

SIGNALLEN EN RUIS

INLEIDING

Als radioamateurs gaat het ons om het bestuderen van het overbrengen van signalen waaruit aan de ontvangende kant zinvolle informatie kan worden gedestilleerd. Of een verbinding lukt, hangt van een groot aantal factoren af. Factoren als de kwaliteit van de zender, de aard van de modulatie, en de kwaliteit van de zendantenne. Aan de ontvangende kant zijn dat factoren als de kwaliteit van de ontvanger en de ontvangstantenne. Verder spelen de afstand tussen zender en ontvanger, de gebruikte frequentie en de condities een belangrijke rol. En dit is zeker geen volledige opsomming. Deze veelheid van factoren maakt onze hobby zo buitengewoon boeiend, en, omdat een aantal van deze factoren zeer variabel is, ook zo spannend.

Toch is het zeker niet zo dat QSO's (verbindingen) uitsluitend op goed geluk tot stand komen. Kennis van zaken omtrent bovengenoemde factoren verhoogt de kans op een bepaalde gewenste verbinding (om bijvoorbeeld een bepaald land te pakken te krijgen of een aarde-maan-aarde contact te leggen).

Om van een geslaagd QSO te kunnen spreken, dient tussen de twee stations een aantal vaste gegevens te worden uitgewisseld; minimaal een rapport (RST-code) en de roepletters. Een goed gebruik is ook QTH (woonplaats) en voornaam over en weer te melden en te bevestigen. Het belangrijkste in een verbinding is dus de "neembaarheid" van de signalen (de R uit de Readability Strength Tone code).

Bij het draaien over de band verneem je niet alleen geluid als je afgestemd bent op een tegenstation, ook als je niet op een station bent afgestemd, hoor je wat we "ruis" noemen. Die ruis is afkomstig van verschillende bronnen. Zelfs als je de antenne los neemt van de ontvanger is het (als je de volumeregelaar opdraait) niet stil. Deze ruis is afkomstig vanuit de ontvanger zelf en wordt **interne ruis** of eigen ruis genoemd. Ze ontstaat vooral in de eerste trappen van de ontvanger. Door een goed ontwerp en gebruik van kwaliteitsonderdelen is die interne ruis te minimaliseren, maar helemaal kwijt raak je hem niet. De toename van de ruis als de antenne met de ontvanger verbonden wordt, is ruis die van buiten komt, **externe ruis**. Voor moderne ontvangers voor de hf-band (< 100 MHz) is de interne ruis ten opzichte van de externe ruis te verwaarlozen. Men zegt dan dat de externe ruis limiterend is voor de ontvangst.

Die externe ruis kan verschillende oorzaken hebben: zware elektrische

machines in de buurt, TL-verlichting, dimmers, etc. In ver van de bewoonde wereld gelegen oorden blijkt het ruisniveau aanzienlijk lager, maar toch niet te verwaarlozen. Daar spelen kosmische processen (bijv. straling van de zon), atmosferische storingen (onweer) en gebeurtenissen in de ionosfeer een rol.

Bij toenemende frequentie neemt de interne ruis van ontvangers toe. Boven de 100 MHz is, op een rustige plek, veelal de interne ruis van een ontvanger overheersend omdat daar bovengenoemde processen niet veel meer bijdragen en de externe ruis dus klein is.

Het hoeft geen betoog dat de neembaarheid van een signaal niet alleen afhangt van de sterkte waarmee het ontvangen wordt, maar ook van de sterkte van de ruis die er heerst. Als de ruis sterker is dan het signaal, "verdrinkt" het signaal in de ruis en valt er niets te nemen. De beste maat voor de neembaarheid van een signaal is dan ook de zogeheten **signaal/ruis-verhouding**. Deze wordt berekend als het vermogen van het signaal (P_{signaal}) gedeeld door het vermogen van de ruis (P_{ruis}). In het Engels heet deze verhouding **SNR**, signal to noise ratio. De formule is:

$$SNR = \frac{P_{\text{signaal}}}{P_{\text{ruis}}} \quad (1)$$

De verhouding wordt, zoals vaak voor vermogensverhoudingen gebeurt, ook wel uitgedrukt in dB:

$$SNR(\text{dB}) = 10 \log\left(\frac{P_{\text{signaal}}}{P_{\text{ruis}}}\right) \quad (2)$$

Let dus in teksten goed op of er dB of niets achter staat.

De voor een goede neembaarheid vereiste SNR hangt af van het soort uitzending. Voor digitale modulatie soorten zijn er getallen beschikbaar, voor spraak en CW is dat niet zo zinvol. Voor de laatste twee modulatiesoorten speelt het menselijk gehoor en brein een zeer belangrijke rol bij het "nemen" en is het dus moeilijk om standaardwaarden voor de vereiste SNR te geven.

BEREKENING VAN DE SNR AAN ONTVANGST-ZIJDE

In het geval dat de interne ruis van een ontvanger overheersend is, dus voor de amateurbanden vanaf 144 MHz en hoger, is het mogelijk om een redelijk nauwkeurige berekening van de signaal/ruis-verhouding te maken voor het

ontvangen signaal. Zo'n berekening wordt een **radiolink budget** berekening genoemd.

Het gaat nu dus om de situatie bij de ontvanger. Noemen we het ontvangen signaalvermogen P_{rx} dan krijgen we dus voor SNR:

$$SNR = \frac{P_{rx}}{P_{ruis}} \quad (3)$$

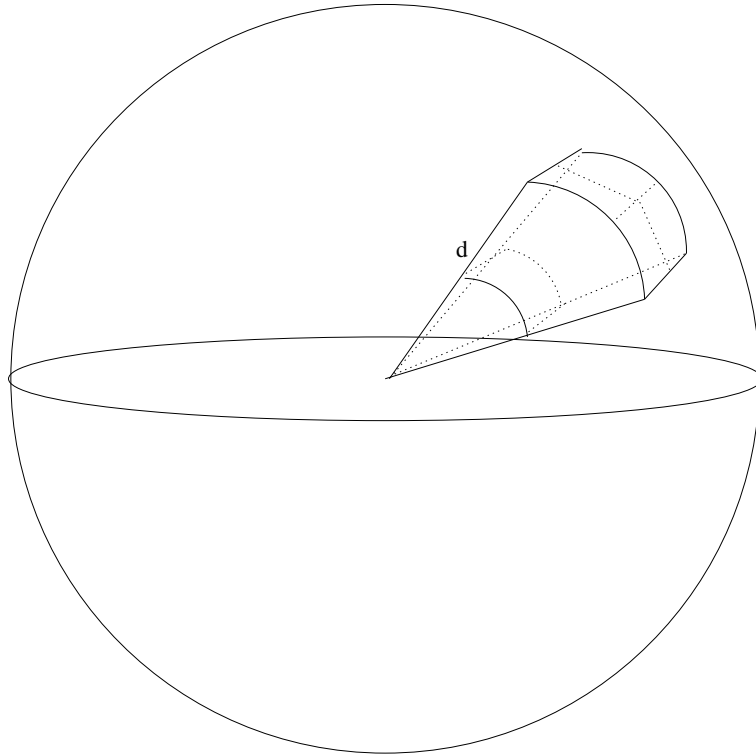
Twee zaken zijn daarbij van belang:

1. Verzwakking van het zendersignaal op zijn weg naar de ontvanger tot de waarde van het vermogen bij de ontvanger door:
 - verliezen over het propagatiepad, maar ook in kabels en connectoren
 - fading doordat het signaal de rx-antenne langs verschillende wegen bereikt (multipad fading)
2. de invloed van ruiscomponenten
 - thermische ruis
 - atmosferische ruis
 - kosmische ruis
 - door de mens veroorzaakte ruis

De berekening van P_{rx}

De berekening van de SNR is eigenlijk alleen maar redelijk nauwkeurig mogelijk als we ons beperken tot de situatie waar de externe ruis te verwaarlozen is ten opzichte van de interne ruis van de ontvanger en als die interne ruis van de ontvanger uit de fabrieksspecificaties bekend is, of zelf gemeten is. We verwaarlozen dus de externe ruis en de multipad fading.

Voor de berekening van de verliezen over het propagatiepad gaat het dan alleen om het feit dat het zendvermogen dat de zendantenne verlaat wordt "uitgesmeerd" over de ruimte en dus lang niet alles de ontvangstantenne bereikt. Figuur 1 laat die uitsmering zien voor een isotrope straler. Een isotrope straler zendt evenveel straling naar alle richtingen. Om het hele vermogen op te vangen zou je een bol om die straler heen kunnen zetten



Figuur 1: Verspreiding vermogen uit isotrope straler over hele bol

waarvan het oppervlak alle vermogen opvangt. Per vierkante meter vang je dan dus

$$\frac{P_{tx}}{4\pi d^2} \text{ W/m}^2 \quad (4)$$

waarin d de afstand tussen zend- en ontvangstantenne (de straal van de bol) is. Uit figuur 1 is te zien dat als de afstand (d) verdubbeld wordt, het oppervlak dat door een bepaalde bundel wordt beschenen verviervoudigd. De intensiteit van de bundel neemt dus kwadratisch af met de afstand. Het door de ontvangstantenne opgevangen deel van die straling hangt af van het **effectieve oppervlak** van die antenne. Hoe groter dat effectieve oppervlak, hoe beter, twee maal groter oppervlak is twee maal meer opgevangen straling. Staat aan ontvangtzijde ook een isotrope straler als antenne dan is het effectieve oppervlak (A_e) daarvan:

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (5)$$

De verliezen over het propagatiepad L_p tussen twee isotrope stralers die elkaar kunnen zien (geen tussengelegen obstakels) zijn dan:

$$L_p = \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (6)$$

In dB:

$$L_p(dB) = 20\log(\lambda) - 20\log(4\pi) - 20\log(d) \quad (7)$$

Let erop de λ en de afstand d in dezelfde eenheden te zetten!

Het makkelijkst is het om de berekening met behulp van dB's te doen en voor alle stappen de dB-waarde te noteren. Voor het signaalvermogen krijgen we dan achtereenvolgens te maken met (verliezen of verzwakking tellen negatief):

1. **Zendvermogen** - Het aantal dB's dat het zendvermogen groter is dan 1 Watt, telt positief. (Voorbeeld 20 Watt = +13 dBW)
2. **Kabelverlies zender** - Aantal meters x verlies in dB/m, telt negatief. (Voorbeeld 15 m H100-kabel op 70 cm à 0,089 dB/m = - 15 x 0,089 = -1,3dB)
3. **Antennewinst Tx** - Opgegeven zendantennewinst in dB t.o.v. isotrope straler (dBi), telt positief. (Voorbeeld 21 elements Yagi voor 70 cm band met 20 dB t.o.v. dipool = + 20 + 2,2 = +22,2 dBi)
4. **Verlies over propagatiepad** - Formule voor L_p (Voorbeeld 30 km afstand tussen twee antennes 70 cm band zonder tussen gelegen obstakels $L_p = 20\log(0,70) - 20\log(4\pi) - 20\log(30000) = -113$ dB.
5. **Antennewinst Rx** - Opgegeven antennewinst in dB t.o.v. isotrope straler (dBi), telt positief. (Voorbeeld zelfde 21 elements yagi +22,2 dBi)
6. **Kabelverliezen ontvangst** - Op dezelfde wijze te berekenen als bij zender, telt negatief. (voorbeeld: 10 m kabel RG58C 48,3 dB per 100 m op 70 cm , dus 10 x 0,48 = -4,8 dB)

Soms worden de verliezen in de connectoren van de antennekabels apart meegenomen, maar hier verwaarlozen we die of we tellen ze bij de kabelverliezen op. Als we nu alle plussen en minnen bij elkaar tellen krijgen we het aantal

dB dat het signaal aan de ontvanger is t.o.v 1 Watt. Van het voorbeeld wordt dat:

$$+13 - 1,3 + 22,2 - 113 + 22,2 - 4,8 = -62dBW(\text{afgerond}) \quad (8)$$

Deze *linkbudget berekening* heet de **Friis vergelijking** naar de opsteller ervan en geldt dus voor propagatie in de vrije ruimte. Je kunt er dus het signaalvermogen mee berekenen dat bij een bepaalde radioverbinding aan de antenneklemmen van de ontvanger wordt afgeleverd. Het is de basis om de kwaliteit van die verbinding te kunnen voorspellen.

Is een QSO mogelijk?

Soms is die beoordeling recht toe recht aan, n.l. als de fabrikant van de ontvanger het minimale benodigde signaalvermogen specificeert. Veel fabrikanten van WIFI-kaarten (draadloos ethernet voor computers) doen dat op die manier (soms in dBm i.p.v. dBW, dBm = dBW + 30, dBm is t.o.v. 1 milliWatt). Is het op de boven beschreven manier berekende vermogen groter dan is de verbinding gegarandeerd. Het verschil is dan de **marge** waarmee het signaal door allerlei oorzaken nog kan inzakken zonder dat de verbinding verloren gaat.

In andere gevallen wordt meestal de gevoeligheid in μV van de ontvanger gegeven. Dat is de spanning die aan de antenneklemmen een SNR van 10 dB geeft. Daarmee is het minimaal vereiste signaalvermogen als volgt te berekenen. Die opgegeven microvolts staan over de ingangsimpedantie van 50 Ohm van de ontvanger. Het signaalvermogen dat daarbij hoort is dus U^2/R Watt. Gaat het berekende ontvangen vermogen daarboven uit dan moet een QSO in de modulatiesoort waarbij die gevoeligheid is opgegeven kunnen lukken. Het eigen ruisvermogen van de ontvanger is dus 10 dB lager vanwege de 10 dB SNR.

Een voorbeeld: de specificaties van een 70 cm ontvanger geven een gevoeligheid van $0,16 \mu V$. Het signaalvermogen voor 10 dB SNR is dus $(0,16 \times 10^{-6})^2 / 50 = 5 \times 10^{-16}$ Watt = -153 dBW. Het 10 dB kleinere ruissignaal is dan dus -163 dBW.

Tenslotte wordt soms in de ontvangerspecificaties de **ruisfactor (F)** genoemd. Het eigen ruisvermogen van de ontvanger is dan te berekenen met de formule:

$$P_{ruis} = 4 * 10^{-21} * F * B(\text{Watt}) \quad (9)$$

Hierin is F de opgegeven ruisfactor en B de bandbreedte in Herz. Soms wordt in plaats van de **ruisfactor** het **ruisgetal** gegeven. Dit is de ruisfactor uitgedrukt in dB, symbool **NF** (Eng Noise Figure), dus $NF = \log(F)$.

Stel dat we een 2 meter ontvanger hebben met een ruisfactor van 2 en dat we werken met SSB met een bandbreedte van 2800 Hz, dan wordt P_{ruis}

$$P_{ruis} = 4 * 10^{-21} * 2 * 2800 = 2,2 * 10^{-17} (Watt) \quad (10)$$

In dBW (t.o.v. 1 Watt) is dat $10 * \log(2,2 * 10^{-17}) = -166$ dBW. Om een redelijke ontvangst te hebben is een SNR van 10 dB nodig. Het ontvangen signaalvermogen moet dan dus de -156 dBW te boven gaan.

Voor het ontvangen van digitale modulatiesoorten als PSK, PACTOR, AMTOR, etc., zijn meestal wel getallen te vinden voor de minimaal vereiste SNR. Dan berekenen we de voorspelling van de SNR aan de antenneklemmen van de ontvanger door het berekende signaalvermogen aan de ontvangstantenne te verminderen met het eigen ruisvermogen van de ontvanger.

$$SNR(db) = P_{rx}(dBW) - P_{ruis}(dBW) \quad (11)$$

Komt hieruit een getal dat groter is dan de minimaal vereiste SNR voor de modulatiesoort dan moet een QSO dus weer lukken.

Let op! Het met de Frijs-formule berekende signaalvermogen aan de ontvangtskant geldt uitsluitend voor propagatie in de **vrije ruimte**. In de praktijk zal dat vrijwel nooit haalbaar zijn in verband met allerlei obstakels tussen zend- en ontvangstantenne. Daarvoor zijn empirische modellen (= proefondervindelijk vastgesteld) beschikbaar. Deze zijn geen examenstof. Voor geïnteresseerden: bijvoorbeeld het Hata en Okumura model. Voor de situatie waarbij de antennes redelijk dicht bij het aardoppervlak staan kan voor de verliezen L_p over het propagatiepad beter de formule

$$L_p = \frac{h_1^2 h_2^2}{d^4} \quad (12)$$

worden gebruikt. In dB wordt dat:

$$L_p(dB) = 20 \log(h_1) + 20 \log(h_2) - 40 \log(d) \quad (13)$$

Let er op h_1 , h_2 en d in dezelfde eenheid te zetten.