



Vlaanderen
is omgeving

Nieuwe ontwikkelingen rond 5G, de maatschappelijke impact van de uitrol van 5G netwerken op de stralingsblootstelling

 In-situ 5G NR-metingen in Antwerpen

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

IN-SITU 5G NR-METINGEN IN ANTWERPEN

Dit rapport kadert in de studie “Nieuwe ontwikkelingen rond 5G, de maatschappelijke impact van de uitrol van 5G netwerken op de stralingsblootstelling” (bestek nr. OMG-VPO/2018/59).

In dit rapport worden de in-situmetingen besproken van radiofrequente elektromagnetische velden in de nabijheid van een 5G NR-basisstation in Antwerpen.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever

Peter Cabus

Departement Omgeving

Vlaams Planbureau voor Omgeving

Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel

vpo.omgeving@vlaanderen.be

www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs

Ing. Leen Verloock – IMEC – WAVES

Dr. Ir. Sam Aerts – IMEC – WAVES

Prof. Dr. Ir. Günter Vermeeren – IMEC - WAVES

Prof. Dr. Ir. Wout Joseph – IMEC - WAVES

Wijze van citeren

Verloock L., Aerts S., Vermeeren G., Joseph W. (2021). In-situ 5G NR-metingen in Antwerpen.

PARTNERS



INHOUDSTAFEL

1	Inleiding	4
2	Meetprocedure	4
3	Materiaal & types metingen.....	5
3.1	Meetapparatuur	5
3.2	Types metingen	6
3.2.1	Breedbandige metingen	6
3.2.2	Smalbandige metingen	6
4	Meetsite en beschrijving metingen	8
4.1	5G NR BS en meetposities	8
4.2	Metingen	10
5	Meetresultaten.....	12
5.1	Optimale positie actief UE	12
5.1.1	Buitenmetingen	12
5.1.2	Binnenmetingen	13
5.1.3	Keuze positie UE	14
5.2	Metingen met en zonder actief UE	15
5.3	Invloed afstand actief UE tot meetprobe (verticale bundelvorming)	16
5.4	Ogenblikkelijke veldwaarden ifv afstand	19
5.5	Vergelijking ogenblikkelijke veldwaarden en maximale veldwaarden	19
5.6	Binnenmetingen	20
5.6.1	Metingen met ramen open en gesloten	20
5.6.2	Invloed hoogte	21
5.7	Bijdrage 5G NR DL signaal tot cumulatieve waarde	21
6	Conclusies	23
	Referenties.....	25



1 INLEIDING

Dit rapport kadert in Deel 5 “Metingen in testomgevingen” van de opdracht “Nieuwe ontwikkelingen rond 5G, de maatschappelijke impact van de uitrol van 5G netwerken op de stralingsblootstelling” (Bestek nr. OMG-VPO/2018/59). In dit rapport worden de metingen besproken die werden uitgevoerd rond een 5G New Radio (NR) testsite in de Antwerpse haven. Het doel van de metingen bestond erin de momentele en maximale elektrische veldwaarden van 5G NR-signalen afkomstig van 5G NR MaMIMO (massieve multiple input multiple output) antennes te bepalen. Bij deze metingen werd de meetprocedure, besproken in het rapport “5G NR-meetprocedure” [1] en gebaseerd op de methode in [2], uitgetest en indien nodig aangepast. De resultaten van dit rapport kunnen gebruikt worden om de meetprocedure voor 5G te optimaliseren.

2 MEETPROCEDURE

De door IMEC-WAVES ontwikkelde meetprocedure voor signalen afkomstig van 5G NR-basisstations (BS), die in deze studie gebruikt werd voor de metingen rond het 5G NR BS in Antwerpen, werd uitvoerig besproken in [1] en [2]. Deze meetprocedure heeft tot doel zowel de momentele/gemiddelde als de maximale elektrische veldwaarde van radiofrequente (RF) signalen te bepalen en bestaat uit de volgende vijf stappen:

Stap 1 “Overzichtsmeting.

Stap 2 “Identificatie van de SSB (Synchronization Signal Block)”.

Stap 3 “Bepaling van de elektrische veldsterkte per *resource element* (RE) van de dominante SSB en van de PDSCH (Physical Downlink Shared Channel – gebruikt voor downlinkdataverkeer).

Stap 4 “Bepaling van de momentele/gemiddelde elektrische veldwaarde.”

Stap 5 “Verwerking ter bepaling van de maximale veldwaarde”

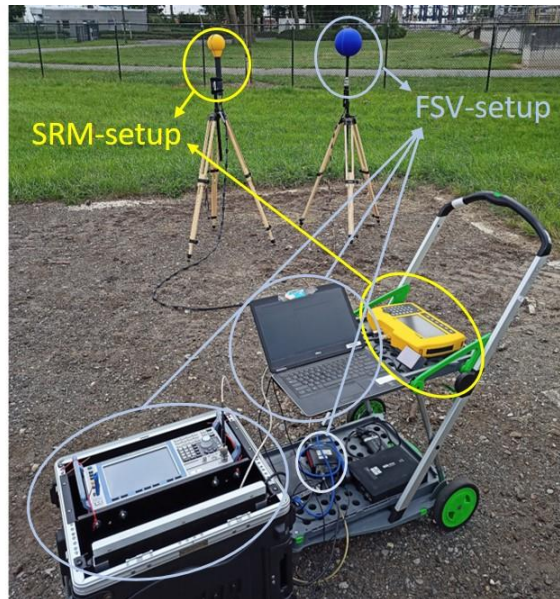
Aangezien 5G NR MaMIMO-basisstations gebruik maken van bundelsturing in de richting van een actief gebruikstoestel (*user equipment* of *UE*), is het voor sommige van bovenstaande meetstappen belangrijk om deze uit te voeren met een actief UE vlakbij de meetprobe (zie Sectie 2). In deze studie wordt met “actief UE” bedoeld dat er met het UE continu data gedownload wordt, opdat het NR-kanaal maximaal in gebruik is wat betreft downlinkmiddelen (*downlink resources*).

Zo kan in Stap 3 de bepaling van de elektrische veldsterkte per RE van de (dominante) SSB gebeuren zonder UE, gezien het SSB-sigitaal periodiek door het BS wordt verstuurd ongeacht het datagebruik, maar voor die van de PDSCH dienen de metingen met een actief UE uitgevoerd te worden opdat de juiste gebruikersbundel (in de richting van het UE) zou kunnen worden opgemeten.

3 MATERIAAL & TYPES METINGEN

3.1 MEETAPPARATUUR

In de meetprocedure [1,2] komen twee types metingen aan bod, namelijk breedbandige metingen en smalbandige, spectrale metingen. De gebruikte apparatuur wordt beschreven in Tabel 1. In Figuur 1 wordt ter illustratie een foto getoond van de smalbandige meetopstelling (FSV- en SRM-setups).



Figuur 1: Foto van de FSV-setup (meetprobe verbonden via een kabel en een externe switch met de spectrum analyzer (SA) die aangestuurd wordt via MATLAB-software op een laptop) en van de SRM-setup (meetprobe verbonden via een kabel met de SA).

Tabel 1: Gebruikte meetapparatuur voor de breedbandige metingen en voor de (smalbandige) spectrale metingen.

Gebruik	Setup	Apparatuur
Breedbandige metingen	NBM	<i>Breedbandig afleestoestel</i>
		Type Narda NBM-550
	<i>Meetprobe</i>	
	Type Narda EF 0691 Dynamisch bereik 0.2 mV/m – 650 V/m Frequentiebereik 100 kHz – 6 GHz	
Spectrale metingen	FSV	<i>Spectrum analyzer</i>
		Type Rohde & Schwarz (R&S) FSV-30 met optie R&S FSV-K14 spectrogram Frequentiebereik 10 Hz – 30 GHz



de ingangsimpedantie (50 Ω). Doordat de antennes gekalibreerd zijn, zodat de antennefactoren (AF) gekend zijn, kunnen we met de volgende formule de elektrische veldsterkte E (in V/m) berekenen:

$$E = \sqrt{50} 10^{\frac{P-30+AF+CL}{20}} \left[\frac{V}{m} \right], \quad (2)$$

waarbij CL het kabelverlies is van de gebruikte kabel waarmee de probe met de analyzer is verbonden.

Aangezien het elektrisch veld een vector is moeten de drie orthogonale componenten opgemeten worden om het totale veld te kennen (zie ook Sectie 2.1.1.). De tri-axiale antennes bevatten drie orthogonale sensoren die via een interne switch worden aangestuurd om de drie vectorcomponenten op te meten. We bekomen het totale elektrische veld (E) met formule (1). De meetonzekerheid van dit soort smalbandige opstellingen bedraagt typisch +/-3 dB voor het vermogen [6].

De SRM-setup is draagbaar, batterijgevoed, en compacter dan de FSV (Figuur 1), waardoor deze eerste gebruiksvriendelijker is voor in-situ metingen. Bovendien kan de bediening, het uitvoeren van voorgeprogrammeerde meetroutines en het opslaan van de meetdata eenvoudig op het meettoestel zelf gebeuren. De FSV-setup wordt extern gevoed en aangestuurd met behulp van Matlab-software op een laptop (zie ook Figuur 1). Het grote voordeel van de FSV-setup is echter dat heel wat parameters nauwkeurig in te stellen zijn zodat verschillende soorten RF-signalen nauwkeurig opgemeten kunnen worden, terwijl dit met de SRM niet mogelijk is.

De vijf-stappen methode voor het opmeten van 5G NR-signalen, beschreven in [1] en [2], is met de FSV-opstelling ontwikkeld, met voor elke stap specifieke instellingen. Met de SRM kunnen niet alle vereiste parameters ingesteld worden. Bijgevolg werden met de SRM enkel metingen van Stap 1 en Stap 4 uitgevoerd gedurende een meettijd representatief voor het 6-minutengemiddelde van de aanwezige RF-signalen (Stap 1) en van het 5G NR-signaal. Bij deze stappen worden de gemiddelde waarden weerhouden waarbij de meettijd lang genoeg genomen wordt voor een correcte uitmiddeling. De gebruikte instellingen zijn terug te vinden in Tabel 2.

Tabel 2: Instellingen gebruikt voor de metingen met de SRM-setup voor de Stap 1-overzichtsmetingen en de Stap 4 'gemiddelde veldwaarde' metingen (RBW = resolutiebandbreedte, SWT = sweeptijd, CF = centrumfrequentie).

Meetstap	Frequentie	RBW [MHz]	SWT* [ms]	Meettijd [min]
Stap 1 "Overzicht"	700 MHz – 4 GHz	0.3	~1104	6
Stap 4 "Bepaling E_{avg}"	200 MHz rond CF van het 5G NR signaal	1.0	~94	6

* Bij de SRM-setup is de SWT niet instelbaar. De gegeven SWT-waarden zijn bij benadering.



4 MEETSITE EN BESCHRIJVING METINGEN

4.1 5G NR BS EN MEETPOSITIES

De metingen werden uitgevoerd op en rond de site van een bedrijf. Vlakbij deze site zijn twee 5G NR basisstations (BS) van Orange geïnstalleerd (zie Figuur 2: 5G BS1 en 5G BS 2), die elk uitzenden in drie sectoren (Figuur 2). Om geen interferentie te hebben van de verschillende BS tijdens de metingen was 5G BS 2 uitgeschakeld. De specificaties van het gebruikte 5G NR-sigitaal zijn terug te vinden in Tabel 3. De configuratie van de 5G BS 1 waarrond de metingen werden uitgevoerd staan in Tabel 4.

Tijdens de metingen werd een UE beschikbaar gesteld door Orange waarmee een continue DL connectie kon worden opgezet met maximale capaciteit vanuit 5G BS 1. Op deze manier was het mogelijk om de databundel gecontroleerd en continu te richten naar het UE. Bijkomend is het ook zo dat door de continue DL-communicatie de bijdrage van het UL signaal verwaarloosbaar is voor wat betreft de momentele/gemiddelde veldwaarde metingen (FSV-Stap 4- en SRM-metingen) gezien de uitmiddeling. Voor wat betreft de FSV-Stap 3 metingen kunnen de UL-signalen van de DL-signalen onderscheiden worden tijdens het verwerkingsproces.

Er werd gemeten gedurende twee meetdagen, op woensdag 9 en donderdag 10 september 2020. De meetposities werden gekozen in overleg met VPO en met een medewerker van het bedrijf waar de metingen plaatsvonden. Er werden zowel metingen binnen als buiten uitgevoerd. Op meetdag 1 werden metingen uitgevoerd op posities 1 tot en met 8 (enkel buiten, zie Figuur 2). Op meetdag 2 werden hoofdzakelijk binnenmetingen uitgevoerd in gebouw A (cafetaria), gebouw B (kantoren), en in gebouw C (conferentieruimte) (zie Figuur 2) op posities 9 tot en met 19. De metingen op positie 8 worden niet verder beschouwd aangezien hier enkel werd gemeten zonder actief UE.

Tijdens de metingen werd telkens gemeten met de FSV- en de SRM-meetsetup. Metingen met de breedbandprobe waren niet mogelijk op deze site door de dominante inkoppeling van het signaal van de nabijgelegen hoogspanningsleidingen op de breedbandige meetresultaten. Om interferentie tussen de meetprobes te vermijden worden de probes op een afstand van 1 m tot 1.5 m naast elkaar opgesteld op een hoogte van 1,5 m boven het vloeroppervlak (zie ook Figuur 1). Dit is een typische hoogte waarop elektromagnetische veldmetingen worden uitgevoerd [9]. Bij vergelijking van de meetresultaten van de FSV-Stap 4 en van de SRM kunnen verschillen optreden door variaties in de omgeving, variaties door vermogenschommelingen van het 5G NR BS, variaties van de bezetting van het DL-kanaal door het niet-gesynchroniseerde meettijdstip alsook spatiale variaties (meetprobe op niet exact dezelfde meetpositie).

Om de verstoring van een operator die de UE in de hand houdt te beperken, werd het actief UE op een karretje gelegd op een hoogte van 58 cm boven het vloeroppervlak. Tijdens alle metingen stond de operator minstens 2 m verwijderd van de meetprobe.



Figuur 2: Schematische plattegrond van de omgeving van de meetsite met aanduiding van de aanwezig 5G NR basisstations.

Tabel 3: Configuratie van het 5G NR-sigitaal (D = downlink, U = uplink, S = shared, SCS = subcarrier spacing, ARFCN = Absolute Radio Frequency Channel Number, GSCN = Global Synchronization Raster Channel).

Frame structuur	vertrouwelijk
Kanaalfrequentie [MHz]	3600-3700
Bandbreedte [MHz]	vertrouwelijk
SCS SSB [kHz]	vertrouwelijk
SCS PDSCH [kHz]	vertrouwelijk
NR-ARFCN / GSCN	vertrouwelijk
SS_{REF} [MHz]	vertrouwelijk
SSB periode [ms]	vertrouwelijk
Aantal broadcast beams	vertrouwelijk



Tabel 4: Specificaties van het 5G NR BS waarrond de metingen werden uitgevoerd [7]. PDSCH = physical downlink shared channel (i.e. downlinkverkeer), SSB = Synchronization Signal Block.

Antenne	64T64R		
Aantal antenne-elementen	192		
Azimuth van optische richtingsas [°]	0	120	240
Hoogte [m]	28.45	28.45	28.45
Maximaal vermogen [dBm]	49.5	49.1	49.5
Maximale winst SSB-signalen [dBi]	17		
Maximale winst PDSCH-signalen [dBi]	25		
Mechanische tilt [°]		0	
Elektrische tilt [°]	-3		

4.2 METINGEN

Op elke meetpositie werd de momentele/gemiddelde en de maximale veldwaarde van het 5G NR BS-signaal bepaald. Bijkomend werden op sommige posities de volgende metingen uitgevoerd ter validatie/optimalisatie van de meetprocedure:

- 1 De optimale positie van het actief UE vlakbij de meetprobe werd onderzocht. Het UE werd hiervoor zowel vóór als achter de meetprobe gepositioneerd.
- 2 Om de bijdrage van het actief UE op de blootstelling te bepalen werd op sommige posities gemeten met en zonder het UE.
- 3 Aangezien de MaMIMO BS verticale en horizontale bundelsturing kunnen toepassen, dient de meetprobe opgesteld te worden in de databundel naar het actief UE. Voor wat betreft de horizontale bundelsturing werd de meetprobe en het UE steeds opgesteld in een rechte lijn met het BS. Om de invloed van de verticale bundelsturing na te gaan werd de afstand tussen het actief UE en de meetprobe op die lijn '5G NR BS - meetprobe' gevarieerd.
- 4 Metingen werden uitgevoerd op zowel line-of-sight (LOS) als non-line-of-sight (NLOS) posities waarbij er voor de buitenmetingen verstoring was door vegetatie (nl. takken en bladeren van bomen) maar niet door gebouwen.
- 5 Aan de gebouwen (Figuur 2) werden metingen binnen en buiten uitgevoerd alsook metingen met open en gesloten raam en metingen op verschillende verdiepingen.
- 6 De bijdrage van de verschillende aanwezige telecommunicatiesignalen werd met de SRM-meetprobe opgemeten.
- 7 In Tabel 5 zijn de extra metingen die per positie werden uitgevoerd terug te vinden.

Tabel 5: Oplijsting van de verschillende meetposities met aanduiding van de bijkomende metingen voor extra informatie.

Meetdag	Locatie	Meetposities	Extra meting
---------	---------	--------------	--------------

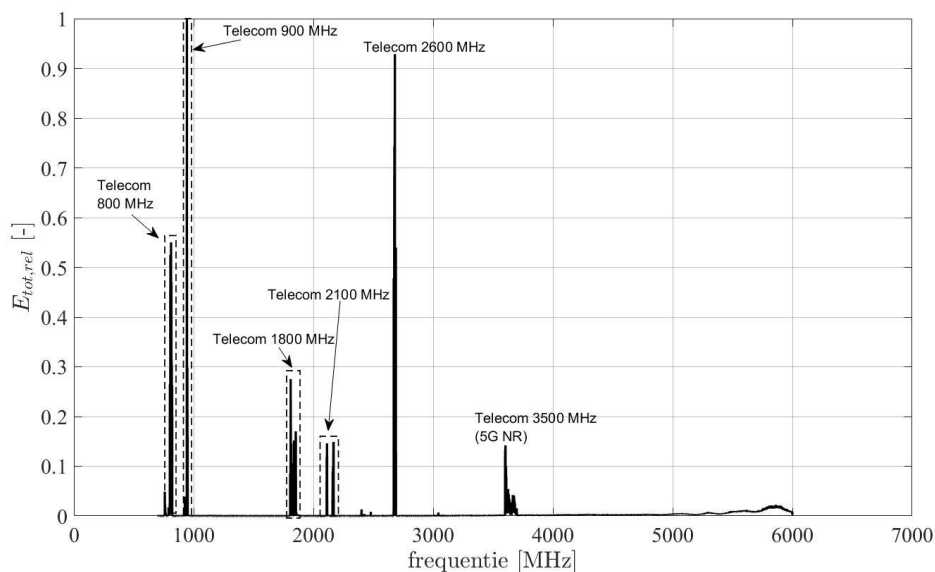


Meetdag 1 (9/09/2020)	Buitenmetingen	Posities 1 tot 7	- Veldwaarde 5G signaal zonder actief UE
		Positie 7	- Variatie afstand UE tot meetprobe (optimale positie UE en invloed verticale bundelsturing)
Meetdag 2 (10/09/2020)	Gebouw A	Posities 9 tot 12	- Veldwaarde i.f.v. diepte in het gebouw - Binnen- en buitenmeting
		Positie 9	- Variatie positie UE t.o.v. meetprobe - Ramen open/dicht
	Gebouw C	Posities 13 tot 15	- Binnen- en buitenmetingen - Ramen open/dicht - Veldwaarde i.f.v. diepte in het gebouw
		Positie 13	- Ramen open/dicht
	Gebouw B	Posities 16 tot 19	- Metingen op verschillende verdiepen (gelijkvloers en 1 ^{ste} verdieping)
		Posities 17 en 18	- Ramen open/dicht



5 MEETRESULTATEN

In deze paragraaf worden de elektrische veldwaarden opgemeten volgens Stap 3 en Stap 4 van de vijf-stappen meetmethode, bij de verschillende metingen (zie sectie 4.2) besproken. De voorafgaande identificatie van het 5G NR signaal volgens Stap 1 en Stap 2 werd uitgevoerd. De centrale frequentie van het 5G NR signaal en de SSB-configuratie (SS_{ref} , SCS van de SSB) werden afgeleid uit de metingen en kwamen overeen met de specificaties zoals weergegeven in Tabel 3. Een overzichtsmeting van de aanwezige signalen volgens Stap 1 is terug te vinden in Figuur 3. De bijdrage van de verschillende signalen kon met de SRM-setup opgemeten worden en wordt verder besproken.



Figuur 3: Overzichtsmeting van de aanwezige signalen in de frequentieband tussen 700 MHz en 6 GHz, genormeerd t.o.v. het maximum, opgemeten op meetpositie 7.

5.1 OPTIMALE POSITIE ACTIEF UE

Voor de metingen met een actief UE dient ervoor gezorgd te worden dat de meetprobe in dezelfde bundel staat als het actief UE zodat het 5G NR-signaal gericht naar de UE nauwkeurig kan opgemeten worden met de meetprobe.

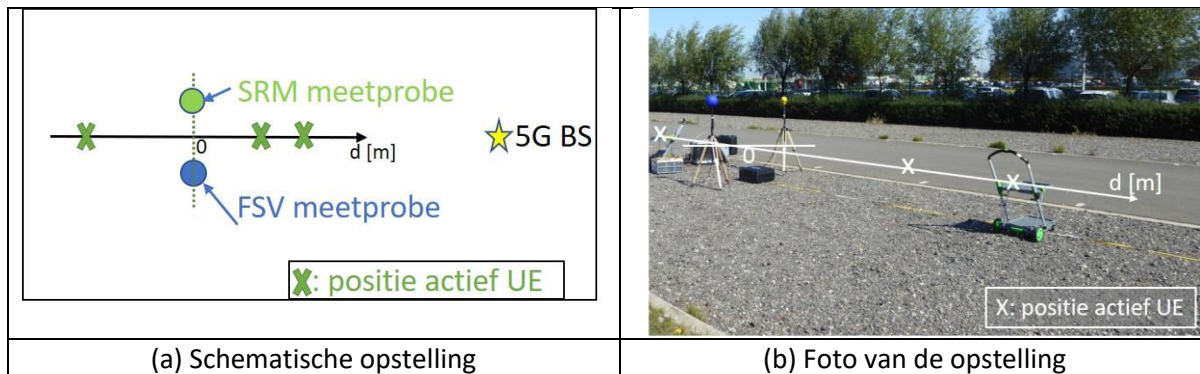
Er werden zowel buiten- als binnenmetingen gedaan waarbij de positie van het actief UE gevarieerd werd t.o.v. de vast opgestelde meetprobes.

5.1.1 Buitenmetingen

Op meetpositie 7, LOS van het BS, werden de veldwaarden opgemeten bij verschillende afstanden tussen de meetprobes en het actief UE. De positie van het actief UE werd gevarieerd op een rechte lijn gevormd door het 5G BS en het midden tussen de meetprobes zoals weergegeven in Figuur 4. De resultaten van de metingen zijn terug te vinden in Tabel 6.

Uit de meetresultaten blijkt dat de maximale variatie van de momentele/gemiddelde veldwaarden lager ligt dan 1.6 dB (lager dan de +3 dB meetonzekerheid). De variatie van de maximale

veldwaarden ligt hoger maar dit komt mogelijks door de beperkte meettijd in combinatie met mogelijke variaties van het downlinkdataverkeer. Dit zal verder onderzocht worden bij metingen op andere testsites. Hieruit kunnen we besluiten dat de positie van het UE voor de hier beschouwde afstanden geen invloed heeft op de meetresultaten.



Figuur 4: Schematische opstelling (a) en foto van de opstelling (b) voor het opmeten van de veldwaarden bij variabele afstanden tot de meetprobes bij variabele posities van het actief UE tot de meetprobe.

Tabel 6: Elektrische veldwaarden bij gebruik van een actief UE bij verschillende afstanden tussen het actief UE en de meetprobe.

d [m]	E_{max} [V/m]		$E_{avg,actief UE}$ [V/m]
	FSV-Step 3	FSV-Step 4	SRM
-2.0	0.719	0.657	0.658
1.5	1.068	0.643	0.707
2.0	0.928	0.748	0.789
$\Delta(E_{max} - E_{min})$ [dB]	3.4	1.3	1.6

5.1.2 Binnenmetingen

Op meetpositie 9 (binnen in gebouw A, aan het raam met zicht op het 5G NR BS) werden de veldwaarden opgemeten bij verschillende posities van het actief UE tot de meetprobes, zoals schematisch is voorgesteld in Figuur 5. Hierbij werden achtereenvolgens metingen uitgevoerd met het actief UE op een afstand van 2 m achter de meetprobes (Figuur 6 (a)), met het actief UE binnen aan het raam (Figuur 6 (b)) en met het actief UE buiten op 2 m voor de buitenmuur (Figuur 6 (b)). De resultaten van de metingen zijn terug te vinden in Tabel 7. Uit de meetresultaten blijkt dat de positie van het UE t.o.v. de meetprobe een grote invloed heeft op de opgemeten veldwaarden. De hoogste veldwaarden werden telkens opgemeten wanneer het UE binnen achter de meetprobe (UE1) opgesteld was. Zijdellingse posities van het UE werden hier niet bekeken.

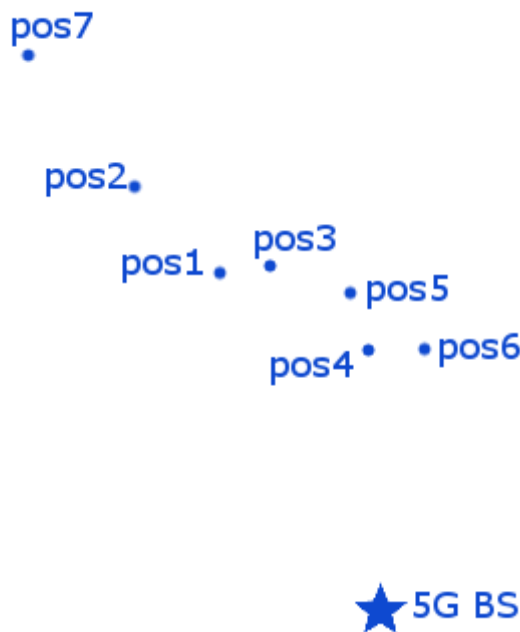


en het 5G NR BS bevindt. Voor de binnenmetingen waar geen 2 m beschikbaar is tot de wanden/muren zal het UE op 2 m achter de meetprobe opgesteld worden.

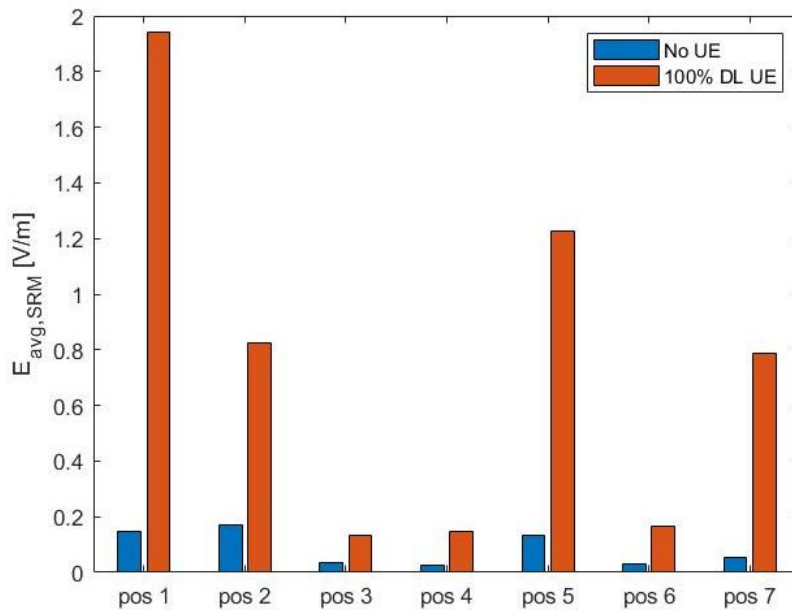
5.2 METINGEN MET EN ZONDER ACTIEF UE

Tijdens de buitenmetingen op posities 1 tot en met 7 (aangeduid op Figuur 7) werden metingen uitgevoerd van het 5G NR signaal met en zonder actief UE. De meetposities met uitzondering van posities 3, 4 en 6 waren allemaal LOS van het 5G NR BS. Voor de posities die niet LOS waren, werd het LOS-pad belemmerd door takken en bladeren van bomen. In Figuur 8 worden de momentele/gemiddelde veldwaarden weergegeven die opgemeten werden zonder en met actief UE met de SRM-setup. Uit deze metingen zien we dat de veldwaarden op de posities die niet LOS lagen veel lager liggen dan op de LOS-posities. Voor de metingen met actief UE werd de hoogste waarde met UE opgemeten op LOS-positie 1 en bedroeg 1.9 V/m. De hoogste waarde op de NLOS-posities bedroeg 0.2 V/m en werd gemeten op positie 6.

Tabel 8 toont de maximale waarden die met de verschillende meetsetups werden opgemeten. De maximale veldwaarde werd opgemeten bij gebruik van een actief UE op positie 1 en bedroeg 1.9 V/m. Zonder UE werd de maximale waarde opgemeten op positie 2 en bedroeg 0.2 V/m, wat veel lager is dan met een actief UE.



Figuur 7: Schematische aanduiding van meetposities 1 tot 7 van het opgemeten 5G NR BS.



Figuur 8: Momentele/gemiddelde veldwaarden opgemeten met en zonder actief UE op meetposities 1 tot en met 7. Alle meetposities met uitzondering van posities 3, 4 en 6 liggen LOS van het 5G NR BS.

Tabel 8: Maximale elektrische veldwaarden opgemeten met de verschillende meetsetups op posities 1 tot en met 7.

	$\max(E_{\max})_{\text{positie1 tot 7}}$		$\max(E_{\text{avg,actief UE}})_{\text{positie1 tot 7}}$
	[V/m]		[V/m]
	<i>FSV-Step 3</i>	<i>FSV-Step 4</i>	<i>SRM</i>
Zonder UE	-	-	0.180
Met UE	1.562	1.769	1.940

-: er werd niet op alle posities gemeten met deze meetsetup.

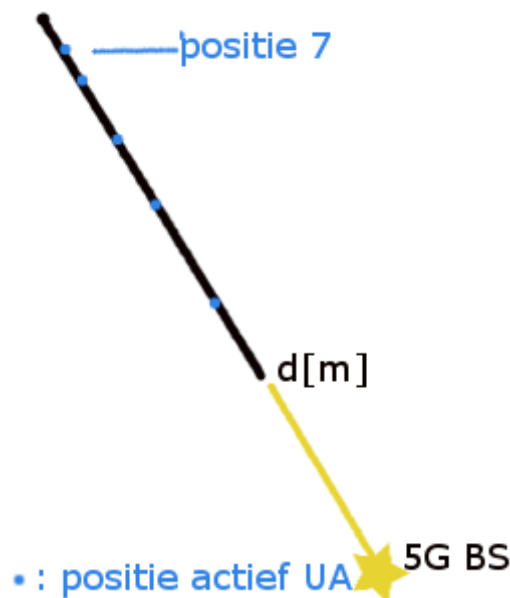
5.3 INVLOED AFSTAND ACTIEF UE TOT MEETPROBE (VERTICALE BUNDELFORMING)

De UE en de meetprobe werden tijdens de metingen steeds in een lijn met het 5G NR BS opgesteld om ervoor te zorgen dat de meetprobe in dezelfde horizontale beam als de UE gepositioneerd staat. Om de invloed van de verticale bundelvorming na te gaan werd op meetpositie 7 de afstand tussen het actief UE en de meetprobe op de lijn '5G NR BS - meetprobe' gevarieerd over afstanden tussen 2 m en 228 m. De verschillende posities van het UE zijn terug te vinden op Figuur 9. De resultaten van de metingen met de verschillende meetsetups zijn terug te vinden in Figuur 10 en hebben een gelijkaardig verloop. De hoogste waarden worden opgemeten wanneer het actief UE in de buurt van de meetprobe staat opgesteld. De afwijkingen tussen de maximale en de minimale veldwaarden opgemeten op de verschillende afstanden ($d = [-2 \text{ m}, 228 \text{ m}]$) met de verschillende meetsetups bedragen minimum 6.4 dB, wat veel hoger ligt dan de meetonzekerheid van 3 dB en wijst op mogelijke verticale bundelvorming.

Om de mogelijke variatie ten gevolge van de verticale bundelvorming verder in detail te bekijken werd het verschil van de veldwaarden van de resources in gebruik door de controlesignalen (RE,SSB)



en die voor het downlinkdataverkeer naar het actief UE (RE,PDSCH) bepaald. Dit verschil is het experimenteel bepaalde gainverschil ($\Delta G'$) van het controlesignaal en het datasignaal op de meetpositie en wordt weergegeven in Figuur 11 voor de verschillende afstanden van het actief UE tot de meetprobe. Als de databundel naar de meetprobe is gericht wordt een constant gainverschil verwacht tussen resources in gebruik door de controlesignalen (RE,SSB) en resources in gebruik voor de gebruikersdata naar het actief UE (RE,PDSCH). Dit is ook te zien in de resultaten waarbij voor korte afstanden tot het UE, waar een constant gainverschil van 3 dB wordt bekomen. Bij toenemende afstand tussen het actief UE en de meetprobe varieert het gainverschil. Dit wijst op een wijzigende positionering van de databundel t.o.v. de bundel met de controlesignalen ten gevolge van verticale bundelvorming. Het is dus belangrijk om er voor te zorgen dat bij de metingen **met een actief UE de afstand tot de meetprobe niet te groot** wordt gekozen zodat beide in dezelfde databundel staan. De keuze van een afstand van **2 m tussen het UE en de meetprobe** zoals besproken in paragraaf 5.1.3 voldoet dus.

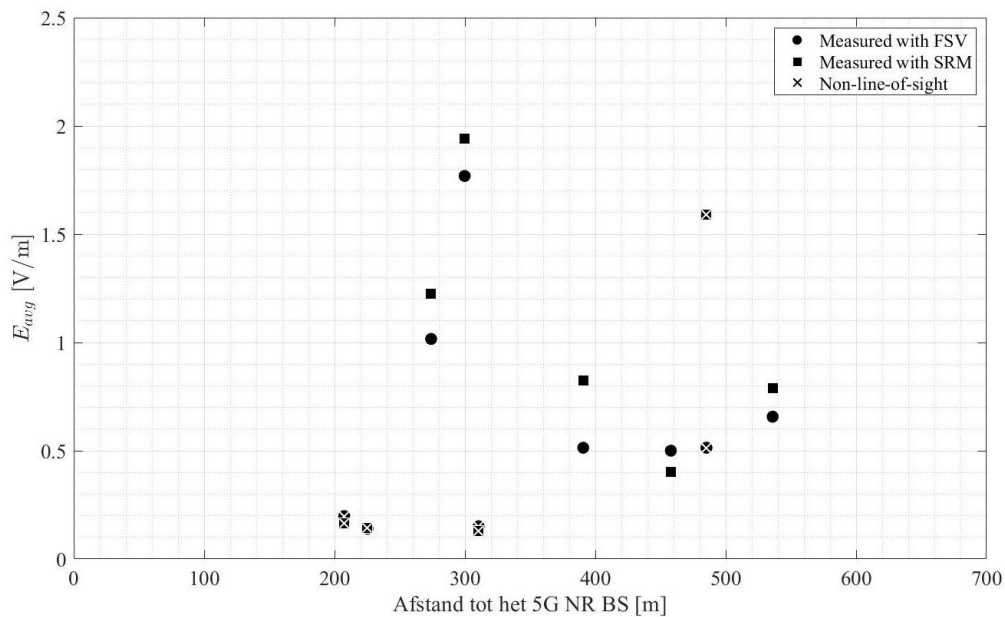


Figuur 9: Positionering van het actief UE op verschillende afstanden van de meetprobe langs de lijn gevormd door de meetprobe en het 5G NR BS.



5.4 OGENBLIKKELIJKE VELDWAARDEN IFV AFSTAND

Figuur 12 toont de momentele/gemiddelde veldwaarden in functie van de afstand tot het 5G NR BS voor alle buitenlocaties opgemeten met een actief UE met de FSV- en de SRM-meetsetup. Er werd gemeten op afstanden van 274 m tot 536 m tot het 5G NR BS en dit zowel LOS als NLOS. Uit deze beperkte meetset blijkt dat de hoogste waarden worden opgemeten rond de 300 m afstand tot het 5G NR BS met een maximale veldwaarde van 1.9 V/m.

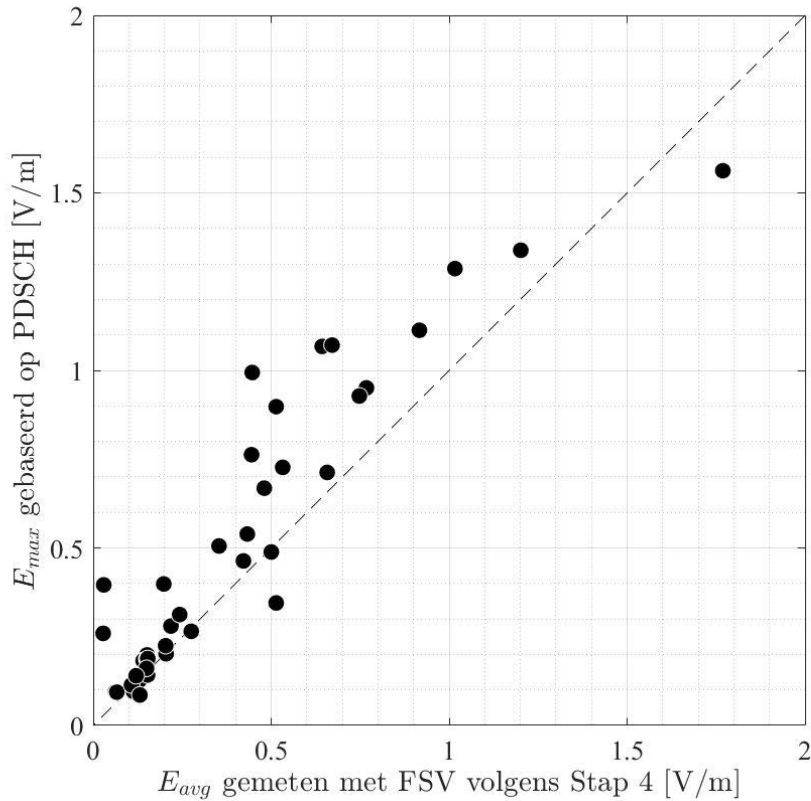


Figuur 12: Momentele/gemiddelde veldwaarden van het 5G NR signaal in functie van de afstand tot het 5G NR BS opgemeten met de SRM op alle buitenlocaties.

5.5 VERGELIJKING OGENBLIKKELIJKE VELDWAARDEN EN MAXIMALE VELDWAARDEN

Figuur 13 toont de maximale veldwaarden op basis van de PDSCH volgens Stap 3 en de momentele/gemiddelde veldwaarden volgens Stap 4 voor alle meetposities opgemeten met actief UE met de FSV-meetsetup. De vergelijking tussen beide metingen dient als validatie om na te gaan of een momentele/gemiddelde meting met een actief UE volstaat om de maximale veldwaarde te kunnen opmeten. Uit de meetresultaten blijkt dat beide metingen goed met elkaar overeenkomen. Bij hogere veldwaarden lijken de maximale veldwaarden (E_{max}) iets meer af te wijken en groter te zijn dan de momentele/gemiddelde waarden (E_{avg}), maar relatief gezien zijn de afwijkingen gelijkaardig. Een belangrijke oorzaak van de lagere veldwaarden bij de meting van de momentele/gemiddelde veldwaarde is dat de downlink belasting niet steeds maximaal was en schommelingen vertoonde. De hoogste gemeten veldwaarde bedraagt 1.8 V/m.





Figuur 13: Maximale veldwaarden op basis van de PDSCH volgens Stap 3 en de momentele/gemiddelde veldwaarden volgens Stap 4 beide opgemeten met de FSV-setup.

5.6 BINNENMETINGEN

Voor de binnenmetingen werd gekeken naar de invloed op de veldwaarden bij gesloten en open ramen alsook naar de invloed van de hoogte bij metingen op boven elkaar gelegen verdiepingen.

5.6.1 Metingen met ramen open en gesloten

Voor wat betreft de binnenmetingen konden op sommige posities (posities 9, 13, 17 en 18) de ramen opengezet worden, weliswaar enkel in kantelstand. In Tabel 10 zijn de variaties weergegeven van de veldwaarden opgemeten met open en gesloten raam op de verschillende meetposities voor de verschillende meetsetups. Zoals verwacht, worden met uitzondering van positie 9, voor de meeste meetsetup de hoogste veldwaarden opgemeten met geopend raam. Doch hierbij willen we opmerken dat meer metingen nodig zijn om de invloed van ‘open/gesloten’ ramen na te gaan en dit op posities waarbij in tegenstelling tot hier, de ramen goed open kunnen en een dominante oppervlakte hebben in de muurpartijen.



Tabel 10: Variatie van het elektrisch veld bij open en gesloten ramen op de meetposities waarbij de ramen in kantelstand konden worden geplaatst.

	Positie 9	Positie 13	Positie 17	Positie 18
$\Delta E_{RE,SSB,dominant}$ (stap 3) [dB]	-2.89	1.96	8.40	0.60
$\Delta E_{RE,PDSCH}$ (stap 3) [dB]	-1.93	7.21	4.39	-2.45
$\Delta E_{avg,FSV}$ (stap 4) [dB]	-5.06	6.28	4.00	1.71
$\Delta E_{avg,SRM}$ [dB]	-0.71	2.17	4.14	2.06

Hierbij is $\Delta E = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{E_{\text{raam open}}}{E_{\text{raam gesloten}}}\right)$

5.6.2 Invloed hoogte

Posities 18 en 19 liggen op de 1^{ste} verdieping net boven resp. posities 17 en 16 die op het gelijkvloers gelegen zijn. Bij vergelijking van de meetresultaten van het 5G NR-signaal opgemeten met de SRM op deze meetposities blijkt dat de veldwaarden gelijkaardig zijn, zoals ook verwacht wordt gezien de verticale bundelsturing van het 5G NR BS naar de actieve UE. De variaties worden weergegeven in Tabel 11 en zijn lager dan 2.3 dB en liggen binnen de meetonzekerheid van de meetopstelling.

Tabel 11: Variatie van het elektrisch veld opgemeten op posities net boven elkaar gelegen (gelijkvloers en 1^{ste} verdieping).

	positie 18 – positie 17	positie 19 – positie 16
$\Delta E_{avg,SRM}$ [dB]	-2.29	1.41

Hierbij is $\Delta E = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{E_{\text{raam open}}}{E_{\text{raam gesloten}}}\right)$

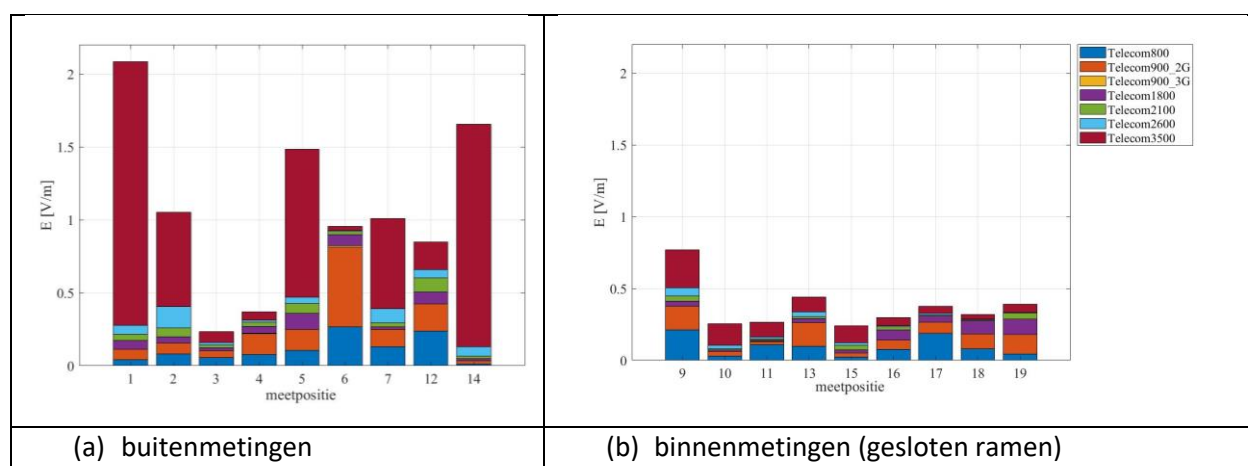
5.7 BIJDRAGE 5G NR DL SIGNAAL TOT CUMULATIEVE WAARDE

Met de SRM-meetsetup kan gelijktijdig de ogenblikkelijke veldwaarde van het 5G NR signaal en van de ogenblikkelijke veldwaarden van de andere aanwezige telecommunicatiesignalen bepaald worden. Alle metingen werden uitgevoerd met een actief UE voor het 5G NR signaal. Voor de andere telecommunicatiesignalen werd geen actief UE gebruikt. De reden hiervoor is dat bij 5G NR het signaal in een smalle bundel gericht wordt naar het actief UE met dominante bijdrage tot het opgemeten signaal terwijl het signaal bij de andere telecommunicatiesignalen over de ganse sector wordt uitgezonden met verwaarloosbare bijdrage op de veldwaarde door een actief UE in gebruik door de operator.

De resultaten van de opgemeten telecommunicatiesignalen worden weergegeven in Figuur 14(a) voor de buitenmetingen en in Figuur 14(b) voor de binnenmetingen. Uit de metingen blijkt de



uitgesproken dominante bijdrage van het 5G NR signaal (Telecom3500) bij de buitenmetingen op de LOS-posities. In Tabel 12 worden de maximale veldwaarden van de buiten- en binnenmetingen per telecommunicatieband alsook van de gecumuleerde veldwaarden weergegeven. Daarnaast wordt in deze tabel ook het referentieniveau ($E_{ref,Vlaanderen,per\ antenna}$ [4]) weergegeven waaraan het signaal afkomstig van een individuele, vast opgestelde zendantenne moet voldoen volgens de wetgeving van toepassing in Vlaanderen. Hierbij is het van belang duidelijk te maken dat dit om een testsite gaat en dat vergelijking met de normen mogelijk niet representatief is voor commerciële uitrol. Alle opgemeten veldwaarden liggen onder de referentiewaarde. Voor wat betreft de buitenmetingen ligt de bijdrage van het 5G-signaal tussen 17% en 96% van de cumulatieve veldwaarde. Voor de binnenmetingen is dit tussen 32% en 77%. De maximale opgemeten cumulatieve veldwaarde bedroeg 2.1 V/m en 0.8 V/m voor resp. de buiten- en binnenmetingen.



*Alleen voor het 2G-signaal dat enkel voorkwam in de Telecom900-band werd een opsplitsing gemaakt.

Figuur 14: Elektrische veldwaarden ($E_{avg,SRM}$) van de aanwezige telecommunicatiebanden (DL) op de verschillende meetposities opgesplitst in (a) buitenmetingen en (b) binnenmetingen.

Tabel 12: Maximale momentele/gemiddelde veldwaarden van de verschillende telecommunicatiesignalen (DL) opgemeten op de verschillende posities buiten en binnen.

Frequentieband	Max($E_{avg,SRM}$) [V/m]		$E_{ref,Vlaanderen,per\ antenna}$ [4] [V/m]
	buitenmetingen	binnenmetingen	
Telecom800	0.505	0.405	2.8
Telecom900 2G	0.723	0.353	3.0
Telecom900 3G	0.093	0.021	3.0
Telecom1800	0.404	0.203	4.2
Telecom2100	0.316	0.164	4.5
Telecom2600	0.391	0.215	4.5
Telecom3500	1.940	0.448	4.5
Cumulatief	2.082	0.768	-

6 CONCLUSIES

In dit rapport werden de resultaten beschreven van de momentele/gemiddelde veldwaarden en van de maximale veldwaarden van het 5G NR signaal opgemeten op verschillende posities rond het 5G NR BS gelegen in de omgeving van Antwerpen. De metingen werden uitgevoerd volgens de meetprocedure ontwikkeld door IMEC-WAVES en beschreven in [1] en [2]. Bijkomend werden een aantal extra metingen uitgevoerd ter validatie/optimalisatie van de meetprocedure.

Voor elektromagnetische veldmetingen kunnen twee verschillende meetsetups gebruikt worden nl. de breedbandige meetsetup die een eerste ruwe schatting geeft van de cumulatieve veldwaarde en de spectrale meetsetup om nauwkeurig de bijdrage van het 5G NR signaal op te meten. Voor deze meetsite was de breedbandige meetsetup niet bruikbaar wegens de dominante bijdrage van het signaal van de nabijgelegen bovengrondse hoogspanningslijnen. Bijgevolg konden op deze meetsite enkel spectrale metingen worden uitgevoerd.

De momentele/gemiddelde veldwaarden en de maximale veldwaarden op de verschillende meetposities werden met een FSV spectrum en signaal analyzer opgemeten. Dit toestel werd ook gebruikt om de procedure in [2] te ontwikkelen. Bijkomend werden de momentele/gemiddelde veldwaarden ook opgemeten met de SRM-meetsetup waarmee gelijktijdig ook de bijdrage van de andere aanwezige telecommunicatiesignalen in de frequentieband tussen 700 MHz en 6 GHz werd bepaald.

Op alle meetposities werd het 5G NR signaal opgemeten met **een actief UE**, waarbij een continue DL-datastream werd opgezet tussen het 5G NR BS en het UE. Het doel hiervan was om de maximale veldwaarden gebaseerd op de extrapolatie-methode volgens Stap 3 beschreven in [1] en [2] te kunnen opmeten en vergelijken met de momentele/gemiddelde veldwaarden bij gebruik van een actief UE. Uit de meetresultaten bleek dat beide methodes gelijkaardige resultaten gaven. Hieruit blijkt dat de methode waarbij de momentele/gemiddelde veldwaarde met een actief UE (met 100% DL dataverkeer) een goede methode is voor de bepaling van de maximale veldwaarde. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat dit hier enkel getest werd bij gebruik met één actief UE.

De maximale veldwaarde die opgemeten werd op alle meetposities volgens de Stap 3 methode bedroeg 1.6 V/m en de maximale opgemeten momentele/gemiddelde veldwaarde bedroeg 1.8 V/m met de FSV-meetsetup en 1.9 V/m met de SRM-meetsetup.

Voor wat betreft de bijkomende metingen zijn hieronder kort de belangrijkste bevindingen opgelijst. De invloed van een actief UE op de opgemeten veldwaarde werd nagegaan door metingen met en zonder actief UE uit te voeren. Zonder UE bedroeg de maximaal opgemeten momentele/gemiddelde veldwaarde 0.18 V/m terwijl dit met actief UE 1.9 V/m bedroeg. **Metingen van het 5G NR signaal moeten bijgevolg met een actief UE uitgevoerd worden zodat de datastream van het 5G NR BS naar de meetprobe gericht wordt tijdens de metingen.**

Door de verticale bundelvorming mag het actief UE niet te ver van de meetprobe worden opgesteld dit om ervoor te zorgen dat de meetprobe tijdens de metingen in de 5G NR databundel staat die naar het actief UE gericht is. Anderzijds mag het UE ook niet te dicht bij de meetprobe opgesteld worden om interferentie met de meetprobe en de meetoperator te vermijden. Ideaal werd hier dus bekomen om het **actief UE op een afstand van 2 m voor de meetprobe op de lijn gevormd tussen de meetprobe en het 5G NR BS op te stellen.**



Tenslotte dient opgemerkt te worden dat de resultaten van de bijkomende metingen ter validatie/optimalisatie van de meetprocedure, uitgevoerd op de verschillende meetsites, gecombineerd zullen worden om tot een optimale meetsetup te komen. Bijkomend zullen de opgemeten veldwaarden op de verschillende meetsites een mooie dataset geven van de blootstelling aan 5G NR DL signalen.



REFERENTIES

- [1] Opvolging wetgeving en meetprocedures voor 5G, juli 2020, tussentijds deelrapport in het kader van de studie “Nieuwe ontwikkelingen rond 5G, de maatschappelijke impact van de uitrol van 5G netwerken op de stralingsblootstelling (bestek nr. OMG-VPO/2018/59)”
- [2] S. Aerts, L. Verloock, M. Van Den Bossche, D. Colombi, L. Martens, C. Törnevik, and W. Joseph, In-situ Measurement Methodology for the Assessment of 5G NR Massive MIMO Base Station Exposure at Sub-6 GHz Frequencies, IEEE Access, Volume 7, 2019.
- [3] https://www.narda-sts.com/fileadmin/Produktliteratur_BAs_Software/NBM_520_550/Sonstiges/FAQ_NBM-500_EN.pdf
- [4] Het besluit van de Vlaamse Regering van 19 november 2010 tot wijziging van het besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne wat betreft de normering van vast en tijdelijk opgestelde zendantennes voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. Het Besluit is van kracht vanaf 23 januari 2011 (BS 13/01/2011).
- [5] ICNIRP guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz), Health Physics 118(5): 483-524; March 2020.
- [6] CENELEC European Committee for Electrotechnical Standardisation TC 106x WG1 EN 50492 in situ. Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations; 2008.
- [7] <https://zendantenneskaart.omgeving.vlaanderen.be/>
- [8] IEC 62232, Edition 2.0 2017-08, Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure.
- [9] Exposure of the public to EMF and 5G, presentation; Public consultation on the evolution of the reference documents of the ANFR to take into account public exposure to electromagnetic waves in 5G. Evaluation de l'exposition du public aux ondes électromangétiques 5G, Juli 2019, bron: <https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/espace/CND/Rapport-ANFR-resultats-mesures-pilotes-5G.pdf>.
- [10] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specifications (TS) series 38 <https://www.3gpp.org/DynaReport/38-series.htm>.



