

# Kunsten å teste en "G-Line"

Av Jan Henning Holmedal Lustrup - LA3EQ

Stavanger november 2007 V9.0

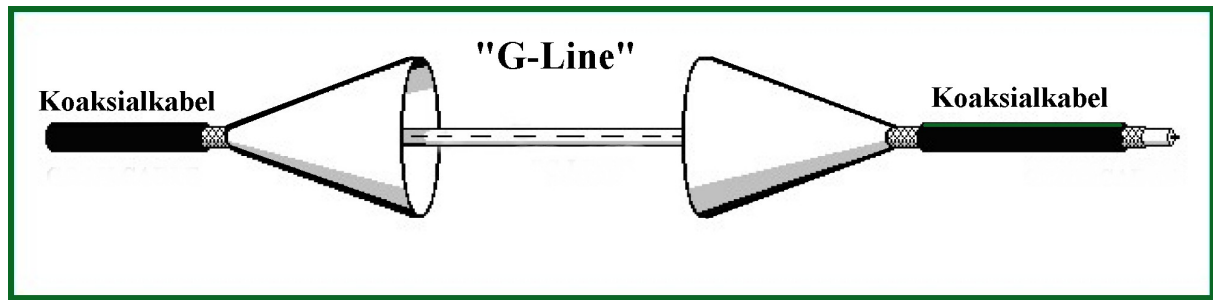


Fig 0 G-Line eller Goubau Line. Patentert av G.J.E.Goubau 27 juli 1954.

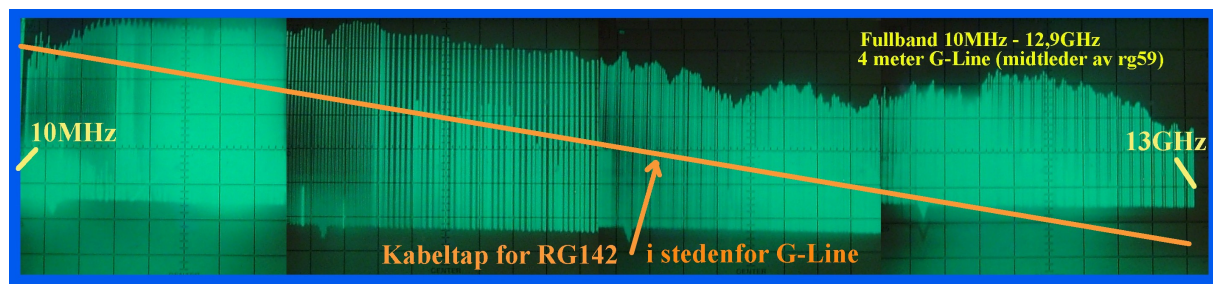


Fig 1 Full spektrums analyse av G-Line. Sveipet fra 10MHz til 13GHz.

## Innledning:

G-Line består av en koaksialkabel som går til en sender horn (Launcher), en lang uskjermet enkel leder med en dielektrisk kappe og en ny mottaker horn (collector) som samler signalene og føder disse til et nytt stykke koaksialkabel. RF signalet inne i koaksialkabelen består av både (Elektrostatisk) E-felt og et (Magnetisk)H-felt. Herr Goubau regnet seg frem til at dersom man brukte en korrekt Launcher ville E-feltet forsvinne nesten helt vekk og vi ville sitte igjen med bare H-feltet. H-feltet alene kan ikke stråle vekk, og følgelig vil den holde seg til lederen. Denne lederen må ha litt dielektrikum rundt seg. Tynne ledninger trenger tykke dielektrikum, mens tykke ledere kan klare seg med svært tynne lag.

Nikolai Tesla sa i 1901:

"Some ten years ago, I recognized the fact that to convey electric currents to a distance it was not at all necessary to employ a return wire, but that any amount of energy might be transmitted by using a single wire. I illustrated this principle by numerous experiments, which, at that time, excited considerable attention among scientific men." <sup>[2]</sup>

Våren 1891 demonstrerte han forskjellige maskiner *for the American Institute of Electrical Engineers at Columbia College, og fikk patent på sitt "En leder transmisjonssystem" i 1897. [U.S. Patent 0,593,138](#)*

Så ble saken glemt noen ti år, men gjenopplaget av George J. E. Goubau i 1954.

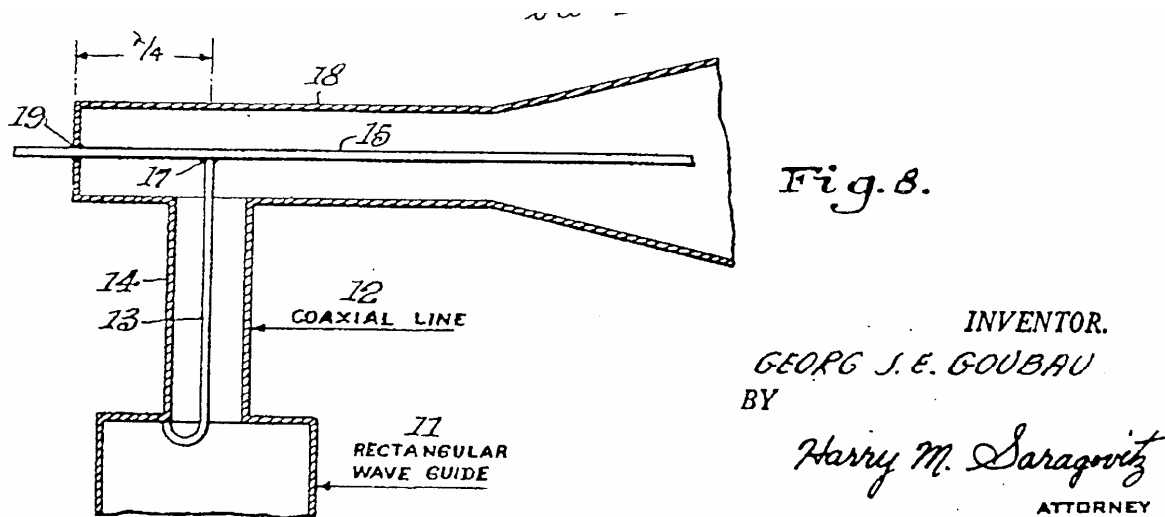


Fig 2 Konstruksjon tegning #8 fra patent dokumentet.

G-Line er oppfunnet av George J. E. Goubau 27 juli 1954 i New Jersey, USA. Han kaller den for *Surface Wave Transmission Line*. Patentet bli registrert 21 mars 1950 med patent #2.685.068 hos United States Patent Office.

Goubau påstår følgende kabeltap på sin G-Line ved 40 meter (120 fot) lengder:

**Ved 1,6GHz er det 2,2dB tap**  
**Ved 3,3GHz er det 2,3dB tap**  
**Ved 4,7GHz er det 4,5dB tap**

Dette skulle gi en slik tapskurve for G-line vs Koaksialkabel av god kvalitet (RG-6) ifølge Goubau:

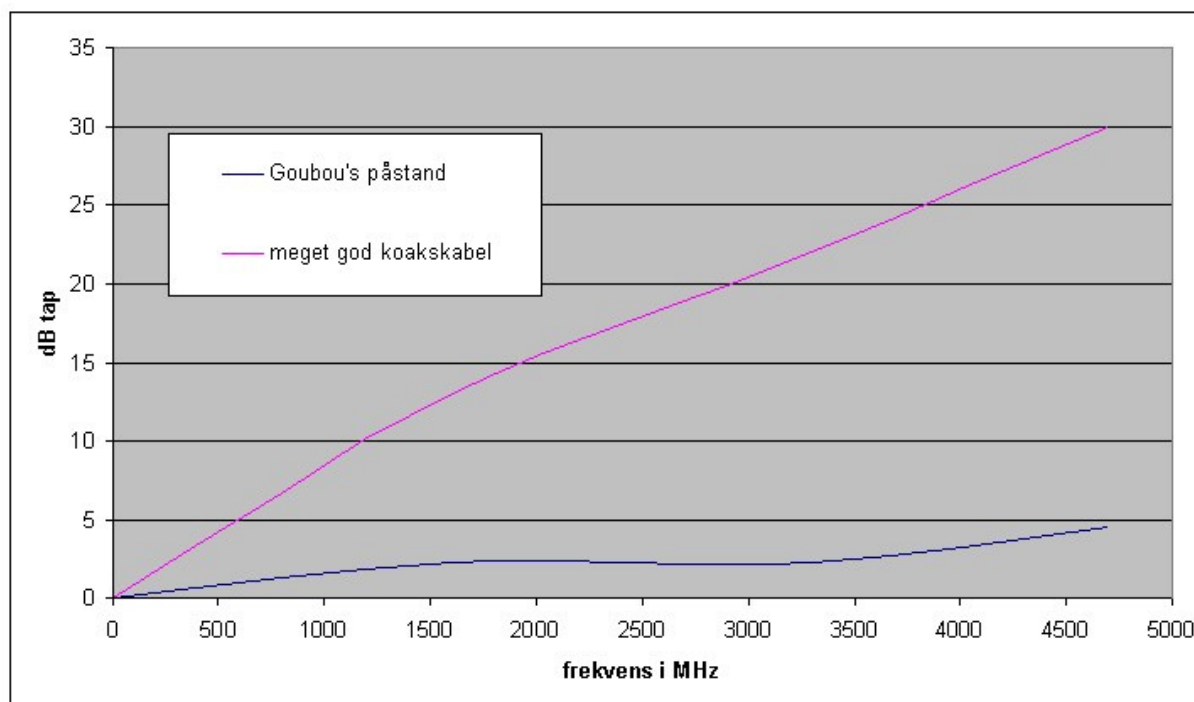


Fig 3 Goubau sine resultater i 1954 og mitt mål i dette eksperimentet..

## Bakgrunn:

Vi er alle på jakt etter å sende ut i eteren hver minste watt vi kan, eller motta hver brøkdel av en mikroVolt som mulig. Spesielt når en tenker på UHF/SHF hvor kabeltap er veldig høy. I den evige jakten etter transmisjonskabel med minst mulig tap husket jeg plutselig på noe jeg leste i QST for mange, mange år siden, en gang i 1970 årene<sup>(3)</sup>. Det var en "mystisk en leder transmisjonskabel" for UHF som hadde utrolig lite tap. Den ble solgt som "UHF Television Cable Set" i mange fjernsynsbutikker der borte. Det var en lang enkel antenneråd, en hel del plast isolatorer og et par "trakt" liggende enheter i hver ende som kaltes hvis nok for en "Launcher" og "Collector". Disse vil kunne gradvis hjelpe RF signalene gradvis til å gå i en enkel leder uten skjerm, pluss at de virker nok noe som en impedans tilpasnings transformator.

Jeg tenkte å gjenskape denne "fantastiske" G-Line for å se om hvordan den egentlig virker. Det ryktes jo om at den hadde nesten ingen tap. For godt til å være sant? Det lyktes meg omsider å finne selve patentpapirene<sup>(4)</sup>, og QST artikkelen<sup>(3)</sup>, men først etter jeg var ferdig med forsøkene selv.

Herr Nikola Tesla var faktisk også inne på noe lignende for nesten hundre år siden<sup>(1)</sup>.

Men hva med G-Line? Holder den det herr Goubau lover? Nå gjenstår det bare å anskaffe egne empiriske data selv, ved forsøk og se selv om dette virker.

Jeg bestemte meg for å lage en 4 meter lang G-Line og prøve to forskjellige størrelser Launcher og tre typer ledninger. Alle målinger skulle forgå innendørs, tvers gjennom stuen, så derfor hadde jeg kun noe over 4 meter å gå på i lengden (don't try this at home if you'r married!). Det totale signaltap vil jo vær noe høy i forhold til denne korte lengden, grunnet koaksialplugg/overgangs tap, men dette må en ta høyde for når en evaluerer system presentasjonen. I alle grafer og tabeller har jeg konsekvent brukt selvmålte kabeltaps verdier og ikke teoretiske verdier, da de tabellene ikke gjenspeiler virkelighetens uperfekte verden, og ei heller inkludere tap pga plugger, overganger osv.

## Taps teori:

Den beste UHF/SHF lederne er ifølge "Microwave101.com"<sup>(5)</sup>:

- 1) **Bølgeleder (waveguide)**, veldig lite tap, men kostbart, tung, og tidskrevende å kople opp.
- 2) **Koaksialkabel**, rimelig og anvendelig, med mye tap høy i frekvens. 10dB mer tap enn bølgeleder.
- 3) **PCB stripline**. Meget anvendelig men ekstremt mye tap over noen centimeters lengder. Minst 10dB mer tap enn koaksialkabel.

Koaksialkabel tap finnes i fire utgaver.

- 1) Motstandtap
- 2) Dielektrisk tap
- 3) Strålingslekasjetap
- 4) Tids forvitringstap

**Motstands tap** kommer av Ohmsk tap i plugger og kabel som strømmen møter under transmisjonen. Vi får omsatt dette tapet til varme (husk energi kan ikke bare forsvinne, men blir alltid omdannet til noe annet). Selve tverrsnittet som danner tap er begrenset til "Skin effekten"<sup>(4)</sup> og derved avhengig av frekvensen.

*Skinn effekt: RF strømmens tendens til å ville flyte ytterst på utsiden i en leder. Jo lavere frekvens jo lengre ned i selve lederen vil RF strømmen gå, og derved mer metall som elektronene kan lettere bevege seg i. Det er nettopp skinn effekten som gjør at ledninger og kabler har høyere tap jo høyere i frekvens vi går. (Skinn effekten ble oppdaget og først beskrevet av Horace Lamb i 1883. Dens innvirkning er sterkt avhengig av vekselstrøm (RF) frekvensen og omkretsen av en lederen, da største delen av strømmen langs utsiden av lederen).*

Ved stigende frekvens vil "Skin effekten" bli mer og mer dominerende. Det viser seg at motstandtap øker med kvadratet av frekvensen. Ytreskjermen i koaksialkabel bruken flerkordelt flettet ledere for å øke det samlede tverrsnittet og dermed minske tapet i kabelen.

**Dielektrisk tap** kommer av oppvarming pga. vekselvirkning mellom RF og isolasjonsstoffet i det midtre isolasjonen (dielektrikum), og dermed blir en del av energien omdannet til varme i kabelen. Dette tapet er uavhengig av kabel diameteren, men øker lineært med frekvensen og vil bli dominerende på de høyeste frekvenser. Prøv å sende med 100Watt på 14MHz i en tynn RG58/u. Så prøv den samme kabelen med samme effekten 1296MHz. Du vil bli overrasket over hvor mye varmere kabelen blir.

**Strålingslekasje tap** er den minste av tapene. Men dette avhenger av hvor tett skjermen holder. Billige kabler har oftest dårlig flette tetthet i skjermen og her kan lekkasjene blir høye. Bruk alltid høy kvalitetskabel på VHF/UHF/SHF. I tillegg til tap av sender effekt vil du kunne oppleve forstyrrelser kommer innpå kabelen din utenifra! Igjen, dette er mer fremtredene jo høyere i frekvens du går.

**Tidsforvitringstap** er når tiden går vil flere ting kunne skje. Vann kan trekke inn i kabelen, kobber ledere kan irre. Fortinnet kobbertråd holder bedre enn ren kobber over tid, men fortinningen gjør at en har noe større tap i utgangs punktet enn ren kobber! Polyethene vil kunne trekke til seg mye vann over tid. Bruk spesielle koaksialkabler hvis den skal være utendørs. Ved montering så ikke lag en kraftig bøy, men heller en bøy med STOR radius, dette for å beskytte skjermen og midtisolasjonen fra å endre karakter og form. For korte radius kan resultere i flere dB tap på 1 GHz og høyere.

G-Line tap kommer ved irr eller annen kosisjon på ledere, vann på ledere, kappe bøyer, metallisk strukturer ned ved og avvik fra en rett linje. Det finnes mye interessante teoretisk stoff på <http://www.microwave101.com> <sup>(2)</sup>. Ifølge forfatterne så er en bølgeleder best. Koaksialkabel har 10 ganger mer tap enn en bølgeleder, og kretskort stripline 10 ganger mer enn en koaksialkabel.

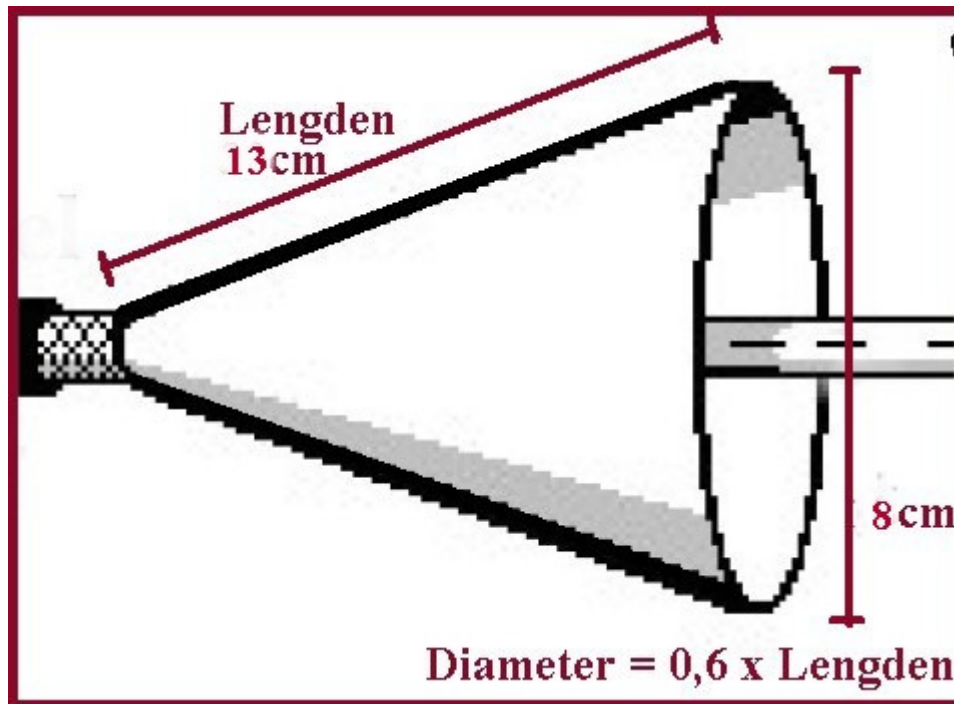


Fig 4 Størrelsen på hornene med 130mm sider.

## Bygging av G-Line "Launcher"

Jeg begynte med litt kobberplater som skar til en koneformete horn med en SMA hun piggtale plugg i den spisse enden. Buen er på 120° og side lengdene var 10cm.

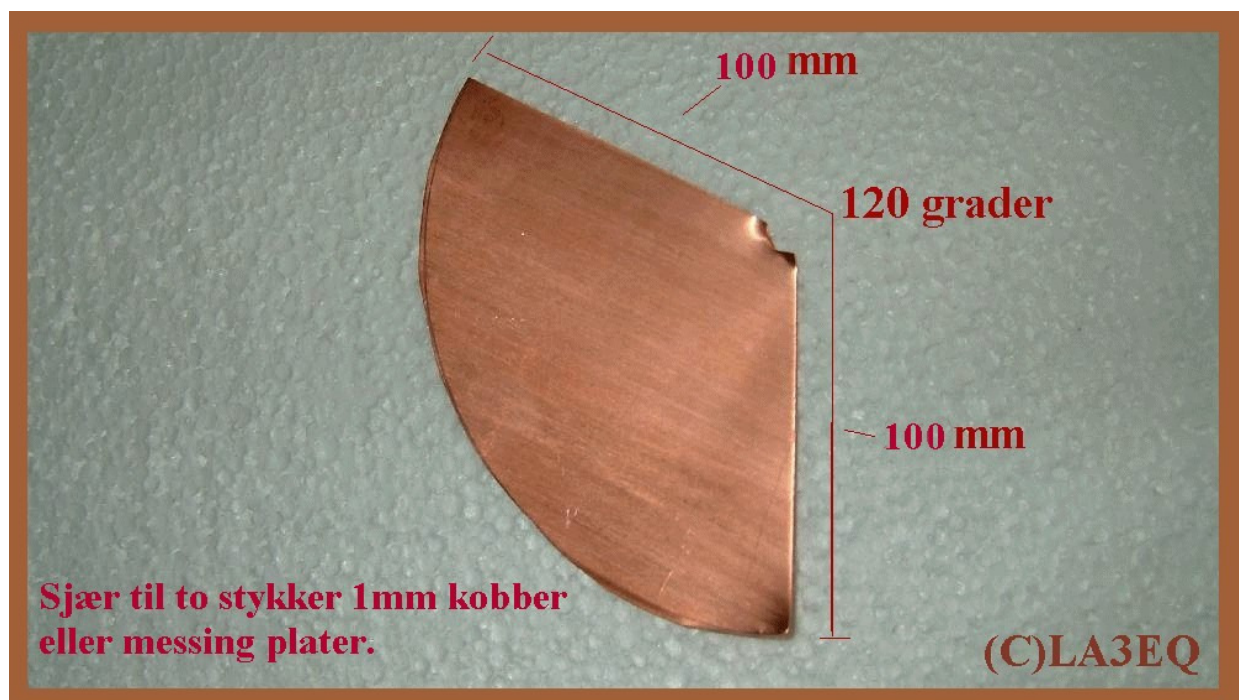


Fig 5 Klipp ut av kobber/messing plate med saks. (Her med kun 100mm sider, mens 130mm hadde vært bedre).



Fig 6 Ferdig loddet Launcher med SMA koaksialplugg. (eller N-plugg om du vil)

Form til litt kobber i en kjegleform (diameter 0,6 av sidelengden og 120 graders vinkel).....lodd så fast en SMA koaksialplugg (eller N-plugg), men unngå BNC på frekvenser over 1GHz, da de gir fort dårlig kontakt.....lodd på en kort bar uisolert ledning til senter av koaksialpluggen og vips,..så har man en "Launcher (sender horn) / Collector (mottaker horn)" også kalt for en G-Line/koaksialkabel overgang.....unngå å få loddetinn på innsiden av launcheren, da dette vil gi signal tap på de høye frekvenser. Åpningen må være minst  $\frac{1}{2}$  bølgelengde i diameter. Dette blir en bredbånds enhet og SWR blir høy. Hvis dette skal brukes på bare et amatørband kan du lag en avstemnings flipper på innsiden nær senter av koaksialpluggen.

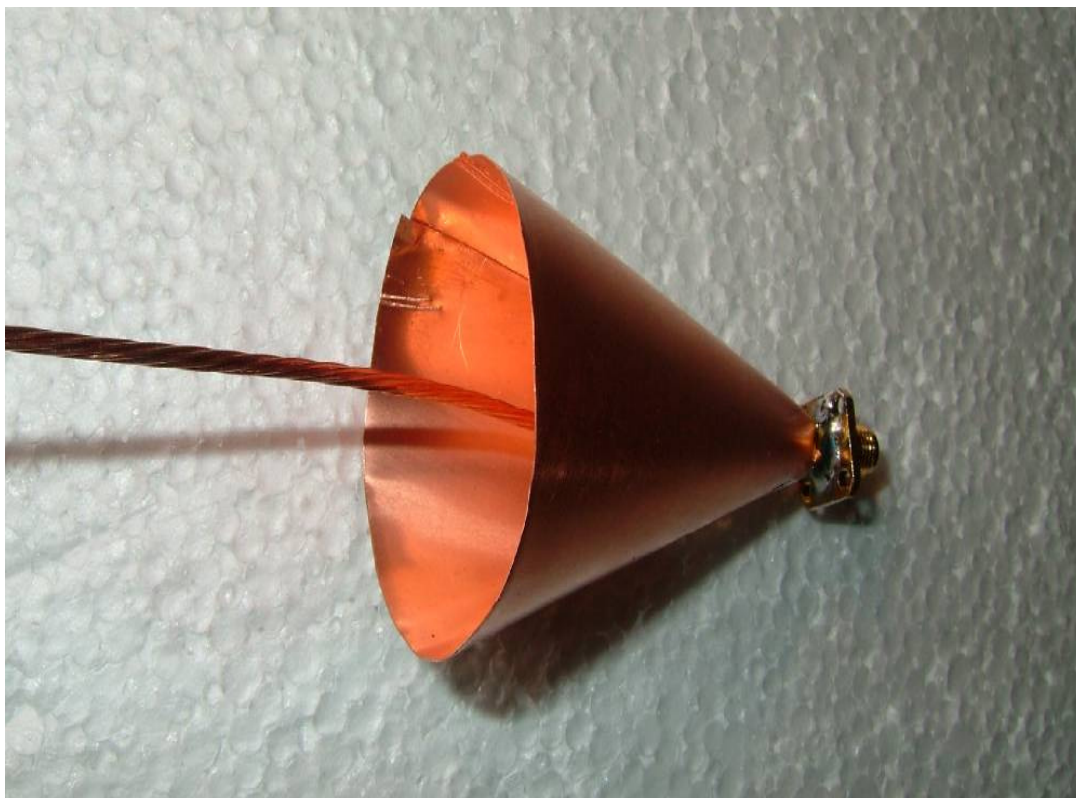


Fig 7 Lodd så på ledningen på koakspluggens midtleder.

De viste seg at effektiviteten var heller dårlig under 23cm båndet i 100mm versjonen, så jeg forlenget størrelsen på konens lengde til 130mm med pizza papp og pålimt kjøkken aluminium (se fig 8).

Sett så på den aluminiums kledde papp forlengelsen og da er de klar til bruk. (Pappeske av Grandiosa med Pepperoni, Full pakke, Kjøtt & løk, pålimt med kjøkken aluminium, virker like godt). Lag den så stor at du ender opp med ca. 7-8 cm diameter i åpningen. Du må gjerne prøve med større horn og se hvor langt ned i frekvens du kommer.





Fig 8 Grandiose pappeske med pålimt aluminiumsfolie.  
Disse kan klippes i to, og festes rundt kobber launcheren/kollektoren med tape.

Pass på aluminiums siden får god kontakt med Launcheren/kollektoren. Det er enda bedre å lage hele launcheren/kollektor av et helt stykke kobber/messing. Jeg har ikke brukt noen form for tilpasning til 50Ω koaksialkabelen inn/ut da jeg skal test over et ekstremt stort frekvens område (100MHz-18GHz). Pass også på at G-Linen er i senter av hornet.



Fig 9. Ferdig forlenget sende horn (Launcher).

## Valg av diverse typer transmisjons ledning.

Jeg valgte tre typer ledning, hver på 4 meters lengde.

- 1) Vanlig 3,5mm flerkordelt høyttaler ledning fra biltema.
- 2) Antenneledning for HF av ren kobber og flerkordelt. Ca. 3mm diameter.
- 3) midtlederen av RG 59 kabel (med polyethene dielektrisk isolasjonen).

Grunnet valget er rett og slett tilgjengeligheten av disse da det var noe jeg hadde liggende. Innerlederen til RG59/u måtte jeg slisse opp hele kableen og fjerne det ytre plast kappen og den flettete skjermen.

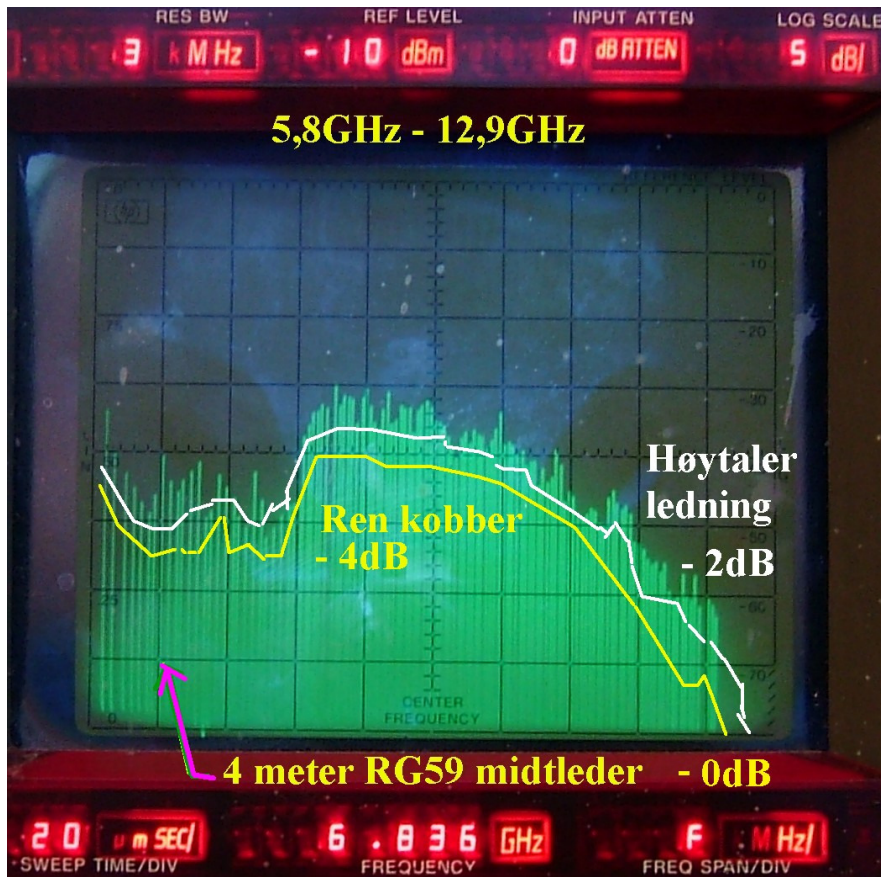


Fig 10. Et sweep fra 5,8GHz til 12,9GHz. Her ser du forskjellen på tre typer ledninger. (den grønne kurven uten tekst er koaksialkabel midtleder).

Ren kobber ledning gav 4 dB mer tap enn bruk av enda tynner flerkordelt kobber tråd, men best var en midtleder omsluttet av en polyethenekappe fra en 4 meters lengde 75Ω RG59/u kabel. Til og med vanlig billig høytaler ledning med plastkappe var bedre enn ren kobber. Høytaler kabelen resulterte i bare 2dB tap. Så det viste seg straks at isolasjon er viktig på ledningen.

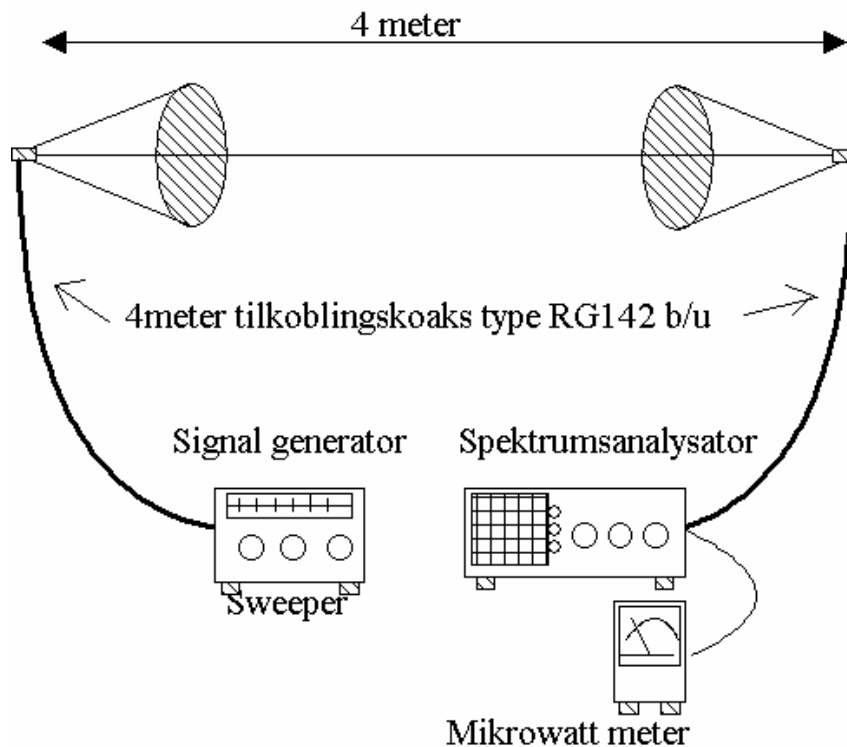


Fig11. Test oppsett 1.

## ***Testoppsett 1:***

I fig 12 ser du virkningen av tap i G-line og tilførselskabler i området 10MHz og til 3,6 GHz. Det sterke styrke fallet av signalet ytterste mot høyre på skjermen skyldes hovedsakelig tilførselskabel tap og ikke G-Line tap! Jeg brukte to fire meters lengder med RG142 tynn koaksialkabel for tilkobling i hver ende av G-Linen (test oppsett nr 1). Disse tynne kabler har mye tap jo høyere en går opp i frekvens, og vil gi en uriktig fremstilling av G-Line sin taps kurve.

Resultatet kan en se i fig 12. Tapet var så stor av en kunne ikke se eller måle noen særlig signal over 5GHz og opp til 22GHz. En ser også ståendebølger (SWR svingninger) på linjen grunnet mistilpassning. Da signal nivået sank altfor fort pga tap i de tynne tilførselskablene, så målingene ble misvisende. Noe måtte gjøres.

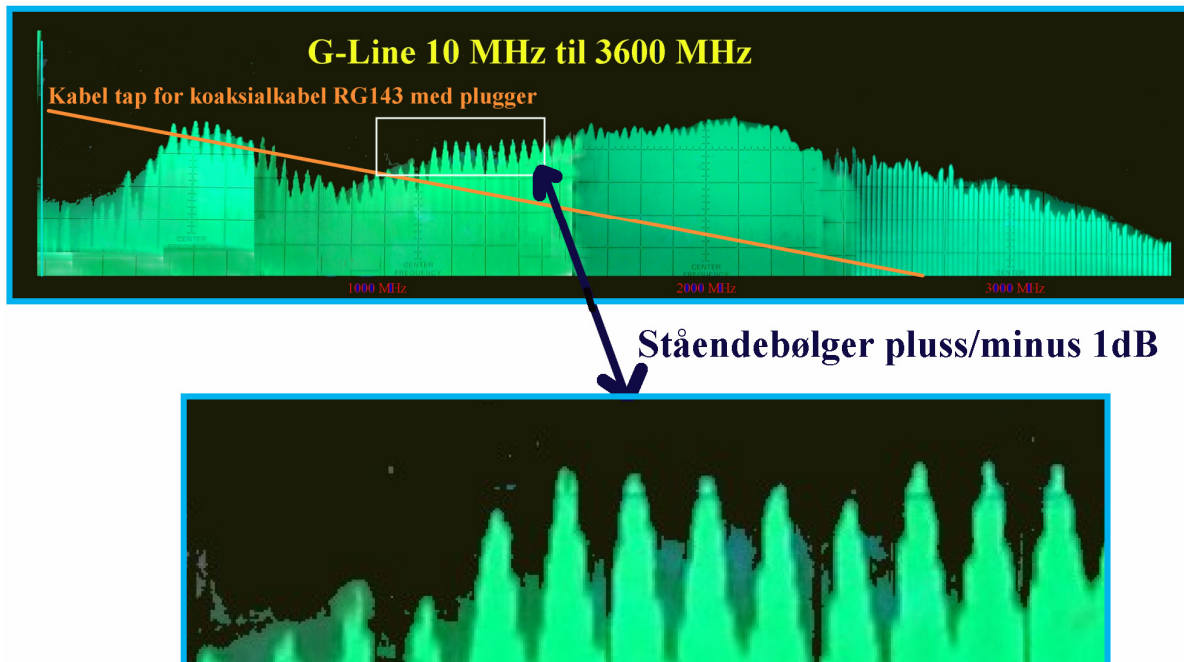


Fig 12 Ukompensert signal ut av en G-Line. Tilførselsledningstap gjør at signalet synker nedover til høyre

## Testoppsett 2:

I fig 13 nedenfor ser du hvordan jeg nå hadde eliminert tilkoblingskabelene. Begge hornene ble direkte tilkoblet til måleutstyr og signal generator.

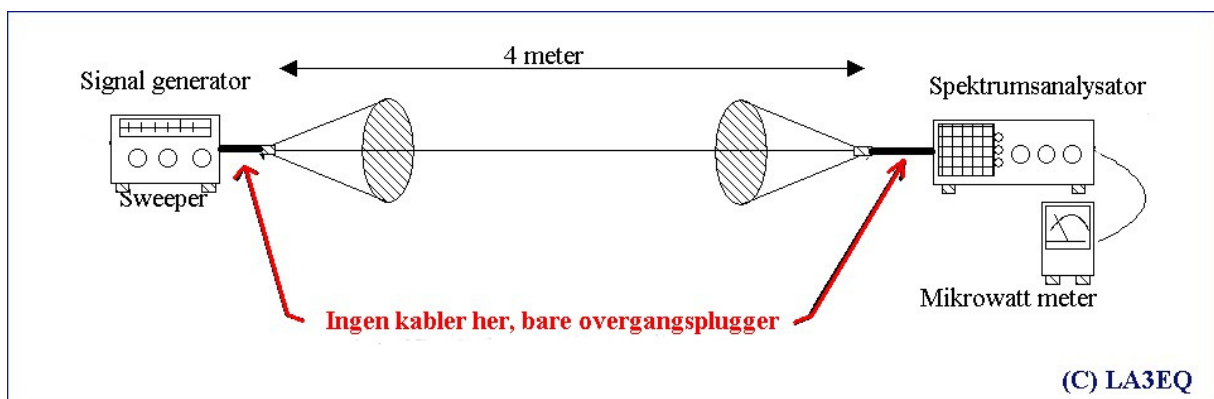


Fig 13 Test oppsett 2, Nå er det ingen tilkoblings kabler, bare koaksial overganger.

I tillegg til signaltap i ledning grunnet valg av dielektrikum, kommer et nytt fenomen. Det viser seg at selv små unøyaktigheter og bøyger på ledningsstrekket vil resultere i stor tap. Dersom man ikke har en dielektrisk kappe rundt midtlederen, vil mye av signalet vil ikke

følge lederen lengre, men vil forsvinne. Dielektrikum gjør at RF bølgen "faller" fremover grunnet fasehastighets senkning, og vi får RF'en til å holde seg til kabelen, og bevege seg langs med lederen fremover og ikke stråler ut 90 grader og forsvinne. En for kraftig bue på ledningen, så vil signalet ikke klare å holde seg fast på lederen. Når den treffer den kappe buen forsetter RF'en rett fremover og ut i løse luften! De dielektriske egenskapene i kappen gjør at signalet kobler seg til lederen også rundt svake bøyer eller svinger. Lederen trenger heller ikke være vannrett eller loddrett, ei heller være parallell til omgivelsene på samme måte som 300Ω twinline/stigefeederen. Det en må huske på er at en ikke kommer nærmere enn 3-4 cm av lederen. Setter du fingeren en cm fra lederen, så faller signalet straks med 10dB. Jeg målte fra 10 MHz rett til 18GHz i steg på 100MHz. Dette ble 190 målinger! Så 190 målinger med RG142 Koaksialkabel og til slutt 190 målinger G-Line. Litt av en jobb. For å dekke dette spekteret måtte jeg benytte meg av tre forskjellige signal generatorer.

All data ble lagt inn på Excel og jeg kunne for første gang korrigert for signal utgangsvariasjoner med en feil kurve som jeg brukte til å trekke ifra verdiene jeg målte på G-Line og referanse koaksen. Grunnet stående bølger måtte frekvensen stilles inn pluss minus 10kHz da signalnivået kunne variere opptil 10 dB på noen hundre kHz. Til frekvensmåling/kontroll brukte jeg en mikrobølge frekvenstelleren EPI 545 som går til 18GHz med en 0,5 Hertz oppløsning. For å måle resultat energien brukte jeg en HP 432 powermeter med 18GHz hoder. Ved målinger under -20dBm driver instrumentet en del, så nullstilling av den måtte foretaes ved hver avlesning med bærebølgen avslutt. Jobben tok flere dager å gjennomføre. Kontroll målinger av mikrobølge generatorens YIG oscillator utnivå viste en del variasjon i løpet av disse dager på et par dB i noen frekvens områder. Så selv om powermeteren måler med 0,1 dB nøyaktighet så vil data resultatet ikke være mer en +- 1 dB nøyaktig likevel. Men dette er nok til å danne seg et inntrykk av G-Line.

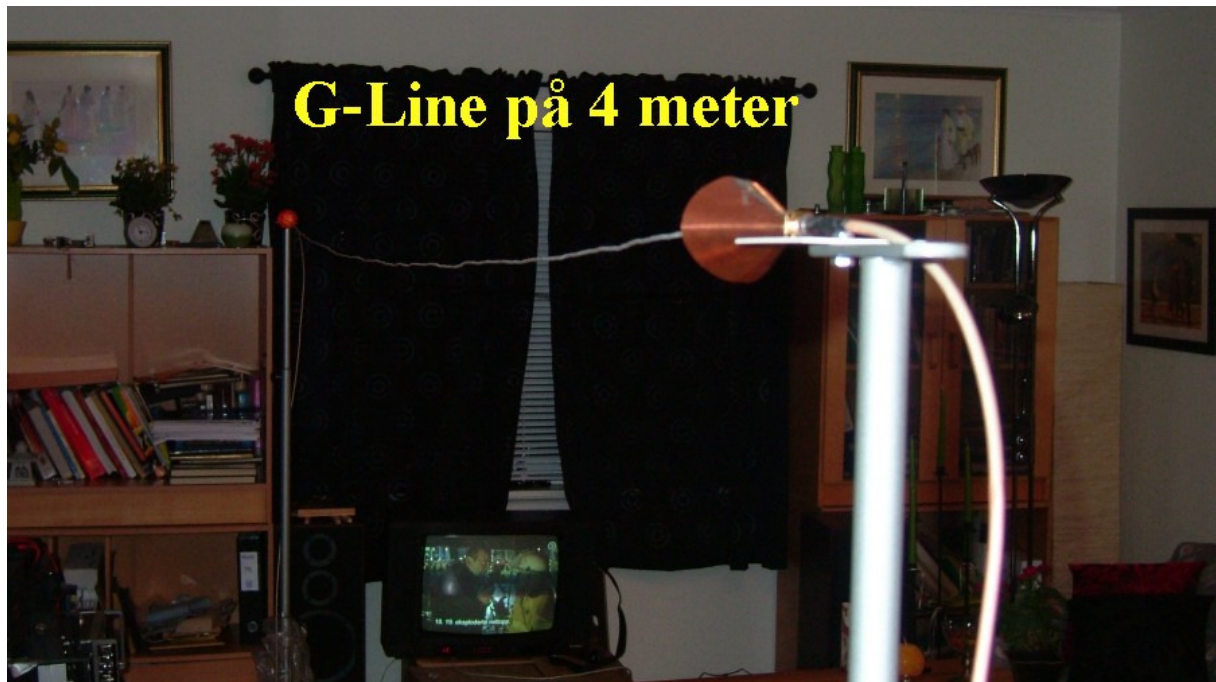


Fig 14. Innendørs oppsettet på fire meters lengde.

Resultat??? Vel.. ikke særlig oppløftene. Med flerkordelt 2mm kobber ledning målte jeg 6dB tap på 4 meters lengde + 2dB tap i begge coax G-line overganger til sammen. Tynnere ledning med plast kappe resulterte i nesten 10 dB tap. Setter man fingeren nærmere enn 3cm fra ledningen får man straks 3-4 dB mer tap. Rører man selve ledningen, forsvinner hele signalet. Ledningen må være helt rett, mer enn noen få cm med sig i midten av stekket, så taper man fort 3 til 10 dB. En liten krøll på ledningen, da har man straks 2,5dB tap (som under). Hvordan din hånd vil virke inn på signaltap dersom den nesten berører ledningen kan du se på Youtube <sup>(8)</sup>. Signalet faller noen dB allerede ved 4 cm avstand og forsvinner helt ved direkte berøring.

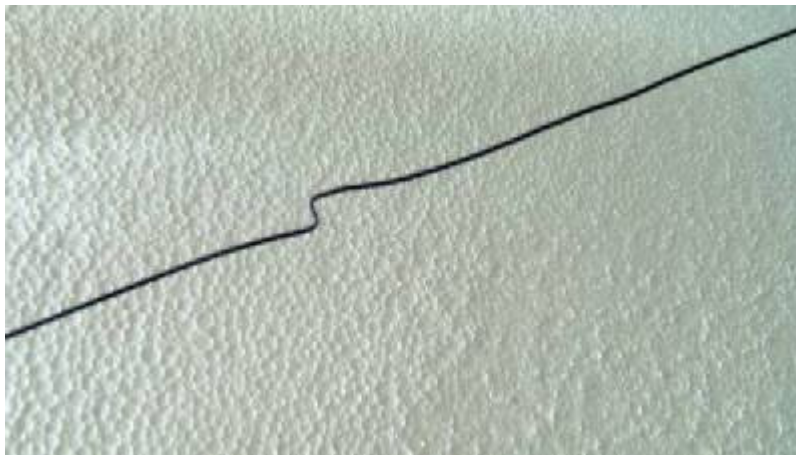


Fig 15. Denne lille bøyen i ”ren kobber” resulterte i >2,5dB tap@10GHz

### *Test oppsett 3:*

Uvisheten om hvor mye tap skyldes horene enhetene gjorde at jeg valgte å gjøre enda en test, Denne gang med 18 meter lang G-Line utendørs (se fig 17). Så ville jeg sammenligne total tapet på 4 m med den på 18 m. Ved å trekke totale tapet på 4 m fra 18 m strekket, ville jeg automatisk trekke fra begge horn tappene, og bare sitte igjen med ledningstapet på (18 m – 4 m) 14 meter. Dette tapet kunne jeg da deler på 14 og få da hvor mye tap jeg har pr meter. Ved å ta det totale tapet på 18 m og trekke fra det 18 m ledningstapet vill jeg har svar på hvor mye tap det er i begge hornene til sammen. Vel, alt ble koblet opp slik som fig 16, med lange felles tilførsel ledninger slik at jeg kunne sitte inne i huset og foreta målinger. Det viste seg i midlertid at felles kabeltapet ble for stor til målsignalet mitt på kun en milliwatt (0 dBm).

Øking til 10dBm hjalp lite da de høyeste frekvenser ikke viste seg på power meteren eller spektrumsanalysatoren, men druknet i bakgrunns støy. Altså hadde koaksialkabelen som jeg brukte en alt for høy taps faktor (RG58/u med krymp N-plugger). Jeg måtte gå over til test oppsett 4, hvor alt måle utstyr ble båret utendørs for å unngå tilkoblingskabler.

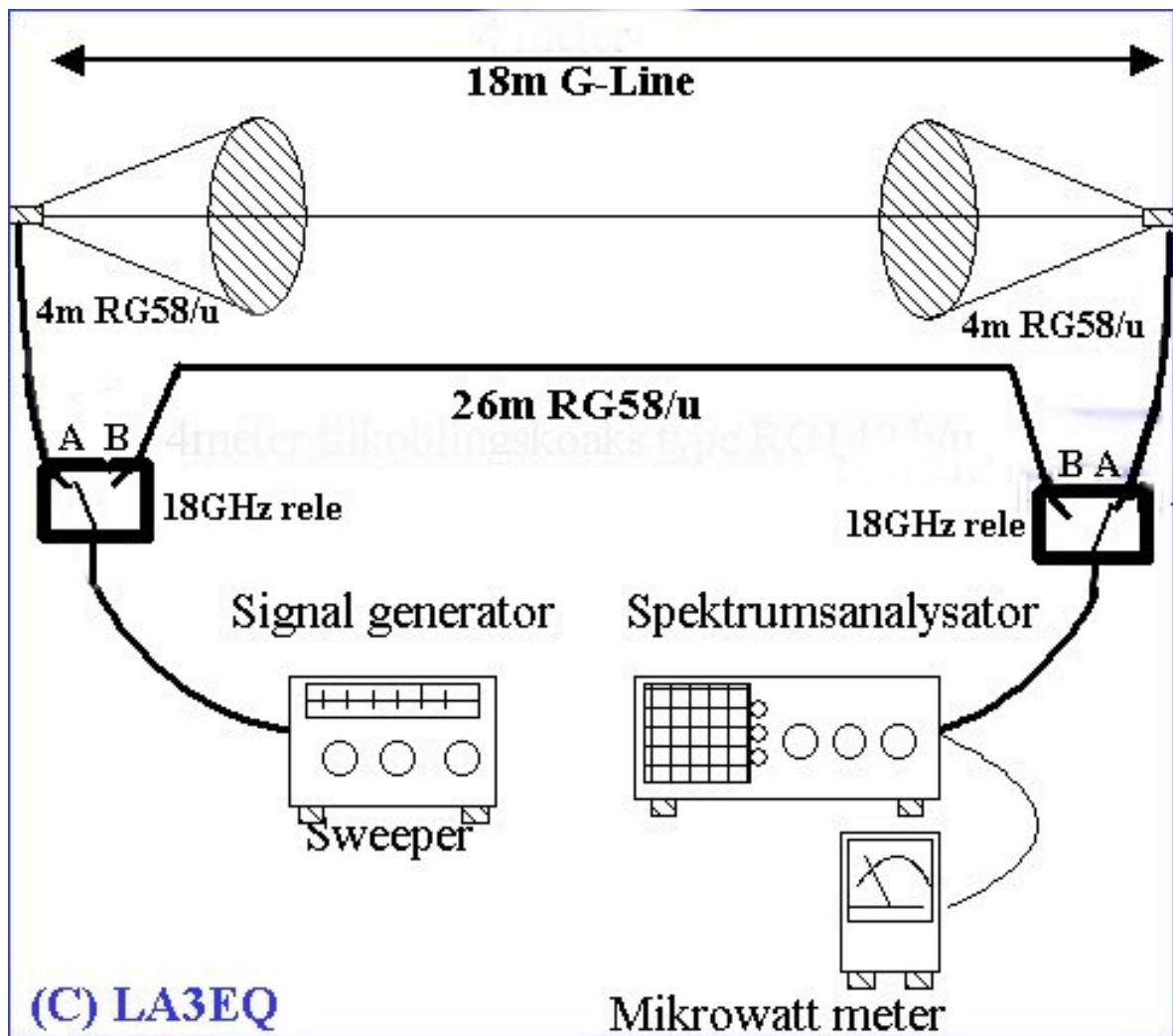


Fig 16 Test oppsett 3, nå med 18 meter ledning!





Fig 17. Test oppsett 3 i hagen min. Oppbyggen i midten av strekket hjalp ikke noe på tapet, den økte heller litt!

## Test oppsett 4

Hvordan finne tapet kun i plugger/horn?

Nå ble alle tilkoblings kabler fjernet og signal generatoren koblet direkte til sender hornet med en ut signal på 0dBm (1 milliwatt). Så ble en HP 432 power meter koblet direkte til mottaker hornet i andre enden da den har en lett lesbar skal kalibret i -dB under 0dBm.

Jeg tok målinger for hver 100MHz og noterte verdiene ned. For så å kunne fjerne tap i sender/mottaker hornene, samstilte jeg verdiene mellom 18 meter data med 4 meter data.

Felles for begge testene er jo tap i de samme sender/mottaker horn. Resten av tapet må da ligge i ledningen. Så nå kan vi regne oss frem til hvor mye er tap i ledning og hvor mye er tap i hver horn.

4 meter G-Line har en total tap på 3,5dB inklusiv sender/mottaker horn.  
Øker vi lengden fra 4 meter til 18 meter blir det totale tapet nå 4,3dB.

Vi sier da at ledningstapet er:

$$L1 - L2 = dB1 - dB2$$

Verdiene er:

$L1 = 18 \text{ m}$

$L2 = 4 \text{ m}$

$dB1 = 4,3\text{dB}$

$dB2 = 0,8\text{dB}$

Altså:  $18 \text{ m} - 4 \text{ m} = 4,3\text{dB} - 3,5\text{dB}$

Dermed blir tapet for lengde 14 m = 0,8dB

Økningen av 14 meter ledningen resulterte i et økt tap på 0,8dB

Tap pr meter kun for linjen uten hornene blir da  $0,8\text{dB} / 14\text{m} = 0,06\text{dB/m}$

For et strekk på 18 meter blir ledningstapet da  $18 \times 0,06 = \underline{1,08\text{dB}}$

Tapet på begge hornene ved 18 meters strekk blir  $4,3\text{dB} - 1,08\text{dB} = 3,22\text{dB}$  eller  $1,61\text{dB}$  pr horn.

Mrk 1. Dette er nokså store tap og kommer av at hornene ikke er avstemt til noen spesiell frekvens og selve hornene er skjøtet på lengden med overgangs tap i sjiktet mellom kobberplaten / kjøkken aluminium. I tillegg er hornene liten i størrelse.

Mrk 2 Disse målinger gjelder bare på 1296,1MHz og vil kunne variere alt etter frekvensen som er brukt..

Jeg målte Return Loss (VSWR). Den varierte mellom -6 og -12dB. Dette er ikke helt uvanlig på disse frekvenser og over slike stor frekvensområder. En kan modifisere horene for å bedre SWR'et, men da til ett spesifikk frekvens område. Jeg valgte ikke gjøre det til dette eksperimentet. En kan se på kurven nedenfor at G-Line begynner å "virke" ved ca 330MHz. Dette kommer av størrelsen på hornet. Jo større diameter, jo lengre ned i frekvens kan den virke.

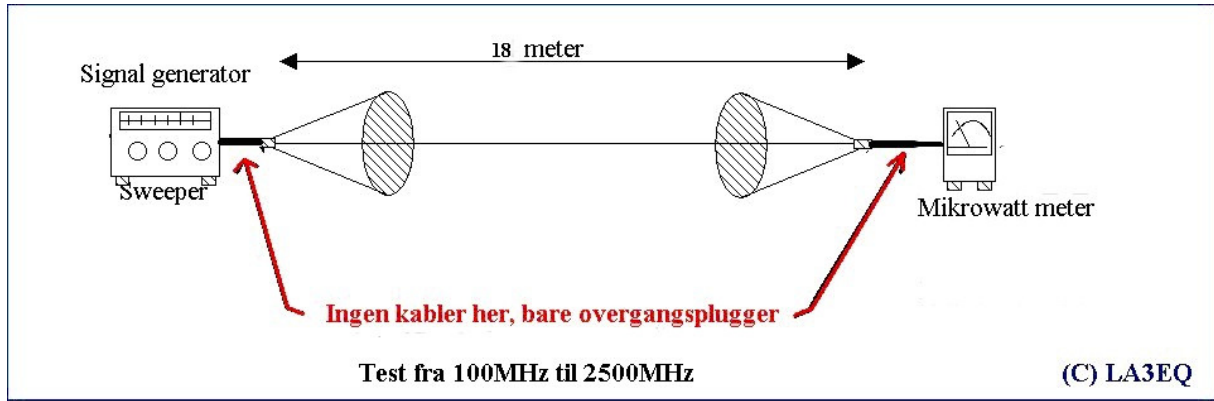


Fig 18. Utendørs 18m test oppsettet 4

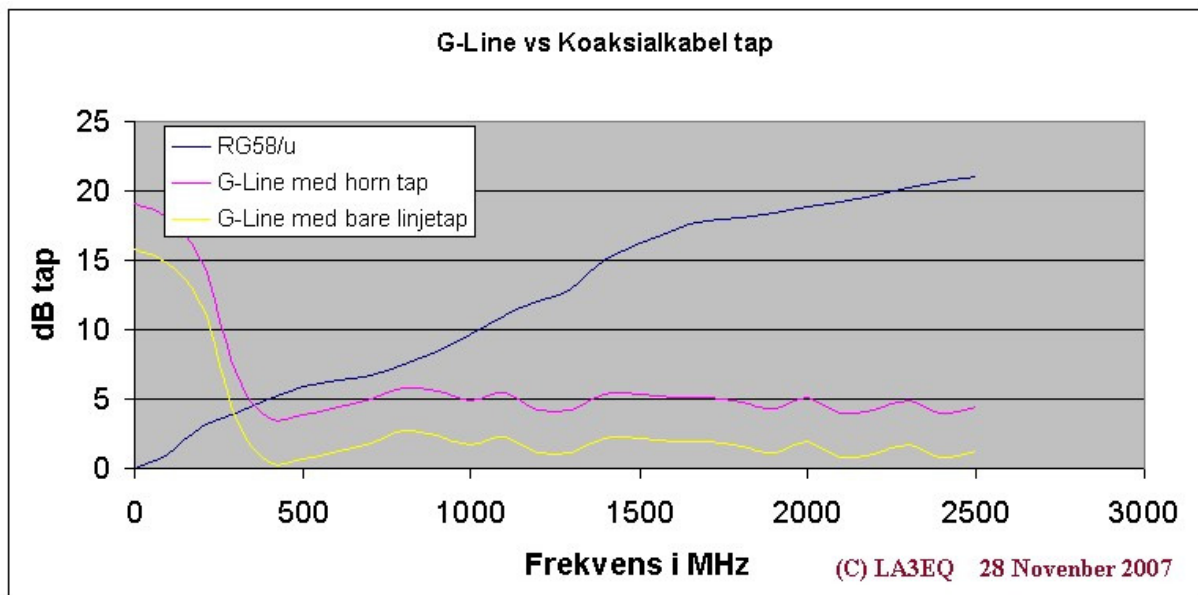


Fig 19. De ferdige måle resultatene.

## Avslutning:

G-Line er definitivt et godt transmisjonsleder, spesielt på de høyere frekvenser.

Jeg tror vi kommer til å se en del av disse linjene ettersom internett og digital TV krever mer og mer båndbredde og spesielt med lange strekk i utkants strøk. Hva med å bruke kraft ledningene med på monterte horn? En kan lure på hvorfor det ikke er større tap nederst i frekvens område under 100MHz. Dette fordi en får kobling til jord som da vil virke som en returleder for RF'en, derved vil anlegget vil se ut som en kjempe stor koaksialkabel eller stripline leder.

***Tilslutt: G-Line: ikke like godt som en bølgeleder, men fremdeles bedre enn koaksialkabel iihvertfall over 300MHz med disse små hornene..... :)***

*73's de LA3EQ Jan*

Skriv til "[LUSTRUP@START.NO](mailto:LUSTRUP@START.NO)" hvis du har spørsmål.

Kilder:

- 1) "<http://amasci.com/tesla/tmisk.html>"
  - 2) "<http://www.microwaves101.com/encyclopedia/Coaxloss.cfm>
  - 3) "<http://www.arrl.org/tis/info/pdf/7406011.pdf>", Putting the G-Line to work, QST juni 1974
  - 4) [http://en.wikipedia.org/wiki/Skin\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Skin_effect)
  - 5) <http://www.microwave101.com>
  - 6) <http://www.pat2pdf.org/patents/pat2685068.pdf>
  - 7) "Surface waves and Their Application to Transmission lines", George Goubau, Journal of Applied Physics, Volume 21, Nov.(1950).
  - 8) "[http://www.youtube.com/watch?v=\\_UqDE6MQXGo](http://www.youtube.com/watch?v=_UqDE6MQXGo)"
- 