



Agentschap Telecom
*Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat*

Veldsterktemetingen op 5G-testlocaties

Agentschap Telecom
23 september 2019

Copyright

Agentschap Telecom ©2019

Inhoud

1	Inleiding.....	3
2	Huidige situatie 5G in Nederland.....	4
3	Onderzoek bij 5G testopstellingen.....	5
4	Meetresultaten	6
5	Bespreking meten van veldsterktes massive MIMO.....	12
6	Conclusie.....	13

1 Inleiding

In de periode februari 2019 tot en met september 2019 hebben inspecteurs van Agentschap Telecom veldsterktemetingen uitgevoerd bij experimenten met antenne-installaties die werken in de 5G frequentiebanden. Het agentschap heeft daarbij gebruik gemaakt van de expertise over elektromagnetische velden van het RIVM. Doel van de metingen is zowel een beeld te krijgen van de manier waarop veldsterktes van 5G-antennes gemeten kunnen worden als de te verwachten veldsterktes, specifiek van massive MIMO antennes. Dit rapport geeft een overzicht van de eerste meetresultaten van metingen aan 5G-testopstellingen. In de aanloop naar de uitrol van 5G volgen meer metingen bij 5G-testlocaties, onder andere van 26 GHz signalen.

Massive MIMO

De metingen hebben plaatsgevonden aan 5G-testopstellingen met massive MIMO en beamforming antennes bedoeld voor mobiele communicatie. Deze technieken worden in de bestaande 4G netwerken beperkt gebruikt en vormen een belangrijk onderdeel van de doorontwikkeling naar 5G.

Een beamforming antenne biedt een gebruiker een individuele bundel, in plaats van een traditionele antenne-installatie die een hele sector bedient. Dit rapport geeft de resultaten van veldsterktemetingen in de individuele bundel van een massive MIMO antenne met beamforming. De metingen zijn uitgevoerd aan experimentele 5G opstellingen, hierdoor zijn de resultaten van de metingen indicatief voor de 5G installaties die later in de praktijk worden toegepast.

2 Huidige situatie 5G in Nederland

Op dit moment is 5G nog niet operationeel in Nederland. De beoogde 5G-frequentiebanden moeten nog worden geveild (o.a. 700 MHz, 1400 MHz en de 2100 GHz band). De eveneens voor 5G beoogde 3,5 GHz band mag op dit moment alleen onder de lijn Amsterdam – Zwolle gebruikt worden in verband met de kans op interferentie bij het satellietontvangststation van Defensie in Burum.

Om mobiele operators de mogelijkheid te bieden om te testen met 5G, verleent Agentschap Telecom experimenteer-vergunningen. Een experimenteervergunning is een vergunning voor het gebruik van een frequentie anders dan zoals in het Nationaal Frequentieplan is omschreven. Deze zendvergunning van maximaal 1 jaar is voor niet-commercieel gebruik.

Van deze mogelijkheid is door verschillende partijen gebruik gemaakt. Er zijn verschillende locaties in Nederland waar getest wordt met 5G op basis van een experimenteervergunning¹. Naast de locaties waar een experimenteervergunning voor is aangevraagd, wordt ook getest met 5G binnen bestaande zendvergunningen.

Op dit moment is er nog weinig consumentenapparatuur beschikbaar die de aangewezen 5G-frequenties gebruiken en/of de nieuwe interface technologie 'New Radio' toepassen.

¹ Zie www.antennebureau.nl voor een overzicht.

3 Onderzoek bij 5G testopstellingen

Op verschillende plekken in Nederland bevinden zich 5G-testopstellingen waarbij gebruik wordt gemaakt van massive MIMO met beamforming-techniek. Bij deze opstellingen hebben verschillende metingen plaatsgevonden om een indicatie te krijgen van de te verwachten veldsterktes bij toepassing van deze techniek. Voor het uitvoeren van de metingen is Agentschap Telecom afhankelijk van de mogelijkheden die operators bieden. Tijdens de meetcampagne bleek dat niet altijd alle gewenste hardware of faciliteiten beschikbaar waren aan de zijde van de mobiele operator. Er is gemeten aan MIMO-antenne configuraties in de 2,6 en 3,5 GHz band.

Voor de tijdsduur van elke meting is uitgegaan van een stabiel signaal waarbij het niveau van het signaal in de tijd constant is. De zendvermogens en bandbreedtes tijdens de metingen waren afhankelijk van de 5G-testopstelling en de verleende experimenteervergunning. De metingen zijn daarmee niet representatief voor de verwachte 5G-praktijk wat betreft zendvermogen en dataverkeer en geven alleen een indicatie van de veldsterkte van een massive MIMO antenne.

De metingen zijn uitgevoerd in zowel traffic mode als broadcast mode. De broadcast mode (idle mode) houdt in dat de (brede) antennebundel op zoek is naar gebruikers. We spreken over traffic mode als er gedurende de dataoverdracht een vaste (smalle) bundel op de gebruiker gericht is.

Gebruikte meetapparatuur

- Breedband veldsterktemeter NARDA NBM550;
- Selectieve veldsterktemeter NARDA SRM 3006,
- Spectrum analyzer Rohde & Schwarz FSV;
- Spectrum analyzer realtime Tektronix RSA306A;
- Hoornantenne EMCO 3115;
- Meetkabel Suhner/Sucoflex 106PA

4 Meetresultaten

Meetonderzoek 1: Groningen

Op 21 juni 2018 en 1 april 2019 is gemeten aan de massive MIMO-antenne met beamforming in het 5G lab van 5Groningen.

Technische parameters antenne

De massive MIMO antenne bestaat uit $8 \times 8 = 64$ antennes die 16 bundels kan produceren. Dit houdt in dat een stukje frequentieruimte (van in dit geval 20 MHz) 16 keer ingezet kan worden. Tijdens gebruik betekent dit dat de gebruiker een eigen bundel (*traffic channel*) krijgt. De bundel voorziet de gebruiker van verbinding in de periode dat hij behoefte heeft aan een hoge data snelheid. De antenne in Groningen is een statische MIMO-antenne: het gebundelde signaal zendt in een vaste richting.

De antenne in het 5G lab in Groningen is afgesteld op een specifieke frequentie, namelijk 2605 MHz. Er is geen enkel ander signaal in de directe omgeving op deze frequentie te vinden. Deze frequentie bevindt zich in een LTE TDD-band. Het 5G lab gebruikt in deze testopstelling frequentiespectrum van 2590 tot 2620 MHz. De gebruikte interface technologie was LTE (4G).

De meting heeft op 53 meter van de MIMO antenne plaatsgevonden. De antenne stond op 19 meter hoogte. De downtilt bedroeg 15 graden (dit houdt in dat de antenne met 15 graden naar beneden zendt), waardoor de meting in de bundel van de antenne plaatsvond. De meting vond plaats in de *line of sight* van de antenne.

Gebruikte meetapparatuur

Een selectieve veldsterktemeting is uitgevoerd met de NARDA SRM3006 veldsterktemeter.

Resultaat meting

De gemeten veldsterkte afkomstig van de MIMO-antenne was 3 volt per meter. Deze veldsterkte komt overeen met de berekende veldsterkte uitgaande van de meetafstand en de technische parameters.

Meetonderzoek 2: Maastricht

Op 28 februari 2019 is een eerste meting uitgevoerd aan een massive MIMO-antenne opgesteld in Maastricht.

Technische parameters antenne

De massive MIMO antenne met beamforming in Maastricht bestaat uit $8 \times 8 = 64$ antennes die een brede of een smalle bundel kan produceren. Met deze opstelling is het hierdoor mogelijk zowel een *broadcast* signaal, als een individueel *traffic* signaal te realiseren.

Het basisstation zond tijdens de meting een 4G LTE-TDD signaal uit van drie blokken van 20 MHz, gecentreerd rond 3465 MHz.

Het maximaal uitgestraalde vermogen dat de vergunning aanvankelijk toestaat is 43 dBm/5 MHz in de richting van 300° .

Dit basisstation is geplaatst op een hoogte van 18 meter op een gebouw. De meting is verricht op een vaste afstand van 140 meter van de antenne. Op basis van de informatie van de operator is vastgesteld dat de meting in de bundel plaatsvond.

Gebruikte meetapparatuur

Een selectieve veldsterktemeting is uitgevoerd met de Tektronix RSA306A real-time spectrum analyzer in combinatie met een EMCO3115 hoorn antenne.

Resultaat meting

De meting is uitgevoerd tijdens het genereren van maximaal dataverkeer en heeft een veldsterkte van 0,1 volt per meter opgeleverd.

Meting 11 maart

Op 11 maart 2019 is op dezelfde positie een tweede meting uitgevoerd aan dezelfde antenne. In tegenstelling tot de eerste meting, waarbij het uitgestraalde vermogen volgens de toenmalige vergunning beperkt diende te blijven tot 43 dBm/5 MHz², is dit keer het uitgestraalde vermogen ca. 20 dB groter.

Het basisstation zond tijdens de meting een 4G LTE-TDD signaal uit van drie blokken van 20 MHz, gecentreerd rond 3465 MHz.

Gebruikte meetapparatuur

Een selectieve veldsterktemeting is uitgevoerd met de Tektronix RSA306A real-time spectrum analyzer in combinatie met een EMCO3115 hoorn antenne.

Resultaat meting

De gemeten veldsterkte bedraagt in dit geval maximaal 1,1 volt per meter, gemeten tijdens het genereren van maximaal dataverkeer.

Meting 28 augustus

Op 28 augustus 2019 is op dezelfde positie een derde meting uitgevoerd. Aanleiding voor deze meting was de vervanging van de antenne en uitbreiding van het basisstation met een tweede sector. De aanvankelijk geplaatste 4G antenne is vervangen door een 5G antenne die signalen met een bandbreedte van 100 MHz kan uitzenden. Ten aanzien van het gedrag van beide antennes is er echter weinig verschil.

Het basisstation zond tijdens de meting een 5G New Radio signaal uit van een aangesloten blok van 60 MHz, gecentreerd rond 3465 MHz.

Gebruikte meetapparatuur

Een selectieve veldsterktemeting is uitgevoerd met de Tektronix RSA306A real-time spectrum analyzer in combinatie met een EMCO3115 hoorn antenne. Daarnaast is ook een NARDA SRM3006 selectieve veldsterktemeter gebruikt.

Resultaat meting

De gemeten veldsterkte bedraagt opnieuw maximaal 1,1 volt per meter, gemeten tijdens het genereren van maximaal dataverkeer.

² De reductie van het zendvermogen was eerder opgelegd i.v.m. mogelijke interferentie van het satelliet ontvangststation Burum.

Gedurende deze meting is er onderzocht of een door NARDA voorgesteld meetprotocol voor de SRM3006 toepasbaar is in de praktijk³. Dit meetprotocol moet het mogelijk maken een voorspelling te doen van het maximaal te verwachten vermogen in traffic mode op basis van meting van het synchronisatiesignaal in de broadcast mode. Het resultaat hiervan kan vergeleken worden met een meting van het maximaal vermogen als de hoofdbundel op een gebruiker gericht staat in de traffic mode.

Met de SRM3006 is er op een afstand van 130 meter gemeten terwijl er gezonden werd in de broadcast mode. De gemeten veldsterkte was te laag om een betrouwbare meting van het synchronisatiesignaal uit te voeren, die nodig is voor de bepaling van de maximaal te verwachten signaalsterkte. Metingen van het signaal in de traffic mode bleken niet mogelijk door storing in het basisstation.

Meetonderzoek 3: Rotterdam

Op 20 mei 2019 zijn eerste pilotmetingen uitgevoerd bij een massive MIMO-antenne, opgesteld op het Shell terrein in Pernis (Rotterdam). Doel was het antennesignaal en de bruikbaarheid van het meetinstrument te verkennen.

Technische parameters antenne

De antenne in Rotterdam bestaat intern uit 64 elementen. De antenne bedient een sector van 120 graden. Het gaat om een massive MIMO-antenne met beamforming. De gebruikte frequentie door deze antenne is 3675 MHz. De interface technologie op deze locatie is 5G New Radio.

Voor deze locatie is een vergunning verleend om met 20 watt te mogen zenden. Tijdens het onderzoek is er ook gecontroleerd kortstondig met 10 dB meer uitgezonden (200 watt). Dit is gedaan om tijdens de metingen voldoende signaal-ruisverhouding van het te meten signaal te ontvangen. Hierdoor nam de meetnauwkeurigheid toe. De hierna volgende veldsterktes gaan uit van de 20 watt, conform de verleende vergunning.

Tijdens de meting is er op 170 meter afstand gemeten. De antenne is geplaatst op 21,5 meter hoogte. De meting vond plaats in de hoofdbundel van de antenne. Uitgaande van de technische parameters, de meetresultaten met meer vermogen en op basis van de berekeningen op een afstand van 170 meter, volgt een berekende veldsterkte van 2,2 volt per meter.

Gebruikte meetapparatuur

Selectieve veldsterktemetingen zijn uitgevoerd met een NARDA SRM3006 veldsterktemeter, een Rohde & Schwarz FSV7 spectrum analyzer en een Tektronix RSA306A real-time spectrum analyzer.

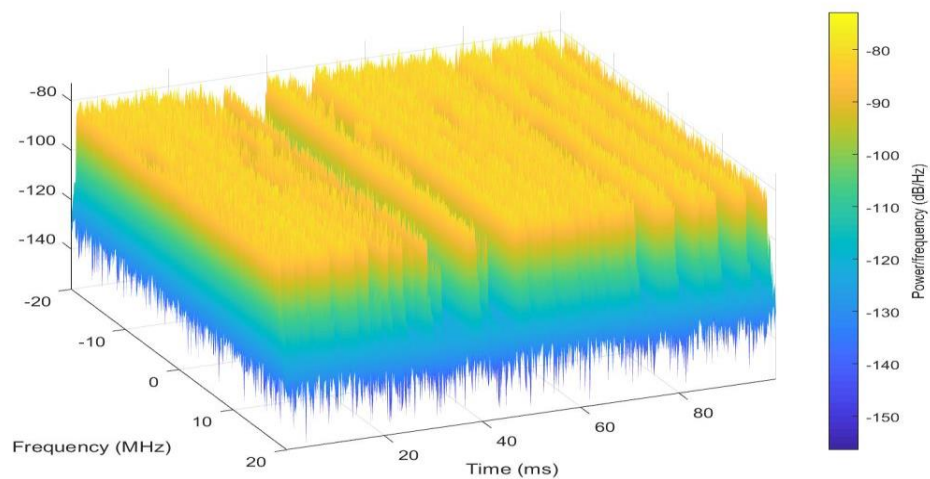
Resultaat meting

De meting met de NARDA SRM3006 gaf in de 'max average'-mode bij een bandbreedte van 20 MHz een niveau van 1,87 volt per meter. Dit corrigerend naar een bandbreedte van 40 MHz (10 LOG 40/20), resulteert in + 3 dB meer signaal. Dit geeft een totale veldsterkte in de 'max average'-mode van 2,6 volt per meter.

³ On The Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Fields Transmitted by 5G NR Base Stations, Keller Helmut, Health Physics April 23 2019.

De meting met de Rohde & Schwarz FSV spectrum analyzer gaf in de 'average'-mode 110 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) bij een bandbreedte van 3 MHz. De correctie van 3 MHz bandbreedte naar 40 MHz bandbreedte ($10 \text{ LOG } 40/3$) resulteert in +11,25 dB meer signaal. De demping van de meetkabel is 2 dB. In totaal resulteert dit in $120 + 11,25 + 2 = 123,25 \text{ dB } (\mu\text{V}/\text{m}) \approx 1,5 \text{ volt per meter}$.

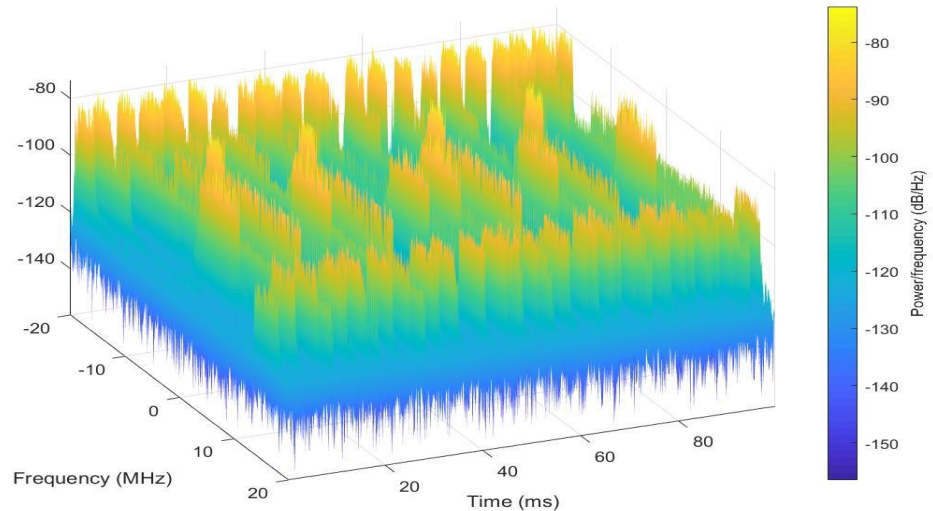
De meting met de Tektronix RSA306A real-time spectrum analyzer geeft een beeld van de opbouw van het signaal in zowel het frequentiedomein als het tijddomein. In de onderstaande figuur is de vermogensdichtheid weergegeven tijdens een periode met veel verkeer (traffic mode), waarbij gedurende 100 milliseconden het ontvangen signaal over de volledige bandbreedte van 40 MHz is bemonsterd⁴.



Figuur 1: Vermogensdichtheid van het gemeten 5G-sigitaal, als functie van tijd en bandbreedte tijdens maximaal dataverkeer

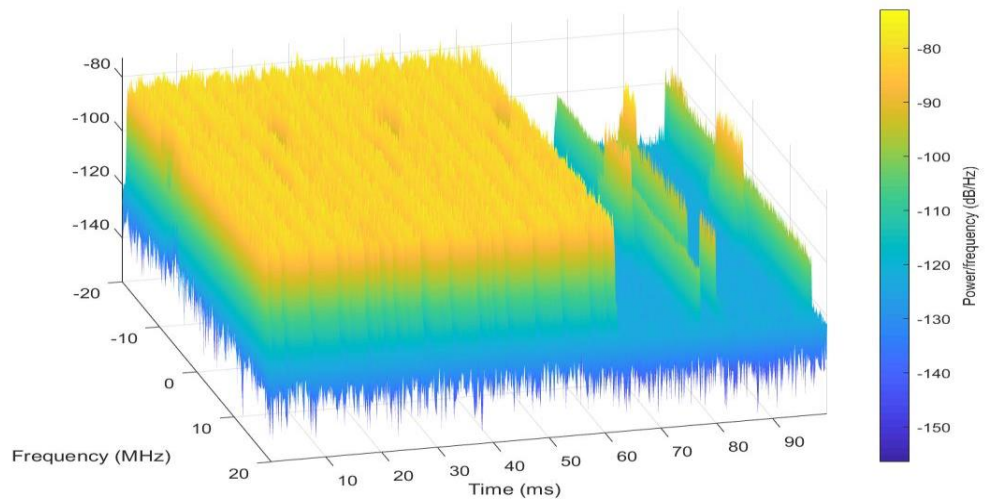
Figuur 2 laat de situatie zien waarbij het basisstation geen gericht dataverkeer afhandelt, maar de omgeving "aftast" naar mogelijke gebruikers (broadcast mode). In dit geval is het gemiddeld vermogen 12 dB lager dan in traffic mode. Dit betekent dat de veldsterkte in dit geval een factor vier lager is.

⁴ Uitgaande van een gemiddelde download snelheid van 200 megabit per seconde wordt in figuur 1 gedurende 100 milliseconden een hoeveelheid data getransporteerd van 2,5 megabytes.



Figuur 2: Het gemeten 5G-sigitaal in broadcast toestand

Tenslotte, ter illustratie, figuur 3 waarbij zowel traffic mode als broadcast mode zichtbaar zijn.



Figuur 3: De massive MIMO-antenne in traffic mode overgaand naar broadcast mode

Meting 11 september

Op 11 september 2019 zijn nogmaals metingen uitgevoerd aan de massive MIMO-antenne opgesteld op het Shell terrein in Pernis (Rotterdam). Tijdens de meting zijn drie situaties onderzocht: broadcast-, traffic- en simulated beam mode. Het primaire doel was om te onderzoeken of een door NARDA voorgesteld meetprotocol voor de SRM3006 toepasbaar is in de praktijk. Dit meetprotocol moet het mogelijk maken een voorspelling te doen van het maximaal te verwachten vermogen in traffic mode, op basis van meting in de broadcast mode. Het resultaat hiervan kan vergeleken worden met de meting van het maximaal vermogen als de hoofdbundel op een gebruiker gericht staat in de traffic mode.

De antenne-installatie zond met een vermogen van 6,4 Watt met een antennegain van 25 dBi. De metingen zijn uitgevoerd op afstanden van 127 en 135 meter.

Gebruikte meetapparatuur

Selectieve veldsterktemetingen zijn uitgevoerd met een NARDA SRM3006 veldsterktemeter en een Tektronix RSA306A real-time spectrum analyzer. Breedband veldsterktemetingen zijn uitgevoerd met een Narde NBM550.

Resultaat meting

Met de SRM3006 is er op een afstand van 135 meter gemeten terwijl er gezonden werd in de simulated beam mode. De gemeten veldsterkte bedroeg 0,5 V/m bij een 20 MHz bandbreedte. De bandbreedte van het uitgezonden signaal was 40 MHz en moet daarom gecorrigeerd worden. Dat resulteert in een breedbandige veldsterkte van 0,7 V/m.

Vervolgens is er uitgezonden in de broadcast mode om het voorgestelde protocol van NARDA uit te voeren en zo het maximale vermogen in de traffic mode uit te rekenen. Helaas bleek het niet mogelijk om een betrouwbare meting van het synchronisatiesignaal (vereist voor de doorberekening) uit te voeren met de SRM3006 en het voorgestelde protocol.

De Tektronix real-time spectrum analyzer heeft op 127 meter afstand een maximaal gemiddelde veldsterkte van 0,9 volt per meter gemeten. Op dezelfde afstand is ook een meting uitgevoerd met de NARDA NBM550. Hiermee is een gemiddelde veldsterkte van 1,1 volt per meter gemeten. Omdat het in het laatste geval een breedbandige meting betreft, wordt de hogere gemiddelde veldsterkte veroorzaakt door optelling van andere signalen die vanuit dezelfde locatie worden uitgestraald.

5 Bespreking meten van veldsterktes massive MIMO

Veldsterkte

De gemeten veldsterktes bij de massive MIMO antennes in dit onderzoek liggen ruim onder de referentieniveaus die gelden voor elektromagnetische velden zoals genoemd in de EU aanbeveling 1999/519/EG. De veldsterkte in broadcast mode is ongeveer een factor 4 lager dan in traffic mode. Tabel 1 geeft een overzicht met de belangrijkste parameters en meetwaarden.

Locatie	Antenne	Frequentie	Meetafstand	Technologie	Veldsterkte
Groningen	Statisch massive MIMO	2605 MHz	53 meter	LTE	3 V/m
Maastricht	Dynamisch massive MIMO	3465 MHz	140 meter	5G New Radio	1,1 V/m
Rotterdam	Dynamisch massive MIMO	3675 MHz	170 meter	5G New Radio	2,6 V/m

Tabel 1: Overzichtstabel veldsterktemetingen

Meetmethodiek

Breedbandig of selectief meten

De breedbandmeting met de NARDA NBM550 is mogelijk onder voorwaarde dat het te meten 5G-signaal dominant is (≥ 13 dB) ten opzichte van andere frequenties. De NARDA SRM3006 is geschikt voor een selectieve meting in de traffic mode. Bij het meten aan broadcast signalen met de NARDA SRM3006 blijkt de door NARDA voorgestelde meetprocedure/extrapolatie voor de SRM3006 vooralsnog niet bruikbaar te zijn.

Maximale veldsterkte meten in traffic mode

Het meten van de maximale veldsterkte in de traffic mode is alleen mogelijk als er dataoverdracht is tussen het gebruikapparaat (smartphone) en het basisstation. Nadeel hierbij is dat tijdens het meten de smartphone dicht bij de meetopstelling moet staan. Met de NARDA met een omnidirectional (rondstraal) antenne kan geen onderscheid gemaakt worden tussen de bundel van de smartphone en het basisstation en daardoor ook niet welke bron in welke mate bijdraagt aan de maximale veldsterkte in de traffic mode.

Piekwaarde of gemiddelde waarde meten?

Omdat 5G signalen OFDMA gemoduleerd zijn, is er door de dynamiek van het signaal sprake van een groot verschil tussen gemiddelde waarde en piekwaarde. De piekwaarden kunnen tot 12 dB boven de gemiddelde waarde uitstijgen, maar deze pieken zijn relatief zeldzaam. Dit wordt ook wel aangeduid als de Crest-factor (of PAPR) van het OFDMA signaal. Bij het meten van zowel LTE als 5G signalen blijkt dat als er in de zogenaamde piekwaarde mode gemeten wordt dit tot een te hoge interpretatie leidt van de veldsterkte. Daarom dienen de metingen uitgevoerd te worden in de average mode. Dit ligt ook in de lijn van de aangekondigde vernieuwde ICNIRP aanbeveling waarin de gemiddelde waarde uitgangspunt is.

6 Conclusie

Uit het onderzoek aan de testopstellingen zijn geen veldsterktes waargenomen die hoger zijn dan de ICNIRP limieten.

Zoals valt te verwachten bij experimenten met testopstellingen worden de resultaten van de metingen sterk beïnvloed door de instellingen van de installaties zoals gekozen door de operators; bij elke testopstelling is een verschillend uitgestraald zendvermogen gebruikt. De gemeten veldsterktes geven daarom alleen een indicatie in verhouding tot de uiteindelijk toegepaste 5G systemen.

Ten aanzien van de meetapparatuur kan er gesteld worden dat:

- De breedband veldsterktemeter (NARDA NBM550) goed inzetbaar is. Randvoorwaarde is wel dat gebruikersapparaat waarmee gecommuniceerd wordt niet te dichtbij staat zodat deze niet van invloed is op de meting en dat eventuele overige ethersignalen meer dan 13dB lager zijn dan het te meten 5G-signaal.
- De selectieve veldsterktemeter (NARDA SRM3006) geschikt is voor het meten van de traffic mode.
- De selectieve veldsterktemeter (NARDA SRM3006) blijkt vooralsnog minder geschikt om 5G signalen te meten die groter zijn dan de huidige bandbreedte van de SRM3006. Toepassing van een door NARDA voorgestelde meetmethode heeft niet tot bevredigende resultaten geleid.
- Een realtime spectrum analyzer biedt de mogelijkheid om 5G signalen te visualiseren en hieraan metingen uit te voeren.