Eerste EME-verbindingen op 24 GHz vanuit Nederland

Hans van Alphen PA0EHG
pa0ehg@amsat.org

Op 6 april is door PA0EHG de eerste EME-verbinding vanuit Nederland op 24 GHz gerealiseerd. De allereerste 24 GHz EME-verbinding ter wereld werd gemaakt op 18 augustus 2001 tussen VE4MA en W5LUA. Daarna zijn er nog diverse verbindingen gemaakt maar nog niet eerder vanuit Nederland.

Historie

Sinds enige jaren heb ik belangstelling om op 24 GHz met EME iets te gaan proberen maar het opwekken van voldoende vermogen was daarbij steeds het struikelblok. Al enkele jaren eerder had ik experimenten gedaan om vermogen op te wekken maar dat leverde onvoldoende resultaat om daarmee kans op een verbinding te maken. Volgens VE4MA was er tenminste 20 tot 30 watt nodig om kans te maken op een QSO. Dan had ik dus toch 3 dB meer nodig dan het vermogen dat ik op dat ogenblik kon maken. Sinds de tijd dat de eerste verbindingen gemaakt waren was er soms activiteit maar meestal kwam je daar pas achter als het al gebeurd was.

Eerste signalen

Begin 2008 was er hernieuwde activiteit doordat er enkele nieuwe stations actief werden met vermogens van 20 en 30 watt. De nieuwe activiteit was aanleiding voor mij om eens te gaan proberen of ik in staat zou zijn om signalen te ontvangen.
In februari begon ik met het modificeren van mijn 10 GHz EME-antenne en werd er een geschikte straler ingebouwd voor 24 GHz. Ondertussen werden er diverse skeds afgesproken tussen de diverse stations zodat er in ieder geval voldoende signalen zouden zijn om de ontvanger te testen. Daags voor het skedweekend was ik in de gelegenheid de 24 GHz-feed te monteren en de pre-amp en de ontvanger in de schotel te monteren. Daarna was het spannend om te kijken of ik de zonneruis en de maanruis kon meten. Zonneruis was prima aanwezig en ook de maanruis was zonder probleem te detecteren. Ik mat op dat moment 12,9 dB zonneruis en 1,3 dB maanruis. Dat was erg bemoedigend en met hooggespannen verwachtingen ging ik op 9 maart luisteren naar signalen via de maan. Op het moment dat de eerste skeds begonnen was het ronduit beroerd weer. Het regende behoorlijk en de maanruis was duidelijk minder dan de dagen ervoor. Na enig zoekwerk vond ik de eerste signalen maar die waren extreem zacht en daarbij ook nog erg breed. Bij mij ontstond het vermoeden dat de echo's die ik ontving extra breed uitgesmeerd werden door extra doppler, veroorzaakt door de vallende regen. De hele ochtend en middag heb ik verder geluisterd naar de diverse signalen. Ik kon daarbij de calls nemen van LX1DB, VE4MA, W5LUA en OK1KIR. De twee andere stations DK7LJ en DF1OI had ik helemaal niet gehoord en enige frustratie ontstond toen ik hoorde dat OK1KIR aan DF1OI een 'O'-rapport gaf wat betekent dat DF1OI bij OK1KIR goed te ontvangen was.
De skeds met VE4MA en W5LUA waren wat later op de dag en ik hoopte dat het dan droog zou zijn. Helaas was dat niet zo en was de regen alleen maar sterker geworden. De signalen van VE4MA en W5LUA kwamen wel door maar waren erg zwak. Het begin was er in ieder geval. Ik had diverse signalen ontvangen ondanks dat die erg zwak waren. De tracking van de maan ging prima en ik had voldoende hoop dat als het niet zou regenen de signalen veel beter zouden zijn. Dat werd bevestigd door reacties vanuit de e-mailronde. Ondertussen had ik aan alle actieve stations gevraagd om gegevens van maanruis en zonneruis door te geven zodat ik hun waardes met de mijne kon vergelijken en zo een beeld kon vormen of mijn antenne wel goed was. Deze tabel heb ik later ook op mijn website gepubliceerd.

Opbouw van de zender

In de weken daarna begon ik met het opbouwen van mijn zender. Na een e-maildiscussie met de vraag of ik moest kiezen voor een station met 10 W of, als tweede keuze, een station met meer vermogen, wat waarschijnlijk veel later klaar zou zijn, besloot ik om voor het station met 10 W te gaan. De keuze was gebaseerd op de te verwachten hogere absorptie door waterdamp (die alleen maar hoger wordt bij stijgende temperatuur) en het risico dat langer wachten en dus testen in de zomer de slagingskans alleen maar deed afnemen.
Speciaal voor het EME-experiment werd door mij een zender opgebouwd. Uitgaande van een microgolf brick oscillator op 12 GHz die ik aanstuurde met een Adret synthesizer kon ik een frequentie opwekken die voldoende nauwkeurigheid heeft. Daarachter volgt een frequentieverdubbelaar van 12 naar 24 GHz. Omdat ik CW moest maken sleutelde ik het signaal door de voedingsspanning van de verdubbelaar aan/uit te zetten. Daarachter kwam een solid state versterker die ruim een 0,5 W kan maken wat weer naar een TWT gaat. In de twee weken daarna was ik druk met de realisatie van de zender. In de shack werkte alles prima en tests gaven steeds ruim 10 W. Alles werd mechanisch goed opgebouwd zodat ik het geheel uiteindelijk in de antenne kon monteren. De TWT werd op een koelblok gemonteerd die voorzien was van een ventilator voor geforceerde koeling. De rest van de zender monteerde ik op een strip Trespa. Het geheel werd voorzien van beugels om de zender aan de stang van de antennefeed te kunnen monteren.

Optimaliseren van de antennefeed

De dagen voordat de eerste verbinding getest zou worden besloot ik om te kijken of mijn antenne wellicht nog geoptimaliseerd kon worden. Het was perfect onbewolkt weer, alleen was er heel veel wind. Ik begon met het meten van de zonneruis. Daarna de antenne teruggezet in de rustpositie zodat ik bij de feed kan komen om deze een heel klein beetje te verstellen. Ik schoof de feed ongeveer 2 mm naar voren. Daarna de antenne weer draaien naar de zon en ik kon een duidelijke verbetering meten. De eerste keer mat ik 12,9 dB zonneruis en na het verschuiven mat ik 0,6 dB meer zonneruis. De antenne weer terug in rustpositie en zo heb ik in enkele stappen de positie van de feed verder geoptimaliseerd. Dat gaf steeds een beter signaal totdat ik over het optimum heen was en weer een klein stukje terug moest gaan. Uiteindelijk had ik de feed ten opzichte van de beginsituatie ruim 10 mm naar voren gesteld en daarmee had ik maar liefst 2,3 dB gewonnen. De zonneruis kwam daarmee uiteindelijk uit op 15,2 dB. De maanruis kon ik op dat moment niet meten omdat de maan ver weg stond (vlak bij Apogee) en ook nog erg laag boven de horizon. Ik zou nog enkele dagen moeten wachten voordat ik de maanruis kon bepalen. Wat opvalt is dat de antenne veel scherper is geworden. Eerst had ik geen effect gemerkt van het schudden

van de antenne door de harde wind. Toen de feed geoptimaliseerd was kon ik duidelijk signaalvariatie van ruim 0,5 dB zien door het schudden van de schotel. Verder werd me duidelijk dat het volgen van de zon niet meer optimaal was. De antenne wordt één keer per minuut bijgestuurd. Dat bleek onvoldoende te zijn voor het volgen van de zon. Ik moest nog afwachten of ik wel in staat zou zijn om de maan voldoende nauwkeurig te volgen.
Op 3 april kon ik voor de eerste keer de maanruis meten. Die was duidelijk verbeterd door het optimaliseren van de feed. Ik mat nu 2,4 dB maanruis, dus duidelijk beter dan de 1,3 dB van de eerste keer.

De eerste test

Vrijdag 4 april zou de grote dag zijn. Ik had een sked met OK1KIR en ging ruim van tevoren de zender in de antenne monteren. Op foto 2 ziet u van rechtsonder naar linksboven: de 12 GHz-brickoscillator, een coaxrelais dat gebruikt wordt om CW te genereren met daaronder de verdubbelaar, een instelbare verzwakker om het stuurvermogen naar de TWT te regelen, de 0,5 W solid state versterker, de TWT die het signaal versterkt naar 10 W, en de flexibele golfpijp naar het waveguiderelais voor omschakelen van ontvangen naar zenden. Net boven het waveguiderelais is een klein stukje van de pre-amp te zien.

Foto 1 Montage van de golfpijpovergang aan de output van de TWT

Foto 2 Nog even een laatste moertje vastdraaien en de zender hangt in de schotel.

Na alles in de antenne bevestigd te hebben ging ik het testen. Toen de schrik die je niet wilde hebben: geen output. Er was nog wat tijd voordat ik de sked had en ik besloot om de stuurzender te testen en ook daar was geen output. Was de verdubbelaar van 12 naar 24 GHz stuk of was het de versterker naar 0,5 W? Snel een nieuwe verdubbelaar gemonteerd en de 0,5 W-versterker er uit gehaald. Gelukkig was er nog net op tijd vermogen. Hoeveel dat was kon ik niet meer controleren. Daarna was er de test met OK1KIR. Ik kon het signaal van OK1KIR ontvangen en ging vol enthousiasme terugzenden. Na de eerste doorgang was er nog steeds CQ door OK1KIR, dus hij had me niet gehoord en ik begon aan een tweede doorgang. Wat nou: weer geen output. Dat was het einde van de test voor die dag. Ik heb snel een e-mail naar OK1KIR en LX1DB gestuurd met de mededeling dat mijn zender het niet deed en de test helaas over was.

Aanpassing aan de zender

De dag daarop gebruikte ik om de zender te controleren en het ontwerp te verbeteren. Het was me onduidelijk waarom de frequentieverdubbelaar tot twee keer toe de geest gaf. Ik kon alleen beredeneren wat de mogelijke reden was. Mogelijke oorzaak was het feit dat ik CW maakte door de spanning van de verdubbelaar te keyen. Andere mogelijke oorzaak was dat het vermogen dat uit de brick kwam als ik deze inschakelde iets hoger was dan wanneer deze al een tijdje aanstond. Toevoeging van een extra verzwakker en een coaxrelais om daarmee de CW te maken was mijn oplossing. Daarna heb ik een langdurige test in de shack gedaan zodat ik zekerheid kreeg dat het nu wel goed was.

Het eerste QSO

Op zondag 6 april zouden diverse stations actief kunnen zijn maar de weersverwachting was ronduit slecht met een grote regenkans. Dat was een no-go item voor mij want een onbeschermde TWT met bijna 4 kV in de regen zou niet zo goed gaan. In de ochtend van 6 april kreeg ik een e-mail van DK7LJ die aangaf dat hij klaar was om te testen. Het weer was op dat moment goed en een snelle blik op de buienradar gaf me het gevoel dat het voorlopig goed zou blijven. Ik besloot om de zender in de antenne te monteren. Ruim een uur later was ik klaar en kon de antenne richting de maan worden gezet. Toen was het wachten op de eerste test en na enige e-mails besloot ik LX1DB te bellen en te vragen of hij QRV kon zijn. Hij zei dat hij zijn station zou opbouwen en de test kon een klein uur later beginnen. Op foto 3 ziet u het station zoals dat is gebruikt. In het midden onder: de IC-R7000 voor conversie van 432 MHz naar 10,7 MHz ten behoeve van de ruismeter waarmee maanruis gemeten wordt. De maanruismeter staat links van de R7000 ontvanger. Bovenop de R7000 staat het Timewave DSP-filter voor het te beluisteren audio. Daarboven staat de FT817 voor het ontvangen van het EME-signaal. Achter de ontvangers is nog de computer

te zien die de antennesturing regelt om de maan te volgen. Willi LX1DB ging als eerste zenden en zijn signaal kon ik vrijwel direct horen. Het signaal was sterk maar wel erg breed. Het klonk enigszins als aurora. Daarna was het de beurt aan mij om te zenden en gaf ik naast de roepletters alvast het rapport voor LX1DB zijnde een 'O'. Na de volgende doorgang van LX1DB volgden er alleen maar roepletters dus was er twijfel of hij mij hoorde. Weer was er een doorgang van mijn kant en daarna kwam LX1DB terug met een rapport voor mij met ook een 'O' en met 'R' als teken dat hij alles genomen had. Ik seinde ook terug met 'R' en het QSO was geslaagd. Het was een gedenkwaardig moment voor mij want mijn eerste EME-QSO op 24 GHz was gelukt. Meteen daarna kreeg ik telefoon van Willi die aangaf dat hij me prima kon nemen ondanks het wat slechte weer aan zijn kant. Korte tijd daarna stuurde Willi mij een e-mail met de volgende inhoud:

Dear Hans,
You had a nice signal from beginning on I copied O. The moon noise was 2,3 db and WX cloudy and actually it is snowing and raining. The signal was not wide (250 Hz) as on friday only 150 Hz, even with the clouds (cloud type CB). Best 73, regards and continue the same way
Willi

Toen kwam er meer

Korte tijd daarna kreeg ik een skedverzoek van DK7LJ. De test met hem ging in eerste instantie niet goed. Ik kon DK7LJ wel ontvangen maar het leek alsof hij mij niet hoorde. Daarna werd ik aangeroepen door DF1OI wat daarna vrij snel een verbinding opleverde. Ondertussen kreeg ik mail van DK7LJ, VE4MA en OK1KIR dat ze me konden ontvangen. Daarna wederom een test met DK7LJ wat toen wel tot een QSO leidde. Vrijwel direct daarna kreeg ik bericht dat OK1KIR een probleem had met de zender en dat testen met hem die dag niet meer zou lukken. Daarna de test met VE4MA wat ook tot een goed QSO leidde. Van VE4MA kreeg ik een 'M'-rapport. Ook deze verbinding was dus geslaagd. Toen was de koek op want W5LUA was niet thuis en ik had dus in één middag alle stations die op dat moment QRV waren gewerkt.
Enkele dagen daarna, op 9 april, had ik een sked met W5LUA en OK1KIR. De verbinding met W5LUA ging niet eenvoudig. We hadden ruim drie kwartier nodig voordat W5LUA mijn gegevens had ontvangen terwijl ik zijn gegevens bij wijze van spreken al in de eerste minuut binnen had. Zijn signaal was sterk en ook redelijk smal. De sterkte is vooral te danken aan het hoge vermogen van maar liefst 100 W. Wel vond ik het signaal op een heel andere frequentie dan ik verwacht had, bijna 30 kHz hoger dan ik dacht. Na een aantal doorgangen kreeg ik enige twijfel of de verbinding wel zou lukken. Ik besloot een doorgang te maken met alleen maar W5LUA de PA0EHG. Daarna kwam hij terug met het rapport voor mij. Daarna gaf ik alleen maar het rapport voor W5LUA en in de volgende doorgang kwam het zo gehoopte 'RRRR'. Daarna mijn Rogers en 73s en er kwamen 73s terug. Dit QSO was dus ook geslaagd. De test met OK1KIR zou helaas weer niet doorgaan want hij had nog steeds problemen met de zender en last van parasitaire oscillaties. Op het moment van schrijven van dit verhaal – eind april – is de verbinding met OK1KIR nog niet gelukt. Ik hoop dat hij zijn zender snel in orde krijgt want de kans op succes wordt richting de zomer steeds kleiner.

Foto 3 PA0EHG achter de ontvanginstallatie en de computer voor het sturen van de antenne

Wat is er nodig voor 24 GHz EME?

Even wat gegevens om duidelijk te maken wat het maken van EME-verbindingen op 24 GHz betekent. Als antenne gebruik ik een 3 m schotelantenne (foto 4). Belangrijk aan een schotel voor deze hoge frequenties is dat de oppervlaktenauwkeurigheid erg groot is. Afwijkingen van meer dan 1,5 mm over grotere oppervlaktes zijn catastrofaal voor het rendement van de antenne. Mijn antenne geeft een theoretische gain van ongeveer 55 dB. Of dat ook gehaald wordt is moeilijk te bepalen maar uit de vergelijkingen met gemeten ruis van zon en maan lijkt het dat de antenne heel redelijk werkt. De hoge gain werkt aan de zendkant maar uiteraard ook aan de ontvangkant. Ook is duidelijk dat de plaats van de feed exact goed moet zijn, binnen enkele millimeters. Het is vrij zeker dat als ik de feed niet geoptimaliseerd zou hebben mijn verbindingen niet gelukt waren. Door het optimaliseren heb ik 2,3 dB gewonnen en dat is doorslaggevend geweest bij het maken van de verbindingen.
De zender heeft als eindtrap een TWT (Traveling Wave Tube) die een uitgangsvermogen geeft van ruim 10 W dat direct in de feed komt. De TWT is een door mij gemodificeerde versterker die van oorsprong bedoeld was om tot maximaal 18 GHz te werken.
De ombouw was relatief simpel, namelijk aanpassen van enkele spanningen op de buis.
De combinatie van het vermogen en de antenneversterking komt neer op een effectief uitgestraald vermogen van ruim **3 megawatt** en dat zonder krachtstroom en andere speciale voorzieningen. Ter vergelijking: een heel groot EME-station op 144 MHz zal een effectief uitgestraald vermogen hebben in de orde van 100 tot 200 kilowatt.

De antenne heeft een openingshoek die zo klein is dat als deze 0,1 graad fout staat er al een signaalverlies van 0,25 dB ontstaat.

Foto 4 De 3 m schotelantenne van PA0EHG

Met het sterkste signaal dat ik beschikbaar had (zonneruis) heb ik geprobeerd om de 3 dB openingshoek te bepalen. De gemeten 3 dB openingshoek bedraagt 0,5 graden, gemeten van het -3 dB punt via het maximum naar het volgende -3 dB punt. Dus van het maximum naar het -3 dB punt is dat een hoek van 0,25 graden.
De besturing van de antenne werkt volautomatisch en geeft één keer per minuut een bijsturing van de antenne. Voor 10 GHz EME werkte dat prima maar op 24 GHz is dat voor het volgen van de zon onvoldoende. Gelukkig gaat de maan iets langzamer langs de hemel en was het één keer per minuut bijsturen nog net voldoende. Om er voor te zorgen dat de antenne steeds optimaal op de maan gericht staat, moet ik bij het instellen van de tracking er voor zorgen dat de antenne bijgestuurd wordt als deze net over het maximum heen draait. Een halve minuut later staat de antenne dan optimaal en verloopt het allemaal binnen redelijke marges. De verliezen aan het begin en einde van de minuut zijn in dat geval ongeveer 0,2 dB en daar is goed mee te leven. Als ik de tracking zodanig instelde dat de antennepositie optimaal was net na het bijsturen dan was ik al ruim 0,5 tot 1 dB signaal kwijt geweest net voordat de volgende bijsturing volgde. Dat vond ik teveel. De hele antenneopstelling en de automatische besturing zijn enkele jaren geleden zelf gebouwd.
De verzwakking van het uitgezonden signaal via de reflectie van de maan en weer terug naar de aarde bedraagt op 24 GHz maar liefst 295 dB op het moment dat de maan in perigee is, een afstand van ca. 360.000 km. Als de maan op apogee is (de grootste afstand) dan is de demping 2,2 dB meer. In het geval van de zeer marginale verbindingen is de praktijk dat we alleen een QSO kunnen maken als de maan vlakbij perigee is. Het verschil van een half S-punt maakt dus dat een verbinding wel of niet gerealiseerd kan worden.
De frequentie waarop gezonden wordt is 24.048,100 MHz. Dit moet liefst ruim binnen 1 kHz kloppen anders wordt het voor het tegenstation extra moeilijk om het signaal te vinden. Doordat de maan beweegt treedt er dopplereffect op en verschuift de frequentie waarop het signaal bij het tegenstation te ontvangen is. Op 24 GHz is dat een behoorlijke afwijking en afhankelijk van het moment kan dat betekenen dan een signaal meer dan 30 kHz onder of boven de zendfrequentie uitkomt. Tijdens mijn QSO met W5LUA kwam ik er achter dat mijn idee van de grootte van de optredende doppler niet goed was. Het programma dat ik gebruikte om de doppler te berekenen gaf niet goed aan wat de werkelijke dopplershift was en daarom zat ik verkeerd te zoeken. Doordat het signaal zo sterk was kon ik het toch zonder probleem vinden. Gelukkig is het goed mogelijk om de dopplerverschuiving uit te rekenen zodat het gebied waarin gezocht moet worden relatief klein is. Hier moet ik zelf nog eens goed op studeren zodat ik een volgende keer beter snap wat er gebeurt.

Externe factoren

De signalen die ontvangen worden zijn over het geheel genomen extreem zwak. Daarnaast treedt er ook een duidelijke spreiding van het signaal op. Dit verschijnsel wat smear heet is van een heleboel factoren afhankelijk. De exacte achtergronden van smear en de optredende signaalvervormingen zijn nog niet volledig bekend. Daarnaast wordt het smeareffect versterkt door regenwolken die eventueel aanwezig zijn in het pad van het signaal. De wolken geven ook nog een extra stijging van de achtergrondruistemperatuur waardoor het signaal nog iets sneller in de ruis verdwijnt. Tot slot geeft een hogere luchtvochtigheid een extra demping van het 24 GHz signaal. In de zomer bevat de warmere lucht meer vocht dan de koele lucht in de winter. Daarom is het maken van verbindingen in de zomer moeilijker dan in de winterperiode. Dit verschijnsel is uiteraard ook aanwezig bij gewone aardse verbindingen op 24 GHz.

Het ontvangen signaal

Om de signalen te horen maak ik gebruik van een audiofilter gebaseerd op DSP-techniek die ongewenste ruis kan onderdrukken en het oor helpt om het signaal te nemen. De ingestelde bandbreedte moet echter groot genoeg zijn om het volledige signaal door te laten. In de praktijk stel ik het filter in op een bandbreedte van meer dan 200 Hz. Het signaal uit de ontvanger gaat ook nog naar een computer met daarop het programma Spectran. Dit programma maakt audio-opnames van de ontvangen signalen en geeft verder visueel weer hoe sterk een signaal is en op welke audiofrequentie het ligt. Dit vereenvoudigt het afstemmen zodat het goed in de doorlaat van het audiofilter valt (foto 5). Dankzij het werken met de maan als reflector en dankzij het gegeven dat we enorme antennewinsten kunnen halen is het mogelijk om EME-verbindingen op 24 GHz met relatief kleine vermogens te maken. Het produceren van genoeg vermogen en voldoende frequentiestabiliteit maar ook het realiseren van een antenne met hoge gain die de maan volautomatisch volgt eist het uiterste van alle systemen om een verbinding te kunnen realiseren.
Met de vijf verbindingen die ik tot nu toe gemaakt heb zijn er meteen drie firsts, namelijk met LX, VE en W. De grootste afstand was de verbinding naar W5LUA in locatorvak EM13qc over een afstand van 8.361 km.
Op mijn website heb ik informatie geplaatst van deze verbindingen en opnames van de ontvangen signalen. Een uitgebreide test om te proberen eigen echo's te ontvangen heb ik nog niet gedaan. Wellicht dat ik daar gelegenheid voor heb als ik de test met OK1KIR wil herhalen.
Verbeteringen aan het station zijn zeker nog mogelijk. Zo wil ik proberen om in ieder geval meer vermogen te gaan maken. Een uitgangsvermogen van 20 tot 30 W zou mogelijk moeten zijn. Verder is het natuurlijk afwachten hoe de activiteit zich zal ontwikkelen. We hebben gezien dat in de periode na 2001 er een tijd is geweest met heel af en toe enige activiteit. Daarna is het een aantal jaren rustig geweest en sinds dit jaar is er een forse opleving met diverse nieuwe stations zoals DK7LJ, DF1OI, OK1KIR en ikzelf. Er zijn nog meer stations bezig om QRV te worden zoals IQ4DF en DL7YC.
Voor meer informatie over mijn verbindingen op 24 GHz met EME en de ontwikkelingen op dit vlak kunt u kijken op mijn website: http://www.pa0ehg.com .

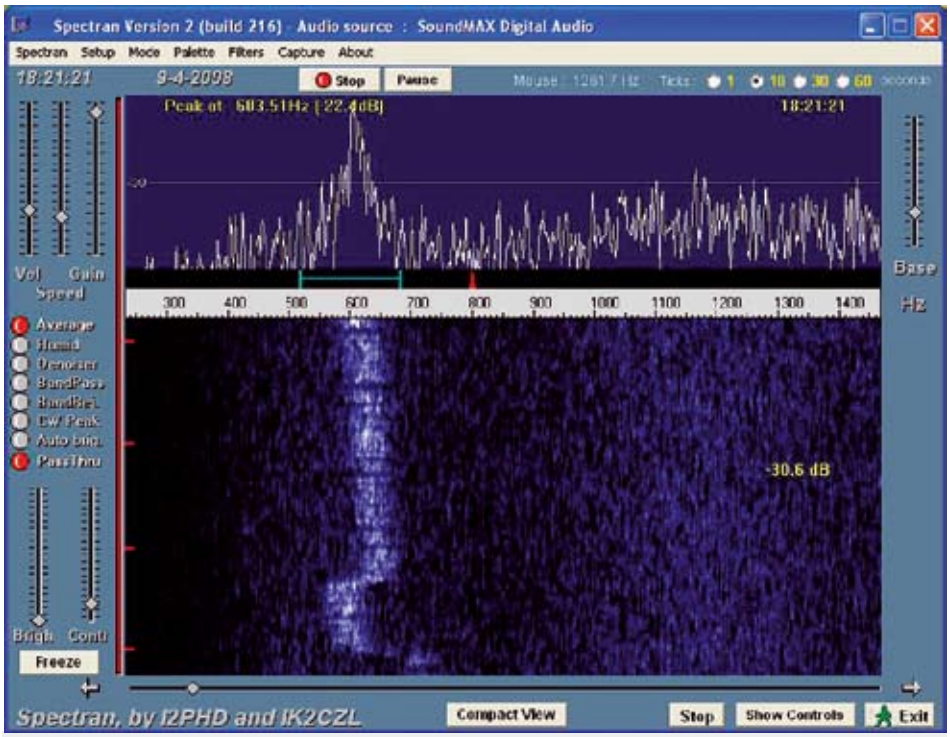

Foto 5 Het Spectranplaatje van W5LUA tijdens het QSO