



Agentschap Telecom  
*Ministerie van Economische Zaken*

## **Update Kabelstooronderzoek 700/800 MHz Mobiel gebruik**

### **BIJLAGEN**

## Inhoud

**Annex 1: Meting van muurdempingen—3**

**Annex 2: Waarneming van coaxmateriaal—6**

**Annex 3: Gemelde case-studies door interferentie als gevolg van uitstraling door coax-huisinstallaties—7**

**Annex 4: Analyse van uitgekoppelde kabel tv-signalen op de LTE ontvangst—11**

**Annex 5: Beschrijving technisch onderzoek naar interferentie ALS co-channeling optreedt—14**

**Annex 6: Rekenmodel parameterlijst—31**

**Annex 7: Onderzoeken voor de afleiding van down-link storing.—36**

**Annex 7.1: Uitgangspunten en gehanteerde definities bij inkoppeling van radiosignalen op kabelontvangst—37**

**Annex 7.2: Praktijkmetingen (downlink)—39**

**Annex 7.3: Afleiding van de paddemping—42**

**Annex 7.4: Bepaling aantal woningen 100 meter rondom een basisstation—45**

**Annex 7.5: EMC ADCO metingen screening effectiveness kabelmateriaal—46**

**Annex 8: Metingen aan televisietoestellen, settop boxen en kabelmodems—47**

**Annex 9: Technische aspecten van LTE uplink signalen op kabel TV (DVB-C)—60**

**Annex 10: Storing van LTE op DVB-T—64**

**Annex 11: Prognose 2021; Schets van ontwikkelingen die de stoorkans kunnen beïnvloeden—65**

**Annex 12: Maatregelen om interferentie te reduceren—67**

## Annex 1: Meting van muurdempingen

*Universiteit Twente*

In het stoormodel is het belangrijk om te weten hoeveel een buitenmuur, binnenmuur en plafond het LTE signaal dempt. In deze annex worden de methodiek en resultaten van de "muurdemping"-metingen beschreven. Het bepalen van muurdempingen kan op verschillende wijzen worden uitgevoerd. Er is gekozen om muurdempingen te bepalen door middel van metingen in woonhuizen in plaats van muurmateriaal te meten in een EMC ruimte. Het voordeel van het meten in woonhuizen is dat dit ook de daadwerkelijke situatie weergeeft inclusief de stoffering van een huis.

### **Meetopzet**

De meetopstelling bestaat uit een zender die een breedbandig signaal (3 MHz) genereert op 840 MHz. Het signaal wordt vervolgens uitgezonden via een  $\frac{1}{4} \lambda$  antenne, gemonteerd op een statief met een hoogte van 1.5 meter. Hierbij is het uitgangsvermogen ongeveer +10 dBm. Daarnaast er ook een ontvanger die het ontvangen vermogen meet van het uitgezonden radiosignaal. De ontvanger bestaat uit een  $\frac{1}{4} \lambda$  groundplane antenne op een statief met een hoogte van 1.5 meter (instelbaar) en de Rhode & Schwarz FSH6 (mobiele spectrum analyzer). De meetnauwkeurigheid van de meetopstelling is getest door te kijken naar het antennepatroon van beide antennes. Het blijkt dat de nauwkeurigheid van het ontvangen signaal +/- 1 dB is.

In de meetprocedure wordt allereerst een referentiemeting uitgevoerd. Hierbij wordt de zender en ontvanger 2 meter uit elkaar gezet. Doordat er veel reflecties van het radiosignaal zijn in een woning, ontstaan er variaties in het ontvangen signaal. Door de antenne van de ontvanger te variëren in hoogte en in plaats wordt het maximale ontvangen signaal bepaald. Vervolgens wordt de meting herhaald met een muur tussen zender en ontvanger, de muurmeting. Dit betekent dat de zender 1 meter van de muur wordt geplaatst en ditzelfde geldt voor de ontvanger. Ook wordt in dit geval weer het maximaal ontvangen signaal bepaald door de ontvanger te variëren in hoogte en plaats. Het verschil tussen de referentiemeting en de muurmeting, is de *muurdemping*. Voor iedere muur wordt de meting 3x herhaald en de resultaten worden via statistische methodes geanalyseerd.

### **Resultaten**

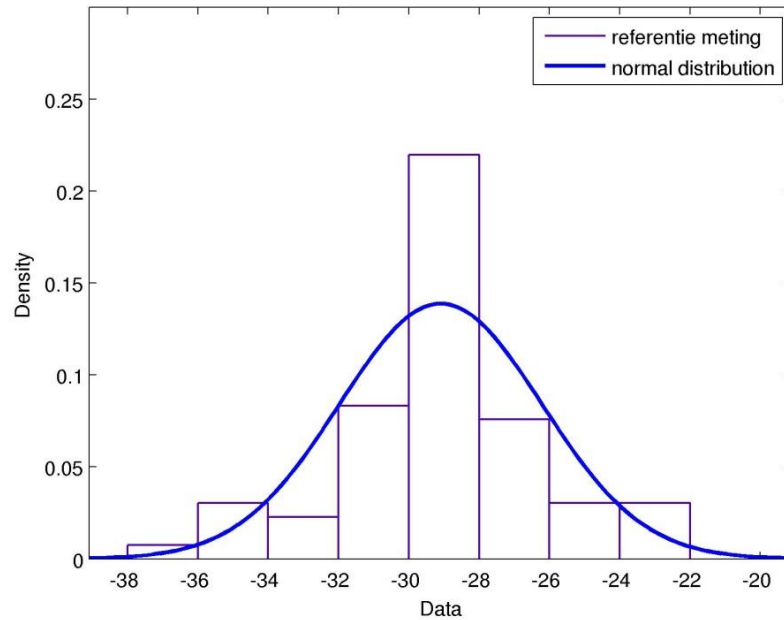
#### **Referentiemeting**

Uit de resultaten blijkt dat het ontvangen signaal bij de referentiemetingen relatief grote verschillen laat zien. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de omgeving (en dus indirecte radiopaden) een grote invloed heeft op het ontvangen vermogen. In onderstaand histogram is het gemeten vermogen (in dBm) weergegeven. De gemiddelde waarde bedraagt: -29.1 dBm met een standaard deviatie van 2.9.

Daarnaast wordt bij de 2<sup>e</sup> meting, de muurmeting, aangenomen dat dezelfde variaties zullen plaatsvinden door invloed van de omgeving. Met dit gegeven kunnen de gemeten muurdempingen worden gecorrigeerd. Dit is mogelijk door de gemeten variantie van de muurdemping te verminderen met de variantie van de referentiemeting.

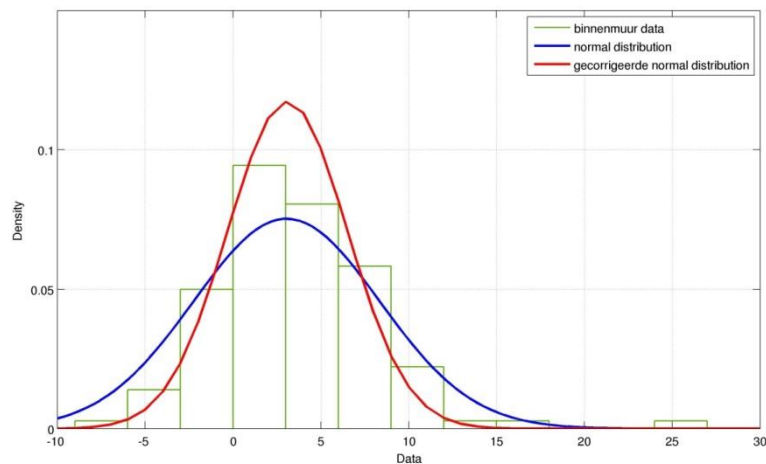
## ANNEXEN

Het stoormodel gaat uit van 3 type muren: binnenmuur, buitenmuur en plafond/vloer. In onderstaande paragrafen worden de resultaten per type muur uitgesplitst.



### Binnenmuur

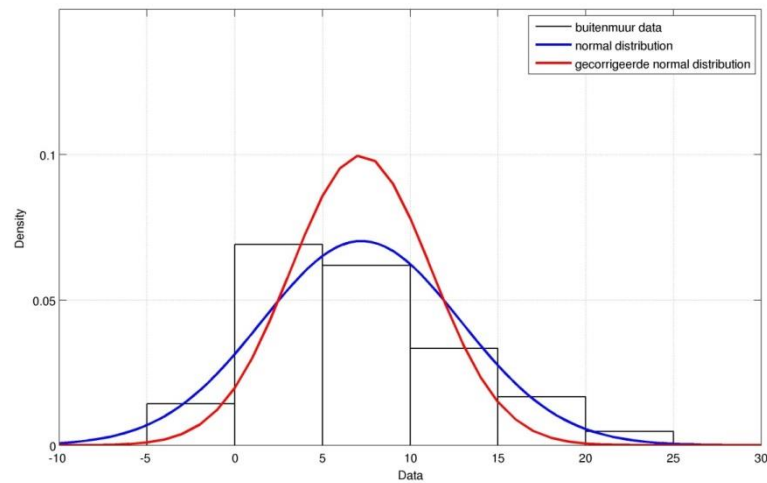
Er zijn 40 metingen verricht van een binnenmuur. In totaal levert dit 120 meetpunten op. In onderstaande figuur worden drie lijnen getoond, het histogram van de binnenmuur data, een normal distributie gebaseerd op de meetdata en een gecorrigeerde normal distributie. Deze laatste curve corrigeert voor de variaties van de referentiemeting. Hieruit blijkt dat de gemiddelde muurdemping 3.1 dB is met een standaard deviatie van 3.4 dB.



### Buitenmuur

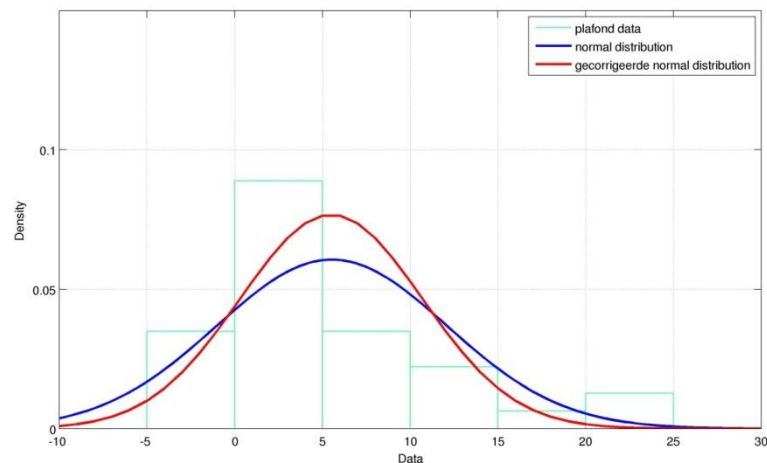
Er zijn 28 metingen verricht van een buitenmuur. In totaal levert dit 84 meetpunten op. In onderstaande figuur worden dezelfde drie lijnen weergegeven als voor de binnenmuur metingen. De gemiddelde muurdemping is 7.2 dB met een standaard deviatie van 4.0 dB.

## ANNEXEN



### Plafond/vloer

Er zijn 21 metingen verricht van een plafond/vloer. In totaal levert dit 63 meetpunten op. In onderstaande figuur worden dezelfde drie lijnen weergegeven als voor de binnenmuur metingen. De gemiddelde muurdemping is 5.5 dB met een standaard deviatie van 5.2 dB.



### Commentaar op de uitkomsten

Uit de metingen blijkt dat dempingen enorm kunnen variëren. Buitenmuren hebben gemiddeld de hoogste demping en binnenmuren hebben een kleinere demping. Daarnaast valt op dat plafonds een relatief grote spreiding hebben. Een demping hangt direct af van de gebruikte bouwmaterialen en het blijkt bijvoorbeeld dat beton en zonwerend glas een grote demping hebben. Ook komt naar voren uit de ruwe meetdata, dat oudere woningen over het algemeen de minste muurdemping vertonen. Ten slotte kan nog worden opgemerkt dat in een aantal gevallen de demping negatief is. Dat wil zeggen dat het signaal sterker wordt ontvangen en dus niet verzwakt wordt door de muur. Ditzelfde fenomeen komt ook in andere literatuur naar voren. Een belangrijke oorzaak zijn de vele reflecties van het radiosignaal, waardoor er veel minima en maxima bestaan in een gebouw. Dit heeft tot gevolg dat er niet alleen grote variaties optreden in de referentiemeting, maar ook dat in een aantal gevallen de demping negatief is.

## Annex 2: Waarneming van coaxmateriaal

*Universiteit Twente*

Bij het bepalen van muurdempingen in woonhuizen, wordt ook bij ieder gemeten huis het gebruikte coax-materiaal en type antenne-connector geïventariseerd. De kwaliteit van deze materialen heeft invloed op te verwachten storing. Immers, slechte coaxkabels zijn veel gevoeliger voor storing.

Het coax materiaal kan onderverdeeld worden in: slecht, normaal en kabelkeur/StAI, waarbij de laatste categorie de beste is. De categorie slecht bevat zowel oud coax-materiaal, alsmede slecht gemonteerde coax-connectoren. Ook de gebruikte connector is van belang. Onderscheidt is te maken tussen IEC connector met plastic huls, IEC connector met metalen huls, F-connector met plastic huls en F-connector met metalen huls. Hierbij zijn de connectoren met metalen huls het beste bestand tegen interferentie van buiten. In totaal zijn 29 woningen onderzocht. Hieronder zijn de resultaten weergegeven:

Connector type	aantal
IEC connector met plastic huls	14
IEC connector met metalen huls	8
F-connector met plastic huls	0
F-connector met metalen huls	7

Kabel type	aantal
Slecht	4
Normaal	25
Kabelkeur/StAI	0

### Commentaar op de uitkomsten

Zoals verwacht wordt in de meeste huizen een normale coax-kabel gebruikt in combinatie met een IEC connector met plastic huls.

## Annex 3: Gemelde case-studies door interferentie als gevolg van uitstraling door coax-huisinstallaties

### Inleiding

Naast dat ethersignalen op de kabelontvangst (CAI) kunnen storen, is andersom storen ook mogelijk: kabelsignalen kunnen etherontvangst storen. Normaal gesproken kunnen kabelsignalen tegelijk naast de ethersignalen (op dezelfde frequenties) werken, mits ze maar voldoende geïsoleerd zijn t.o.v. elkaar.

De afscherming (isolatie) van de kabelsignalen gaat meestal goed tot het abonnee overname punt (AOP), dit is waar het kabelsignaal de woning binnenkomt. Vanaf dit punt, waar de bewoner vaak zelf zijn huisinstallatie (laat/gaat) aanleggen, gaat het nog wel eens fout. Met als gevolg dat de kabelsignalen de ether in lekken en omgekeerd de ethersignalen op de kabel/CAI-installatie in de woning terecht komen.

Bij de afdeling Toezicht van het Agentschap komen storingsmeldingen binnen die hier direct het gevolg van zijn. In 2015 waren er 6 meldingen van verstoring van LTE door lekkende CAI, in 2016 (tot 1 december) waren er ook 6 meldingen van verstoring van LTE door lekkende CAI en 18 overige storingsmeldingen die met de kabel (CAI) te maken hadden.

*Het aantal gemelde storingsmeldingen kunnen een vertekend beeld geven over de omvang van dit probleem. Als de lekkende CAI-signalen op de downlink of op een niet gebruikte etherfrequentie zitten, dan zal dit niet waargenomen en dus ook niet als storing bij het Agentschap gemeld worden.*

### Waar zit het probleem

Als een mobiele operator voor de LTE-uplink een frequentieband heeft toegewezen waar ook op de kabeltoepassingen (tv-zenders) zijn geprogrammeerd, kan het mobiele netwerk hier behoorlijk hinder van ondervinden als deze kabel Tv-signalen uit de woning 'lekker' en op de antennes van het basisstation binnenkomen.

*Bekend probleem is de kabelfrequentie 847,250 MHz die in het bandsegment van 842-852 MHz valt wat in de ether door Vodafone wordt gebruikt.*

Voor het ongewenste kabellek uit de woningen geldt een EMC-eis (NEN-EN-IEC 61000-6-3) die stelt dat er voor dit frequentiegebied een maximale veldsterkte van 37 dB $\mu$ V/m mag staan op 10 meter afstand (vanaf de buitenmuur van de woning). In de praktijk liggen de gemeten niveaus hier meestal net onder, wat overigens niet wil zeggen dat een mobiele operator er dan geen hinder of storing van zal ondervinden. Bij overschrijding van deze 37 dB $\mu$ V/m grens is op dit moment niet duidelijk wat de wettelijke mogelijkheden zijn om hier tegen op te treden bij de bewoner.

Daarnaast kan er ook storing ontstaan als het LTE-700/800 MHz signaal op de kabel bij de bewoner instraalt (vergelijkbaar met DVB-T/Digitenne). Deze klachten komen meestal direct bij de kabelaar (Ziggo) terecht, die dan vaak de indoor CAI-installatie vervangt of repareert.

## ANNEXEN

Uit onderzoek van de afdeling Toezicht van Agentschap Telecom naar aanleiding van de storingsmeldingen, (deels samen uitgevoerd met Ziggo), blijkt dat de problemen zitten in het gebruik van componenten van inferieure kwaliteit en/of het verkeerd aansluiten hiervan bij de indoor CAI-installatie (ondanks alle voorlichting om Kabelkeur componenten te gebruiken).

Tijdens het uitgevoerde storingsonderzoek in verschillende steden werd er met een communicatieontvanger, afgestemd op het desbetreffende 'storende' kabelfrequenties regelmatig in de ether 'te ontvangen' zijn. Het vermoeden is dat dit een landelijk probleem is, nader onderzoek is nodig om de omvang van dit probleem vast te stellen.

### Case-studies

#### Case-studie 1: Nieuwegein, 23 november 2016

Storingsmelding van provider over storing op LTE 800 MHz uplink, stoorsignaal is lekkende CAI. Desbetreffende woning gelokaliseerd en veldsterkte @10 meter was 48 dB $\mu$ V/m. Tijdens het onderzoek waarbij ook twee field engineers van Ziggo aanwezig waren werd vastgesteld dat er in de woning twee breedband-versterkers achter elkaar stonden, slechte coaxkabel en connectoren werden gebruikt en dat bij één connector alleen de midden-ader was aangesloten (antennewerking). Tijdens het onderzoek heeft Ziggo de binnenhuis-installatie vervangen door goed materiaal en de tweede breedbandversterker verwijderd. Hierna buiten op 10 meter van de woning weer gaan meten en is het stoorsignaal niet meer (noemenswaardig) waargenomen.



Figuur 1: Aangetroffen boosdoeners





Figuur 2: Buiten meten wat uit een huisinstallatie komt

### **Case-studie 2: Amersfoort, Nieuwland, 7 december 2016**

Storingsmelding van provider over storing op LTE 800 MHz uplink op ALLE drie de sectoren van een antennemast in de wijk Nieuwland te Amersfoort doordat het CAI-signaal hier binnen komt. Op verschillende locaties in deze wijk is het kabelsignaal waarneembaar variërend van 35 tot 40 dB $\mu$ V/m. Onderzoek loopt nog.

### **Case-studie 3: Amersfoort, Vathorst 7 december 2016**

Voor vergelijkend onderzoek andere wijk in Amersfoort bezocht en o.a. op de Stavorenstraat het kabelsignaal waargenomen (40 dB $\mu$ V/m @ 10m). Tijdens het onderzoek in de woning is het volgende geconstateerd c.q. vervangen:

- De mantel/afscherming van de coaxkabel was niet aangesloten bij 2 connectoren (pvc-omhulsel kabel niet verwijderd);
- De massa van de coaxkabel in de aansluitdoos in meterkast (AOP) was niet aangesloten, en de binnen-kern zat los gemonteerd (tijdens bouw van de woning is dit zo geïnstalleerd);
- De oude TRAS1000 aansluitdoos is vervangen door een DIO aansluitdoos (beter HF-dicht);
- PDF (internet / tv-splitter) is vervangen door beter type (SQ);
- De door de bewoner zelf geplaatste actieve splitter in de meterkast is verwijderd;
- De datakabel in meterkast (via coax – F-connectoren) vervangen door betere kabel (F-connectoren van de oude datakabel zijn onbetrouwbaar);
- De tweemaal door bewoner geplaatste rijgdozen zijn vervangen door DIO aansluitdozen.

## ANNEXEN

Deze aanpassingen resulteerde in  $\approx 10$  dB meer signaal op de tv's en een goede tv-ontvangst<sup>1</sup>. Hierna buiten op 10 meter van de woning weer gaan meten en is het stoorsignaal niet meer (noemenswaardig) waargenomen

Amersfoort, stationsplein, 12 december 2016

Melding instraling LTE op kabel daardoor slechte tv-ontvangst. Dit is een vorm van downlink storing zoals beschreven in hoofdstuk 4. De bewoonster woont op de bovenste verdieping van een appartementencomplex op het stationsplein te Amersfoort. Op het dak van het appartementencomplex staan verschillende antenne systemen opgesteld, waaronder LTE.

Met een selectieve veldsterktemeter heeft AT/Toezicht binnen de signalen gemeten die vanuit de ether (en het dak) in huis binnenkwamen. De hoogste veldsterkte was 0,3 V/m (apparatuur moet 'in-band' bestand zijn tegen een veldsterkte van 1 V/m, en 'out-band' tegen 3 V/m).

Vervolgens heeft Ziggo de indoor CAI-installatie onderzocht en het volgende geconstateerd:

- Vóór de AOP zat een F-las van inferieure kwaliteit;
- De DIO was verkeerd aangesneden en zat daarom gewoon los;
- De coax ging naar een tweede DIO, hetzelfde probleem;
- De coax naar de splitter gescheurde folie;
- Een splitter voor internetmodem en televisie;
- Een splitter voor televisie en radio;
- Bij de tv was daarom een te laag signaalniveau over voor een stabiel beeld;
- Er was geen ontvangst van Rtv-Utrecht mogelijk.

Na diverse reparaties was het televisie-ingangsniveau voldoende<sup>2</sup>. Met als gevolg dat instraling vanaf de dakantenne LTE op 5 meter van het toestel geen storing meer veroorzaakte.

---

<sup>1</sup> De bit-error rate (BER) is lager dan  $1 \times 10^{-9}$

<sup>2</sup> PAL signaal op 65 dBuV; de zogenaamde MER was 38 dB op 802 MHz.

## Annex 4: Analyse van uitgekoppelde kabel tv-signalen op de LTE ontvangst

In Annex 3 zijn een aantal cases beschreven waarin in de praktijk is vastgesteld dat kabel tv-signalen, mobiele netwerken in de 800 MHz kunnen storen. Hierbij gaat het om ontvangst van kabel tv-signalen door het basisstation, waarmee het LTE systeem wordt verstoord. De afstand tussen in huis kabel tv netwerken en het LTE basisstation is vele malen groter, dan de afstand tot een LTE mobiele telefoon in een huishouden. In deze paragraaf wordt daarom geanalyseerd hoe sterk dergelijke storing kan zijn in de huiskamer als een consument slechte kwaliteit coax-kabels gebruikt. Dit is overigens een verschil met Annex 3, waarbij het gaat om verkeerd geïnstalleerde coax-kabels, waarbij vaak de buitenmantel niet is aangesloten.

Onderstaande analyse beschrijft hoe sterk de uitkoppeling is van het kabel tv signaal in het geval van slechte kwaliteit coax-kabel.

Allereerst wordt uitgegaan dat een kabel tv-signaal met maximaal vermogen het huis binnenkomt. Dit is 12 dBmV, wat overeenkomt met -66.8 dBW (75 ohm kabels). Uitgaande van de worst case, d.w.z. van een coax-kabel met de slechtste afscherming (-67 dB), kan berekend worden hoe sterk een kabel tv-signaal kan worden gelekt in een woonkamer<sup>3</sup>. Omdat de bandbreedte van kabel tv anders is dan LTE, moet gekeken worden naar de vermogensdichtheid per Hz (alle parameters in dB):

$$P_{D,max,cable\ TV|dB} = AOP_{max} - B_{cable\ TV} \mp K_{cable,min} - K_{R\ 75\rightarrow\ 50\ ohm} - SNR_{LTE} \quad (1)$$

waarbij  $SNR_{LTE}$ , de signaalruisverhouding voor een LTE telefoon om een signaal van het basisstation te decoderen, kan variëren van -10 dB tot 23 dB<sup>4</sup> afhankelijk van LTE ontvangst. Bij een goede verbinding zal 23 dB nodig zijn, aan de rand van de dekking zal dit terugvallen tot -10 dB.  $B_{cable\ TV}$  is de bandbreedte van een DVB-C signaal, 7.93 MHz (69 dB). Tenslotte is er ook de component  $K_{R\ 75\rightarrow\ 50\ ohm}$ . Dit is een impedantie-aanpassingsfactor. Kabel tv netwerken zijn 75 ohm, andere communicatiesystemen gebruiken 50 ohm. In onderstaande formule wordt de wet van ohm ( $P = V^2/R$ ) weergegeven in het logaritmische domein.

$$P [dBW] = 20 \cdot \log^{10}(V) - 10 \cdot \log^{10}(R) \quad (2)$$

Bij een aanpassing van de weerstand (naar 50 ohm) kan R worden geschreven als

$$R_{50\ ohm} = R_{75\ ohm} \cdot \alpha \quad (3)$$

Waarbij

$$\alpha = R_{50\ ohm} / R_{75\ ohm} \quad (4)$$

Met formule 3 en 4 kan formule 2 worden herschreven tot

<sup>3</sup> Deze variabelen komen uit de simulatie voor de storing veroorzaakt door een LTE mobiel, zie Annex 4 voor achtergrondinformatie.

<sup>4</sup> ETSI TR 136 942 - LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios (3GPP TR 36.942 version 8.2.0 Release 8)

$$P [dBW] = (20 \cdot \log^{10}(V) - 10 \cdot \log^{10}(R_{75 \text{ ohm}})) - 10 \cdot \log^{10}(\alpha) \quad (5)$$

Hierbij is de laatste term -1.8 dB ( $K_{R_{75 \rightarrow 50 \text{ ohm}}}$ ). De eerste termen rechts van het gelijkteken is het vermogen gezien in 75 ohm. M.a.w. het vermogen in 50 ohm netwerken ligt 1.8 dB hoger t.o.v. 75 ohm (kabel tv). Invullen van de formules geeft met een SNR van 0 dB, het signaalniveau van het lekkende kabel tv-sigitaal gezien door een LTE telefoon. Dit is -201 dBW/Hz. De thermische ruis<sup>5</sup> is -204 dBW/Hz<sup>6</sup>. Nu zou gesteld kunnen worden dat zelfs bij de kabels met de slechtste afschermingseigenschappen, de thermische ruis in dezelfde orde grootte is en daarmee storing door uitkoppeling van kabel tv verwaarloosbaar is. Dit is echter niet het geval, omdat bij de laagste SNR (-10 dB), het ontvangen LTE signaal van de *downlink* veel zwakker is (-214 dBW/Hz) dan het storende kabel tv-sigitaal (-201 dBW/Hz) in de woonkamer. Beide zijn echter *man-made* signalen, waardoor een LTE telefoon het signaal niet meer kan decoderen. (Deze negatieve SNR geldt immers alleen voor thermische (willekeurige) ruis).

In de laagste mode gebruikt LTE QPSK modulatie die 4 dB SNR nodig<sup>7</sup> heeft. Met deze aanname betekent dit dat in het worst-case geval (hoogste kabel tv-sigitaalsterkte, slechtste kabel), het kabel tv-sigitaal 15 dB te sterk aanwezig is in de woonkamer om LTE ontvangst mogelijk te maken. Dit geldt alleen als de LTE ontvangst slecht is in de woning ("0 tot 1 streepje"); bij betere ontvangst condities zal het LTE signaal sterk genoeg zijn om dit stoorniveau door uitgekoppelde kabel tv-signalen te overbruggen.

### Conclusie

Wat betekent dit nu voor het aantal storinggevallen in Nederland. Een dergelijke analyse is op dit moment lastig te maken. Als LTE dekking goed is (in huis), speelt deze problematiek niet. Maar in nieuwbouwhuizen met goede afscherming voor draadloze communicatie systemen of dicht stedelijk gebied, kan een lekkende (slechte) coax tv-sigitaal er net voor zorgen dat er binnenshuis geen LTE bereik meer is. Bij het wegvallen van LTE ontvangst zullen LTE telefoons proberen over te schakelen naar andere netwerken zoals 3G (of 2G).

Zoals in Annex 3 is aangegeven, zijn er een aantal storingsgevallen gemeld, waarbij een kabel tv-sigitaal te sterk binnenkomt op de antenne van een basisstation. Op 25 meter tot een basisstation is er al 70 dB paddemping (COST 231 model). Dat betekent dat in de besproken cases het kabel tv-sigitaal vele malen sterker is, dan beschreven in deze analyse<sup>8</sup>. De oorzaak is vooral 'fout' geïnstalleerde coax-kabels, waarbij bijvoorbeeld de buitenmantel niet is aangesloten. Ook een tv-versterker die het tv-sigitaal fors versterkt i.c.m. een slecht coax-netwerk zal tot meer storing kunnen leiden.

In tegenstelling tot storing op kabel tv waarbij een slechte huisinstallatie alleen storing geeft op het eigen tv-beeld, zal door een slechte huisinstallatie potentieel de LTE ontvangst in een hele straat kunnen worden verstoord. Ten tweede zullen alle woningen met kabel tv, de huisinstallatie in enige mate lekken in de 700 en 800 MHz. De totale verstoring is dan niet de individuele

<sup>5</sup> De thermische ruis is overal aanwezig op aarde en wordt veroorzaakt door de warmte. De thermische ruis is de ondergrens/beperking in draadloze communicatie.

<sup>6</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Johnson%E2%80%93Nyquist\\_noise](https://en.wikipedia.org/wiki/Johnson%E2%80%93Nyquist_noise)

<sup>7</sup> <http://www.gaussianwaves.com/2010/10/ber-vs-ebn0-for-qpsk-modulation-over-awgn-2/> Hierbij wordt aangenomen dat de BER maximaal 1% mag zijn.

<sup>8</sup> In dit onderzoek is de afscherming onderzocht van goede en slechte coax-kabel/pluggen. Uitzonderingsgevallen waarbij er fouten zijn gemaakt bij de installatie, zoals niet aangesloten buitenmantel van een coax-kabel, zijn niet meegenomen.

## ANNEXEN

huisinstallatie, maar de optelsom van alle lekkende kabel tv-signalen in de buurt<sup>9</sup>. Doordat een LTE mobiele telefoon vele malen dichterbij een huisinstallatie bevindt, dan een LTE basisstation (paddemping groter dan 70 dB), zal in eerste instantie vooral de *downlink* worden gestoord.

Bij zwakke LTE ontvangst door de telefoon kunnen lekkende kabel TV signalen er voor zorgen dat er geen meer verbinding mogelijk is. Een telefoon schakelt in zo'n geval over naar 3G. Bij goede ontvangst kunnen sterke lekkende kabel tv-signalen er ook voor zorgen dat de telefoon overschakelt op een lagere transmissiesnelheid. In feite kan in een dergelijk geval het mobiele netwerk niet efficiënt worden gebruikt. Nader (praktijk)onderzoek moet uitwijzen in hoeverre deze problematiek speelt. Zowel overschakelen naar 3G en lagere transmissiesnelheid in geval van lekkende kabel tv huisinstallaties kunnen een verklaring zijn, waarom klachten over *downlink* storing nog niet zijn gemeld.

---

<sup>9</sup> Storingen van meerdere woningen kunnen in fase (constructief) of uit fase (destructief) optellen. Hierdoor zullen lokale maxima en minima ontstaan.

## Annex 5: Beschrijving technisch onderzoek naar interferentie ALS co-channeling optreedt

### Agentschap Telecom

#### Beschrijving rekenmodel Monte-Carlo simulatie 700 MHz instraling van LTE UE op STB en kabel

Hieronder wordt het rekenmodel beschreven dat in de simulaties is toegepast. Wanneer parameters in kleine letters zijn weergegeven, betreft het lineaire waarden. In hoofdletters zijn het logaritmische waarden.

#### A. Berekening compatibiliteit (bottom up)

- De TV ontvangst wordt verstoort wanneer het totale stoorsignaal aan de ingang van de Set-Top Box (STB) groter is dan het gewenste signaal min de Protection Ratio (PR) van de STB. PR is afhankelijk van de modulatie van het gewenste signaal, de modulatie van het stoorsignaal en de kwaliteit van de demodulator van de STB.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Storing als: } P_{\text{UNWANTED}} > (P_{\text{WANTED}} - \text{PR}) \\ P_{\text{WANTED}} = P_{\text{AOP}} - A_{\text{CABLE}} \end{array} \right\} P_{\text{UNWANTED}} > (P_{\text{AOP}} - A_{\text{CABLE}} - \text{PR}) \text{ [dBW]}$$

- Het ongewenste signaal  $P_{\text{UNWANTED}}$  bestaat uit een optelling van het rechtstreeks door de UE in de STB ingestraalde vermogen ( $P_{\text{UE\_STB}}$ ) en de instraling van de UE op de coaxkabel ( $P_{\text{UE\_CABLE}}$ ).

$$P_{\text{UNWANTED}} = P_{\text{UE\_STB}} + P_{\text{UE\_CABLE}} \text{ [W]}, \text{ of logaritmisch: } \\ P_{\text{UNWANTED}} = 10 \cdot \log^{10} (10^{(P_{\text{UE\_STB}}/10)} + 10^{(P_{\text{UE\_CABLE}}/10)}) \text{ [dBW]}$$

- De grootte van de ongewenste component  $P_{\text{UE\_STB}}$  kunnen we berekenen met:

$$P_{\text{UE\_STB}} = k_{\text{UE\_STB}} \cdot S_{\text{UE\_STB}} / a \text{ [W]}, \text{ of logaritmisch: } \\ P_{\text{UE\_STB}} = K_{\text{UE\_STB}} + S_{\text{UE\_STB}} - A \text{ [dBW]}$$

waarbij  $S_{\text{UE\_STB}}$  de vermogensdichtheid is in  $[\text{W}/\text{m}^2]$  ter hoogte van de STB, en  $K_{\text{UE\_STB}}$  de inkoppelfactor van het EM-veld op de STB. Die factor  $K_{\text{UE\_STB}}$  halen we uit de metingen van [1, p.60]. Berekening zie bijlage 1. De vermogensdichtheid  $S_{\text{UE\_STB}}$  bepalen we als volgt:

$$S_{\text{UE\_STB}} = \frac{P_{\text{UE}}}{4 \cdot \pi \cdot d^N} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right], \text{ of logaritmisch: } \\ S_{\text{UE\_STB}} = P_{\text{UE}} - N \cdot 10 \cdot \log^{10}(d) - 10 \cdot \log^{10}(4 \cdot \pi) \left[ \text{dB} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right].$$

In scenario 5 (UE buiten) kiezen we  $N=2$ , wat overeenkomt met free space propagatie. In de andere scenario's kiezen we  $N=1.7$  voor indoorpropagatie [2].

- De grootte van de ongewenste component  $P_{\text{UE\_CABLE}}$  berekenen met:

$$P_{\text{UE\_CABLE}} = P_{\text{UE}} \cdot g_{\text{UE}} \cdot k_{\text{CABLE}} / a \text{ [W]}, \text{ of logaritmisch: } \\ P_{\text{UE\_CABLE}} = P_{\text{UE}} + G_{\text{UE}} + K_{\text{CABLE}} - A \text{ [dBW]}$$

waarbij  $(P_{\text{UE}} + P_{\text{UE}})$  de EIRP is van de UE en  $K_{\text{UE\_CABLE}}$  de inkoppelfactor van het EM-veld op de STB. Die factor  $K_{\text{UE\_CABLE}}$  bepalen we aan de hand van de metingen van [1, p.62]. De metingen laten zien dat  $P_{\text{UE\_CABLE}}$  niet af neemt met toenemende afstand. Voor het bepalen van de instraling op de kabel hoeven we dus geen rekening te houden met de afstand van de UE tot de kabel. Voor de berekening van de gebruikte K-waarden, zie bijlage 2. A is

de extra demping tussen UE en kabel en is afhankelijk van het storingsscenario.

5. We onderscheiden 5 storingsscenario's:
1. UE in zelfde kamer als STB en coaxkabel;
  2. UE in naastliggende kamer;
  3. UE in bovenliggende kamer;
  4. UE in onderliggende kamer;
  5. UE buiten voor het huis.

Wanneer de UE zich buiten het gebouw bevindt (scenario 5), moeten we de paddemping tussen UE en STB en tussen UE en coaxkabel vergroten met de 'building penetration loss'  $A_{BUILDING}$ . Wanneer de UE zich op de boven- of onderliggende verdieping bevindt (scenario 3 en 4), moeten we de paddemping vergroten met de vloerdemping  $A_{FLOOR}$ . Wanneer de UE zich in een naastliggende kamer bevindt (scenario 2), moeten we de paddemping vergroten met de muurdemping  $A_{WALL}$ . In scenario 1 - UE in dezelfde kamer als STB en coaxkabel - hoeft geen extra demping te worden toegevoegd.

Scenario 1:  $A = 0$  [dB].

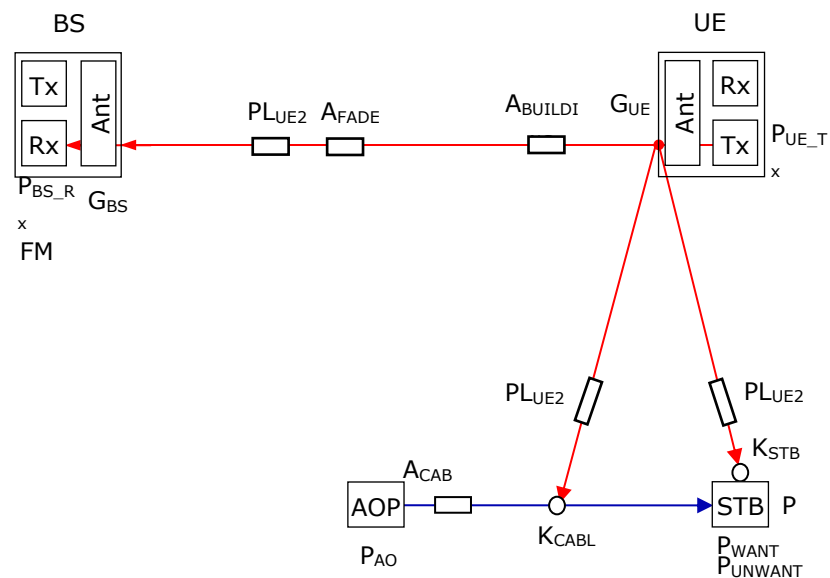
Scenario 2:  $A = A_{WALL}$  [dB].

Scenario 3/4:  $A = A_{FLOOR}$  [dB].

Scenario 5:  $A = A_{BUILDING}$  [dB].

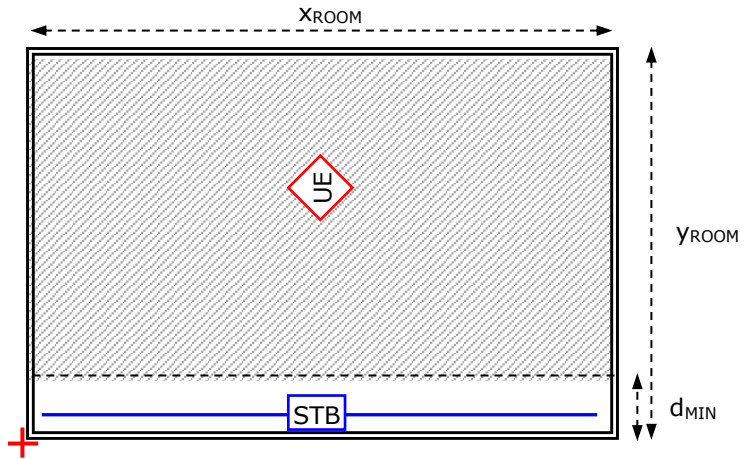
6. De building penetration loss, vloerdemping en muurdemping zijn door UT door meting bepaald [2, pp. 37-40].

#### SCENARIO 1 – UE in woonkamer

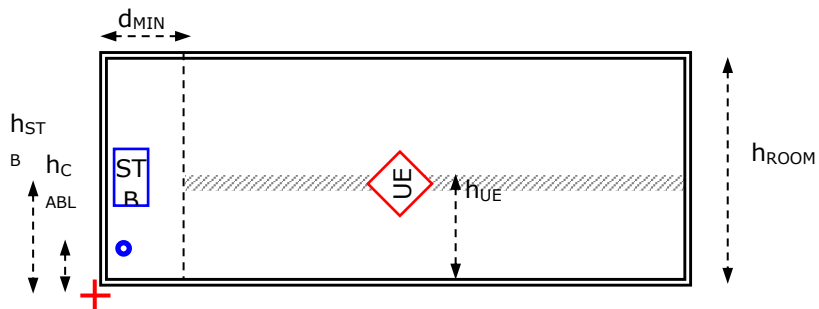


Figuur 1A: Signaalpaden

ANNEXEN

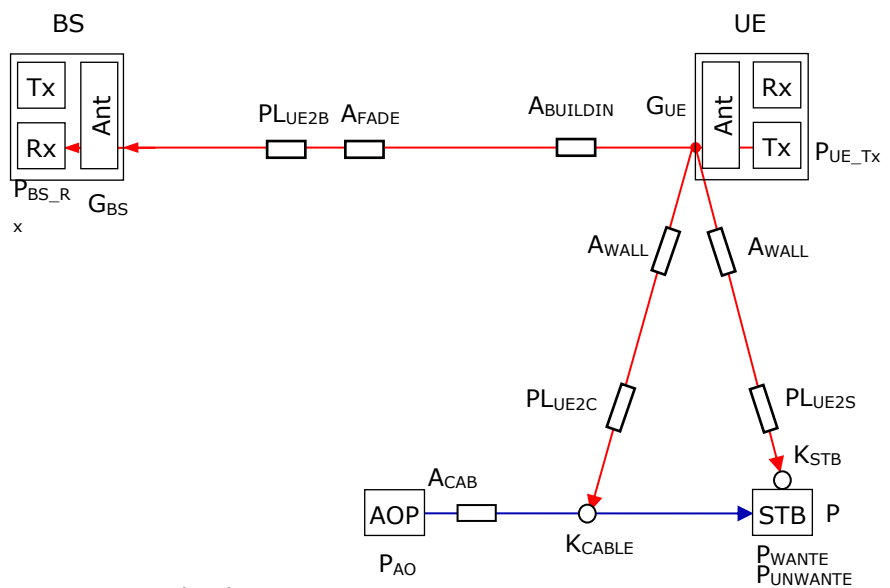


Figuur 1B: Bovenaanzicht (rood kruis geeft oorsprong van assenstelsel aan)



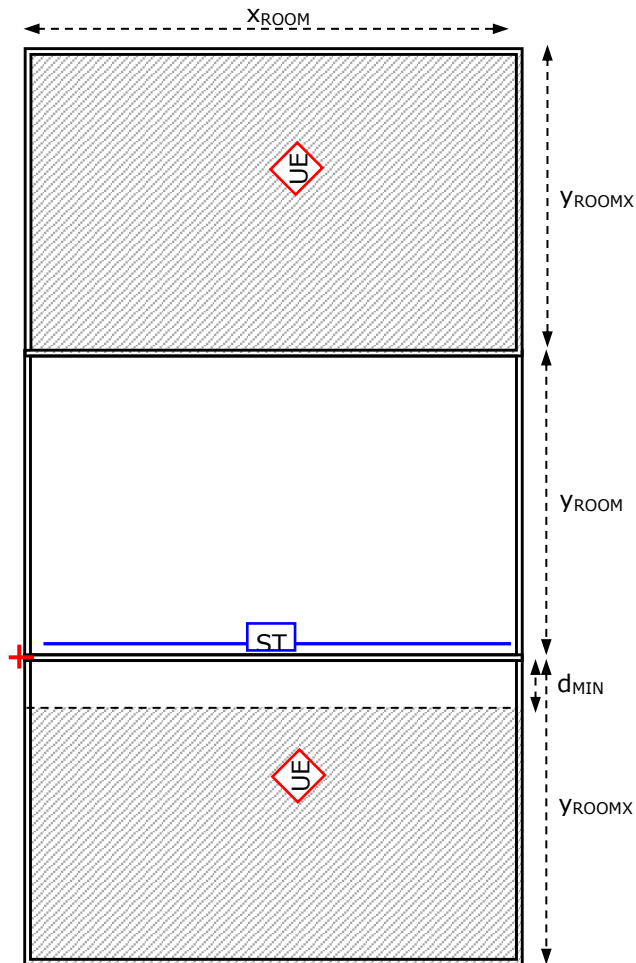
Figuur 1C: Zijaanzicht

SCENARIO 2 – UE in naastliggende kamer

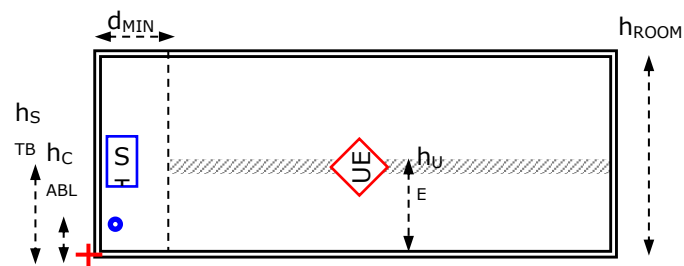


Figuur 2A: Signaalpaden



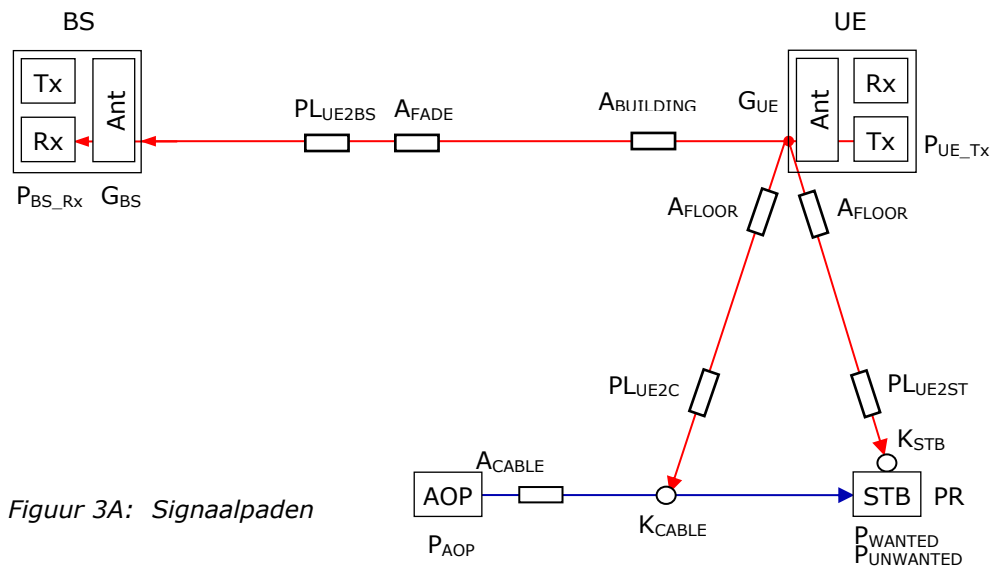


Figuur 2B: Bovenaanzicht

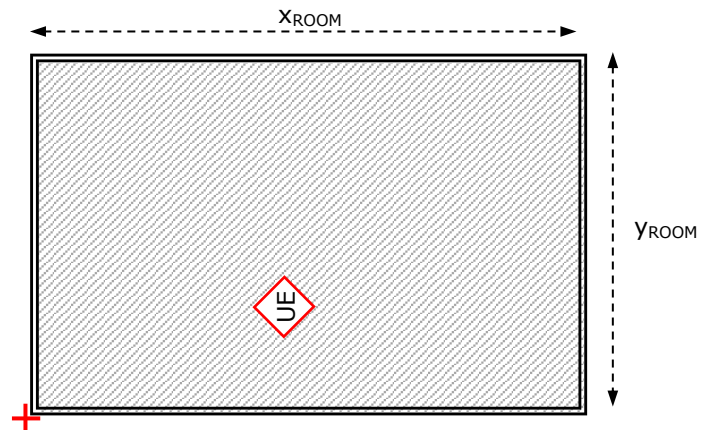


Figuur 2C: Zijaanzicht

SCENARIO 3 – UE in bovenliggende kamer

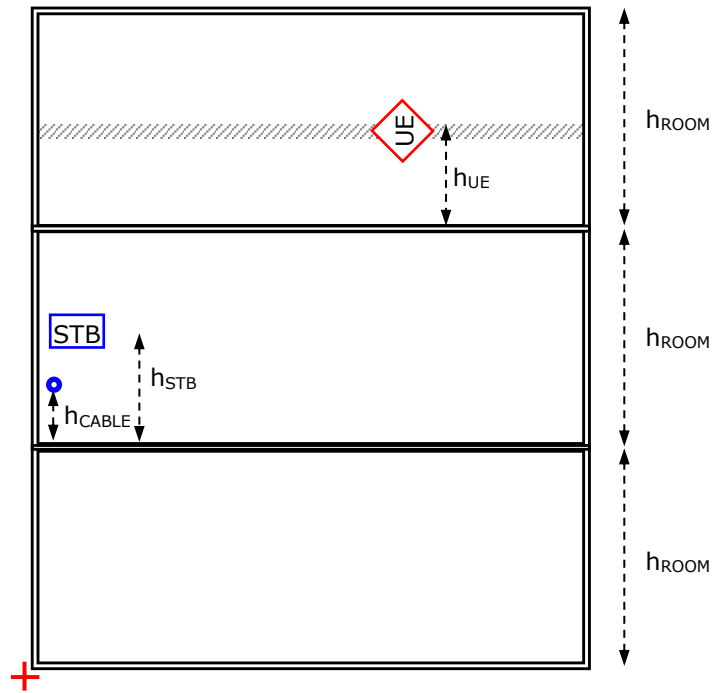


Figuur 3A: Signaalpaden



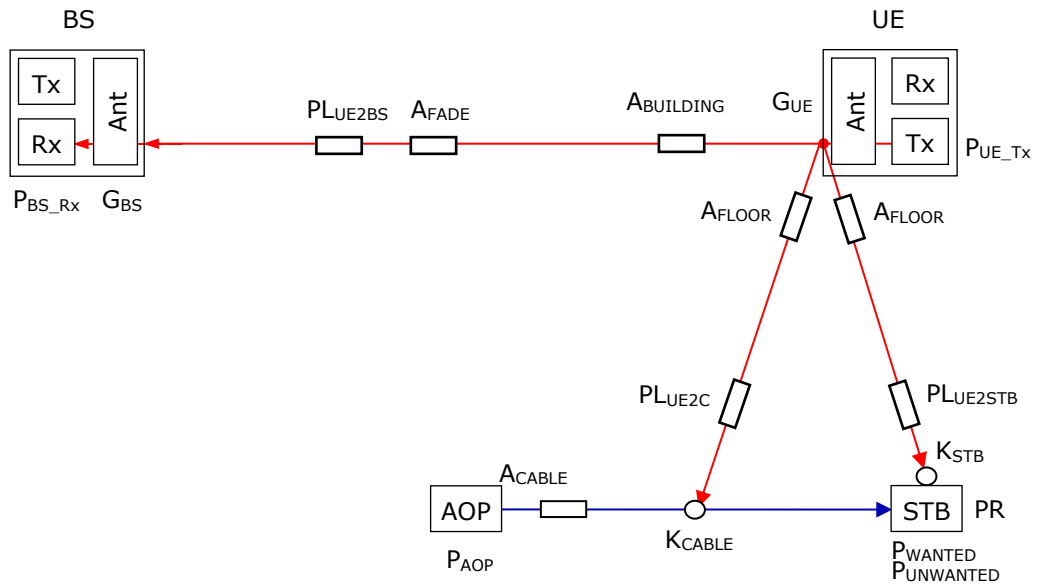
Figuur 3B: Bovenaanzicht

ANNEXEN

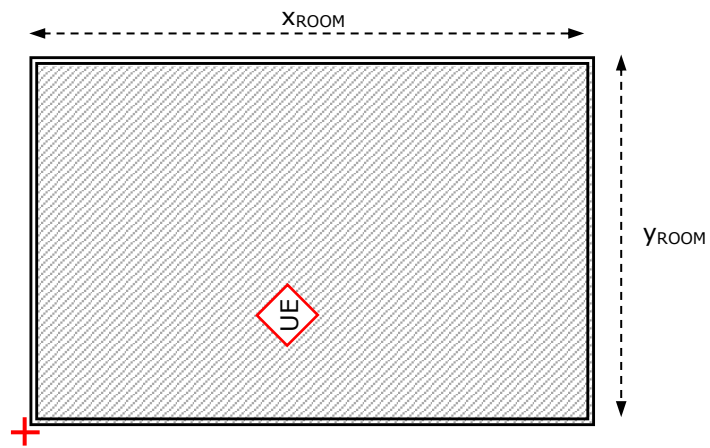


Figuur 3C: Zijaanzicht

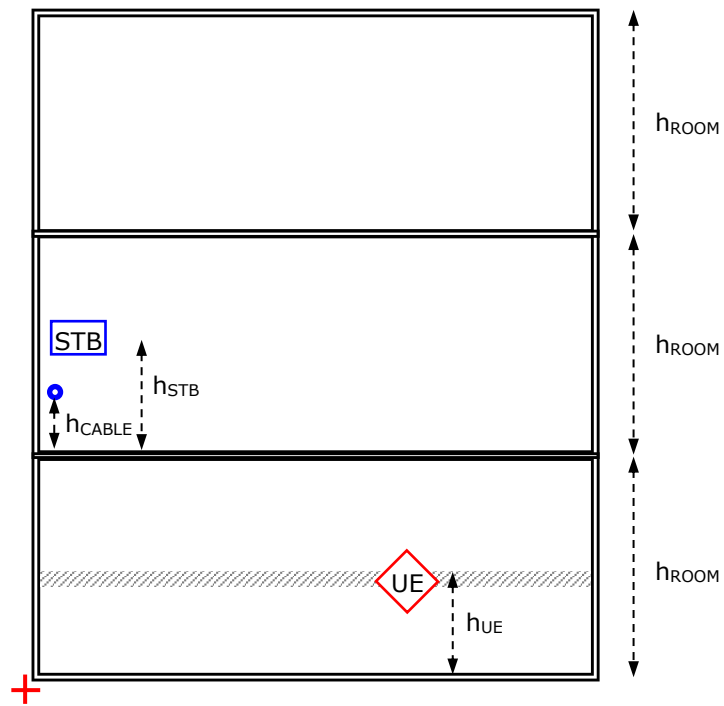
SCENARIO 4 - UE in onderliggende kamer



Figuur 3A: Signaalpaden

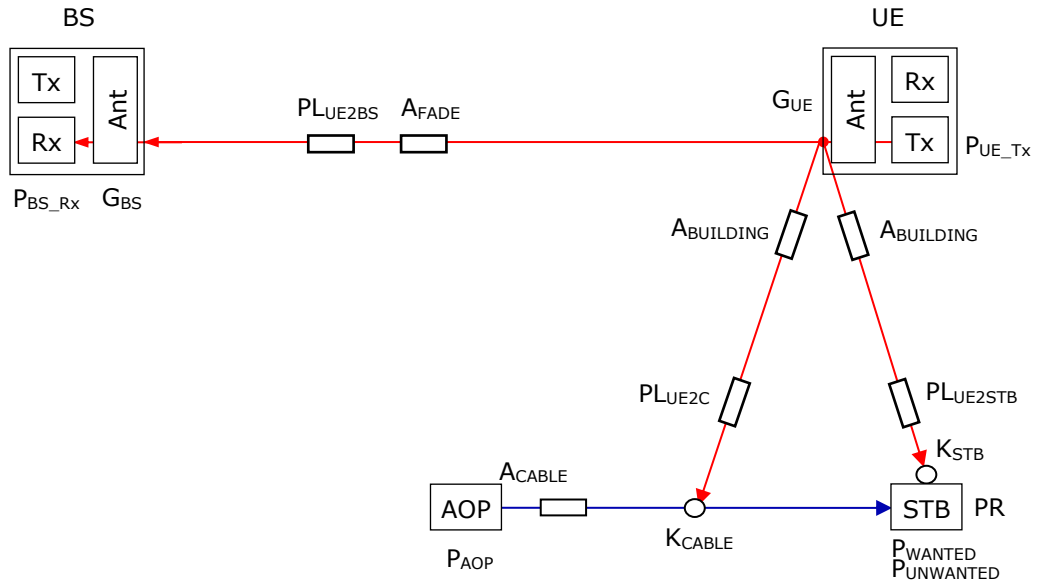


Figuur 3B: Bovenaanzicht

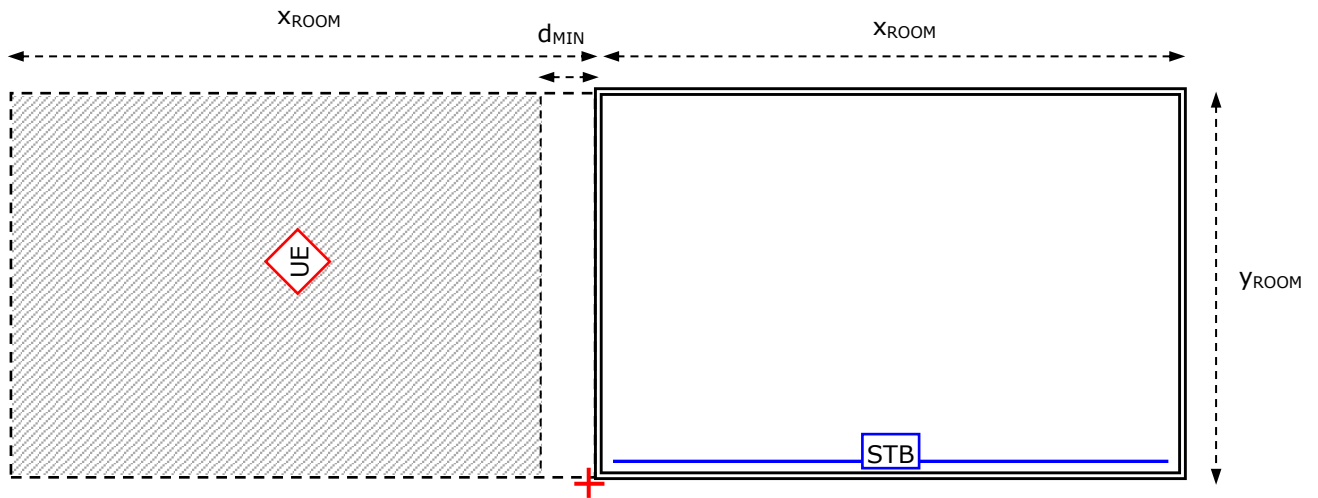


Figuur 3C: Zijaanzicht

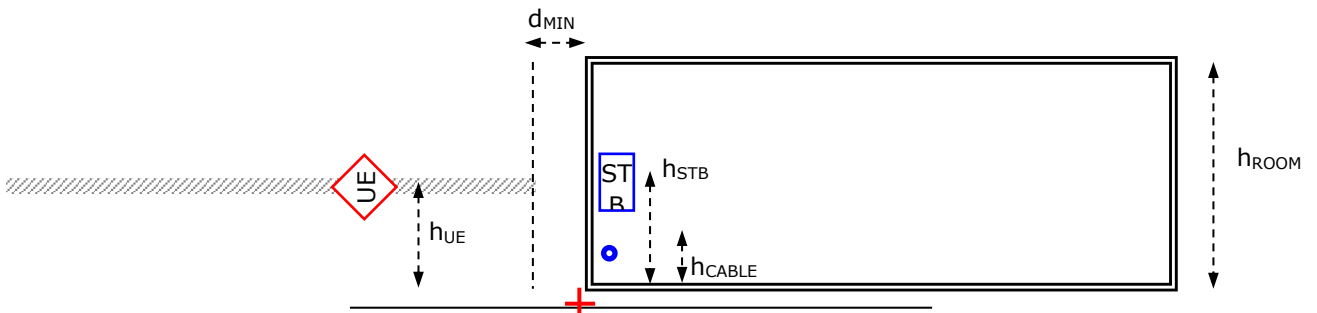
SCENARIO 5 – UE buiten op straat



Figuur 4A: Signaalpaden



Figuur 4B: Bovenaanzicht



Figuur 4C: Zijaanzicht

## ANNEXEN

7. In elk van de 5 scenario's wordt de positie van de UE random gegenereerd met een uniforme distributie binnen het gebied waar de UE zich kan bevinden volgens het scenario (zie figuur 1 t/m 4).

$$\begin{aligned} \text{Scenario 1:} & \quad 0 \leq x_{UE} \leq x_{ROOM} \quad \wedge \quad d_{\min} \leq y_{UE} \leq y_{ROOM} \\ \text{Scenario 2:} & \quad 0 \leq x_{UE} \leq x_{ROOM} \quad \wedge \quad -d_{\min} \leq y_{UE} \leq -2 * y_{ROOM} \text{ (#)} \\ \text{Scenario 3/4:} & \quad 0 \leq x_{UE} \leq x_{ROOM} \quad \wedge \quad 0 \leq y_{UE} \leq y_{ROOM} \\ \text{Scenario 5:} & \quad -x_{ROOM} \leq x_{UE} \leq -d_{\min} \quad \wedge \quad 0 \leq y_{UE} \leq y_{ROOM} \end{aligned}$$

(#) 50% van de UE bevindt zich in de naastliggende kamer die grenst aan de wand waar ook de coaxkabel ligt, 50% bevindt zich in de naastliggende kamer die grenst aan de tegenoverliggende wand.

8. De afstand van UE tot STB ( $d_{UE2STB}$ ) wordt bepaald aan de hand van de 3D coördinaten van beide apparaten:

$$\text{Scenario 1/2/5:} \quad d_{UE2STB} = \sqrt{(x_{STB} - x_{UE})^2 + (y_{STB} - y_{UE})^2 + (h_{STB} - h_{UE})^2} \text{ [m]}$$

$$\text{Scenario 3:} \quad d_{UE2STB} = \sqrt{(x_{STB} - x_{UE})^2 + (y_{STB} - y_{UE})^2 + (h_{STB} - h_{UE} - h_{ROOM})^2} \text{ [m]}$$

$$\text{Scenario 4:} \quad d_{UE2STB} = \sqrt{(x_{STB} - x_{UE})^2 + (y_{STB} - y_{UE})^2 + (h_{STB} - h_{UE} + h_{ROOM})^2} \text{ [m]}$$

9. De afstand van UE tot coaxkabel ( $d_{UE2CABLE}$ ) wordt bepaald aan de hand van het hoogteverschil en de kortste horizontale afstand tot de coaxkabel. Bij scenario's 1 t/m 4 is de de afstand in de y-richting, bij scenario 5 is dat de afstand in de x-richting:

$$\text{Scenario 1/2:} \quad d_{UE2CABLE} = \sqrt{(y_{CABLE} - y_{UE})^2 + (h_{CABLE} - h_{UE})^2} \text{ [m]}$$

$$\text{Scenario 3:} \quad d_{UE2CABLE} = \sqrt{(y_{CABLE} - y_{UE})^2 + (h_{CABLE} - h_{UE} - h_{ROOM})^2} \text{ [m]}$$

$$\text{Scenario 4:} \quad d_{UE2CABLE} = \sqrt{(y_{CABLE} - y_{UE})^2 + (h_{CABLE} - h_{UE} + h_{ROOM})^2} \text{ [m]}$$

$$\text{Scenario 5:} \quad d_{UE2CABLE} = \sqrt{(x_{CABLE, \min} - x_{UE})^2 + (h_{CABLE} - h_{UE})^2} \text{ [m]}$$

## B. Laagbouw en hoogbouw (flats)

Voor laagbouw worden de volgende variabelen gebruikt:

$h_{UE}$  [m] hoogte UE boven de grond       $x_{ROOM}$  [m] afmeting huiskamer in x-richting  
 $h_{CABLE}$  [m] hoogte coaxkabel boven de grond       $y_{ROOM}$  [m] afmeting huiskamer in y-richting  
 $h_{STB}$  [m] hoogte STB boven de grond       $h_{ROOM}$  [m] hoogte huiskamer  
 $d_{MIN}$  [m] minimum afstand UE tot kabel en STB

Voor hoogbouw (flats) is de volgende waarschijnlijkheid voor de hoogte van de woonkamer is berekend uit [3]:

verdieping	$n_{FLOOR}$	waarschijnlijkheid
begane grond	0	0.1525
1 <sup>e</sup> verdieping	1	0.2715
2 <sup>e</sup> verdieping	2	0.2715
3 <sup>e</sup> verdieping	3	0.1032
4 <sup>e</sup> verdieping	4	0.1032
5 <sup>e</sup> verdieping	5	0.0491
6 <sup>e</sup> verdieping	6	0.0491

De hoogte van de woonkamervloer is dan  $n_{FLOOR} * h_{ROOM}$ , alle overige hoogten worden ten opzichte van dit niveau bepaald.

### C. Berekening zendvermogen UE (bottom up)

10. Het benodigde ontvangen vermogen aan de uitgang van de BS antenne ( $P_{RX\_BS}$ ) bij een bandbreedte  $b$  kunnen we als volgt berekenen. Wanneer de BS ontvanger een ruisgetal heeft van  $F_{BS}$  [dB], de minimum SNR zonder interferentie [dB] en de kabeldemping tussen ontvanger en antenne  $A_{FEEDER}$ , dan:

$$P_{RX\_BS} = P_{N_0} + F_{BS} + SNR_{BS} + A_{feeder}$$

De thermische ruis  $P_{N_0}$  is:

$$P_{N_0} = 10 \cdot \log^{10}(k \cdot t \cdot b) = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 10 \cdot 10^6 = -134 \text{ dBW}$$

Met

$k$  constante van Ludwig Boltzmann,  $1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K

$t$  omgevingstemperatuur, 290K

$b$  bandbreedte in Hz

11. Het base station regelt het vermogen van het UE zodanig terug dat het ontvangen vermogen aan de uitgang van de BS antenne ( $P_{RX\_BS}$ ) voldoende groot is voor demodulatie van het LTE signaal. Wanneer de paddemping tussen UE en BS ( $PL_{UE2BS}$ ) bekend is, kunnen we het vermogen van het UE ( $P_{UE}$ ) berekenen met Friis (zie bijlage 3). De 'slow fading'  $A_{FADE}$  - demping door schaduwwerking van gebouwen en het lichaam van de UE gebruiker - is om praktische reden als een aparte factor weergegeven, al hoort die strict genomen bij de paddemping. Datzelfde geldt voor de buliding penetration loss  $A_{BUILDING}$  die optreedt in alle scenario's behalve scenario 5.

$$P_{RX\_BS} = P_{UE\_benodigd} + G_{UE} - PL_{UE2BS} - A_{FADE} (-A_{BUILDING}) + G_{BS}$$

⇔

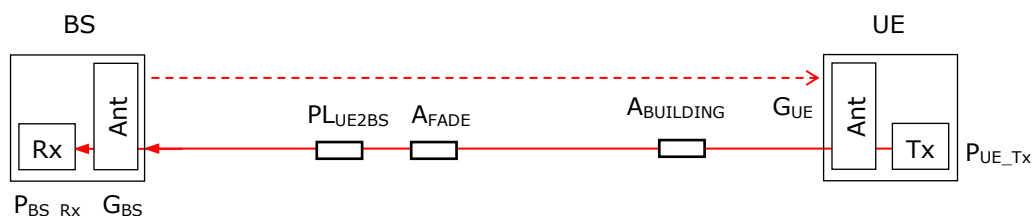
$$P_{UE\_benodigd} = P_{RX\_BS} - G_{BS} + PL_{UE2BS} + A_{FADE} (+A_{BUILDING}) - G_{UE}$$

De UE heeft een beperkt (maximum) zendvermogen. Wanneer de path loss te groot wordt komt er geen verbinding tot stand en is het zendvermogen van de UE nul (0).

$$P_{UE} = 0 \text{ als: } P_{UE\_benodigd} > P_{UE\_max}$$

Het zendvermogen wordt geregeld in discrete stappen met een stapgrootte  $P_{UE\_step}$  en het regelbereik is eindig ( $P_{UE\_range}$ ). Dus als:

$$P_{UE} = (P_{UE\_TX\_max} - P_{UE\_range}) \text{ als: } P_{UE\_benodigd} < (P_{UE\_TX\_max} - P_{UE\_range})$$



Figuur 5: Vermogensregeling LTE uplink

12. In stedelijk gebied berekenen we de paddemping tussen BS en UE ( $PL_{UE2BS}$ ) met het Cost231 Hata propagatiemodel [5]. Input parameters zijn frequentie, afstand en de hoogte van zender en ontvanger. De inputparameter 'urban/suburban' heeft geen invloed voor frequenties <1500 MHz. In landelijk ('rural') gebied gebruiken we ITU-R P.1546-5 [6], met de volgende input parameters:

*Algemeen*

f	frequentie in MHz;
t	tijdwaaarschijnlijkheid (50%);
q	plaatswaaarschijnlijkheid (50%);
d	horizontaal path length in kilometers ( $d_{UE2BS}/1000$ );
path	type terrein op het pad ('land');

*Base Station*

$p_{TX}$	zendvermogen (hier 1 kW);
$h_A$	BS antennehoogte boven de grond ( $h_{BS}$ );
$h_B$	BS antennehoogte boven de gem. terreinhoogte op 0.2-1 maal d, mits terreininfo beschikbaar.
$h_{eff}$	BS effectieve hoogte t.o.v. terreinhoogte op 3-15 km afstand ( $h_{BS}$ );
$h_{terr}$	terreinhoogte boven zeeniveau bij BS (0 m);
$r_1$	clutterhoogte rond BS in meters (10 m);
tca	terrain clearance angle (default);
eff <sub>1</sub>	$h_1$ terrain clearance angle (default);

*User Equipment*

$h_2$	UE hoogte in meters;
$r_2$	clutterhoogte rond UE (10 m voor landelijk gebied);
area	soort terrein rond UE ('rural');
$h_{terr}$	terreinhoogte boven zeeniveau bij UE (0 m);
eff <sub>2</sub>	$h_2$ terrain clearance angle (default);

13. De 'slow fading'  $A_{FADE}$  - demping door schaduwwerking van gebouwen en het lichaam van de UE gebruiker – wordt gemodelled als een gemiddelde demping  $A_{FADE,mean}$  en een dempingsvariatie met een lognormale verdeling met standaarddeviatie  $A_{FADE,stddev}$ .
14. Voor de Mont-Carlo simulatie plaatsen we n stuks UE op random posities, homogeen verdeeld over het verzorgingsgebied van het BS, met een minimale afstand  $d_{MIN}$  en een maximale afstand  $d_{MAX}$  tot het BS. Zie bijlage 3. Minimum en maximum afstand zijn afhankelijk van de gekozen omgeving [dense\_urban, suburban, rural]. De afstand tussen UE en BS die hoort bij elk van deze random UE posities wordt gebruikt in de berekening van de paddemping (stap 12).

**Referenties**

- [1] "Onderzoek naar storing op kabeltelevisie door mobiel gebruik in het Digitaal Divident," Agentschap Telecom, Groningen, juli 2010, ISBN 978-908-15-7321-4.
- [2] M. Tsai, "Path-loss and Shadowing (Large-scale Fading)," 2011, sheet 14.  
[https://www.csie.ntu.edu.tw/~hsinmu/courses/\\_media/wn\\_11fall/path\\_loss\\_and\\_shadowing.pdf](https://www.csie.ntu.edu.tw/~hsinmu/courses/_media/wn_11fall/path_loss_and_shadowing.pdf)
- [3] "Woningen, hoofdbewoner / huishouden, 1998-2012," Centraal Bureau voor Statistiek, 7 oktober 2016,  
<http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=7409wbo&D1=14-18&D2=0&D3=0-11&D4=a&VW=T>.
- [4] "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios," ETSI TR 136 942 V10.2.0, 3GPP TR 36.942 version 10.2.0 Release 10, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, 2011.



## ANNEXEN

- [5] "Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems," COST Action 231, Final Report, European Cooperation in Science and Technology, Brussels, Belgium, 1996.
- [6] "Method for point-to area prediction for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 300MHz," Recommendation ITU-R P.1546-5, International Telecommunication Union, Radio Sector, Geneva, Switzerland, 2013.
- [7] waarden afkomstig uit antenregister en opgave operators
- [8] H. T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proceedings of the IRE, 34.5 (1946), pp. 254-256.
- [9] E. C. Jordan, K. G. Balmain, "Electromagnetic Waves and Radiating Systems", 2nd Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 1968, par. 11.12.

### Annex 5 bijlage 1: Berekening koppelfactor directe instraling EM-veld op STB

De inkoppelfactor van het EM-veld op de STB,  $K_{UE\_STB}$ , kunnen we bepalen uit de metingen van [1, p.60]. Bij die metingen is in een TEM-cel bepaald bij welke externe veldsterkte  $E_{TEST}$  er juist storing ontstaat door directe instraling op de STB. Tijdens die meting geldt voor het vermogen van het direct ingestraalde testsignaal aan de ingang van de STB:

$$P_{UE\_STB,TEST} = P_{GEWENST} - PR \text{ [dBW]}$$

Voor de metingen geldt  $P_{GEWENST} = -53.4 \text{ dBmW} = -83.4 \text{ dBW}$  en  $PR = 19.7 \text{ dB}$ , dus  $P_{UE\_STB,TEST} = -103.1 \text{ [dBW]}$

En omdat er sprake is van een vlakke golf in de TEM cell, kunnen we de vermogensdichtheid berekenen aan de hand van de elektrische veldsterkte:

$$S_{UE\_STB,TEST} = \frac{e_{test}^2}{z_{FS}} \left[ \frac{W}{m^2} \right], \text{ met } z_{FS} \approx 377\Omega$$

of logaritmisch:

$$S_{UE\_STB,TEST} = 20 \cdot \log^{10}(e_{test}) - 10 \cdot \log^{10}(z_{FS}) \left[ dB \frac{W}{m^2} \right] \Leftrightarrow$$

$$S_{UE\_STB,TEST} = 20 \cdot \log^{10}(e_{test}) - 25.76 \left[ dB \frac{W}{m^2} \right]$$

De in [1, p.60] gemeten veldsterktewaarden voor bandbreedte  $B=10 \text{ MHz}$  variëren tussen 0.2 en 3 V/m.

Dus:

$$\text{Minimum: } S_{UE\_STB,TEST} = 20 \cdot \log^{10}(0.2) - 25.76 = -39.7 \left[ dB \frac{W}{m^2} \right]$$

$$\text{Maximum: } S_{UE\_STB,TEST} = 20 \cdot \log^{10}(3) - 25.76 = -16.2 \left[ dB \frac{W}{m^2} \right]$$

Omdat (zie stap 3):

$$K_{UE\_STB} = P_{UE\_STB} - S_{UE\_STB} \text{ [dBm}^2\text{]}$$

$$\text{Minimum: } K_{UE\_STB} = -103.1 + 39.8 = -63.3 \text{ [dBm}^2\text{]}$$

$$\text{Maximum: } K_{UE\_STB} = -103.1 + 16.3 = -86.8 \text{ [dBm}^2\text{]}$$

Er is aangenomen dat de gevonden waarden uniform verdeeld zijn over dit interval.

Controleberekening met  $P_{UE\_STB} = K_{UE\_STB} + S_{UE\_STB} \text{ [dBW]}$ :

$$e_{TEST} S_{TEST} K_{UE\_STB} P_{TEST} P_{TEST} = P_{GEWENST} - PR$$

$$\text{Minimum } 0.2 \text{ V/m} \cdot 1.06 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2 - 39.7 \text{ dBW/m}^2 - 63.3 \text{ dBm}^2 - 103.0 \text{ dBW} - 83.4 - 19.7 = -103.1 \text{ dBW}$$

$$\text{Maximum } 3 \text{ V/m} \cdot 0.0239 \text{ W/m}^2 - 16.2 \text{ dBW/m}^2 - 86.8 \text{ dBm}^2 - 103.0 \text{ dBW} - 83.4 - 19.7 = -103.1 \text{ dBW}$$

## Annex 5 bijlage 2: Berekening koppelfactor instraling EM-veld op coaxiale kabel

De inkoppelfactor van het EM-veld op de coaxiale kabel,  $K_{\text{CABLE}}$ , kunnen we bepalen uit de metingen van de metingen van [1, p.62]. Daarbij is gemeten wat het vermogen aan de uitgang van de coaxkabel is bij instraling met een bekend EIRP op 1 en 3 meter afstand. De metingen laten zien dat  $K_{\text{CABLE}}$  niet af neemt met toenemende afstand. Dit is verklaarbaar, gezien de staande golven in de woonkamer die ontstaan door reflecties tegen de wanden en doordat de coaxkabel zich als een gedistribueerde, lange antenne gedraagt. Voor het bepalen van de instraling op de kabel hoeven we dus geen rekening te houden met de afstand van de UE tot de kabel. We kunnen de koppelfactor op  $K_{\text{CABLE}}$  als volgt bepalen:

$$k_{\text{CABLE}} = \frac{\{P_{\text{UE CABLE}}\}}{\{P_{\text{UE}} \cdot G_{\text{UE}}\}}_{\text{TEST}}, \text{ of logaritmisches:}$$

$$K_{\text{CABLE}} = \{P_{\text{UE CABLE}} - P_{\text{UE}} - G_{\text{UE}}\}_{\text{TEST}} \text{ [dB]}$$

Uit het onderzoek blijkt dat er twee groepen coaxkabels zijn met verschillende waarden voor  $K_{\text{CABLE}}$ , een groep met een betere afscherming voor externe EM-velden en een groep met beduidend slechtere afscherming. In de Monte-Carlo simulatie krijgt daarom een percentage van het totale aantal samples met de ene waarde en een percentage de andere waarde voor  $K_{\text{CABLE}}$ . De verhouding tussen die beide aantallen is zo gekozen dat die overeenkomt met de verhouding waarmee beide kabelsoorten in huishoudens voorkomen.

De gegevens uit de groepen "living room with wooden floor" en "living room with concrete floor" zijn samengenomen, de metingen uit de groep "office" zijn niet gebruikt. Voor beide groepen is aangenomen dat de kansverdeling van de afschermingswaarden uniform is.

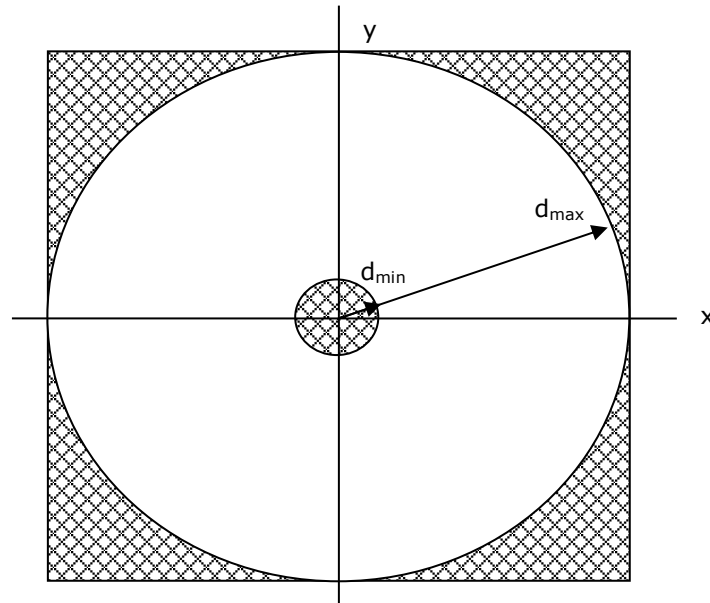
Groep 1 "betere kabels" Groep 2 "slechtere kabels"

[1, p.62, A t/m E][1, p.62, F en G].

Min.:  $K_{1,\text{min}} = -73 \text{ dBm} - 23 \text{ dBm} = -96 \text{ dB}$   $K_{2,\text{min}} = -62 \text{ dBm} - 23 \text{ dBm} = -85 \text{ dB}$

Max.:  $K_{1,\text{max}} = -70 \text{ dBm} - 23 \text{ dBm} = -93 \text{ dB}$   $K_{2,\text{max}} = -44 \text{ dBm} - 23 \text{ dBm} = -67 \text{ dB}$

### Annex 5 bijlage 3: Het plaatsen van uniform verdeelde UE in het verzorgingsgebied van het BS



Figuur 6: Uniforme verdeling UE in verzorgingsgebied

We plaatsen  $n$  stuks UE in het verzorgingsgebied van het BS, met een minimale afstand  $d_{\min}$  en een maximale afstand  $d_{\max}$  tot het BS, homogeen verdeeld over dat gebied. De minimum en maximum afstand is afhankelijk van de omgeving [dense\_urban, suburban, rural].

Dat doen we als volgt:

- Berekeningen in MatLab gaan het snelst we geen software loops gebruiken. We genereren daarom  $n$   $x$ -waarden, homogeen verdeeld in het interval  $[-d_{\max}, d_{\max}]$ , en  $n$   $y$ -waarden, ook homogeen verdeeld in het interval  $[-d_{\max}, d_{\max}]$ .
- We berekenen de afstand van elk punt  $(x,y)$  tot de oorspong.
- We verwijderen ("wieden") alle punten met een afstand kleiner dan  $d_{\min}$  of groter dan  $d_{\max}$ .

Omdat dit wieden een kleiner aantal UE oplevert dan de gewenste  $n$ , zullen we moeten beginnen met een groter aantal. Het aantal UE dat we extra moeten simuleren kunnen we uitrekenen. Omdat de UE homogeen verdeeld zijn, is hun aantal evenredig met het oppervlak. Het oppervlak van het gewenste gebied is  $(\pi \cdot d_{\max}^2 - \pi \cdot d_{\min}^2)$  en het oppervlak van het vierkant is  $4 \cdot d_{\max}^2$ . We moeten dus

$n_{\text{plus}} = n \cdot \frac{4 \cdot d_{\max}^2}{\pi \cdot (d_{\max}^2 - d_{\min}^2)}$  UE posities genereren om  $n$  UE posities over te houden.

Als  $d_{\max} \gg d_{\min}$  dan  $n_{\text{plus}} = n \cdot \frac{4}{\pi}$  oftewel  $n_{\text{plus}} \approx 1.27 n$ .

Omdat de random verdeling niet perfect homogeen is, en we misschien ook nog UE posities moeten afkeuren wanneer de path loss te groot is, gebruiken we een 25% grotere waarde, dus  $n_{\text{plus}} = 1.6 n$ , en behouden we de eerste  $n$  samples na het wieden.

**Annex 5 bijlage 4: Pad demping formule**

In het verre veld van de zendantenne, wanneer alleen de directe golf wordt ontvangen ('line of sight', 'free space propagation'), gelden de volgende relaties:

$$\text{Friis transmissie formule [8]} : \frac{p_{RX}}{p_{TX}} = \frac{ae_{RX} \cdot ae_{TX}}{d^2 \cdot \lambda^2}$$

$$\text{Effectief antenne oppervlak [9]: } ae = \frac{\lambda^2 \cdot g}{4\pi}$$

$$\text{Golflengte: } \lambda = \frac{c}{f}$$

met:

$p_{RX}$  Ontvangen vermogen zoals gemeten op de aansluiting van de ontvangstantenne [W].

$p_{TX}$  Uitgezonden vermogen zoals gemeten op de aansluiting van de zendantenne [W].

$ae_{RX}$  Effectief oppervlak van de ontvangstantenne [m<sup>2</sup>].

$ae_{TX}$  Effectief oppervlak van de zendantenne [m<sup>2</sup>].

$d$  Afstand tussen beide antennes [m].

$\lambda$  Golflengte van het uitgezonden signaal [m].

$g$  Antenneversterking [ ].

$c$  Lichtsnelheid [m/s].

$f$  Frequentie [Hz].

Samengevoegd leveren deze drie relaties het volgende op:

$$\frac{p_{RX}}{p_{TX}} = \frac{\left(\frac{\lambda^2 \cdot g_{RX}}{4\pi}\right) \cdot \left(\frac{\lambda^2 \cdot g_{TX}}{4\pi}\right)}{d^2 \cdot \lambda^2} = \frac{\lambda^2 \cdot g_{RX} \cdot g_{TX}}{(4\pi d)^2} = \frac{c^2 \cdot g_{RX} \cdot g_{TX}}{(4\pi d \cdot f)^2} \Leftrightarrow$$

$$p_{RX} = p_{TX} \cdot g_{TX} \cdot g_{RX} \cdot \left(\frac{c}{4\pi d \cdot f}\right)^2$$

In logaritmische vorm wordt dat:

$$P_{RX} [\text{dBW}] = P_{TX} [\text{dBW}] + G_{TX} [\text{dBi}] + G_{RX} [\text{dBi}] - 20 \cdot \log^{10}(f) - 20 \cdot \log^{10}(d) + 20 \cdot \log^{10}\left(\frac{c}{4\pi}\right)$$

$$\text{waarbij } 20 \cdot \log^{10}\left(\frac{c}{4\pi}\right) \approx 147.55 \text{ dB.}$$

Alhoewel technisch onjuist - er is geen vermogensverlies in bovenstaande formule - worden de laatste drie termen samen in berekeningen vaak aangeduid als 'paddemping' of 'path loss' (PL).

$$PL [\text{dB}] = 20 \cdot \log^{10}(f) + 20 \cdot \log^{10}(d) - 20 \cdot \log^{10}\left(\frac{c}{4\pi}\right)$$

Zodat je ook kunt schrijven:

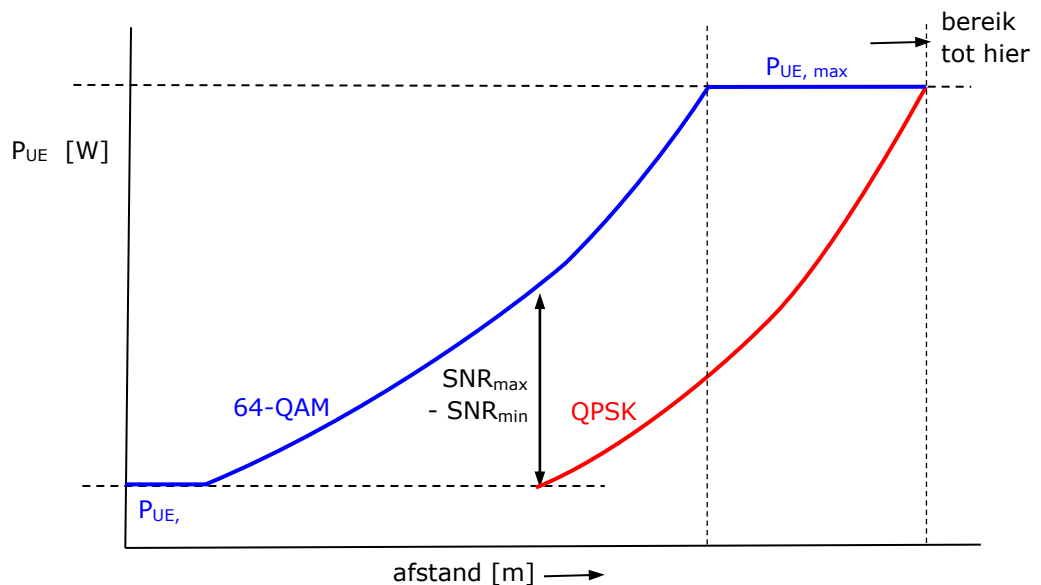
$$P_{RX} [\text{dBW}] = P_{TX} [\text{dBW}] + G_{TX} [\text{dBi}] + G_{RX} [\text{dBi}] - PL .$$

### Annex 5 bijlage 5: Vermogensregeling van de UE door het BS: gewenste SINR

Het vermogen van de User Equipment (UE) wordt door het Base Station (BS) op afstand ingesteld. Dat is nodig om ervoor te voorkomen dat UE die zich aan de rand van het verzorgingsgebied bevinden worden gemaskeerd door zeer harde signalen van UE die zich dichtbij het BS bevinden.

Bovendien geeft het BS aan in welke modulatie moet worden gebruikt op de link. Bij grote afstand wordt een lagere orde modulatie gebruikt, zoals QPSK. Voor het in stand houden van een QPSK link is een veel lagere ( $>20$  dB) signaal-ruisverhouding ( $SNR_{min}$ ) nodig, maar de datasnelheid (de snelheid waarmee het pakketje bits wordt verzonden) is ook veel lager. De dataoverdracht duurt dus langer. Bij een kleinere afstand is de pad demping veel kleiner en het signaal van het UE dat bij het BS aankomt bij eenzelfde vermogen veel sterker. Het BS selecteert dan een hogere orde modulatie, zoals 64-QAM. Daarvoor is een veel grotere SNR nodig ( $SNR_{max}$ ), maar de datasnelheid is ook veel ( $>25x$ ) hoger. Wanneer de afstand tussen UE en BS zo klein wordt dat de SNR groter wordt dan nodig is voor de hoogste orde modulatie, zorgt het BS dat de UE zijn vermogen terugbrengt tot precies de benodigde SNR wordt bereikt. Deze vermogensregeling is beschreven in [4, Tabel A.1].

In het model uit 2010 werd verondersteld dat voor elke afstand dezelfde modulatie werd gebruikt en het vermogen van de handset alleen maar afhankelijk van de afstand tot het basestation. In het huidige model is de vermogensregeling gebruikt die is beschreven in [4, Tabel A.1].



Figuur 7: Vermogensregeling als functie van de afstand, bij adaptieve modulatie



Figuur 8: Datasnelheid als functie van de afstand, bij adaptieve modulatie

## Annex 6: Rekenmodel parameterlijst

Hieronder staat een overzicht met parameters die in het rekenmodel zijn ingezet bij het bepalen van de kans op co-channeling (zie hoofdstuk 2), en de kans op storing als er co-channeling plaats vindt (zie hoofdstuk 3). In de toelichting is aangegeven waar de waardes van de parameters op gebaseerd zijn.

### 1 Parameters bij het berekenen van de co-channeling kans

Parameter	Waarde	Toelichting/bron
Aantal kabelabonnees	4.3 miljoen	<a href="https://www.acm.nl/nl/publicaties/publicatie/16142/Telecommonitor-eerste-kwartaal-2016/">https://www.acm.nl/nl/publicaties/publicatie/16142/Telecommonitor-eerste-kwartaal-2016/</a>
Aantal analoge tv kabel tv kijkers	17.4% / 0.75 miljoen	<a href="https://www.acm.nl/nl/publicaties/publicatie/16142/Telecommonitor-eerste-kwartaal-2016/">https://www.acm.nl/nl/publicaties/publicatie/16142/Telecommonitor-eerste-kwartaal-2016/</a>
Percentage 4G abonnementen	38%	<a href="http://www.deltatelecomadvies.nl/ruim-7-mln-4g-abonnees-bij-3-grote-operators/">http://www.deltatelecomadvies.nl/ruim-7-mln-4g-abonnees-bij-3-grote-operators/</a>
Aantal huishoudens met 4G abonnement	90%	Een gemiddeld huishouden bestaat 2.1 persoon. Doordat 38% van de abonnementen een 4G abonnement is, zal gemiddeld 79% van de huishoudens een dergelijk abonnement hebben. We verwachten komende jaren nog een verder groei naar 90%.
Percentage bellers via Voice over WiFi (VoWiFi)	10%	Bij een slechte 4G verbinding zal een telefoon overschakelen naar WiFi om te bellen (en voor data). De consument moet dit wel instellen. Dit is een aanname.
Percentage telefoons dat de 700 en 800 MHz band gebruikt	27 %	LTE frequenties liggen momenteel in de volgende frequentiebereiken: 2x 30 MHz (700 MHz), 2x 30 MHz (800 MHz), 2x 35 MHz (900 GSM), 2x 70 MHz (1800 GSM), 2x 60 MHz (2100 UMTS FDD), 1x 35 MHz (2100 UMTS, TDD) + 2x 65 MHz (2600 MHz). Zonder de "capaciteitsband" 2600 MHz en 2100 TDD is er dus 450 MHz bandbreedte beschikbaar. Daarvan is straks 2x 60 MHz in de 700/800MHz-band beschikbaar. Dat is 27 %. Het is de verwachting dat de komende jaren operators meer van deze banden om zullen zetten naar 4G. Daarnaast wordt aangenomen dat iedere band evenredig wordt gebruikt per MHz.
Bereikbaarheidscijfer SKO-light zenders totaal	73%	Dit zijn minder bekeken tv zenders die in de 700 en 800 MHz zijn geprogrammeerd. Een bereikbaarheidscijfer geeft aan hoeveel procent van de kijkers wel eens afstemt op een kanaal in een periode van een maand. <a href="http://www.mediamonitor.nl/mediamarkten/televisie/televisie-in-2015/">http://www.mediamonitor.nl/mediamarkten/televisie/televisie-in-2015/</a>
Marktaandeel SKO-light zenders totaal	3.9%	Het dagelijkse marktaandeel <a href="http://www.mediamonitor.nl/mediamarkten/televisie/televisie-in-2015/">http://www.mediamonitor.nl/mediamarkten/televisie/televisie-in-2015/</a>
Kijktijd op een TV avond	119 minuten	<a href="https://kijkonderzoek.nl/images/SKO_Jaarrapport/SKO_Jaarrapport_TV_2016.pdf">https://kijkonderzoek.nl/images/SKO_Jaarrapport/SKO_Jaarrapport_TV_2016.pdf</a> De totale kijktijd over 24 uur is 183 minuten.
Kijktijd SKO-light zenders totaal	4 minuten en 40 seconden	Aangenomen wordt dat het marktaandeel van de SKO-light zenders maal de totale kijktijd op een avond de totale kijktijd is voor deze groep. Dat betekent per SKO light zender: 5 seconden kijktijd (4:40/63)
Percentage WiFi-offloading voor data	60%	<a href="https://www.juniperresearch.com/press/releases/wifi-to-carry-60pc-of-mobile-data-traffic-by-2019">https://www.juniperresearch.com/press/releases/wifi-to-carry-60pc-of-mobile-data-traffic-by-2019</a>  <a href="http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service">http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service</a>

## ANNEXEN

		<a href="#">-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html, figuur 19, 20 en 23)</a>
Bereikbaarheidscijfer analoge TV kanalen in 700/800 MHz band	26.7%	<a href="https://kijkonderzoek.nl/images/SKO_Jaarrapport/SKO_Jaarrapport_TV_2016.pdf">https://kijkonderzoek.nl/images/SKO_Jaarrapport/SKO_Jaarrapport_TV_2016.pdf</a> Hiervoor is het maandelijks bereikbaarheidscijfer genomen van de zender Eurosport. Aangenomen wordt dat analoge TV zenders in deze LTE band een veel lagere kijkdichtheid hebben dan deze zender. De aanname is dat dus alle 4 analoge TV zenders in up link band een totale bereikbaarheidscijfer hebben van 26.7%.
Percentage analoge/digitale tv kanalen in 700/800 MHz band	50%	Gebaseerd op huidige indeling kabel tv. Dit betekent dat 50% van de tv kanalen in deze band digitaal zijn, de rest analoog.
Kijkdichtheid op een tv avond	43%	<a href="https://kijkonderzoek.nl/images/SKO_Jaarrapport/SKO_Jaarrapport_TV_2016.pdf">https://kijkonderzoek.nl/images/SKO_Jaarrapport/SKO_Jaarrapport_TV_2016.pdf</a> Op de piek van de tv avond kijkt gemiddeld 43% van de huishoudens tv.
Percentage beltijd gedurende tv avond	10%	Aanname

## 2 Parameters indien co-channeling optreedt

### Kabeltelevisie parameters

Parameter	Waarde	Toelichting/bron
Vermogen van het tv-signaal bij het AOP	Gemiddelde: -71 dBW Standaarddeviatie: 5,3 dB	Gebaseerd op metingen in 249 woningen van kabel-tv-klienten van Ziggo en UPC in Utrecht en Amsterdam
Kabeldemping	Gemiddelde: 4,75 dB Standaarddeviatie: 5,1 dB	Gebaseerd op metingen in 249 woningen van kabel-tv-klienten van Ziggo en UPC klienten in Utrecht en Amsterdam. In een klein percentage van de gevallen is de kabeldemping negatief. Dat representeert een situatie waarin er een versterker van het tv-signaal in de woning aanwezig is.
Protectieverhouding tussen het tv-signaal (gewenst) en LTE-signaal (ongewenst)	Range van 22,6 dB tot 28,8 dB (uniform verdeeld)	Metingen van Toezicht in 2010 aan de protectieverhouding gaven een range van 19,7 dB $\pm$ 3,1 dB bij een modulatie van 64 QAM. Aangezien nu 256 QAM de gangbare modulatie is die 6 dB gevoeliger is voor storing dan 64 QAM, hebben we de protectieverhouding met 6 dB verhoogt tot 25,7 dB $\pm$ 3,1 dB
Koppelfactor van een goed afgeschermd tv-kabel (K1)	Range van -96 dB tot -93 dB (uniform verdeeld)	Bepaald op basis van metingen van Toezicht in 2010
Koppelfactor van een matig tot slecht afgeschermd tv-kabel (K2)	Range van -85 dB tot -67 dB (uniform verdeeld)	Bepaald op basis van metingen van Toezicht in 2010
Koppelfactor UE signaal op settopbox (immunititeit)	Range van -86.8 dB tot -63.3 dB (uniform verdeeld)	Bepaald op basis van metingen van Toezicht in 2010
Fractie van de huishoudens met * goed (K1), en	K1: 0,52 K2: 0,48	Op basis van observaties bij woningen waar metingen zijn verricht aan de tv- en kabelapparatuur door Universiteit Twente in 2010.



**ANNEXEN**

* matig tot slecht (K2) afgeschermd tv-kabels		
Modulatie kabel TV signaal (DVB-C)	256-QAM	Informatie van Ziggo (frequentieraster in Nederland)
Protectieverhouding tussen analoge TV (gewenst) en LTE signaal (ongewenst)	42 dB	D.A. Dres, P. Constantinou "Analogue PAL-G Signal Degradation due to Spread Spectrum Overlay". IEEE Transactions on Broadcasting, December 2002

**LTE User Equipment (UE) parameters**

Parameter	Waarde	Toelichting/bron
UE Vermogen	Maximaal -7 dBW	
UE Frequentie	718 MHz (50%) en 847 MHz (50%)	718 MHz is de gemiddelde frequentie in de 703-733 MHz frequentieband, de uplink band in het 700 MHz spectrum. 847 MHz is de gemiddelde frequentie in de 832-862 MHz frequentieband, de uplink band in het 800 MHz spectrum.
UE Bandbreedte	10 MHz	Een aantal mobiele operators heeft aangegeven dat 10 MHz de te verwachten bandbreedte is in de 700 en 800 MHz
UE Antenneversterking	-5 dBi	Praktijkwaarde n.a.v. gesprekken met operators
UE power control range	70 dB	Uit 3GPP standaard.
UE power control range stapgrootte	1 dB	Uit 3GPP standaard.
UE hoogte	1 meter boven de grond	Aanname

**LTE basisstation (BS) parameters**

Parameter	Waarde	Toelichting/bron
BS vermogen (gemiddeld)	21,4 dBW ERP (in 8 MHz bandbreedte)	Volgens opgave Vodafone.
BS Antenneversterking	17 dBi	Praktijkwaarde n.a.v. gesprekken met operators
BS Antenne feeder verlies	2 dB	Praktijkwaarde n.a.v. gesprekken met operators
BS Noise Figure	2 dB	Praktijkwaarde n.a.v. gesprekken met operators
BS Signaal-Ruis-Verhouding	Range van -10 dB (bij lage throughput) tot 23 dB (bij hoge throughput)	Bij hogere modulatie is er een extra vermogensreductie gespecificeerd (A-MPR) vanwege lineariteit ontvangers tot 2 dB. Om dit ondervangen is de maximale SNR verlaagd van 25 naar 23 dB.

## ANNEXEN

BS hoogte	Stedelijk gebied: van 17,5 tot 37,5 meter Buitenwijk: van 12,5 tot 37,5 meter Landelijk gebied: van 22,5 tot 40 meter	Praktijkwaarde n.a.v. gesprekken met operators
BS Straal verzorgingsgebied	Stedelijk gebied: 500 meter Buitenwijk: 1000 meter Landelijk gebied: 2500 meter	Praktijkwaarde n.a.v. gesprekken met operators
Slow fading	Stedelijk gebied Gemiddelde: 0 dB Standaarddeviatie: 12 dB  Buitenwijk Gemiddelde: 0 dB Standaarddeviatie: 8 dB  Landelijk gebied Gemiddelde: 0 dB Standaarddeviatie: 6 dB	Praktijkwaarde n.a.v. gesprekken met operators
Propagatiemodus	Moified Hata model	Op onderdelen aangepast n.a.v. informatie mobiele operators (zie bij slow fading).

## Overig

Parameter	Waarde	Toelichting/bron
Verdeling type woning in Nederland	36.7% flat, 47.0% tussenwoning en 16.3% vrijstaand	<a href="http://www.bestaandewoningbouw.nl/wonin-gvoorraad-uniformiteit-in-verscheidenheid">http://www.bestaandewoningbouw.nl/wonin-gvoorraad-uniformiteit-in-verscheidenheid</a>
Verdeling woonlagen in flat	begane grond 015,25% 1e verdieping 127,15% 2e verdieping 227,15% 3e verdieping 310,32% 4e verdieping 410,32% 5e verdieping 54,91% 6e verdieping 64,91%	"Woningen, hoofdbewoner / huishouden, 1998-2012," Centraal Bureau voor Statistiek, 7 oktober 2016, <a href="http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&amp;PA=7409wbo&amp;D1=14-18&amp;D2=0&amp;D3=0-11&amp;D4=a&amp;VW=T">http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&amp;PA=7409wbo&amp;D1=14-18&amp;D2=0&amp;D3=0-11&amp;D4=a&amp;VW=T</a> .
Muurdemping buitenmuur	Gemiddelde: 7,2 dB Standaarddeviatie: 4,0 dB	Metingen Universiteit Twente 2010 in het kader van digitaal dividend onderzoek.
Muurdemping binnenmuur	Gemiddelde: 3,1 dB Standaarddeviatie: 3,2 dB	Metingen Universiteit Twente 2010 in het kader van digitaal dividend onderzoek.
Muurdemping plafond/vloer	Gemiddelde: 5,5 dB Standaarddeviatie: 5,2 dB	Metingen Universiteit Twente 2010 in het kader van digitaal dividend onderzoek.
Afmetingen woonkamer (l x b x h)	7 bij 4 bij 3 meter	Aanname
Hoogte settopbox t.o.v. vloer	0,5 meter	Aanname
Minimale afstand telefoon van coax-kabel	0,5 meter	Aanname
Locatie UE	willekeurig in woonkamer	Aanname
Propagatiemodel in woonkamer van UE	Free space met path loss exponent van 1,7	M. Tsai, "Path-loss and Shadowing (Large-scale Fading)," 2011, sheet 14. <a href="https://www.csie.ntu.edu.tw/~hsinmu/courses/media/wn_11fall/path_loss_and_shadowing.pdf">https://www.csie.ntu.edu.tw/~hsinmu/courses/media/wn_11fall/path_loss_and_shadowing.pdf</a>

**3 Parameters bij downlink storing**

Parameter	Waarde	Toelichting/bron
Aantal woningen binnen een straal van 100 meter	380.000 woningen	Antenneregister voor LTE basisstation locaties. En Statistische gegevens per vierkant in de resolutie van 100 meter van het CBS. Vervolgens heeft er een fit plaatsgevonden om het aantal inwoners binnen een straal van 100 meter te bepalen. Zie voor meer details Annex 7, bijlage 4.

**4 Parameters bij maatregelen**

Parameter	Waarde	Toelichting/bron
Percentage goede kwaliteit huisinstallatie kabel TV	60/65/70%	Aanname, in het onderzoek uit 2010 door de Universiteit Twente waren er 52% goede coax kabels.
Protectieverhouding tussen het tv-signaal (gewenst) en LTE-signaal (ongewenst)	28,8 dB	Metingen van Toezicht in 2010 aan de protectieverhouding gaven een range van waarden. Voor 2020 verwachten wij dat alle settopboxen de maximale protectieverhouding hebben. Voor fabrikanten zou dit relatief makkelijk moeten zijn om te realiseren.
Koppelfactor UE signaal op settopbox (immunititeit)	Range van -77,3 dB tot -63,3 dB (uniform verdeeld)	-77,3 dB komt overeen met 1 V/m wat de EMC eisen zijn voor consumentenapparatuur. Dus alle settopboxen hebben deze immunititeit of beter.

## Annex 7: Onderzoeken voor de afleiding van down-link storing.

Ten aanzien van de down-link storing zijn een aantal deelonderzoeken van belang die in deze Annex 7 zijn opgenomen:

- **Annex 7.1:** uitgangspunten en gehanteerde definities bij inkoppeling van radiosignalen op Tv-ontvangst.
- **Annex 7.2:** Praktijkmetingen.
- **Annex 7.3:** Afleiding van de paddemping
- **Annex 7.4:** Bepaling aantal woningen 100 meter in Nederland rondom een basisstation
- **Annex 7.5:** EMC ADCO metingen Screening Effectiveness kabelmateriaal (2012)

## Annex 7.1: Uitgangspunten en gehanteerde definities bij inkoppeling van radiosignalen op kabelontvangst

In dit onderzoek naar verstoring van TV signalen op het coax netwerk door LTE signalen is de kwaliteit van coaxkabels, zoals die in de praktijk bij mensen thuis in gebruik zijn van doorslaggevend belang. Het gaat hier dan met name om de mate waarin de coax kabel in staat het binnen de coax kabel getransporteerde signaal te beschermen tegen indringing van het LTE signaal buiten de kabel. Een coax kabel is opgebouwd uit een binnen geleiden, met daarom om heen een buitengeleider wat ook wel de mantel genoemd wordt. Deze mantel is meestal koper, maar kan ook van bijvoorbeeld aluminium gemaakt zijn. Zie onderstaande afbeelding:



Met name de kwaliteit van de (koper) mantel bepaald de mate waarin de coax kabel in staat is LTE signalen af te schermen. Slechte (goedkope) coaxkabels hebben alleen een losjes gevlochten koperdraadwerk als buitenmantel. Goede (iets duurdere) coaxkabels hebben naast een compact gevlochten koperdraadwerk ook een of twee gesloten folie lagen. Aan de buitenkant van een coaxkabel is, vanwege de rubberen buitenmantel vaak niet goed te zien of de betreffende coax kabel een goede of slechte afscherming heeft.

Voor kwaliteit van afscherming van een coax kabel zijn diverse definities in gebruik. In het rapport "Update Kabelstoornonderzoek 700/800 MHz Mobiel gebruik" van 9 juni heeft dit geleid tot begripsverwarring. In deze bijlage komen daarom de diverse definities en hoe ze zich tot elkaar verhouden aan bod. Het gaat om de volgende definities:

- Shielding Effectiveness (SE)
- Screening Effectiveness
- Afscherming tegen radio frequency interference (RFI afscherming)
- Koppelfactor

### *Shielding Effectiveness*

De SE geeft de kwaliteit van de afscherming van een coax kabel weer in een verhouding tussen de spanning (V) van het stoorsignaal op de binnengeleider (kern) in Volt ten opzichte van de veldsterkte (E) in Volt per meter (V/m) buiten de coaxkabel. In dB's ziet dit er als volgt uit.

$$SE = E_{dB\mu V/m} - V_{dB\mu V} \quad [dB/m]$$

De SE is te bepalen door het niveau van het LTE signaal op de binnengeleider te meten en de veldsterkte van het LTE signaal buiten de kabel.

## ANNEXEN

### *De screening effectiveness*

De screening effectiveness lijkt veel op de SE, echter deze kent een andere definitie. De screening effectiveness geeft de verhouding tussen het vermogen op de binnengeleider ( $P_k$ ) en het vermogen op de kopermantel ( $P_m$ ) weer.

$$ScE = 10\log(P_k/P_m)$$

De screening effectiveness is te bepalen door de spanning op de binnengeleider te plaatsen en de stromen die op de mantel lopen te meten. Dit laatste kan gedaan worden met een meetklem om de mantel te plaatsen. De stromen in de mantel veroorzaken een magneetveld die in de om de mantel geplaatste klem weer een stroom opwekken.

### *RFI afscherming*

De RFI afscherming van een coaxkabel is gedefinieerd als de inverse van de schijnbare antenne werking van een meter coax kabel t.o.v. een dipool antenne. Het betreft hier dus de negatieve antenne versterking in dB. Deze definitie wordt veelal gebruikt door kabelbedrijven. Met deze definitie kan hierdoor eenvoudig gebruik gemaakt worden van de standaard padverlies modellen, zoals free space en modified Hata.

### *Koppelfactor*

De SE en RFI afscherming ( $a_s$ ) zijn naar elkaar om te rekenen. Deze omrekening wordt de koppelfactor ( $a_f$ ) genoemd.

$$SE = a_s - a_f \quad [\text{dB/m}]$$

Daarbij geldt:

$$a_f = 20\log(300/2\pi) - 20\log(f_{\text{MHz}}) = 33,6 - 20\log(f_{\text{MHz}}) \quad [\text{dB}]$$

Coaxkabels voor in huis gebruik, welke voldoen aan de Kabelkeur eisen voldoen ruim aan deze eis<sup>10</sup>. Slechte coaxkabels zullen deze eis niet halen.

---

<sup>10</sup> Coaxkabels die voldoen aan de Kabelkeur moeten voldoen aan de NEN-EN 50289-1-6, de screening effectiveness moet voor de frequentierand 30-1000 MHz  $\geq 95$  dB.

## Annex 7.2: Praktijkmetingen (downlink)

Tabel 1: Overzichtswaardes van de praktijkmetingen

Locatie	type woning	operator	afstand (meter)	antennehoogte (meter)	veldsterkte nabij settopbox (dBµV/m) (max) 10 MHz bandbreedte	Spanning op buitenmantel coax-kabel (dBµV) (max en gem.) 10 MHz bandbreedte	Spanning op kern coax-kabel (dBµV) (max en gem.) 10 MHz bandbreedte	Signaal op settopbox via thuisinstallatie	Visuele test
7701GD Dedemsvaart	tussenwoning	Tele2 / 796 MHz	449	40	96	79	44	34	niet gemeten
		Vodafone / 806 MHz	312	36	100	77	ruisvloer	ruisvloer	niet gemeten
		KPN / 816 MHz	312	42	106	86	44	34	niet gemeten
8012BD Zwolle	tussenwoning	Tele2 / 796 MHz	145	14,3	102	niet gemeten	41	niet gemeten	niet gemeten
		Vodafone / 806 MHz	512	20,9	91	niet gemeten	20	niet gemeten	niet gemeten
		KPN / 816 MHz	338	23,1	91	niet gemeten	ruisvloer	niet gemeten	niet gemeten
9746AB Groningen	vrijstaand	Tele2 / 796 MHz	269	35,6	92,4	77	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten
		Vodafone / 806 MHz	470	33,8	88,4	75	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten
		KPN / 816 MHz	503	28,7	84,9	ruisvloer	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten
Groningen	appartement	Tele2 / 796 MHz	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten
		Vodafone / 806 MHz	592	28,4	62	88	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten
		KPN / 816 MHz	592	26,6	57	93	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten
9725AH Groningen	kantoor	Tele2 / 796 MHz	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten
		Vodafone / 806 MHz	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten
		KPN / 816 MHz	135	26,6	100,2	93	niet gemeten	niet gemeten	niet gemeten
7623 DX Borne	2-onder-1-kapwoning	Tele2 / 796 MHz	183	36,5	112	89	40	30	OK
		Vodafone / 806 MHz	183	31,7	113	71	30	32	OK
		KPN / 816 MHz	183	38,5	100	73	35	25	OK
7623 HG Borne	appartement 2e etage	Tele2 / 796 MHz	128	36,5	103	89	30	ruisvloer	OK
		Vodafone / 806 MHz	128	31,7	112	72	34	24	OK
		KPN / 816 MHz	128	38,5	104	76	26	ruisvloer	OK
7622 CN Borne	appartementen / via NB coax-naar ethernet en ethernet naar cc	Tele2 / 796 MHz	336	36,5	99	88	46	36	OK
		Vodafone / 806 MHz	336	31,7	95	72	40	32	OK
		KPN / 816 MHz	336	38,5	86	80	35	25	OK
7622 HD Borne	2-onder-1-kapwoning	Tele2 / 796 MHz	123	33,5	105	82	33	23	OK
		Vodafone / 806 MHz	123	34,9	104	69	31	25	OK
		KPN / 816 MHz	123	41,1	103	85	31	ruisvloer	OK
9403 HT Assen	tussenwoning	Tele2 / 796 MHz	180		105	64	37	27	OK
		Vodafone / 806 MHz	180	27,8	108	89	51	41	OK
		KPN / 816 MHz	180		102	71	40	27	OK
9403 HT Assen 2	tussenwoning	Tele2 / 796 MHz	162		107	82	34	ruisvloer	OK
		Vodafone / 806 MHz	162	27,8	118	98	44	34	OK
		KPN / 816 MHz	162		107	71	40	ruisvloer	OK
9401 EZ Assen	tussenwoning	Tele2 / 796 MHz	50	25,3	123	95	51	41	niet gemeten
		Vodafone / 806 MHz	50	25,1	113	74	40	35	OK
		KPN / 816 MHz	50	25,2	110	94	44	34	niet gemeten
						71	35		

## ANNEXEN

Door Agentschap Telecom zijn diverse verificatie metingen uitgevoerd. Voordat deze metingen hebben plaatsgevonden, zijn er eerst diverse controle metingen uitgevoerd met een standaard coaxkabel om de meetmethodiek vast te stellen en het model te valideren (zonder visuele test). Na deze controlemetingen hebben er metingen plaatsgevonden bij een aantal abonnees van Ziggo. Per bezocht huishouden is een meetprotocol doorlopen (inclusief visuele test). In bovenstaande tabel 1 zijn de belangrijkste resultaten van beide type van metingen weergegeven.

De verificatiemetingen hadden tot doel om het theoretisch model van inkoppeling te kunnen valideren. Het mechanisme van storing kon hiermee getest worden. Tevens zouden we nu ook, met aanvullende analyses nog enkele (kwalitatieve) conclusies kunnen trekken, door de gevonden meetresultaten te relateren aan de waarden zoals die in het stoormodel gehanteerd zijn. Voor twee variabelen is deze kwalitatieve toets mogelijk:

- De schijnbare RFI afscherming en screening effectiveness (ScE) bij de set top box (STB). Dit is een waarde die de kwaliteit van de afscherming van het inhuys netwerk weergeeft, zoals de STB deze ervaart. Met de veldsterkte metingen, het gemeten signaal op de kern van de coax kabel en het gemeten signaal op de mantel van de coaxkabel zijn deze waarden te bepalen<sup>11</sup>.
- De kans dat er interferentie optreedt in het gemeten huishouden. Uit visuele inspectie bleek dat er bij geen enkel huishouden interferentie is geconstateerd. Echter bij de gemeten spanningen in de coaxkabel kan, uitgaande van de waarden gehanteerd in het rekenmodel, bepaald worden hoe groot de kans is dat een (willekeurig ander) huishouden dan toch interferentie zou kunnen krijgen (gegeven hetzelfde ingekoppelde LTE signaalniveau op de binnenkern van de coaxkabel). Dit kan bijvoorbeeld doordat het signaalniveau op de AOP lager is, de kabeldemping tussen AOP en STB groter is, of dat de kwaliteit van de STB van mindere kwaliteit is<sup>12</sup>, bij een ander huishouden dan in dit specifieke huishouden gemeten is.

Op basis van de metingen en aanvullende analyses is de schijnbare RFI afscherming en ScE van het huisnetwerk bij de STB te bepalen. Daarnaast is ook de kans op interferentie per willekeurig huishouden te bepalen. De resultaten hiervan voor de metingen bij verschillende huishoudens is in onderstaande tabel weergegeven.

**Tabel 2:** Overzichtswaardes van de afschermingswaarde en screening effectiveness en gemiddelde kans op storing (bij maximaal en gemiddeld LTE zendvermogen) van de gemeten huishoudens.

Adres	Gem. RFI	Gem. ScE	kans op interferentie		Afstand LTE-HH
			Max	Gem.	
Dorsvloer 8, Borne	54,2	51,0	13,0%	1,9%	183
De Wanne 71, Borne	61,4	61,5	3,1%	0,2%	128
t Dijkhuis 534, Borne	37,9	43,8	21,2%	6,6%	336
Welemanstraat 50, Borne	53,9	50,3	3,2%	1,2%	123
Beunheugte 11, Assen	49,5	41,0	26,2%	6,7%	180
Beunheugte 15, Assen	54,4	49,0	29,1%	14,0%	162
Weierstraat 69, Assen	55,7	48,0	42,5%	7,4%	50
Hortentiastraat 13, Dedemsvaart	42,4	45,0	29,1%	0,0%	312
	51,2	48,7	20,9%	4,7%	

<sup>11</sup> Zie hiervoor bijlage 1 van deze Annex.

<sup>12</sup> De standaarddeviaties voor deze variabelen zijn zoals weergegeven in het model. Uitgegaan wordt van een standaard normale kansverdeling.



## ANNEXEN

In bovenstaande tabel 2 is één meting bij een huishouden geel gearceerd. De reden hiervan is dat er in dit huishouden naast coaxkabel ook UTP kabel ('telefoonkabel') werd gebruikt om het kabelsignaal te transporteren. Dit netwerk voldoet daarmee niet aan de minimale installatie kwaliteit die verwacht mag worden. De gemiddelde schijnbare RFI afscherming die volgt uit deze weliswaar kleine steekproef, geeft aan dat deze hoger ligt dan de gemiddelde kwaliteit (verwachtingswaarde) voor een slechte kabel die is aangenomen bij de afleiding van het aantal stoorgevallen. Dit geeft aanleiding om te veronderstellen dat deze waarde van afscherming in ons model wellicht wat aan de lage (voorzichtige) kant is gekozen.

Primair uitgangspunt van dit kabelstoornonderzoek was (en is) om storing op de hoofd TV in de woonkamer te analyseren. Daarom is de aard van het huisnetwerk (opbouw, gebruik van versterkers, splitters, doorgetrokken kabels naar andere verdiepingen e.d.) van de gemeten huishoudens niet volledig in kaart is gebracht. De netwerken van de onderzochte woningen blijken in zijn geheel echter wel een hogere afscherming te hebben dan de door ons gemiddeld veronderstelde waarde voor de afscherming van een slechte kabel. Dit zou dus, zoals hierboven gesteld, kunnen betekenen dat deze modelwaarde (zie bijlage 3 van deze Annex) van afscherming wat aan de voorzichtige (lage) kant is gekozen. Vanwege de beperkte steekproef van de verificatiemetingen is deze waarde niet naar boven bijgesteld.

Tijdens de metingen is tevens de beeldkwaliteit van het digitale signaal visueel getoetst. Daaruit zijn geen verstoringen van het beeld naar voren gekomen. Uit rekenkundige analyse van de verschillende meetresultaten blijkt dat bij ieder huishouden er een zekere kans op interferentie aanwezig was, welke echter (zoals gesteld) niet geconstateerd is.

De gemiddelde kans op interferentie bij een gemiddeld LTE zendvermogen is 4,7 procent (bij een gemiddelde afstand van 162 meter tussen huishouden en LTE basisstation). Deze praktijkwaarde is vergelijkbaar met de resultaten uit het model.

## Annex 7.3: Afleiding van de paddemping

Tabel 1: Afleiding van de paddemping

	Gehanteerde (worst case) aannemens bij free space	Verwachtingswaarde bij modified Hata digitale TV	Verwachtingswaarde bij modified Hata analoge TV	eenheden	Standaarddeviatie	Eenheden	Toelichting
Minimaal signaalniveau AOP	-82,3			dBW			
Gemiddeld signaalniveau AOP		-71	-66	dBW	5,3	dB	Bron TNO/kabelstooraanpak 2017
Afscherming kabel	44,3	44,3	44,3	-dBd	3,0	dB	Afscherming gerelateerd aan dipool antenne. Aanname gemiddelde slechte kabel gebaseerd op ADCO onderzoek.
Kabeldemping AOP-TV max	9,9			dB			
Kabeldemping AOP-TV gem.		4,8	4,8	dB	5,1	dB	TNO onderzoek 2014.
Benodigde S/N	28,8	25,7	31	dB	1,8	dB	Niveau waar 50% van kijkers beeld nog acceptabel vindt (grade 3,5)
Muurdemping	3,2	7,2	7,2	dB	4,0	dB	Kabelstooraanpak 2010
Zendvermogen LTE basisstation	21,4	21,4	21,4	dBW erp	2,2	dB	Gemiddeld zendvermogen volgens opgave Vodafone van 10 naar 8 MHz en eirp naar erp
Paddemping	94,8	71,4	71,7	dB			
Interferentie afstand free space	1666	geen vaste afstand		m			Afstand in meter
Antenne hoogte LTE basisstation		28	28	m			gemiddelde hoogte volgens antenne register (27,97 meter), SD 9,43 meter
Kabel hoogte		1,5	1,5	m	2,5	dB	In woonkamer veelal lager, echter deel ontvangst zal ook op eerste etage zijn. SD is op 1 meter verondersteld
					9,7	dB	Totale standaarddeviatie

Tabel 1 geeft een afleiding van de paddemping voor digitale en analoge tv op basis van het modified Hata propagatiemodel, met zo realistisch mogelijk gekozen (gemiddelde) onderliggende aannames, met als vergelijking 'free space' (maximale afstand, worst case). Hieronder worden de gekozen waarden voor de verschillende parameters in de tabel nader toegelicht.

#### Minimaal en gemiddeld AOP signaal

Het signaalniveau van een analoge TV signaal moet minimaal 61,5 dBuV bedragen. Het digitale QAM signaal ligt hier 5 dB onder. Dit komt overeen met een minimaal signaalniveau van -82,3 dBW. Het gemiddelde signaal niveau ligt ongeveer 11 dB hoger.<sup>13</sup> Voor het digitale QAM signaal is dit -71 dBW en voor het analoge signaal -66 dBW.

<sup>13</sup> Praktijkcijfers zijn overgenomen uit TNO onderzoek uit 2014 verricht in 249 woningen. TNO, *Omvang en effectiviteit van huisnetwerk upgrades nodig om storing van kabeldiensten door LTE te voorkomen*, rapport 2013 R11454, in opdracht van UPC Nederland en Ziggo, februari 2014 (niet openbaar).

### *Afscherming kabel*

In 2012 zijn er metingen door EMC ADCO verricht<sup>14</sup> om de screening effectiveness van kabelmateriaal te bepalen. De screening effectiveness en RFI afscherming van de kabel zijn vergelijkbaar als de relatieve antenne gain van de buitenmantel gelijk is aan dat van een isotrope antenne. Echter, voor een dipool antenne geldt dat de screening effectiveness waarde in dit geval met ongeveer 2,2 dB verhoogd moet worden om een juiste afschermingswaarde te verkrijgen. Zie voor de definities ook bijlage 1 van deze Annex. Nederland heeft toen 21 in de detailhandel te verkrijgen coax kabels ter meting aan ADCO aangeleverd. Een aantal daarvan had een relatief lage afscherming. Voor het bepalen van de waarde voor een gemiddelde slechte coax kabel (waarbij huishoudens derhalve storing kunnen ondervinden) is gekozen voor de kabel waarbij we veronderstellen dat dit type kabel (binnen de categorie van minder goed scorende kabels), relatief gangbaar was en derhalve representatief verondersteld mag worden voor een gemiddelde slechte kabel. Hiervoor is de kabel gekozen met 44,3 dB screening-effectiveness (als verwachtingswaarde). Veel kabels scoren (aanzienlijk) beter, maar enkele ook nog slechter dan deze kabel. De spreiding in deze kwaliteit van slechte coaxkabels is meegenomen door een standaarddeviatie van 3 dB mee te nemen in de berekening. Door de screening-effectiveness te relateren aan RFI-afscherming (zie hierboven) wordt als afschermingswaarde 46,5 gehanteerd.<sup>15</sup>

### *Kabeldemping tussen AOP en TV*

Uit de gegevens van het TNO onderzoek uit 2014 is de gemiddelde inhuiskabel demping 4,8 dB met standaard deviatie van 5,1 dB herleid. De reden voor de grote variatie komt doordat in de praktijk consumenten splitters gebruiken met en zonder versterker. Dit zorgt voor een grote variatie in signaal bij de settop box.<sup>16</sup> Voor de free space berekening is de gemiddelde kabeldemping genomen, vermeerderd met één keer de standaarddeviatie.

### *Benodigde S/N ('signaal-ruisverhouding')*

Voor digitale televisie is een S/N gekozen waarbij het QAM signaal nog goed demoduleerbaar is. Voor slechte 'settop boxen' ligt deze waarde op 28,8 dB. Bij een gemiddelde 'settop box' wordt deze waarde op 25,7 dB verondersteld.<sup>17</sup> Bij een lager niveau kan reeds ruis op het kabelnetwerk ontstaan, echter er treedt dan nog geen verstoring van de dienst (tv-ontvangst) op. Voor analoge televisie is uitgegaan van het niveau waarbij 50% van de kijkers het beeld nog acceptabel vindt. Dit doet zich voor bij een subjectief kwaliteitsniveau van 3,5 (op een schaal van 1 (zeer slecht) tot 5 (uitstekend)). Dit correspondeert met een signaalruis niveau van 31 dB.<sup>18</sup>

### *Muurdemping*

Voor de muurdemping is een gemiddelde waarde van 7,2 dB gekozen, welke afkomstig is uit het onderzoek naar muurdempingen uitgevoerd door de TU Twente in het kader van metingen voor het kabelstoorniveauonderzoek in 2010. Bij free space is, een waarde van 3,2 dB aangenomen, vanwege het worst case karakter (7,2 dB verminderd met één keer standaarddeviatie).

<sup>14</sup> EMC ADCO (Administrative Cooperation), *Trilateral benchmark on Ready-made connecting devices (receiver leads)*, Bundesnetzagentur (DE), OFCOM (CH) en Agentschap Telecom (NL), 31 oktober 2012.

<sup>15</sup> Deze waarde lijkt niet onredelijk (als aanname voor gemiddelde slechte kabel) gezien de gevonden afschermingswaardes van de huisnetten bij de metingen bij ZIGGO abonnees, die gemiddeld duidelijk hoger lagen (zie bijlage 2 van deze Annex).

<sup>16</sup> Voor digitale ontvangers die zich binnen het Tv-toestel zelf bevinden, en waarbij abonnees met (of zonder een kaart) digitale Tv kijken gelden dezelfde overwegingen.

<sup>17</sup> Metingen van Toezicht t.b.v. het kabelstoorniveauonderzoek 2010 aan de protectieverhouding gaven een range van 19,7 dB  $\pm$  3,1 dB bij een modulatie van 64 QAM. Aangezien nu 256 QAM de gangbare modulatie is die 6 dB gevoeliger is voor storing dan 64 QAM, is de protectieverhouding met 6 dB verhoogd tot 25,7 dB  $\pm$  3,1 dB. Zie ook annex 6.

<sup>18</sup> Signal-to Noise Ratios for Television Transmission, Lincoln Laboratory, 14 maart 1969.

#### *Zendvermogen LTE*

Hiervoor is het gemiddelde zendvermogen in ERP gekozen volgens opgave van Vodafone omgerekend naar een bandbreedte van 8 MHz.<sup>19</sup> De bijbehorende standaarddeviatie is ook hierop gebaseerd. Dit betreft het gemiddelde vermogen bij 'piekgebruik', welke zich niet constant voordoet. Zeker in de avonduren zal het gemiddelde vermogen onder normale omstandigheden, met een lagere bezetting plaatsvinden. Hierdoor wordt het aantal stoorgevallen zoals nu wordt gepresenteerd overschat. We corrigeren hier niet voor, vanwege de moeilijkheid (of willekeurigheid) om hier een goede correctiefactor voor te hanteren.

#### *Paddemping*

Dit geeft de paddemping die nodig is tussen een LTE basisstation en een in huis aanwezige coaxnetwerk om geen verstoring van het TV beeld te veroorzaken. Met behulp van een propagatie model, in dit rapport Free space of modified Hata<sup>20</sup>, is daarmee de benodigde afstand tussen het LTE basisstation en de coaxkabel in huis te bepalen. De paddemping wordt als volgt berekend:

Paddemping = zendvermogen LTE – muurdemping + benodigde S/N + kabeldemping AOP-TV – afscherming kabel – signaalniveau AOP.

#### *Free space stoorafstand*

Op basis van de in de tabel weergegeven aannames kan de "worst case" free space stoorafstand bepaald worden.<sup>21</sup> Voor de bepaling van het aantal huishoudens met interferentie op basis van het modified Hata model conform ERC Report 68 zijn echter nog aanvullende aannames nodig. Dit zijn de antenne hoogte van het LTE basisstation en de hoogte van het coaxkabelnetwerk dat zich in een huis bevindt.

#### *LTE antenne hoogte*

De gemiddelde antenne hoogte van een LTE basisstation is gebaseerd op de gegevens in het antenne register. Niet alle LTE basisstation antennes hebben dezelfde hoogte, de standaarddeviatie hiervan is 9,4 meter. Echter deze standaarddeviatie speelt geen rol in de berekeningen met het modified Hata model. Dit betreft een spreiding die van invloed is in de sommatie over alle stoorafstanden rond ieder LTE basisstation. Omdat de kortere interferentieafstanden van lage LTE basisstations gecompenseerd worden door de hogere LTE basisstations, wordt deze standaarddeviatie verder niet meegenomen.

#### *Kabelhoogte*

Er wordt in de berekening uitgegaan van een kabelhoogte van 1,5 meter. Op de begane grond zullen kabels veelal lager liggen, echter door 1,5 meter hoogte te kiezen wordt rekening gehouden met ontvangst op hoger etages. Er is gekozen voor een standaarddeviatie van 1 meter. Met het modified Hata model is dit om te rekenen naar een standaarddeviatie van 2,5 dB.

Met bovenstaande aannames kan met modified Hata de paddemping bepaald worden voor verschillende afstanden met bijbehorende kansen (zie verder paragraaf 4.3 in hoofdstuk 4).

---

<sup>19</sup> Het zendvermogen is hier uitgedrukt in ERP, omdat ook de afscherming van de coaxkabel gerelateerd is aan een dipoolantenne.

<sup>20</sup> voor uitvoeren van een modified Hata berekening moeten ook de hoogtes van het LTE basisstation en in huis coax netwerk worden bepaald. Zie verder in de tabel.

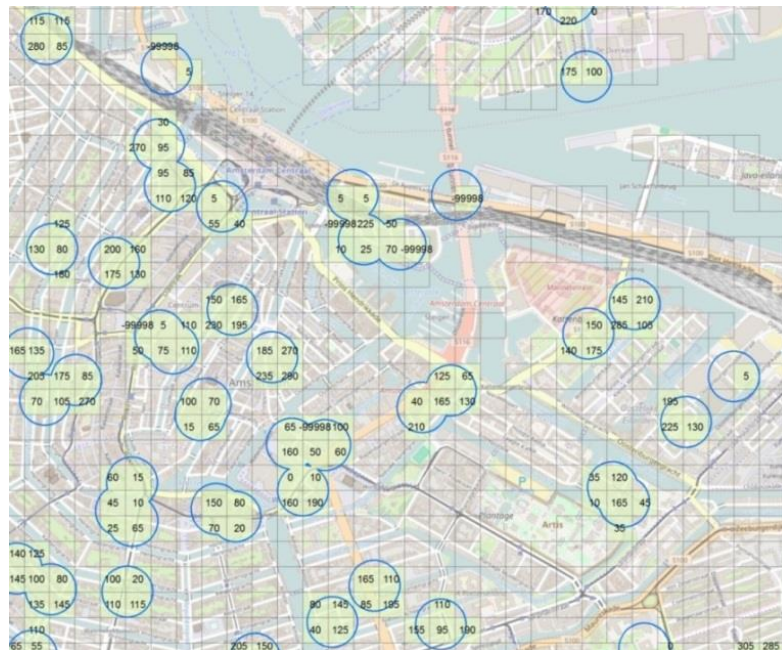
<sup>21</sup> Alle berekeningen in dit rapport met het free space en modified Hata model zijn uitgevoerd uitgaande van de frequentie 789,5 MHz. Dit is de middenfrequentie van de downstream LTE band in de 700 MHz band.

## Annex 7.4: Bepaling aantal woningen 100 meter rondom een basisstation

### Methodiek

Het CBS levert zogenaamde Statistische gegevens per vierkant in de resolutie van 100 meter (en 500 meter). In dit onderzoek is de laatste versie gebruikt (update 2014-10). Op deze kaart met vierkanten is Nederland ingedeeld in vierkanten van 100 bij 100 meter. Aan elk van deze vierkanten zijn door het CBS statistische gegevens toegevoegd. De uitdaging is om zo goed als mogelijk de cirkels met de straal van 100 meter te laten vallen binnen de CBS vierkantkaart, zodat de koppeling met de CBS gegevens zo goed als mogelijk is. Een straal van 100 meter is gekozen omdat dit de resolutie van de CBS data is. Hieronder volgt een analyse om te schatten hoeveel huishoudens binnen een cirkel van 100 meter van de huidige LTE basisstation wonen.

In onderstaand voorbeeld wordt ingezoomd op de binnenstad van Amsterdam. De blauwe cirkels, 'polygonen' zijn het resultaat van de bewerkingen op het antenregister. Met andere woorden dit is de 100 meter cirkel rondom een LTE mast. Verder is het CBS vierkant raster zichtbaar en waar er een passende overlap is de rastercel gekleurd en staat er een getal in dat het aantal inwoners (peildatum 2014) representeert. De overlap betekent in dit geval hoe ver een CBS vierkant van een LTE mast locatie maximaal mag zijn. Bij een overlap van 0 meter worden alleen CBS vierkanten meegenomen waarin de LTE mast staat. Bij een grotere overlap worden ook naburige CBS vierkanten meegenomen.<sup>22</sup> Het blijkt dat een overlap van 10 meter visueel een goede benaderingswaarde geeft.



**Afbeelding:** binnenstad van Amsterdam waarin CBS vierkanten worden 'ingepast' rondom een straal van een LTE zendmast.

Op basis van deze overlap uit de CBS data kan worden afgeleid dat ongeveer 380.000 woningen in Nederland zich binnen 100 meter van een LTE zendmast bevinden.

<sup>22</sup> Een 'fit' van bijvoorbeeld 10 meter betekent dat alle CBS vierkanten worden meegenomen die binnen een cirkel met een straal van 100 + 10 meter t.o.v. de LTE zendlocatie liggen.

Annex 7.5: EMC ADCO metingen screening effectiveness kabelmateriaal<sup>23</sup>

	Measuring frequencies (MHz)		
	55,25	375,25	855,25
1 BMS	92,0	88,7	85,5
2 BMS	> 95,0	> 95,0	fail
3 unbranded	63,7	45,6	42,8
4 unbranded	69,4	49,0	44,4
5 DELTAC	38,5	41,5	58,5
6 Technetix	94,0	> 95,0	> 95,0
7 Belden	> 95,0	> 95,0	> 95,0
8 Hirschmann	94,7	86,9	77,3
9 Bandridge	94,7	> 95,0	94,7
10 Flamingo	63,0	47,9	44,0
11 Vivanco	94,7	88,0	92,0
12 Vivanco	79,7	73,3	64,7
13 Vivanco	72,8	76,3	80,1
14 Thomson	> 95,0	> 95,0	> 95,0
15 OK	39,0	43,0	fail
16 Gamma	57,4	43,6	44,3
17 ELRO	77,9	77,1	80,4
18 ELRO	93,3	84,2	77,2
19 ELRO	86,0	> 95,0	> 95,0
20 ELRO	> 95,0	> 95,0	> 95,0
21 ELRO	94,7	> 95,0	> 95,0

**Meetmethode:** 'Absorbing clamp' meetmethode.

The measuring test of screening effectiveness is executed with the absorbing clamp measuring method. The EUT have to meet the limit values for Class A equipment in the frequency range 30 MHz to 862 MHz due to standards EN 60966-2-4 and EN 60966-2-5 of 85 dB. For the ease of the test, the limit values for EUT due to EN 60966-2-6 were also reduced to a limit value of 85 dB (in the standard EN 60966-2-6 a limit value of 95 dB is stated in the frequency range 30 MHz to 1000 MHz).

De waarde van de screening effectiveness kan met de volgende formule berekend worden:

$$S \text{ [dB]} = L_s \text{ [dB}(\mu\text{V})] - a_m \text{ [dB]} - L_r \text{ [dB}(\mu\text{V})] - a_k \text{ [dB]} - a_f \text{ [dB]}$$

Ls	output level of signal generator
am	correction value for the network to the highly shielded coaxial cable
Lr	display of the measuring receiver
ak	insertion loss of the absorbing clamp and correction value for calibration
af	correction for the connecting cable absorbing clamp to the measuring receiver

<sup>23</sup> EMC ADCO (Administrative Cooperation), *Trilateral benchmark on Ready-made connecting devices (receiver leads)*, Bundesnetzagentur (DE), OFCOM (CH) en Agentschap Telecom (NL), 31 oktober 2012.

## Annex 8: Metingen aan televisietoestellen, settop boxen en kabelmodems

*Agentschap Telecom*

### **Inleiding**

Ten behoeve van Digitaal Dividend zijn er metingen uitgevoerd aan een aantal televisietoestellen, settop boxen en kabelmodems. De metingen hebben betrekking op een aantal elektrische eigenschappen van deze apparaten. De apparaten zijn voorzien van een CE-markering, hetgeen betekent dat zij aan een bepaald aantal eisen moeten voldoen. Enkele van die eisen zijn gemeten. Deel 1 geeft een aantal algemene zaken weer die voor alle metingen van toepassing zijn. In deel 2 wordt de afscherming van de tuners beschreven. Deel 3 is gewijd aan de mate van invloed van een ongewenst signaal aan de ingang van een tuner. De gevoeligheid van apparaten voor HF-velden wordt in deel 4 beschreven. De resultaten van de voorgaande metingen zijn vertaald naar de invloed in huisnetten in deel 5. Het verschil in dichtheid van diverse soorten snoeren is samengebracht in deel 6. Deze annex wordt afgesloten met een aantal bijlagen.

### **Samenvatting**

Er is een aantal metingen uitgevoerd aan televisietoestellen (tv's), settop boxen (stb's) en kabelmodems (CM's). De metingen worden genoemd in de diverse Europese Normen die voor dergelijke apparaten gelden als zij voorzien zijn van een CE-markering. Er zijn 9 tv's, 6 stb's en 3 CM's gemeten.

Op de tuner van (digitale) tv's, settopboxen en CM's komt op hoogfrequentbasis de te bekijken of te beluisteren informatie binnen. De tuner moet een bepaalde mate van hoogfrequent afscherming bezitten. Uit de metingen blijkt dat twee settopboxen hieraan niet voldoen.

De tuners kunnen behalve gewenste signalen ook ongewenste signalen op hun ingang aangeboden krijgen. Er is gekeken wat de invloed is van ongewenste signalen op dezelfde en op andere frequenties als het gewenste signaal. De bandbreedte en modulatiesoort van het ongewenste signaal zijn bepalend voor de invloed op het gewenste signaal.

De apparaten moeten tot een bepaald niveau bestand zijn tegen hoogfrequentvelden die in hun omgeving aanwezig zijn. Op één na voldoen alle apparaten aan het criterium.

De invloed van de voorgaande factoren zijn vertaald naar hun invloed in huisinstallaties. Er is nauwelijks invloed waarneembaar.

Metingen aan diverse samenstellen van snoeren met coaxkabels geven duidelijk kwaliteitsverschillen in met name aansluitpluggen te zien.

*Het bepalen van het al of niet voldoen aan de normen was echter niet de doelstelling van deze metingen. Zelfs bij volledig voldoen aan de eisen is storing nog steeds goed mogelijk.*

*Alle gemeten waarden, gemiddelde en spreiding, waren nodig om het simulatiemodel te voeden waar de technische stoorkans mee is bepaald.*

## 1. Algemene informatie

Dit hoofdstuk geeft informatie over diverse aspecten die van toepassing zijn op alle uitgevoerde metingen.

### Keuze van te testen apparaten

Voor deze test zijn 6 televisietoestellen (tv's) aangekocht en 6 settop boxen (stb's) geleend van een kabelmaatschappij.

De tv's zijn verdeeld over 5 merken. Van één merk zijn twee toestellen aangekocht, echter afkomstig uit diverse series. De tv's zijn uitgekozen hebben een beeld diameter van 32 inch, zijn voorzien van een DVB-C-tuner en geschikt voor het weergeven van programma's van kabelmaatschappij Ziggo door een Conditional Access Module met Common Interface +.

De settop boxen (stb's) zijn van drie verschillende merken. Van elk merk is een tweetal identieke types geleverd, geschikt voor het weergeven van programma's van kabelmaatschappij Ziggo. Ter vergelijking zijn er 3 oude tv's getest, dat zijn toestellen voor analoge tv-ontvangst.

Er zijn 3 kabelmodems (CM's) gemeten in een laboratorium van een kabelmaatschappij.

Er zijn geen DVD- of Blue Ray-recorders gemeten, aangezien er momenteel nauwelijks apparaten op de markt zijn met een DVB-C-tuner.

In bijlage 1 staan de merknamen, types en leeftijd van de geteste apparaten vermeld.

### Testbeeld en beoordelingscriterium

Het testbeeld is een opname van bewegende beelden. De opname is als stream in een lus van 5 minuten geïnstalleerd in een meetzender met DVB-C modulatie.

Het beeld op de tv of monitor (bij een settop box) wordt beoordeeld op het vertonen van meer dan één blok in het beeld.

### Toegepaste frequenties

Er is gebruik gemaakt van een frequentie in de toekomstige LTE-band, 834 MHz. Voor de out of band metingen zijn de frequenties aangegeven in de tabel met meetresultaten. Bij de screening effectiveness metingen is 770 MHz gebruikt als frequentie voor 'other channel'.

### Meetapparatuur

Alle meetapparaten waren, voor zover van toepassing, voorzien van een geldige kalibratie op het moment van de metingen. In bijlage 2 staat informatie over de meetapparaten.

## 2. Afschermingseffectiviteit van apparaten

Het betreft het vaststellen van de mate van HF-afscherming van de tuners van tv's en stb's. Deze meting is uitgevoerd naar de geest van EN 55020 clause 5.5. Die meetmethode gaat uit van een apparaat dat spanningsloos is. Aangezien de huidige tuners andere eigenschappen kunnen vertonen als de netspanning aanwezig is, is besloten om de meting eveneens uit te voeren aan de apparaten met netspanning. De meetopstelling wordt beschreven in bijlage 2. De gebruikelijke term voor deze meting is screening effectiveness.



## ANNEXEN

Van 6 nieuwe televisietoestellen en settop boxen, 3 oude tv's en 3 nieuwe modems is de screening effectivensess gemeten. De afscherming moet volgens EN 55020 minimaal 50 dB bedragen. De meettolerantie is + en - 3 dB. De meetgegevens staan in tabel 1.

Nr.	Brand/Type	Function	No power	Standby	Tuned channel	Other channel
1		TV	56 dB	59 dB	57 dB	65 dB
2		TV	79 dB	83 dB	73 dB	73 dB
3		TV	59 dB	58 dB	46 dB	46 dB
4		TV	59 dB	59 dB	55 dB	52 dB
5		TV	66 dB	66 dB	56 dB	64 dB
6		TV	62 dB	62 dB	57 dB	68 dB
7		STB	70	60	60	55
8		STB	74	64	64	65
9	De merknamen	STB	48	48	45	45
10	zijn hier bewust	STB	46	52	52	51
11	niet weergegeven	STB	58	49	51	50
12		STB	53	44	42	46
13		TV	60	60	58	58
14		TV	60	60	63	60
15		TV	70	70	66	66
16		CM	66	Not available	66	66
17		CM	68	Not available	68	68
18		CM	57	Not available	57	57

Tabel 1. Screening effectivensess

### Uitkomsten

Twee apparaten, de stb's met de volgnummers 9 en 10, voldoen niet aan de eis uit EN 55020. Er zitten grote verschillen in tuners van hetzelfde type. Er is ook een groot verschil in de diverse tuners wanneer zij wel of niet van spanning voorzien zijn. De laagst gemeten screening effectivensess is 43 dB, de hoogste 79 dB. De screening effectivensess van modems is niet afhankelijk van wel of geen spanning. Direct achter de HF-ingang zit namelijk een passief filternetwerk.

### 3. Verstoring binnen en buiten de band (input immunity)

De inkoppelmetingen en afschermingseisen van apparaten bepalen mede het niveau van het stoorsignaal dat in de kabelnetten gaat ontstaan. Hiertegen zouden de individuele apparaten bestand moeten zijn. Deze robuustheid wordt bepaald met een meting die een gewenst (digitale tv) en een ongewenst signaal (LTE) aan de tuner aanbiedt. Het ongewenste signaal wordt gegenereerd op dezelfde frequentie als het gewenste signaal, een kanaal hoger en lager en vijf kanalen hoger en lager. De verhouding tussen een gewenst en ongewenst signaal op dezelfde frequentie wordt ook wel protectieverhouding genoemd. De gebruikelijke term voor deze meting is input immunity.

De meting is uitgevoerd volgens EN 55020 clause 5. De meetopstelling wordt beschreven in bijlage 3.

Van 6 nieuwe televisietoestellen en 6 settopboxen is het verstoringsniveau gemeten, zie tabel 2.

De 3 kabelmodems zijn getest door het maken van een telefonieverbinding. Die is sneller verstoord dan een internetverbinding. Als stoorsignaal is een DVB-C-zender (bandbreedte 6,875 MHz) gebruikt.

**ANNEXEN**

Van de oude tv's is de input immunity niet getest wegens niet beschikbaar zijn van een LTE-generator op het moment dat de tests aan deze tv's plaatsvonden.

All values in dB			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Channel	LTE (MHz)	up/downlink	JVC	Sony	LG	Philips	Samsung	Samsung	Humax	Humax	Digi 1	Digi 1	Samsung	Samsung
			tv						stb					
X	1,25	down	-11	-14	-16	-10	-6	-5	-15	-10	-13	-13	-11	-9
834 MHz	5	down	-20	-20	-21	-18	-18	-20	-19	-18	-20	-20	-19	-20
	10	down	-18	-22	-22	-18	-21	-20	-21	-23	-21	-21	-21	-20
	20	down	-20	-22	-21	-17	-24	-17	-21	-21	-22	-22	-23	-21
	1,25	up	-14	-12	-12	-18	-16	-11	-13	-14	-2	-12	-10	-10
	5	up	-22	-20	-24	-16	-20	-16	-21	-22	-17	-15	-17	-20
	10	up	-23	-23	-22	-17	-21	-14	-22	-22	-16	-16	-20	-20
	20	up	-23	-23	-22	-20	-23	-26	-22	-21	-16	-17	-20	-20
X+1	1,25	down	26	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
842 MHz	5	down	21	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	28	>30	>30
	10	down	-4	-6	-4	9	-6	-6	0	0	8	8	0	-1
	20	down	-18	-19	-16	-13	-22	-21	-16	-13	-16	-16	-16	-16
	1,25	up	25	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
	5	up	20	14	>30	>30	>30	>30	22	23	29	29	>30	>30
	10	up	16	14	25	>30	21	20	22	16	17	15	20	17
	20	up	-19	-20	-21	-24	-18	-12	-20	-18	-17	-17	-17	-20
X+5	1,25	down	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
874 MHz	5	down	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
	10	down	>30	>30	19	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	12	10
	20	down	>30	>30	20	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	14	10
	1,25	up	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
	5	up	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
	10	up	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	23	21
	20	up	>30	>30	19	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	13	10
X-1	1,25	down	25	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
826 MHz	5	down	20	>30	>30	>30	>30	>30	21	>30	21	21	>30	>30
	10	down	-6	-3	0	2	-4	-5	-1	-5	-7	-6	-3	-1
	20	down	-20	-17	-19	-17	-19	-17	-16	-12	-16	-15	-16	-17
	1,25	up	25	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
	5	up	18	>30	>30	>30	>30	>30	28	26	26	26	>30	>30
	10	up	-6	-5	-4	2	-9	-3	-5	-5	-8	-12	-4	-3
	20	up	-6	-14	-17	-17	-18	-15	-13	-9	-14	-14	-11	-10
X-5	1,25	down	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
794 MHz	5	down	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
	10	down	>30	>30	>30	0	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
	20	down	>30	>30	>30	-14	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
	1,25	up	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
	5	up	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
	10	up	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
	20	up	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30

Tabel 2. Verstoring binnen en band en buiten de band

**Uitkomsten**

Hoe geringer de bandbreedte van het LTE-signaal des te groter is de storingskans bij de inbandige signalen. Er is ook verschil tussen uplink (SC-FDMA) en downlink (OFDMA) LTE-modulatie. Tevens is er een verschil in het in-band stoorniveau van de tuners bij smalbandige LTE-signalen. Bij de metingen buiten de band is vooral, uiteraard, duidelijk dat bij één kanaal hoger en lager de breedbandige LTE-signalen voor een slechte protectieverhouding zorgen. Volgens EN 55020 moet het gewenste signaal op de tuner 60 dBµV bedragen. Dat is hoger dan het signaal dat de kabel aanbiedt. Op het Abonnee Overname Punt (AOP) is het vereiste niveau namelijk 55 dBµV .

Kabelmodems geven signalen goed weer totdat het stoorniveau 26 dB onder het gewenste signaal komt. Dat niveau is vergelijkbaar met het niveau dat de slechtste tv's bereiken.

#### 4. Instraling (radiated immunity)

Apparaten moeten tegen een bepaald niveau van externe HF-velden bestand zijn. Volgens EN 50020 moeten tv's bestand zijn tegen een veldsterkte van 106 dB $\mu$ V/m op de frequentie waarop het apparaat is afgestemd (in band immunity). Het niveau van 106 dB $\mu$ V/m komt overeen met 0,2 V/m. De metingen zijn uitgevoerd in een GTEM. De meetopstelling wordt beschreven in bijlage 4.

Deze meting is uitgevoerd aan 6 nieuwe televisietoestellen en 6 settop boxen. De resultaten zijn te vinden in tabel 3.

De tolerantie van de meetwaarden bij deze meting is + en - 6 dB.

Voor het meten van de radiated immunity van kabelmodems was er geen LTE-, maar wel een DVB-C-generator met een signaalniveau van 20 dBm (ongeveer 2 V/m) beschikbaar. De test is uitgevoerd in het kabelmodemlaboratorium van een kabelmaatschappij. De drie getest modems ( en alle 47 andere modems in dezelfde ruimte) bleven bij die veldsterkte goed functioneren.

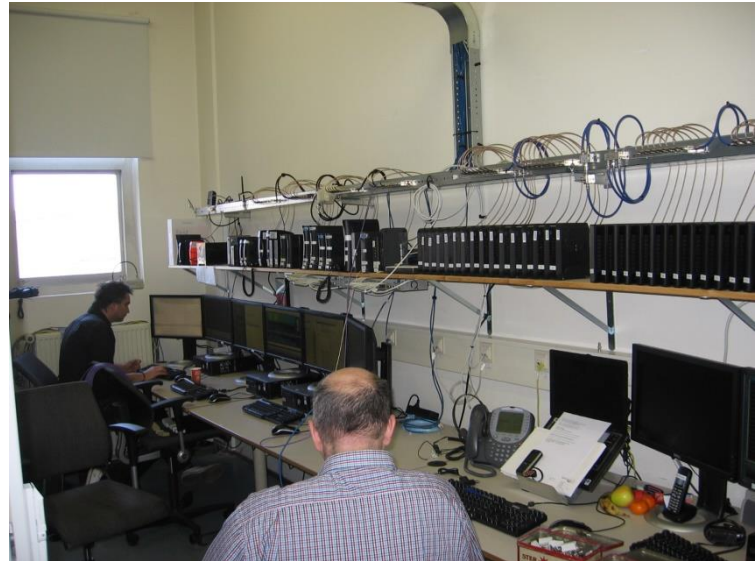
All values in V/m			AM	LTE downlink bandwidth (MHz)				LTE uplink bandwidth (MHz)			
Nr.	Brand/Type	Function	80%	1,25	5	10	20	1,25	5	10	20
1		tv	1,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
2		tv	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3
3		tv	>3	1,5	1,3	1,4	2,1	1,9	1,3	>4	1,7
4		tv	1,2	0,8	0,4	0,9	1,3	0,9	0,8	>5	1,2
5		tv	2,1	1,6	1,2	1,5	1	1,2	1,2	>6	2
6	De merknamen	tv	>3	1,2	0,7	0,6	1	1,5	0,7	>7	1,3
7	zijn hier bewust	stb	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>8	>3
8	niet weergegeven	stb	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>9	>3
9		stb	1,1	1	0,9	1,8	1,7	1,1	1	>10	1,6
10		stb	1,9	0,6	0,6	0,6	1,5	0,9	0,9	>11	1,5
11		stb	1,2	1,2	0,9	0,9	1,2	0,6	0,6	>12	0,7
12		stb	>3	1,3	1,1	1,3	1,9	2,3	0,8	>13	2

Tabel 3. Radiated immunity

#### Uitkomsten

Als er geen tolerantie van 6 dB gehanteerd wordt, voldoen alle apparaten aan de eis van 0,2 V/m. Als de tolerantie wel gehanteerd wordt, ligt de grens tussen 1,25 en 0,4 V/m. Bij de standaardmeetmethode voldoen dan alle apparaten. Bij LTE-signalen valt één tv af (nummer 1).

Laboratorium  
voor  
kabelmodems



## 5. Consequenties voor huisnetwerken

Dit onderdeel is uitgevoerd nadat de drie in de voorgaande hoofdstukken beschreven activiteiten afgerond waren. De kennis die de metingen opleverde is gebruikt bij de metingen aan huisnetwerken.

De meetresultaten van de screening effectivensess waren aanleiding om deze in een gewoon huisnet te onderzoeken. Vanuit een AOP zijn via een tweewegverdeler coaxkabels gelegd naar twee naast elkaar liggende kamers. In één kamer is de tv vervangen door een spectrum analyzer. In de andere kamer zijn beurtelings twee tv's en één stb aangesloten. In diezelfde ruimte werd een LTE-sigitaal van 23 dBm gegenereerd. Er is gemeten wat de invloed was op een aansluiting (spectrum analyzer) in de andere kamer. Tabel 4 geeft de resultaten weer. De meetopstelling wordt beschreven in bijlage 6. De demping tussen de uitgangen van de gebruikte tweewegverdeler bedraagt 30 dB.

Nr.	Brand/Type	Function	No power	Standby	Tuned channel	Other channel	
2	De merknamen	tv	0 dB	2 dB	1 dB	4 dB	
4	zijn hier bewust	tv	2 dB	4 dB	2 dB	4 dB	
10	niet weergegeven	stb	3 dB	3 dB	2 dB	3 dB	

Tabel 4. Invloed van screening effectivensess tussen apparaten onderling

### Uitkomsten

Er is een kleine invloed merkbaar. Die invloed heeft echter geen duidelijke relatie met de gemeten grote verschillen in screening effectivensess van de gebruikte tv's en stb. Verder is de demping van een verdeler zo groot dat er weinig beïnvloeding door dit fenomeen te verwachten is.

## 6. Instraling bij verschillende kabelcomposities

Er is met diverse kabelsamenstellingen gemeten hoeveel energie van een zender in de bekabeling terechtkomt.

**ANNEXEN**

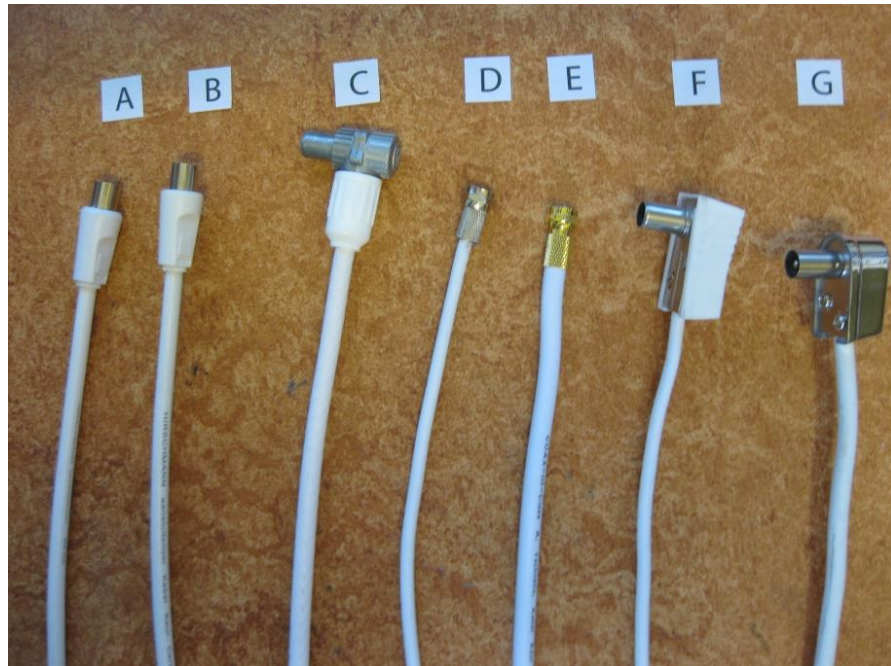
Op 1 en 3 meter afstand van een kabel is een zendsignaal gegenereerd met een ERP van 23 dBm. De kabel heeft een lengte van 5 meter. De kabels zijn verschillend van kwaliteit. Dat geldt ook voor de aan beide zijden gemonteerde pluggen. Aan de ene zijde is een tv of stb of aangesloten. Aan de andere zijde van de kabel is een Spectrum Analyzer aangesloten. De resultaten zijn te vinden in tabel 5. De toegepaste kabels en pluggen staan in tabel 6. De meetopstelling staat in bijlage 5, figuur 7.

Nr.		1 m	3 m	1 m	3 m	1 m	3 m	1 m	3 m
A	Kabelkeur	-70	-72	-71	-72	-71	-70	-70	-68
B	KEMA-keur	-72	-72	-72	-73	-71	-70	-70	-68
C	Hirschmann	-72	-70	-71	-71	-72	-71	-70	-68
D	5 mm F	-72	-72	-72	-72	-72	-71	-71	-68
E	7 mm F	-71	-71	-71	-72	-71	-71	-71	-68
F	5 mm plastic	-54	-48	-44	-49	-54	-44	-50	-52
G	Gamma profi	-53	-58	-59	-62	-62	-58	-57	-54
Livingroom with wooden floor									
		TV nr. 2		TV nr. 3		TV nr. 15		STB nr. 10	
Nr		1 m	3 m	1 m	3 m	1 m	3 m	1 m	3 m
A	Kabelkeur	-70	-73	-72	-71	-72	-72	-72	-72
B	KEMA-keur	-73	-73	-72	-72	-72	-72	-72	-52
C	Hirschmann	-73	-73	-70	-70	-72	-72	-72	-70
D	5 mm F	-71	-71	-71	-70	-72	-72	-72	-52
E	7 mm F	-72	-73	-71	-72	-72	-72	-72	-72
F	5 mm plastic	-50	-54	-49	-51	-43	-47	-47	-70
G	Gamma profi	-62	-59	-50	-58	-50	-55	-50	-72
Livingroom with concrete floor									
		TV nr.2		TV nr. 3		TV nr. 15		STB nr. 10	
Nr		1 m	3 m	1 m	3 m	1 m	3 m	1 m	3 m
A	Kabelkeur	-68	-68	-64	-64	-60	-60	-53	-53
B	KEMA-keur	-68	-68	-64	-64	-60	-60	-53	-53
C	Hirschmann	-68	-68	-64	-64	-60	-60	-53	-53
D	5 mm F	-68	-68	-64	-64	-60	-60	-53	-53
E	7 mm F	-68	-68	-64	-64	-60	-60	-53	-53
F	5 mm plastic	-31	-31	-30	-30	-31	-31	-33	-33
G	Gamma profi	-37	-37	-33	-33	-40	-40	-38	-38
Office									
		All numbers in dBm							
		Frequency 834 MHz							

Tabel 5. Instraling bij diverse kabelcomposities

## ANNEXEN

Nr	Description	Coax Cable	Connectors
A	Already assembled	Kabel Keur	IEC type fixed
B	Already assembled	KEMA keur	IEC type fixed
C	Home made	Hirschmann KOKA 799	Hirschmann KOSW13 + KOKW13
D	Home made	5 mm	F type
E	Home made	7 mm Kabel Keur	F type
F	Home made	5 mm	IEC type plastic housing
G	Home made	RG6U	IEC type metal coated housing



Tabel 6. Toegepaste kabels en pluggen

### Uitkomsten

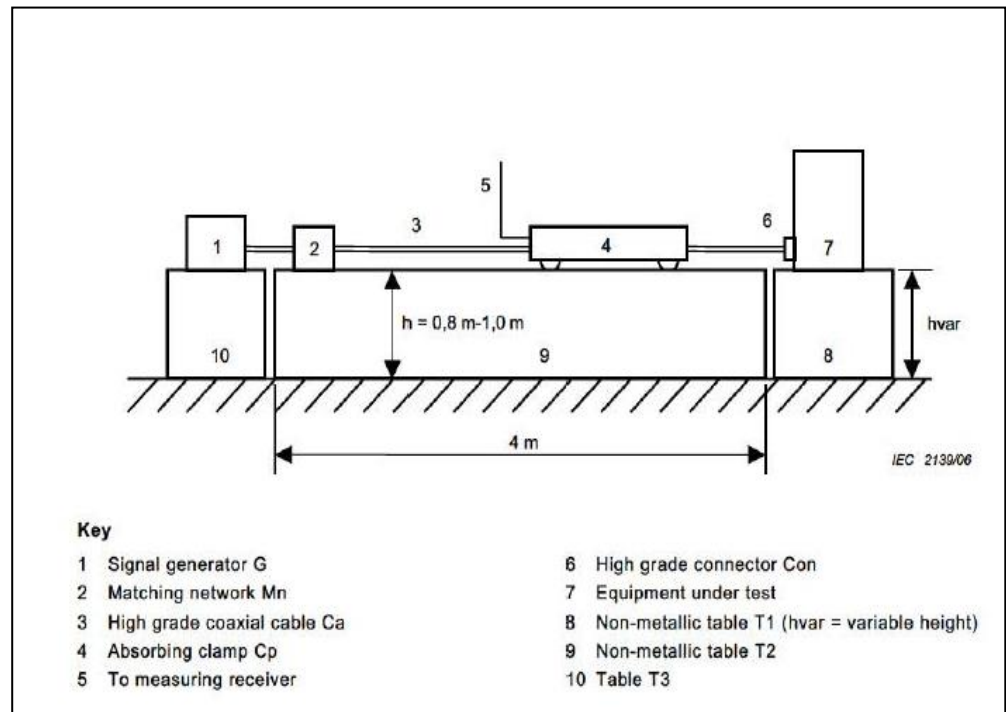
Er is slechts een klein verschil in meetwaarden tussen een Kabelkeur, KEMA-keur en best home made. Daarom zijn de waarden identiek gemaakt. De kwaliteit van het samenstel van coaxkabel en pluggen wordt vrijwel geheel bepaald door het type plug.

## Annex 8 Bijlage 1 Meetapparatuur

Function	Brand	Type	Serial number
Signal Generator	Agilent	E4428C	MY45280624
Signal Generator	R&S	SMBV100A	255002
Broadcast Test System	R&S	SFU	101713
Power Amplifier	Bonn	BSA 0104	76701
E-Field Sensor	Radi Sense	CTR 1001A	06D00036SNO-66
Spectrum Analyzer	R&S	ETL	101231
Spectrum Analyzer	R&S	FSP	100817
TV signal measuring receiver	KWS Electronics	AMA300	36270
GTEM	ETS-Lindgren	5411	77257
Logper Antenna	EMCO	3148	1243

## Annex 8 Bijlage 2 Meetopstelling afschermingseffectiviteit van apparaten

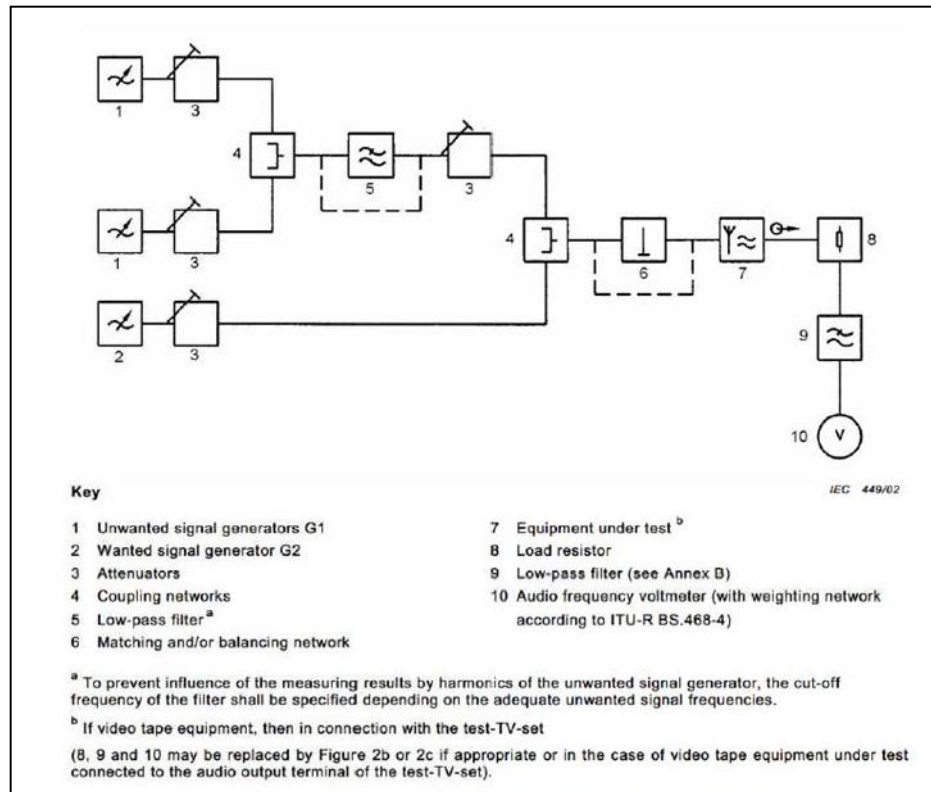
De meetopstelling voor de afschermingseffectiviteit (screening effectiveness) is opgebouwd volgens IEC 55020, zie figuur 1. De generator produceert een ongemoduleerde draaggolf op 834 MHz. Voor het meten op een niet-afgestemd kanaal is 770 MHz gegenereerd. De HF-uitgang van de stb's is afgesloten met een weerstand van 75 ohm.



Figuur 1. Meetopstelling screening effectiviteit

### Annex 8 Bijlage 3 Meetopstelling input immunity

De meetopstelling is opgebouwd volgens EN 55020, zie figuur 2. Het gewenste signaal is DVB-C op 834 MHz. Het ingangsniveau van dit signaal op de tuner is 60 dB $\mu$ V, zoals aangegeven in EN 55020. Het ongewenste signaal is LTE in 4 bandbreedtes (1,25 – 5 – 10 – 20 MHz). Deze bandbreedtes zijn in uplink- en downlink-mode gegenereerd.



Figuur 2. Meetopstelling voor input immunity

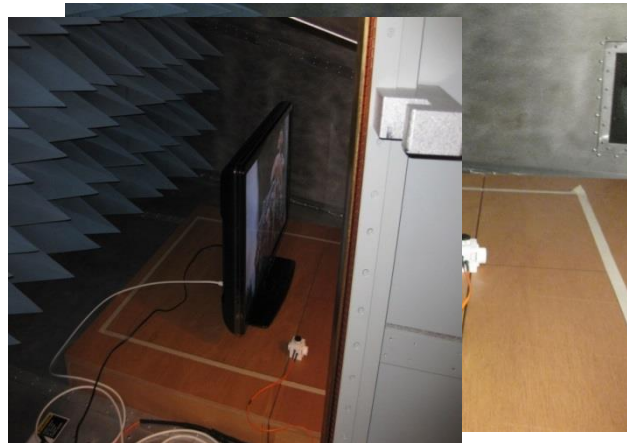
### Annex 8 Bijlage 4 Meetopstelling instraling

De meetopstelling bestaat uit een generator, versterker en zendantenne, zie figuur 3. De zendantenne is gemonteerd in een HF-dichte ruimte waarin het te meten apparaat geplaatst wordt. Met een sensor wordt het opgewekte veld gemeten, zie figuur 4 en 5.





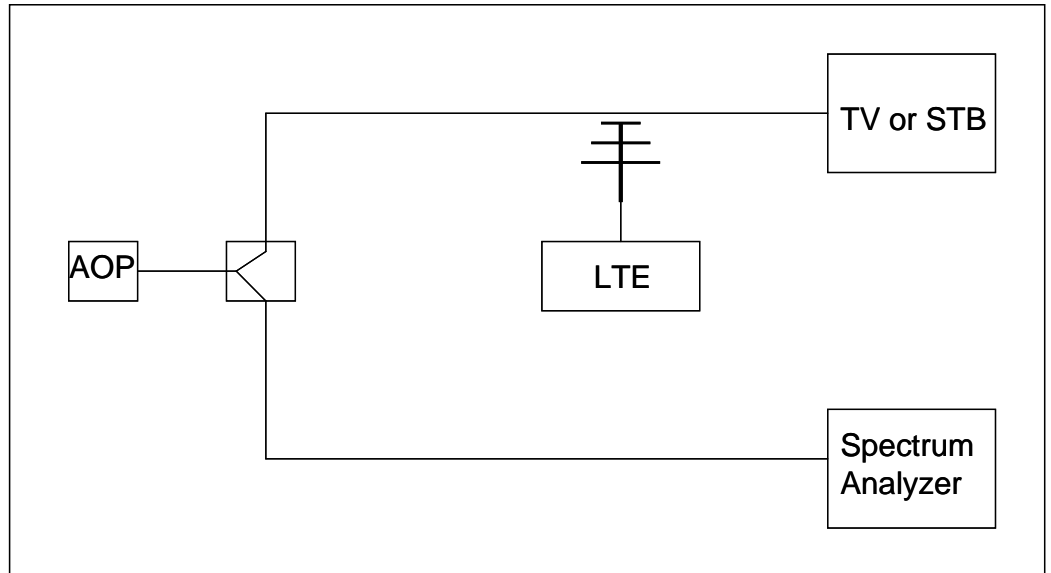
Figuur 3. Meetopstelling immuniteit; GTEM (Gigahertz Transverse Electromagnetic Cell)



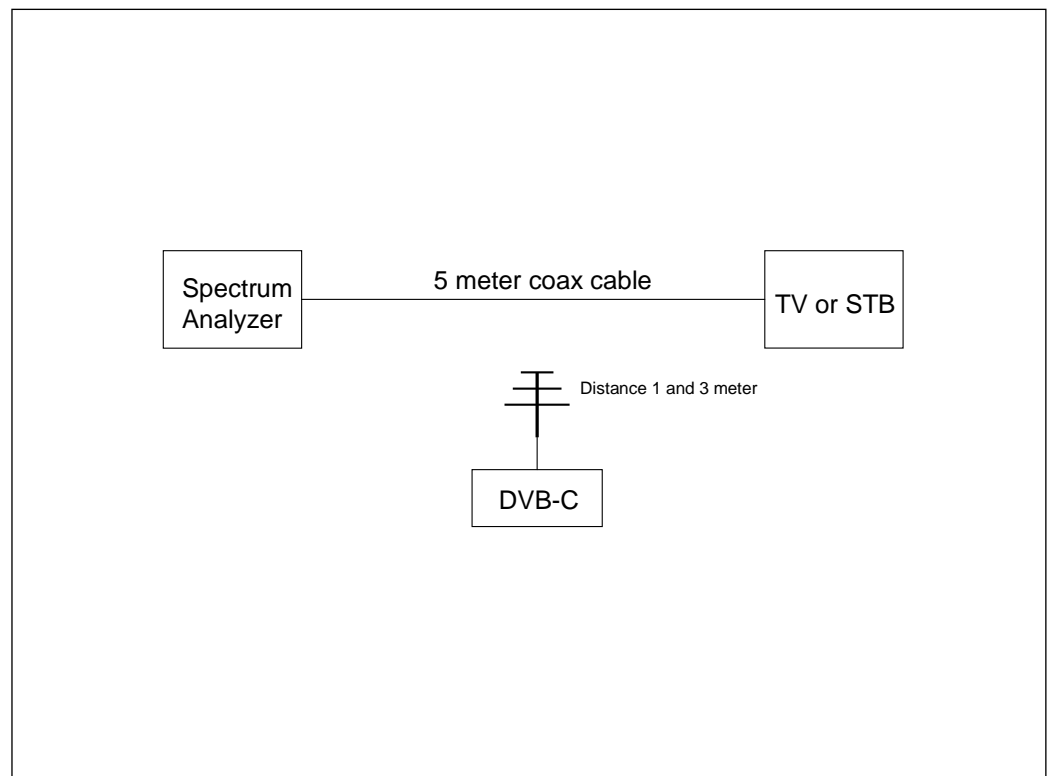
Figuur 4 en 5. Sensor bij settop box en televisietoestel in GTEM

### Annex 8 Bijlage 5 Meetopstelling voor huisnetten en kabels

De meetopstelling bestaat uit een tweetal aansluitingen voor kabeltelevisie die via een tweewegverdeler met het AOP verbonden zijn. De 'te meten' tv is vervangen door een spectrum analyzer. De tweede aansluiting bestaat uit een tv of stb. Een generator met zendantenne straalt in op de coaxkabel die is aangesloten op de tv of stb.



Figuur 6. Meetopstelling onderlinge beïnvloeding tv's en stb's



Figuur 7. Meetopstelling kabels en pluggen

**Annex 8 Bijlage 6 LTE parameters***Agentschap Telecom*

Bij het uitvoeren van de metingen door Agentschap Telecom is voor het genereren van een LTE signaal een Rhode & Schwarz Vector Signal Generator SMBV100A gebruikt. De instellingen van deze generator zijn als volgt:

Channel Bandwidth	<b>1,25 MHz</b>	<b>5 MHz</b>	<b>10 MHz</b>	<b>20 MHz</b>
Nr of Resource blocks per slot	6	25	50	100
FFT Size	128	512	1024	2048
Nr of occupied subcarriers	73	301	601	1201
Nr of left guard subcarriers	28	106	212	424
Nr of right guard subcarriers	27	105	211	423

Uplink: SC-FDMA

Downlink: OFDMA

General settings: QPSK, FDD Mode

Deze configuratie komt in grote mate overeen met standaard systeem parameters van 3GPP E-UTRA specificaties, zoals 3GPP TS 36.101 V9.3.0 (2010-03) ("Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception").

Voor het maximum vermogen van een LTE mobiel is 25 dBm aangenomen. Dit is overeenkomstig de 800 MHz Decision van de Europese Commissie: "Commission Decision 2010/627/EU on harmonised technical conditions of use in the 790-862 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the European Union". Een voetnoot in deze Decision geeft aan dat het vermogen van een LTE mobiel 23 dBm een tolerantie heeft: "It is recognised that this value (of 23 dBm) is subject to a tolerance of up to +2 dB, to take account of operation under extreme environmental conditions and production spread."

Aangenomen is dat LTE in de 800 MHz frequentieband gebruikt maakt van een FDD systeem.

Dat houdt in dat de uplink en downlink frequentiebanden gescheiden zijn, in tegenstelling tot een TDD systeem waarbij de uplink en downlink in dezelfde frequentieband zitten. De FDD frequenties in de 800 MHz zijn als volgt: FDD uplink in 832-862 MHz en FDD downlink in 791-821 MHz. Dit komt overeen met de bandindeling die in de 800 MHz Decision van de Europese Commissie wordt voorgeschreven.

## Annex 9: Technische aspecten van LTE uplink signalen op kabel TV (DVB-C)

### Inleiding

In dit onderzoek wordt onderzocht in hoeverre een LTE signaal in de 700 of 800 MHz storing veroorzaakt op kabel TV (en andersom). Hierbij gaat het zowel om de uplink (transmissie door LTE mobiele telefoon), maar ook downlink (transmissie door basisstation.) Naast een Monte-Carlo simulatie is het zinvol om ook de technische aspecten van zowel kabel TV (DVB-C) en LTE beter te begrijpen om de storing in praktijksituaties beter in te schatten. Deze gegevens worden in dit document uitgewerkt.

### Technische kabel TV standaarden

Momenteel zet Ziggo de standaard DVB-C in (mode 256-QAM)<sup>24</sup> voor digitale kabel TV. In 2009 is er ook de opvolger, DVB-C2, gestandaardiseerd<sup>25</sup>. DVB-C2 is een geheel andere standaard op het gebied van fysieke laag (modulatie) t.o.v. DVB-C. Het is niet te verwachten dat kabelmaatschappijen deze standaard zullen uitrollen de toekomst. Vanwege het veranderende kijkgedrag is er een trend is naar full-IP TV, waarbij TV kanalen worden gestreamd in plaats van gebroadcast zoals bij DVB-C. In een dergelijk geval zal alleen het bekeken TV kanaal via internet worden getransporteerd naar de settopbox/TV. Wel zal bij de nieuwe internetstandaard Docsis 3.1, de fysieke laag erg lijken op die van DVB-C2. Om deze reden zal DVB-C2 ook nader worden geanalyseerd.

### DVB-C

DVB-C is gebaseerd op een single carrier modulatie waarbij 16 tot 256-QAM mogelijk is. In het geval van Ziggo 256-QAM met een symbolrate van 6.9 Msymbols per seconde met een bandbreedte van 7.93 MHz<sup>26</sup>. De tijdsduur van een 256-QAM symbool is daarmee  $1/6\ 900\ 000 \approx 0.145\ \mu\text{s}$ . Daarnaast gebruikt DVB-C zogenaamde MPEG2-transport frames welke ieder 188 bytes groot zijn<sup>27</sup>. Door middel van een foutcorrigerende code (Reed-Solomon (RS) (204,188)) wordt dit omgezet naar 204 bytes. (Deze RS code kan tot 8 'foute' bytes corrigeren.) De Engelse term voor de fout corrigerende laag is Forward Error Correction (FEC).

Om burst errors tegen te gaan, worden bytes van 12 verschillende frames gehusseld/verspreid over de tijd in het interleaver-blok. Totaal duurt een dergelijk gecombineerd 'frame':  
 $12 \cdot 204 \cdot (2^8/256) \cdot 0.145 \approx 356\ \mu\text{s}$ .

De tijdsduur van een burst error – zoals veroorzaakt door een LTE signaal – moet *veel kleiner* zijn dan deze tijdsduur, omdat interleaver en daarmee de foutcorrigerende code goed te laten werken. Dat wil zeggen dat in een dergelijk geval de bitfouten door de stoorbron kort genoeg moeten duren, zodat de interleaver deze over een langere periode kan uitsmeren. Op deze manier kan de FEC decoder het signaal foutloos decoderen.

### DVB-C2

De nieuwe standaard DVB-C2 is gebaseerd op een multi-carrier modulatie systeem: OFDM. In deze mode is er een subcarrier afstand van 2,232 kHz<sup>28</sup> en een kanaalbandbreedte van 7.61 MHz met 3408 subcarriers<sup>29</sup>. Dit betreffen data-carriers (de modulatie is gebaseerd op een 4096-punts FFT.) DVB-C2 verspreidt data zowel over tijd als frequentie, om burst-errors om te zetten naar willekeurige fouten. Op deze manier werkt de foutcorrigerende code namelijk optimaal. Op iedere subcarrier is modulatie mogelijk van 16-QAM tot 4096-QAM. Ook zijn er verschillende foutcorrigerende codes

<sup>24</sup> Informatie uit gesprekken met Ziggo

<sup>25</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/DVB-C>

<sup>26</sup> <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2009/baltimore/DNCOCO/DNCOCO-33.pdf>

<sup>27</sup> [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/300400\\_300499/300429/01.02.01\\_60/en\\_300429v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300429/01.02.01_60/en_300429v010201p.pdf)

<sup>28</sup> [http://www.ict-redesign.eu/fileadmin/documents/1003\\_SCTE\\_Broadband\\_DVB-C2.pdf](http://www.ict-redesign.eu/fileadmin/documents/1003_SCTE_Broadband_DVB-C2.pdf) / <https://www.dvb.org/standards/dvb-c2>

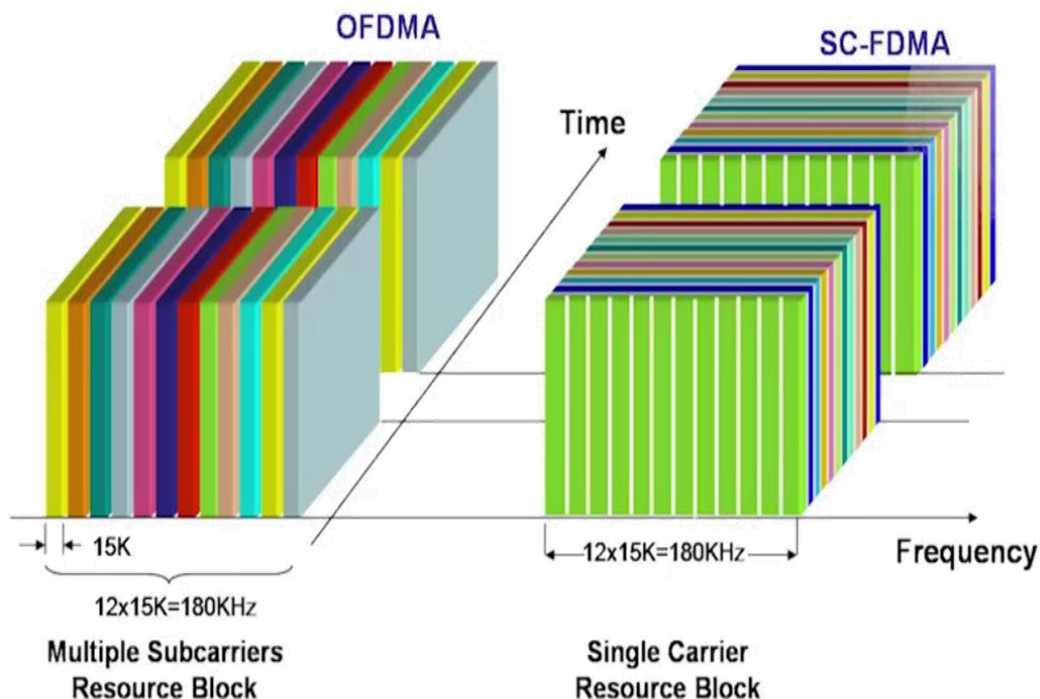
<sup>29</sup> Het is mogelijk om ook grotere bandbreedtes in DVB-C2 te kiezen dan 7.61 MHz.

mogelijk. DVB-C2 gebruikt hiervoor LDPC codes. De hoogste mode (minste bescherming) is LDPC (9/10). Deze code kan alle bitfouten corrigeren, als de ruwe BER (Bit Error Rate) lager is dan 0.05 (5%)<sup>30</sup>.

Daarnaast wordt er door de FEC-laag, een frame lengte van 448 symbolen gebruikt (zogenaamd C2 frame)<sup>31</sup> met een tijdsduur van 202.3 ms. De interleaver zal de bytes in een dergelijk frame zowel husselen in het frequentiedomein (subcarriers) als tijd om burst error te verspreiden.

### LTE uplink

De fysieke laag van LTE uplink is gebaseerd op SC-FDMA techniek: bij weinig upload verkeer zoals een ACK bericht, etc wordt 1 resource block gebruikt. 1 resource block zijn 12 subcarriers en 12 tot 14 symbolen<sup>32</sup>. Een subcarrier is 15 kHz breed en een tijdslot duurt 0.5 ms. Dit betekent dat 1 resource block (RB) = 180 kHz bij 0.5 ms is. Naast data zijn er ook andere pakketten zoals channel sounding. Aangenomen wordt dat dit een kleine, te verwaarlozen, overhead betreft in communicatie. Bij bellen over 4G (voLTE) is er 1 resource block per gesprek nodig waarbij 50% van de LTE frames (10 ms) worden gebruikt<sup>33</sup>.



**Figuur 1: resource allocatie OFDMA (LTE downlink) en SC-FDMA (uplink)<sup>34</sup>**

<sup>30</sup> [https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/30055/1/Schaaf%20-%20DVB-C2\\_Read\\_Plug%20Fest\\_Go.pdf](https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/30055/1/Schaaf%20-%20DVB-C2_Read_Plug%20Fest_Go.pdf)

<sup>31</sup> <https://www.dvb.org/resources/public/standards/A147%20C2%20Imp%20Guide.pdf>

<sup>32</sup> <http://www.ijettjournal.org/volume-12/number-2/IJETT-V12P214.pdf> / <http://www.teletopix.org/4g-lte/lte-frame-structure-and-resource-block-architecture/>

<sup>33</sup> [http://lteuniversity.com/utility/scripted-file.ashx?WeblogApp=donhanley&GroupKeys=get\\_trained%2Fexpert\\_opinion1%2F&pi5966=2&cf=callback-standard-detail.vm&fid=5966&ct=page&cp=postlist&ctt=a3b17ab0af5f11dda3501fcf55d89593&ctc=67&ctn=7e987e474b714b01ba29b4336720c446&cc=0&AppType=Weblog](http://lteuniversity.com/utility/scripted-file.ashx?WeblogApp=donhanley&GroupKeys=get_trained%2Fexpert_opinion1%2F&pi5966=2&cf=callback-standard-detail.vm&fid=5966&ct=page&cp=postlist&ctt=a3b17ab0af5f11dda3501fcf55d89593&ctc=67&ctn=7e987e474b714b01ba29b4336720c446&cc=0&AppType=Weblog) / <http://howltestuffworks.blogspot.nl/2014/07/sounding-reference-signal-procedure.html> / [http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600B/WebHelp/Subsystems/Lte/Content/Lte\\_overview.htm](http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600B/WebHelp/Subsystems/Lte/Content/Lte_overview.htm)

<sup>34</sup> [http://www.gta.ufri.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2014\\_2/rafaelreis/ofdma\\_scfdma.html](http://www.gta.ufri.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2014_2/rafaelreis/ofdma_scfdma.html)

## Storing

### DVB-C

In het geval van DVB-C zal een LTE uplink het gehele 256-QAM signaal/symbool storen, als dit sterker is dan de protection ratio (PR). De reden is dat een single-carrier-modulatie verstoord wordt door een sterk signaal, ongeacht de bandbreedte van dat stoorsignaal. Daarnaast is de tijdsduur van een LTE uplink transmissie groter dan de interleaver-diepte (500  $\mu$ s tov 356  $\mu$ s). Gevolg is dat gedurende de 0.5 ms alle data als verloren beschouwd moet worden indien het LTE signaal sterker is dan de PR ratio. Een TV beeld (50 Hz) duurt 20 ms (1/50); dit betekent dat een deel van 1 frame zal worden verstoord. De resultaten uit 2010 laten een vergelijkbaar beeld zien, er is weinig verschil tussen downlink (breedband) en uplink PR. Omdat Ziggo voor HD-kanalen MPEG-4 inzet, zullen waarschijnlijk meerdere opeenvolgende frames worden verstoord bij een LTE transmissie. (MPEG-4 is namelijk gebaseerd op het coderen van het verschil tussen opeenvolgende frames.) Daarnaast zijn er gemiddeld 5 digitale TV stations in 1 multiplex gecombineerd. Alle TV zenders worden in de tijd gespreid en zullen dus ook evenredig last ondervinden van een LTE uplink signaal.

### DVB-C2

Doordat DVB-C2 gebaseerd is op OFDM, zal slechts een klein deel van het symbool zijn verstoord: 1 resource block gebruikt namelijk 180 kHz met een tijdsduur van 0.5 ms. Hiermee wordt effectief  $0.180/7.61 \sim 2.3\%$  verstoord van het OFDM symbool in het frequentiedomein. Ook is de interleaverdiepte bij DVB-C2 een stuk langer 202.3 ms:  $0.5/202.3 = 0.25\%$ . (In het geval van spraak zal er continue resource blocks worden gestuurd (1 RB per 20 ms); met andere woorden 50% van de frames (à 10 ms) bevat LTE upload pakket. De kans/aandeel storing wordt daarmee een factor 5 hoger, omdat er  $\sim 10$  RB worden gezonden tijdens de interleaverdiepte van DVB-C2.)

Gecombineerd zal de transmissie van 1 RB door een LTE mobiele telefoon in een C2 frame (en daarmee interleaverdiepte) de ruwe bitfout kans verhogen met  $6 \cdot 10^{-5}$ . De hoogste errorcorrectie mode (minste bescherming) kan bij voldoende SNR tot 5% fouten corrigeren in de ruwe bits ( $5 \cdot 10^{-2}$ ). In dit geval zal digitale TV dus *NIET* worden verstoord als het LTE uplink signaal sterker is dan de PR. (Want  $6 \cdot 10^{-5}$  is vele malen kleiner dan  $5 \cdot 10^{-2}$ ). Voor spraak zal de BER worden verhoogd met een factor 10:  $6 \cdot 10^{-4}$ . Ook in dit geval is deze foutkans veel lager dan de BER grens.

In dit voorbeeld zal er dus geen enkele storing op DVB-C2 signalen plaatsvinden als met een LTE mobiele telefoon wordt gebeld. In de volgende paragraaf wordt geanalyseerd wanneer een LTE telefoon intensief data gaat uploaden.

### Intensief LTE upload gebruik door consumenten

Naast bellen, kunnen consumenten ook LTE gebruiken om data te uploaden; bijvoorbeeld een foto. In dat geval zal een telefoon tijdelijk meer RB's gebruiken. In LTE is de piek uploadcapaciteit 36.7 Mbit/s<sup>35</sup> (64-QAM). Als de ontvangst van LTE minder goed is, kan 25.5 Mbit/s worden gehaald met 16-QAM modulatie.

Zoals gezegd kan de LDPC code fouten corrigeren tot  $5 \cdot 10^{-2}$  (0.05). M.a.w. het LTE signaal mag maximaal 5 % van de tijd in gebruik zijn. Daarboven zal een DVB-C2 signaal storing hebben. Dit komt overeen met een LTE uplink snelheid van  $\sim 230$  kbytes/s voor 64-QAM en  $\sim 160$  kbytes/s voor 16-QAM LTE uplink mode. In de meeste consumentenscenario's zullen de up-linksnelheden lager liggen.

<sup>35</sup> <http://frankrayal.com/2011/06/27/lte-peak-capacity/> (De meeste high-end LTE telefoons ondersteunen alle modi tot 64-QAM.)

## Docsis

Docsis is de standaard om internet mogelijk te maken via kabel TV<sup>36</sup>. Tot en met Docsis 3.0 wordt de fysieke laag van DVB-C (downstream/link) gebruikt. Vanaf Docsis 3.1 wordt de fysieke laag van DVB-C2 gebruikt. De upstream band loopt bij Docsis 3.1 tot 204.8 MHz<sup>37</sup>, daarboven wordt de downstream ingezet. In dit onderzoek is het daarom vooral belangrijk om te kijken in hoeverre een LTE mobiele telefoon, de *downstream* verstoort door middel van een uplink transmissie door een LTE mobiele telefoon.

Vanwege de vele implementatiemogelijkheden voor Docsis, is het lastig om een voorbeeld uit te werken. Gesteld kan worden dat de bandbreedte veel hoger is dan bij DVB-C2 (minimaal 24 MHz), maar dat de tijdsduur van een frame vele malen korter is (20 of 40  $\mu$ s). De foutcorrigerende code werkt op blokken van maximaal 14400 bits (18 kbyte). Dit is een kleine waarde t.o.v. de FFT frame. Gesteld kan worden dat de foutcorrigerende code en daarmee ook interleaver werkt op een aantal FFT frames. De tijdsduur van 1 FFT-frame is kleiner dan de transmissie van een LTE uplink (0.5 ms). Om die reden werkt zal de interleaver vooral werken door fouten te spreiden in het frequentiedomein. In het geval van 24 MHz en een LTE uplink bandbreedte van 180 kHz is 0.75% van het spectrum verstoord. Net als bij DVB-C2 is de foutcorrigerende code in staat om de fouten te corrigeren. De bovengrens ligt bij 5 % van het spectrum. In het geval van 24 MHz betekent dit 1.2 MHz. Als het LTE uplink signaal groter is dan deze bandbreedte zal het Docsis 3.1 signaal worden verstoord.

Daarnaast is het internetverkeer gebaseerd op TCP/IP. Hierbij is voor ieder pakket een bevestiging nodig (ACK). Indien een pakket niet aankomt, wordt het opnieuw verzonden. Mochten er gevallen zijn waarin er toch tijdelijk een internetpakket wordt verstoord, zal dit de gebruiker niet direct merken. (Bij het regelmatig wegvallen, zal de internetsnelheid wel naar beneden gaan door het ontwerp van het TCP/IP protocol.) Al met al is de verwachting dat gebruikers met Docsis 3.1 geen storing zullen ondervinden van LTE uplink signalen.

Voor Docsis 3.0 (en lager) wordt momenteel door Ziggo nog geen TV kanalen in de 700 en 800 MHz ingezet. De verwachting is dat met de afschakeling van analoge TV (gemiddeld 25 analoge TV kanalen), de vrijgekomen ruimte (deels) ingezet gaat worden voor Docsis 3.1. Het is aan de kabelmaatschappij om vervolgens te kiezen om Docsis 3.1 of digitale TV te gebruiken in de 700 en 800 MHz band.

<sup>36</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/DOCSIS> [<https://apps.cablelabs.com/specification/physical-layer-specification/> / [http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/2014/12/DOCSIS3-1\\_Pocket\\_Guide\\_2014.pdf](http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/2014/12/DOCSIS3-1_Pocket_Guide_2014.pdf)]

<sup>37</sup> Bij oudere Docsis standaarden is de upstreamband veel lager < 100 MHz.

## Annex 10: Storing van LTE op DVB-T

Bij het opstellen van het voorliggende rapport is geen onderzoek gedaan naar verstoring door LTE op DVB-T. Wel kunnen een aantal highlights benoemd worden die op basis van onderzoek dat in 2009 in Europees verband is uitgevoerd (namelijk in ECC PT SE42) getrokken kunnen worden.

- Allereerst is voorwaarde voor het gebruik van de 700 en 800 MHz banden voor mobiele communicatietoepassingen dat DVB-T uit die band wordt verwijderd. Anders zouden LTE toepassingen, zowel de basisstations als de mobieltjes, ontoelaatbare storing door DVB-T zenders ondervinden.
- LTE basisstations en LTE mobieltjes kunnen, als deze in de band 703-788 MHz worden toegelaten, storing veroorzaken op DVB-T (en ook DVB-H) in de band 470-702 MHz.

### **LTE basisstations**

Zonder aanvullende maatregelen kunnen LTE basisstations gaten slaan in de verzorging van DVB-T. Het verschil in frequenties tussen LTE-basisstations in de band 758-788 MHz en DVB-T onder de 702 MHz is echter zo groot dat hier geen grote gaten in de verzorging van DVB-T verwacht worden. Zogenaamde "mitigation techniques" kunnen eventuele storingsituaties oplossen. Voorbeelden zijn co-siting van basisstations en DVB-T zenders, verlagen van het vermogen van het basisstation, verhogen van het vermogen DVB-T zenders, antennehoogte, patroon, richting aanpassen etc. Storing op DVB-T veroorzaakt door basisstations is erger bij dakantenneontvangst dan bij binnenhuisontvangst. De uitrol van DVB-T in Nederland gebaseerd op binnenhuisontvangst.

De operators (DVB-T en LTE operator) hebben het oplossen van storing op DVB-T door basisstations in eigen hand: zij kunnen daar onderlinge afspraken over maken om maatregelen te treffen die storing op DVB-T door basisstations grotendeels voorkomen.

### **LTE mobieltjes**

De LTE mobieltjes in de band 703-733 MHz kunnen ook storing veroorzaken op DVB-T ontvangst onder de 702 MHz. Dit probleem is het grootst in DVB-T kanaal 49 (694-702 MHz). Vanaf 2020 zal dit kanaal echter niet meer voor DVB-T worden gebruikt in Nederland. In mindere mate kunnen LTE-mobieltjes ook storing veroorzaken op DVB-T kanaal 48 (686-694 MHz). Dit kanaal is echter alleen in de provincie Zeeland in gebruik en is daarom beperkt tot een relatief klein aantal mensen dat daar mogelijk last van kan krijgen. Op lagere DVB-T kanalen dan kanaal 48 wordt geen significant storingsprobleem verwacht als gevolg van LTE mobieltjes. In de meeste gevallen kunnen de eindgebruikers dit probleem verhelpen door de afstand tussen het mobieltje en DVB-T ontvanger te vergroten.



## Annex 11: Prognose 2021; Schets van ontwikkelingen die de stoorkans kunnen beïnvloeden

### 1 Huidige situatie

De storingen door de consument zelf (uplink/LTE telefoon) lijken tot dusver mee te vallen. Hiervoor zijn een aantal redenen aan te voeren:

- Tot en met november 2016 was bellen via het 4G netwerk niet mogelijk (VoLTE). M.a.w. bij het bellen werd overgegaan naar 3G. In een dergelijk geval kan er geen storing optreden.
- Het meeste internetverkeer vindt nog altijd plaats via de downlink (internetpagina opvragen, video streamen etc). In combinatie met databundels, zal een consument snel geneigd zijn om thuis WiFi te gebruiken. Als 4G wel wordt gebruikt, zal het tv-beeld alleen worden verstoord bij gebruik.
- Kabel tv maatschappijen hebben tot dusver in de 800 MHz band vooral tv-kanalen geprogrammeerd met een lage kijkdichtheid.
- Een LTE mobiele telefoon maakt gebruik van adaptive power control om de batterij te sparen. Als de verbinding goed is, zal een telefoon het zendvermogen dusdanig verminderen tot het noodzakelijke niveau. Een deel van de consumenten zal goede LTE ontvangst hebben, waardoor het LTE uplink zendvermogen laag is en daarmee vallen deze consumenten buiten de potentiële stoorgroep.

### 2 Prognose 2021

Er zijn een aantal ontwikkelingen te duiden die een effect hebben op de stoorkans of de effectiviteit van maatregelen. Zeker als gekeken wordt naar de situatie in 2021 wanneer ook de 700 MHz in gebruik genomen wordt kan het volgende gesteld worden:

- Bij het in gebruik nemen van 700 MHz band zullen meer tv-frequenties worden gestoord. Om deze reden zullen er meer consumenten storing kunnen ondervinden of vaker storing kunnen ondervinden (downlink & uplink).
- Het aantal 4G gebruikers, maar ook 4G datavolume zal de komende jaren nog sterk toenemen. Met toenemend datavolume zal ook het uplink verkeer groter worden. Zeker doordat recent bellen via 4G is geïntroduceerd.
- Naast storing van LTE op kabel tv (downlink – dichtbij een LTE zendmast, uplink in de woonkamer door de LTE mobiele handset), zijn er ook gevallen bekend waarbij 'lekkende' coax-kabels (kabel tv-signalen) storing kunnen veroorzaken op LTE. Ook andere draadloze diensten zoals FM of DAB+ kunnen in een dergelijk geval worden gestoord. Met andere woorden het stoormodel is ten opzichte van 2010 complexer en completer geworden.
- Mobiele operators hebben in de afgelopen jaren een aantal nieuwe technologieën geïntroduceerd, te weten load balancing en carrier aggregation. Bij carrier aggregation worden meerdere frequentebanden tegelijkertijd gebruikt om hogere snelheden mogelijk te maken. Dat wil zeggen dat een toestel op een bepaald moment zowel 800 als 2600 MHz kan gebruiken voor sneller internet. Deze carrier aggregation geldt alleen voor de downlink. Uplink wordt nog niet ondersteund. In het stoormodel heeft deze techniek daarom geen

invloed.

De andere techniek is load balancing. Dit is een techniek waarbij de operator, LTE telefonisch dynamisch kan verdelen over de verschillende LTE frequentiebanden. In de avond is het mobiele netwerk vrij rustig waardoor kan worden verondersteld dat de band keuze vast ligt voor een LTE toe stel in de huiskamer

- Offloading van LTE dataverkeer, ook indien de telefoon een (goede) WiFi verbinding heeft. Dit om het LTE netwerk van de operator te ontlasten, maar ook om slechte plekken in de ontvangst op te lossen. Naast data verkeer is het ook mogelijk om gesprekken naadloos via WiFi te laten verlopen, zogenaamde VoWiFi techniek. Tussen WiFi data-offloading en VoWiFi techniek is er wel een belangrijk verschil en dat is dat bij VoWiFi de standaard instelling is dat 4G wordt gebruikt, tenzij de dekking te slecht wordt.
- Indien er wel storing optreedt, blijkt het kabel tv coax netwerk bij consumenten thuis het zwakke punt. In dat geval is het coax-netwerk van onvoldoende kwaliteit (kabel, pluggen, niet-afgesloten poorten, te zwak kabel tv-sigitaal). Met het continu verbeteren van kabel tv diensten (zoals HD tv, sneller internet), maar ook de introductie van LTE, zullen de eisen aan dit huisnetwerk steeds hoger worden. Dit kan bij consumenten enige verwarring geven, omdat een bestaande huisinstallatie die eerst storingsvrij functioneerde, nu door de voortgang van de techniek mogelijk niet meer volstaat. Het is zaak dat de consument goed geïnformeerd is (of wordt) dat hij/zij zelf in eerste instantie dient te zorgen voor goed kabel- en aansluitmateriaal en dat deze goed gemonteerd dienen te worden.

## Annex 12: Maatregelen om interferentie te reduceren

In hoofdstuk 6 in het rapport zijn de maatregelen weergegeven die de consument kan nemen. In deze bijlage worden de maatregelen geïnventariseerd die ook de andere stakeholders, kunnen nemen om de stoorproblematiek te verkleinen. Daarbij is niet gekeken naar haalbaarheid of wenselijkheid voor de individuele stakeholder. Dit zijn maatregelen die genomen *kunnen* worden.

- **kabelmaatschappijen**

Sinds 2010 zijn er al maatregelen genomen om zoveel mogelijk storing te vermijden waaronder het verplaatsen van populaire tv-zenders buiten deze band. Zoals uit dit onderzoek blijkt zit het zwakke punt vooral bij het kabel tv thuisnetwerk. Kabelmaatschappijen kunnen eisen aan installatie strenger maken met name op het gebied van minimaal signaalniveau bij de consumentenapparatuur. Gebruik van strengere normen zal leiden tot minder storing (bij nieuwe installaties). Daarnaast is er nog een aanzienlijke groep consumenten die een verouderde kabel tv huisinstallatie heeft die tegenwoordig te weinig afscherming heeft tegen storing. Kabelmaatschappijen kunnen klanten informeren over de noodzaak van een goede kabel tv huisinstallatie. In feite zouden complexere huisinstallaties alleen door een professioneel bedrijf aangelegd moeten worden. Consumenten hebben in de regel onvoldoende kennis om dit zelf uit te voeren. Ook het vervangen van analoge TV kanalen in de LTE downlinkkanalen zal helpen om het aantal storinggevallen verder te reduceren. Door ook 256-QAM modulatie te vervangen in de LTE downlinkkanalen door het robuustere 64-QAM, zal het aantal storingen nog verder afnemen. Wel gaat dit ten koste van het aantal beschikbare tv zenders, omdat hiermee de capaciteit afneemt. Kabelbedrijven kunnen overwegen om het LTE downlink signaal aan te wenden om het Eurodocsis 3.0/3.1 internet signaal uit te zenden. Een kabelmodem wordt in de praktijk dicht bij het AOP geplaatst, met een kabel die voldoet aan de Kabelkeur eisen. Bovendien heeft docsis 3.1 een veel betere error-correctie (zie ook Annex 9). Hierdoor kan interferentie van LTE voor Eurodocsis modems vrijwel geheel worden ondervangen.

- **De apparatuur industrie**

De industrie moet een inspanning leveren c.q. de urgentie voelen om op termijn alleen digitale tv-toestellen en settopboxen te produceren met voldoende immuniteit. Hiertoe participeert men in CENELEC-ETSI op Europese schaal om deze betere immuniteit middels standaardisatie vast te leggen. Andere stakeholders (kabelmaatschappijen, overheid) zou de industrie actief moeten benaderen om (alleen) apparatuur te produceren met voldoende afscherming.

- **Mobiele operators**

In 2010 was de femto-cel een veelbelovende techniek om LTE verkeer lokaal af te handelen. Anno 2017 is gebleken dat femto-cellen nauwelijks worden ingezet door operators. Daarnaast is er een andere techniek in opkomst die de femtocel technologie overbodig lijkt maken. Deze technologie heet VoWiFi. Hierbij worden LTE gesprekken bij slechte LTE ontvangst, via het thuis WiFi netwerk afgehandeld. Dit is een vergelijkbare techniek bij datacommunicatie ("WiFi offloading"). Door LTE verkeer via het thuis WiFi netwerk om te leiden, verdwijnt de storing. Mobiele operators zouden een samenwerking aan kunnen gaan met een kabelmaatschappij om VoWiFi te promoten zodat bijvoorbeeld LTE abonnees in voorkomende gevallen het WiFi netwerk van de kabelmaatschappij kunnen gebruiken. Wel verschilt VoWiFi met data offloading via WiFi, doordat de standaardinstelling 4G is. Dat wil zeggen dat gesprekken altijd via 4G lopen tenzij de verbinding te slecht wordt. Door VoWiFi actief te ondersteunen en consumenten te helpen bij het instellen daarvan in geval van storing (WiFi preferred) zouden stoorklachten kunnen worden gereduceerd. Dat zou wel impliceren dat mobiele operators dit moeten gaan ondersteunen bij goede ontvangst van 4 G, wat momenteel nog niet het geval is. Daarnaast kunnen mobiele operators load balancing technieken gebruiken om bij rustige momenten -zoals een TV avond- LTE telefoons naar andere banden te migreren. Voor dat laatste moet het LTE toestel wel meerdere LTE banden kunnen ontvangen in de woonkamer.

- **De overheid**

De overheid kan stimuleren dat de consument een goede kabel tv huisinstallatie aanbrengt. Dit geldt zeker voor nieuwe woningen of bij een verhuizing. Goede voorlichting, in samenwerking met de verschillende belanghebbenden, draagt er toe bij dat consumenten zich meer bewust worden van de noodzaak van een goede huisinstallatie.