). Tevens is de onderbroken lijn te zien omdat de Graves-zender met 4 beams werkt die als een vuurtoren zijn draaggolf de ruimte in zendt.

Figuur 6 toont een mooi voorbeeld van een overdense cloud van een Aquaridemeteor op 5 mei 2019. Bij een overdense cloud kunnen de reflecties secondenlang aanhouden. Tijdens deze relatief lange tijdspanne is het ionisatiespoor vaak onderhevig aan ernstige verstoringen door de wind. Dit kan ervoor

zorgen dat het verwaaide ionisatiespoor uiteindelijk radiogolven reflecteert naar de ontvangerlocatie, zelfs als deze aanvankelijk niet geschikt was voor reflectie naar die specifieke locatie.

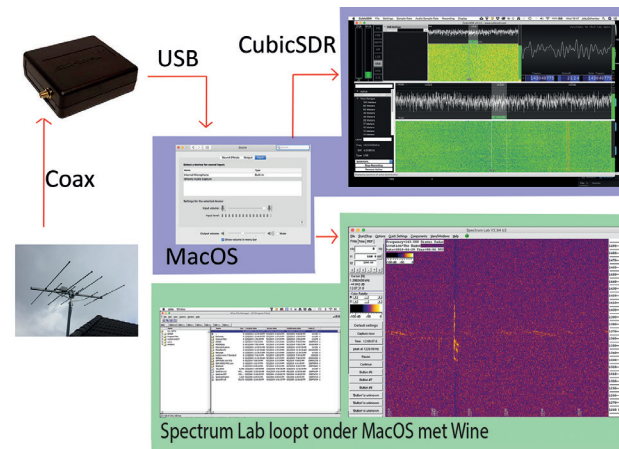
Teamviewer

Met het gratis verkrijgbare Windows en Mac-programma *Teamviewer* kun je ook op afstand je laptop besturen zoals ik onlangs heb gedaan in Portugal tijdens het waarnemen van de Lyriden-zwerm. Je kunt dan controles uitvoeren en resultaten bekijken. Onderstaande links geven mijn eerste resultaten weer (ook de geluiden hoorbaar):

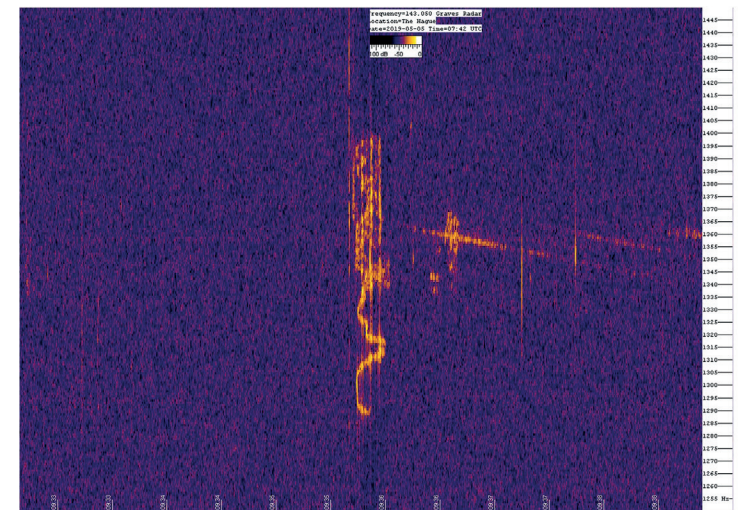
- Opnames van één nacht opgeteld in Photoshop (<https://www.youtube.com/watch?v=NBl6P24wmkU>)
- Lyriden (<https://www.youtube.com/watch?v=B0TxsnoUEFE>)

Meteoren tellen

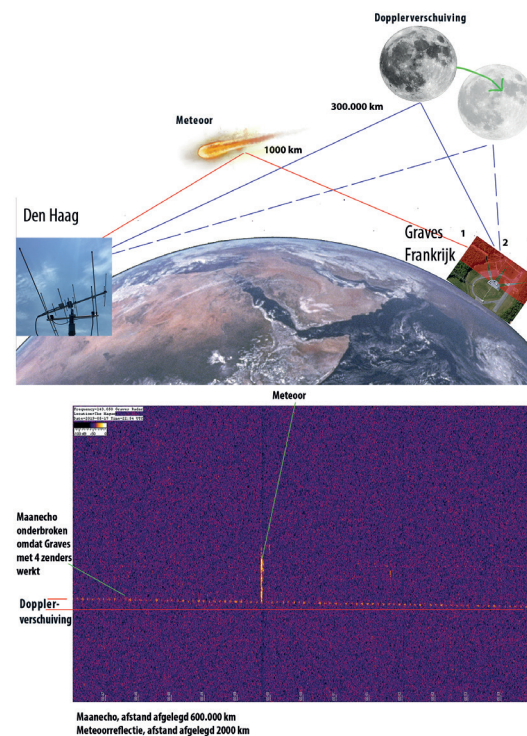
Met SpecLab kun je ook meteoren tellen; het programma kan namelijk een plotter laten meelopen. In die plotter programmeer je in een scriptje de diverse frequenties met een minimum en een maximum ingestelde geluidsterkte (dB). Wanneer er een meteor wordt gedetecteerd, dan geeft dat een verticaal streepje op de plotter al naar gelang de sterkte van het signaal. De plotter schrijft bij mij per 2 uur één jpg weg. Zo heb ik in 24 uur 12 jpg's waarin ik in één oogopslag kan zien op welk tijdstip er een heldere meteor is verschenen. Je kunt ze op deze wijze ook makkelijk tellen of als plotter data-export in een Excel-sheet filteren. Je exporteert dan een plotter.txt-bestand en in Excel laat je daar een filter op los. In mijn geval filter ik alle waarden onder de -45 dB weg (ruis). Ik kom dan in Excel op



Figuur 4. Het aansluitschema. Zie de tekst voor verdere uitleg.



Figuur 6. De registratie van een overdense cloud op 5 mei 2019.



Figuur 5. Registratie van een maanecho op 18 mei 2019.

59 stuks tussen 12:30 en 14:00 uur. Tot slot kun je ook heel goed het programma *Adobe Audition* gebruiken om achteraf in de opgenomen audiofiles te zoeken naar mooie meteorsporen omdat Audition ook gebruikt maakt van FFT en dat heel goed kan laten zien in een complete WAV-file.

Problemen

Er is heel erg veel wat mis kan gaan. Ik spreek uit ervaring, want Murphy is vaak op bezoek geweest. Een overzicht van de problemen waar ik tegenaan ben gelopen:

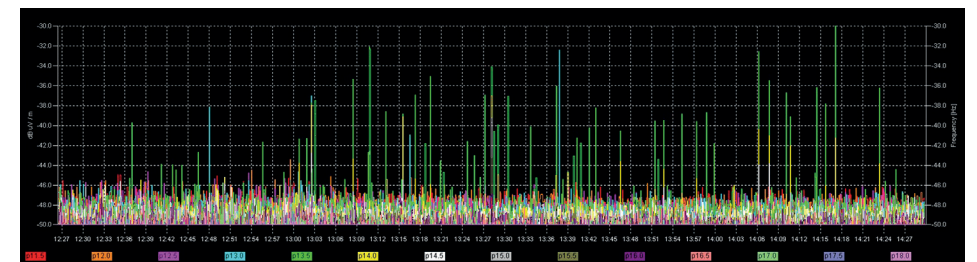
- Antenne niet sterk genoeg (2 elements werkte minder goed dan 4).
- Verkeerde coaxkabel (dun, inferieur merk).
- Hoe komt die dikke kabel het huis in?

Dan maar een gat in de deur boren toen mijn vrouw net even weg was.

- USB SDR Dongle had te veel last van artificiële piekjes in het spectrum (*birdies*), dan maar de duurdere SDRPlay aangeschaft.
- IMac gaf veel meer storing dan MacBook Pro (in combinatie met de USB dongle), let dus op dat je een goed afgeschermd computer gebruikt.
- QRM: omgevingsruis van motoren, PLC (Internet over het stopcontact), portofoons, zonnepanelen, enz.
- Vreemde artifacten in beeld, veroorzaakt door zonnepanelen in de buurt van mijn huis die RFI (Radio Frequency Interference) genereren. Hoogstwaarschijnlijk zitten er driftende inverters en optimizers in de panelen: heel vervelend soms. Dacht je geen last van lichtvervuiling te hebben, krijg je radiovervuiling!

Voorlopig ga ik proberen zo goed mogelijk diverse meteorverschijningen via radioastronomie vast te leggen. Een overzicht voor 2019: (http://hemel.waarnemen.com/meteor-zwermen/meteor-zwermen_2019.html#04)

In de toekomst ga ik wellicht gebruik maken van andere antennes (andere frequentiebanden) voor de zon, Jupiter (21 Mhz) of de detectie van interstellair neutraal waterstof, de befaamde 21 cm-lijn). Kortom, voldoende werk aan de winkel.



Figuur 7. Weergave van de plotter van SpecLab. Zie de tekst voor verdere uitleg.

Verdere informatie

CAMRAS:

<https://www.camras.nl/gebruik/astro-nomie/meteoren/meteoren-waarnemen-met-radio/>
<https://www.camras.nl/gebruik/astro-nomie/meteoren/software-defined-radio-ontvanger/>
<https://www.camras.nl/gebruik/astro-nomie/meteoren/antennebouw/>
<https://www.camras.nl/gebruik/astro-nomie/meteoren/radiometeoren-visualiseren/>
 SpecLab: <https://www.qsl.net/dl4yh/spectral1.html>
 SDR radio: [SDR-radio.com](https://www.sdr-radio.com)
 Virtual Audio Cable: <https://www.vb-audio.com/Cable/>
 Software: <https://www.rtl-sdr.com/big-list-rtl-sdr-supported-software/>
 CamRas: <https://www.camras.nl/blog/2019/mogelijkheden-van-de-websdr/>
 CamRas WebSDR: <http://websdr.camras.nl:8901/?tune=143048.50usb>

* Job Geheniau is als docent camera en videomontage verbonden aan het Grafisch Lyceum Rotterdam. In zijn vrij tijd houdt hij zich onder meer bezig met (radio)astronomie en vintage computers. Je kunt hem bereiken op jobgeheniau@gmail.com of via zijn website: <http://www.jgeheniau.nl> (astro link en dan link radioastronomie). Op 12 oktober 2019 geeft Job een presentatie over het vastleggen van meteoren met behulp van SDR tijdens de najaarsbijeenkomst van de Werkgroep Astrofotografie in Oss. Hij probeert daar een live verbinding te maken met de ontvanger thuis (als alles wil mee werken...).