

**METEN VAN DE ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN DIE WORDEN OPGEWEKT
DOOR SLIMME METERS DIE IN HET BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST
GEÏNSTALLEERD ZIJN OF ZULLEN WORDEN**

Bestek nr 2020F0282

Eindrapport

Finale versie

<i>Auteur(s):</i>	dr. ir. Sam Aerts, ing. Leen Verloock, ing. Kenneth Deprez, prof. dr. ir. Wout Joseph
<i>Datum:</i>	18 oktober 2021
<i>Contact:</i>	IMEC – WAVES – Universiteit Gent Tech Lane Ghent Science Park iGent, Technologiepark – Zwijnaarde 126 9052 Gent tel.: +32 9 33 14915 – fax: +32-9-2649969

INHOUDSOPGAVE

Afkortingen	2
Nederlandstalige Samenvatting	3
Résumé Français	4
1 Inleiding	5
2 Materialen & Methodes	6
2.1 Slimme meters	6
2.2 Meetmethode	7
2.3 Meetapparatuur	8
2.4 Meetlocaties	9
3 Resultaten	13
3.1 Labometingen	13
3.1.1 Spatiale metingen	13
3.1.2 Temporele metingen	15
3.2 Metingen in situ	17
3.3 Tijdsgemiddelde blootstelling	17
3.4 Theoretisch model	19
3.5 Vergelijking met vorige studies en andere bronnen	22
4 Bespreking en Conclusies	25
5 Referenties	27

AFKORTINGEN

CI	<i>confidence interval</i> (betrouwbaarheidsinterval)
dBm	decibel milliwatt
DC	<i>duty cycle</i> (in %)
$DC_{gem,max}$	maximale tijdsgemiddelde <i>duty cycle</i> (in %)
E	elektrische veldsterkte (in V/m)
$E_{gem,max}$	maximale tijdsgemiddelde elektrische veldsterkte (in V/m)
E_{piek}	maximale elektrische veldsterkte of piekveldwaarde (in V/m)
EMV	elektromagnetische velden
E eq. 900	elektrische veldsterkte equivalent aan 900 MHz (in V/m)
GPRS	General Packet Radio Service
Hz	hertz
IoT	Internet-of-Things
LTE	Long Term Evolution
MHz	megahertz (10^6 Hz)
NB-IoT	narrowband IoT
P	vermogen (in dBm of W)
RF	radiofrequent
rms	<i>root-mean-square</i> (kwadratisch gemiddelde)
RMSE	<i>root-mean-square error</i> (gemiddelde kwadratische afwijking)
S	vermogensdichtheid (in W/m^2)
V/m	volt per meter
W	watt
W/m^2	watt per vierkante meter

NEDERLANDSTALIGE SAMENVATTING

In dit rapport worden metingen van radiofrequente (RF) elektromagnetische velden (EMV) beschreven nabij vier types van 'slimme meters' (S210, T210, S211, en T211) geproduceerd door Sagemcom en gedistribueerd door Sibelga in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, in het kader van het bestek nr. 2020F0282 uitgeschreven door Leefmilieu Brussel.

De studie omvatte zowel spatiale metingen (op 40 cm, 100 cm, en 200 cm), die resulteerden in de maximale elektrische veldwaarden, als temporele metingen, om de *duty cycle* (i.e. de fractie van de tijd waarin de meters effectief signalen uitzenden) van de slimme meters te bepalen. De combinatie van deze twee soorten metingen gaf uiteindelijk de maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarde, waarbij werd uitgemiddeld over 6 min. De metingen werden zowel in labo-omgevingen als in situ, op vier adressen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, uitgevoerd.

Op een afstand van 40 cm tot de slimme meters werden piekveldwaarden van 0.24 V/m tot 8.65 V/m gemeten tijdens de labometingen en 1.07 V/m tot 6.76 V/m in situ. De elektrische veldsterkte daalde als functie van de afstand volgens een logaritmisch model dat ook gebruikt werd om de veldwaarde op verdere afstanden (400 cm en 600 cm) te schatten. Bij normale werking van de slimme meters werden verder maximale 6-min-gemiddelde *duty cycles* van 0.18% tot 4.07% gemeten. De *duty cycle* hing sterk af van de sterkte van de verbinding van de slimme meter met het mobiel netwerk (en dus van de locatie), en minder van de gebruikte technologie-frequentiebandcombinatie. Combinatie van de piekveldwaarden en de maximale gemiddelde *duty cycles* gaf dan maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarden op een afstand van 40 cm van 0.20 V/m tot 0.61 V/m. Gelet op het geringe aantal metingen was er geen significant verschil in gemiddelde veldwaarde tussen de verschillende metertypes. De **hoogste blootstellingsratio** ten opzichte van de geldende norm in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (i.e. 6 V/m bij 900 MHz) bedroeg ten slotte **0.9%** (met andere woorden, de gemiddelde veldwaarden waren minstens honderd keer lager dan de norm).

RÉSUMÉ FRANÇAIS

Ce rapport décrit les mesures des champs électromagnétiques (CEM) de radiofréquences (RF) à proximité de quatre types de compteurs intelligents (S210, T210, S211 et T211) fabriqués par Sagemcom et distribués par Sibelga en Région de Bruxelles-Capitale, dans le cadre du cahier des charges n° 2020F0282 délivré par Bruxelles Environnement.

L'étude comprend à la fois des mesures spatiales (à 40 cm, 100 cm et 200 cm), qui fournissent les valeurs maximales du champ électrique, et des mesures temporelles, qui permettent de déterminer le rapport cyclique (c'est-à-dire la fraction de temps pendant laquelle les compteurs envoient effectivement des signaux) des compteurs intelligents. La combinaison de ces deux types de mesures permet de déterminer la valeur maximale du champ électrique moyennée dans le temps, sur 6 minutes. Les mesures ont été effectuées à la fois en laboratoire et in situ, à quatre adresses situées en Région de Bruxelles-Capitale.

À une distance de 40 cm des compteurs intelligents, des valeurs crête de champ de 0,24 V/m à 8,65 V/m ont été mesurées pendant les mesures en laboratoire et de 1,07 V/m à 6,76 V/m in situ. L'intensité du champ électrique diminue en fonction de la distance selon un modèle logarithmique qui a également été utilisé pour estimer la valeur du champ à d'autres distances (400 cm et 600 cm). Pendant le fonctionnement normal des compteurs intelligents, des rapports cycliques moyens maximaux de 6 minutes de 0,18 % à 4,07 % ont également été mesurés. Le rapport cyclique dépend fortement de la puissance de la connexion du compteur intelligent avec le réseau mobile (et donc de l'emplacement), et moins de la combinaison technologie-bande de fréquence utilisée. La combinaison des valeurs de champ maximales et des rapports cycliques moyens maximaux permet de déduire des valeurs de champ électrique moyennées maximales dans le temps à une distance de 40 cm de 0,20 V/m à 0,61 V/m. Compte tenu du petit nombre de mesures, il n'y a pas de différence significative dans les valeurs de champ moyennes entre les différents types de compteurs. Enfin, **le taux d'exposition le plus élevé** par rapport à la norme applicable dans la région de Bruxelles-Capitale (6 V/m équivalent 900 MHz) était de **0,9 %** (en d'autres termes, les valeurs de champ électrique moyennées maximales étaient au moins 100 fois inférieures à la norme applicable en Région bruxelloise).

1 INLEIDING

Dit rapport beschrijft de studie van radiofrequente (RF) elektromagnetische velden (EMV) in de nabijheid van zogenaamde ‘slimme meters’ in het kader van het bestek nr. 2020F0282 uitgeschreven door Leefmilieu Brussel: “Meten van de elektromagnetische velden die worden opgewekt door slimme meters die in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest geïnstalleerd zijn of zullen worden.”

Het doel van deze studie was om een reële schatting te verkrijgen van de EMV die worden opgewekt door de geïnstalleerde of te installeren slimme meters van de Sibelga-netbeheerder in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, zodat de regering, het parlement, en de burgers van Brussel op een feitelijke en objectieve basis kunnen worden geïnformeerd over de blootstelling van de burgers aan de velden die door deze installaties worden opgewekt.

De metingen in het kader van deze studie werden uitgevoerd in de periode juni - augustus 2021 door IMEC-WAVES, gebruik makend van de methode beschreven in [1, 2].

2 MATERIALEN & METHODES

2.1 SLIMME METERS

In totaal werden vier types slimme meters opgemeten, namelijk de S210, de T210, de S211, en de T211 – alle geproduceerd door Sagemcom (<https://www.sagemcom.com/fr>) en gebruikt door Sibelga in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (<https://www.sibelga.be/fr/>) – waarbij ‘S’ staat voor ‘single phase’ of ‘eenfasig’ en ‘T’ voor ‘tri-phase’ of ‘driefasig’, en de 211-serie de opvolger is (sinds begin 2021) van de 210-serie (geïnstalleerd tussen 2018 en medio 2021).

Op het gebied van radiofrequente (RF) signalisatie verschillen de meterseries in gebruikte frequenties en draadloze technologieën (Tabel 1). Tussen modellen van dezelfde serie is er behalve het aantal fasen geen verschil in de gebruikte frequentiebanden/communicatie methode.

Tabel 1: Draadloze technologieën (General Packet Radio Service (GPRS), Long Term Evolution (LTE), en NarrowBand Internet-of-Things (NB-IoT)) en de mogelijke frequentiebanden gebruikt door de slimme meters opgenomen in deze studie. Alle meters werden geproduceerd door Sagemcom (www.sagemcom.com) en worden gedistribueerd door Sibelga (www.sibelga.be) in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

Meter	Draadloze technologie	Mogelijke frequentiebanden
210-serie	GPRS	900 MHz 1800 MHz
	LTE	800 MHz 900 MHz 1800 MHz
211-serie	NB-IoT	800 MHz 900 MHz 1800 MHz

De 210-serie bevat de eenfasige S210 en de driefasige T210.

De 211-serie bevat de eenfasige S211 en de driefasige T211.

Zowel de gebruikte technologie als de frequentieband konden niet worden ingesteld tijdens de metingen. Het was daarentegen wel mogelijk abnormaal (i.e. frequenter) dataverkeer te genereren door een script op te laden om communicatie af te dwingen (210-serie) of het toestel aan en af te schakelen (211-serie). In het laatste geval verstuurde het toestel voor een korte tijd (1 à 2 min) na het terug aanschakelen datapakketten. Aangezien er tijdens de normale werking van de slimme meters veel minder vaak communicatie zou zijn (bv. één meteropname per dag), maakte dit het mogelijk om sneller en dus meer metingen uit te voeren van de door de slimme meter opgewekte elektrische velden (zie ook sectie 2.2, “Meetmethode”).

2.2 MEETMETHODE

Aangezien de signalen van de digitale elektriciteitsmeter niet continu aanwezig zijn worden zowel de tijdsgemiddelde (over 6 min [3,4]) als de maximale (piek)blootstelling aan RF EMV bepaald volgens onderstaande stappen:

Stap 1 “Spectrumoverzicht” – Op basis van een spectrumoverzichtsmeting nabij de slimme meter (op < 1 m afstand) werd de frequentieband gezocht die op die locatie gebruikt werd door de slimme meter voor haar draadloze communicatie met het netwerk. Afhankelijk van het type meter en van de aard van de communicatie (bv. de pulsengte) kon ook bepaald worden welke draadloze communicatietechnologie gebruikt werd.

Stap 2 “Spatiale metingen” – Voor dit onderzoek was vastgelegd in het bestek dat op drie afstanden van de slimme meter, zijnde 40 cm, 100 cm, en 200 cm, de maximale elektrische veldwaarde werd opgemeten, i.e. de piekblootstelling, E_{piek} , in V/m. Deze metingen worden *spatiale metingen* genoemd. Gezien het elektrische veld een vector is, werden haar drie componenten (x, y, en z) sequentieel gemeten, en de totale piek-veldsterkte als volgt berekend:

$$E_{piek} = \sqrt{E_{x,piek}^2 + E_{y,piek}^2 + E_{z,piek}^2} \left[\frac{V}{m} \right]. \quad (1)$$

$E_{i,piek}$ (met $i = x, y, z$) beduidt het maximum van de waarden opgemeten per component gedurende het uitzenden van de slimme meters, waarbij elke waarde een kwadratisch gemiddelde is over het kleinste actieve tijdsinterval (dit interval is technologieafhankelijk) [1,2]. Tijdens een spatiale meting werd een script opgeladen (210-serie) of de meter werd aan- en afgeschakeld (211-serie) om frequentere communicatie te stimuleren, i.e. minstens 1x per minuut in plaats van ongeveer 1x per uur in een normaal communicatieregime.

Stap 3 “Temporele metingen” – Op één afstand van de slimme meter (< 1 m) werd gedurende een zo lang mogelijke tijd (in de praktijk iets langer dan 12 u) de dominante elektrische veldcomponent continu gemeten. Aan de hand van deze *temporele* of langetermijnmeting werd de *duty cycle* (DC) van de slimme meter voor die bepaalde technologie-frequentiebandcombinatie bepaald, i.e. de fractie van de tijd waarin de meter effectief uitzendt. Tijdens een temporele meting bevond de slimme meter zich in een *normaal* communicatieregime, er werd met andere woorden geen script gebruikt en de meter werd niet aan- en afgeschakeld om frequentere communicatie te stimuleren.

Step 4 “Maximale tijdsgemiddelde blootstelling” – Door de spatiale metingen te combineren met de temporele meting werd de *maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarde* ($E_{gem,max}$), aan de hand van de volgende formule:

$$E_{gem,max} = \sqrt{DC_{gem,max}} E_{piek} \left[\frac{V}{m} \right], \quad (2)$$

met

$E_{gem,max}$	de maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarde (in V/m)
$DC_{gem,max}$	de maximale tijdsgemiddelde <i>duty cycle</i> (DC, in %)
E_{piek}	de piekeldwaarde (in V/m)

waarbij voor dit onderzoek werd uitgemiddeld over een periode van 6 min [3,4].

Ten slotte werden de blootstellingsratio's R berekend ten opzichte van de geldende norm in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, i.e. 6 V/m equivalent aan (eq.) 900 MHz of $0.2 \sqrt{f}$ (met f de frequentie in MHz) [5, 6] met

$$R = 100 \left(\frac{E_{gem,max}}{0.2 \sqrt{f}} \right)^2 [\%]. \quad (3)$$

2.3 MEETAPPARATUUR

De beschreven metingen (stappen 1-3) werden uitgevoerd met behulp van een spectrumanalyseropstelling, met specificaties opgelijst in Tabel 2.

Tabel 2: Technische gegevens van de meetapparatuur gebruikt in deze studie.

Setup	Apparatuur	
FSV	<i>Spectrumanalyser</i>	
	Type	Rohde & Schwarz (R&S) FSV-30 met optie R&S FSV-K14 spectrogram
	Frequentiebereik	10 Hz – 30 GHz
	<i>Tri-axiale antenne</i>	
	Type	Clampco Sistemi AT6000
	Dynamisch bereik	0.35 mV/m – 300 V/m
	Frequentiebereik	400 MHz – 6 GHz
<i>Meetonzekerheid</i>	±3 dB	

De instellingen van de spectrumanalyser hangen af van het type meting en het op te meten signaal.

Het spectrumoverzicht (“Stap 1”) wordt gemeten aan de hand van een frequentiemeting, waarbij binnen het frequentiegebied waarin de telecommunicatie signalen worden uitgestuurd (bv. van 700 MHz tot 3000 MHz) het ontvangen vermogen als functie van de frequentie wordt gemeten. Hierbij wordt een piek-detector van de spectrumanalyser gebruikt in combinatie met de “*maximum hold*” instelling. Verder wordt de resolutiebandbreedte zo ingesteld dat deze de

minimale kanaalbandbreedte van de gangbare telecommunicatiesignalen, namelijk 200 kHz voor NB-IoT en GPRS, het best benadert, wat 300 kHz is voor de FSV-30. Dit maakt het mogelijk om onderscheid te maken tussen de verschillende signalen met hun overeenkomstige technologie.

De spatiale en temporele metingen worden uitgevoerd met de spectrumanalyser in “*zero-span*” en “*spectrogram*” modi en in combinatie met de *root-mean-square* (RMS) (of kwadratische gemiddelde) detector. Hierbij wordt de spectrumanalyser vast ingesteld op de centrale frequentie van het op te meten signaal en wordt het ontvangen vermogen continu opgemeten als functie van de tijd over de (technologieafhankelijke) bandbreedte van het signaal (ingesteld via de resolutiebandbreedte). Ten slotte wordt de inter-pixeltijd, die bepaald wordt door de sweeptijd en het aantal beeldpunten, zo gekozen dat deze gelijk is aan de minimum tijdsduur van een actief tijdsinterval voor het opgemeten tijdssignaal, wat ook technologie-afhankelijk is (bv. 1 ms voor LTE/NB-IoT en 0.6 ms voor GPRS).

De metingen werden uitgevoerd ter hoogte van (het middelpunt) van de betreffende slimme meter.

2.4 MEETLOCATIES

Om zoveel mogelijk technologie-frequentiebandcombinaties te observeren, werden vier verschillende slimme meters – één van elk type, zijnde S210, T210, S211, en T211 – in verschillende omgevingen geplaatst: in het Sibelga-hoofdkantoor (bureau op +3 en kelderruimte op -1), in het iGent-gebouw in het Tech Lane Ghent Science Park - Campus Ardoyen van de Universiteit Gent (keldergang op -2, laboruimte op -1 (ook in kelder), en archiefruimte op +5), en in situ bij Sibelga-klanten in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (locaties in situ #1 tot #4, waarvan drie in de kelder en één op een tussenverdiep). Een overzicht van de meetlocaties (voor zowel de spatiale als de temporele metingen) kan men terugvinden in Tabel 3. In overleg met het opvolgingscomité was besloten dat in situ enkel spatiale metingen uitgevoerd zouden worden omwille van de beperkte tijd en het moeten achterlaten van dure apparatuur in niet-afgesloten ruimtes.

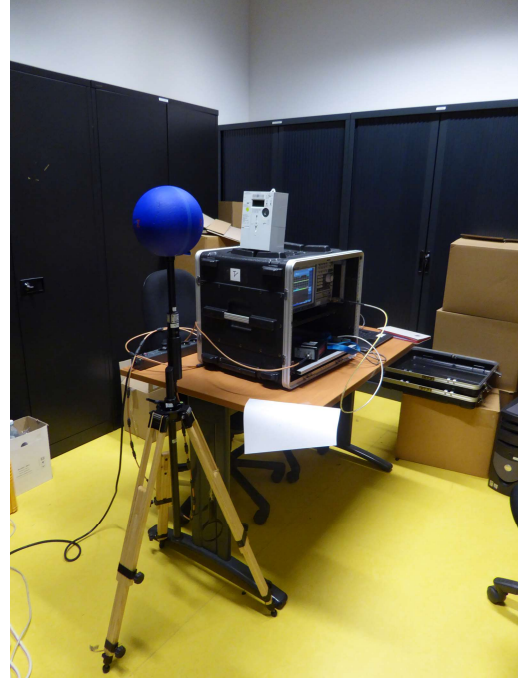
Tabel 3: Overzicht van de locaties waar spatiale (donkergrijs gearceerd) en/of temporele (lichtgrijs gearceerd) metingen werden uitgevoerd. Een wit vakje betekent geen meting. Tussen haakjes wordt de verdieping vermeld.

Locatie	S210	T210	S211	T211
Sibelga – bureau (+3)	■	■ □	■	■ □
Sibelga – kelder (-1)	■	■	■	□
iGent – keldergang (-2)	■	■	□	■
iGent – labo (-1)	□	□	□	□
iGent – archief (+5)	□	□	□	□
In situ #1 (-1)	□	■	□	□
In situ #2 (-1)	■	□	□	□
In situ #3 (-0.5)	□	□	□	■
In situ #4 (-1)	□	□	■	□

In Figuur 1 vindt men enkele foto's van de labomeetlocaties, en in Figuur 2 van de vier meetlocaties in situ.



Sibelga – bureau (+3)



iGent – archief (+5)



Sibelga – kelder (-1)

Figuur 1: Foto's van de meetopstelling op drie van de labomeetlocaties. Tussen haakjes wordt de verdieping vermeld. De metingen werden uitgevoerd ter hoogte van (het middelpunt) van de betreffende slimme meter.



In situ #1 (-1)



In situ #2 (-1)



In situ #3 (-0.5)



In situ #4 (-1)

Figuur 2: Foto's van de meetopstelling op de meetlocaties in situ. Tussen haakjes wordt de verdieping vermeld. De metingen werden uitgevoerd ter hoogte van (het middelpunt) van de betreffende slimme meter.

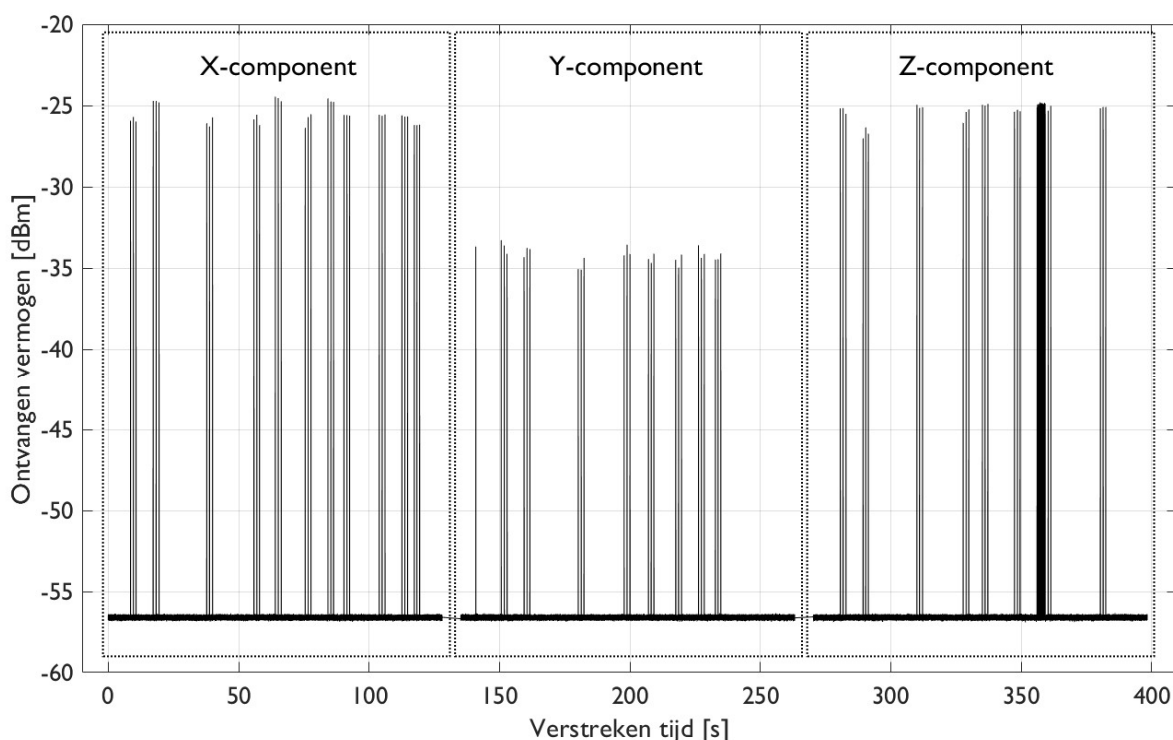
3 RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de meetresultaten besproken, met in sectie 3.1 de labometingen (i.e. de metingen op het Sibelga-hoofdkantoor en in het iGent-gebouw) en in sectie 3.2 de metingen in situ, vervolgens de tijdsgemiddelde blootstelling na combinatie van de meetresultaten (sectie 3.3) en een theoretisch model om de piekblootstelling te bepalen (3.4), en ten slotte een vergelijking met voorgaande studies en andere huishoudelijke bronnen van RF EMV (sectie 3.5).

3.1 LABOMETINGEN

3.1.1 SPATIALE METINGEN

In Figuur 3 wordt een voorbeeld getoond van een spatiale meting – in dit geval de S210 in de kelder gang van het iGent-gebouw, met GPRS bij 900 MHz (op een afstand van 40 cm).



Figuur 3: Spatiale meting op een afstand van 40 cm tot een Sagemcom S210 slimme meter (GPRS – 900 MHz, iGent keldergang). De drie elektrische veldcomponenten (X, Y, en Z) werden achtereenvolgens opgemeten, en om de piekveldwaarde E_{piek} te bepalen (zie Vgl. (1)) werd van elke component het maximale ontvangen vermogen (in dBm) weerhouden en werd vervolgens de veldwaarde per component berekend aan de hand van de antennefactor en de kabelverliezen van de meetopstelling.

Men kan in Figuur 3 duidelijk zien hoe de drie elektrische veldcomponenten (X, Y, en Z) achtereenvolgens werden opgemeten, telkens over een periode van 2 min (de slimme meter in Figuur 3 bevond zich een *abnormaal* communicatieregime – een script werd opgeladen om frequenter dataverkeer te genereren).. Om de piekveldwaarde E_{piek} te bepalen (zie Vgl. (1)) werd van elke component het maximale ontvangen vermogen (in dBm) weerhouden, en de veldwaarde per component vervolgens berekend aan de hand van de antennefactor van de meetopstelling.

De resultaten van de spatiale labometingen (stap 2 in sectie 2.2) zijn terug te vinden in Tabel 4 (voor de 210-serie) en Tabel 5 (211-serie). Op elke locatie en voor elke meter werden de spatiale metingen voorafgegaan door een spectrumoverzichtsmeting om de technologie-frequentiebandcombinatie van de slimme meter in kwestie te bepalen.

Tabel 4: Spatiale metingen van de piekblootstelling (E_{piek} , in V/m) op een afstand van 40 cm, 100 cm, en 200 cm van de Sagemcom 210-serie slimme meters (i.e. de éénfasige S210 en de driefasige T210).

Meter	Technologie	Frequentie ¹ (MHz)	E_{piek} (V/m)			Locatie (verdieping)
			40 cm	100 cm	200 cm	
S210	LTE	842.0 – 852.0	2.15	0.63	0.29	Sibelga – kelder (-1)
	LTE	1710.0 – 1735.0	1.42	1.09	0.69	Sibelga – bureau (-3)
	GPRS	890.3 – 896.1 902.1 – 908.7	3.77	2.14	1.65	iGent – keldergang (-2)
T210	LTE	842.0 – 852.0	2.54	1.25	0.74	Sibelga – kelder (-1)
	LTE	1710.0 – 1735.0	4.30	2.38	1.86	Sibelga – bureau (+3)
	GPRS	890.3 – 896.1 902.1 – 908.7	8.65	4.63	1.73	iGent – keldergang (-2)

¹De GPRS-signalen hadden een variabele frequentie binnen de banden 890.3–896.1 MHz en 902.1–908.7 MHz en een bandbreedte van 200 kHz. De LTE-signalen hadden een variabele frequentie binnen de banden 842.0–852.0 MHz (800 MHz-band) en 1710–1735 MHz (1800 MHz-band) en een maximale bandbreedte van 10 of 20 MHz.

Tabel 5: Spatiale metingen van de piekblootstelling (E_{piek} , in V/m) op een afstand van 40 cm, 100 cm, en 200 cm van de Sagemcom 211-serie slimme meters (i.e. de éénfasige S211 en de driefasige T211).

Meter	Technologie	Frequentie ¹ (MHz)	E_{piek} (V/m)			Locatie (verdieping)
			40 cm	100 cm	200 cm	
S211	NB-IoT	842.1	4.39	1.59	1.23	Sibelga – kelder (-1)
	NB-IoT	842.1	0.24	0.11	0.16	Sibelga – bureau (+3)
T211	NB-IoT	842.1	3.46	1.80	1.05	Sibelga – kelder (-1)
	NB-IoT	842.1	0.41	0.12	0.09	Sibelga – bureau (+3)

¹De NB-IoT-signalen hadden een vaste frequentie in de 800 MHz-band en een bandbreedte van 200 kHz.

De hoogste piekveldwaarde werd opgemeten bij GPRS (900 MHz) op 40 cm van de T210 in een kelderomgeving: 8.65 V/m (Tabel 4). Op 100 cm werd 4.63 V/m en op 200 cm 1.73 V/m gemeten. De velden nemen dus af voor grotere afstanden tot de meters. In dezelfde omgeving

gaf de S210 voor dezelfde technologie-frequentiebandcombinatie vier keer lagere piekwaarden (in vermogensdichtheid) op de afstanden 40 en 100 cm, maar een gelijkaardige piekwaarde op 200 cm (1.65 V/m, Tabel 4)..

Voor de 211-serie werd enkel de technologie-frequentiebandcombinatie NB-IoT op 800 MHz geobserveerd. Metingen van deze combinatie in twee verschillende omgevingen in hetzelfde gebouw (bureau en kelder) gaf een 100-voudig verschil (in vermogensdichtheid) tussen een omgeving met relatief slechte verbinding (kelder) en een met relatief goede verbinding (bureau op derde verdieping) (Tabel 5). Bij een goede verbinding worden dus veel lagere velden opgemeten omdat de slimme meter minder hard moet uitzenden om de basisstations van de operatoren te bereiken.

De hogere waarde op 200 cm in vergelijking met die op 100 cm voor de S211-meter in het Sibelga-bureau (Tabel 5) kan wijzen op een plotse verandering in signaalsterkte (bv. power control) of interferentie via multipadpropagatie. Gezien de lage veldwaarden is hier echter niet verder op ingegaan.

In principe zouden GPRS (210-serie) en NB-IoT (211-serie) bij 1800 MHz ook mogelijke technologie-frequentiebandcombinaties zijn (Tabel 1), maar deze werden niet geobserveerd tijdens het onderzoek (ook niet in situ – zie verder). Ten slotte werd de 900 MHz-band (nog) niet gebruikt voor LTE en NB-IoT door de operator (Proximus).

3.1.2 TEMPORELE METINGEN

Op drie labolocaties werden temporele metingen uitgevoerd: in het Sibelga-bureau (twee verschillende metingen), in het iGent-labo (twee metingen), en in de iGent-archiefruimte. Tijdens deze metingen bevonden de meters zich in een normaal communicatieregime.

De resultaten van de duty cycles kan men terugvinden in Tabel 6.

Tabel 6: Maximale duty cycles $DC_{gem,max}$ (in %), gemeten per slimme meter en technologie-frequentiebandcombinatie en uitgemiddeld over 6 min (gebruikt makend van een voortschrijdend gemiddelde).

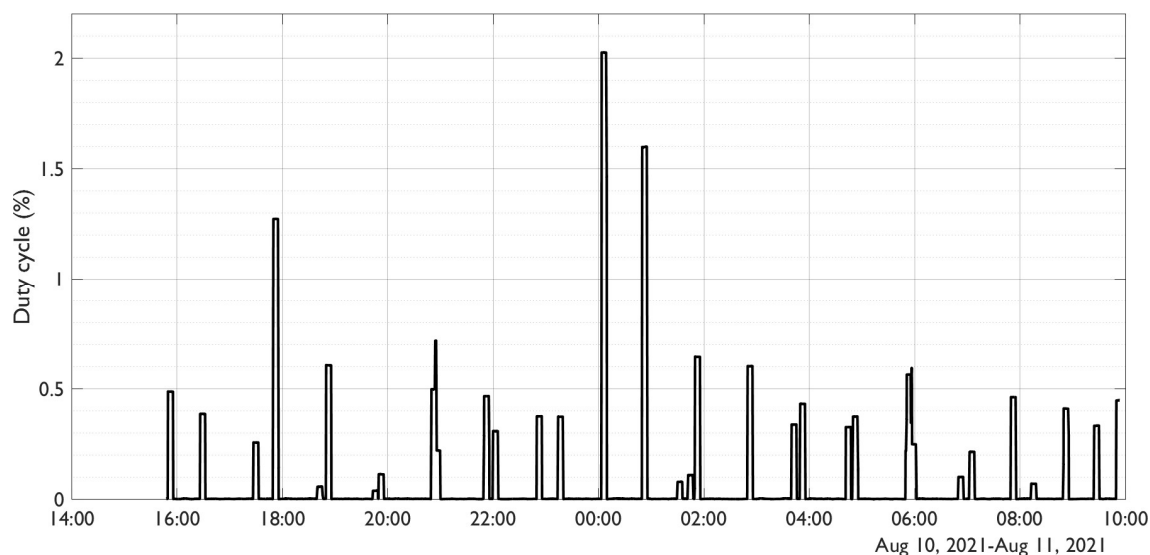
Technologie	Frequentie ¹ (MHz)	Meter	Duty cycle (%)	Locatie (verdieping)
LTE	842.0 – 852.0	S210	4.07	iGent – archief (+5)
LTE	1710.0 – 1735.0	T210	2.03	Sibelga – bureau (+3)
GPRS	890.3 – 896.1 902.1 – 908.7	T210	0.18	iGent – labo (-1)
NB-IoT	842.1	T211	0.26	Sibelga – bureau (+3)
NB-IoT	842.1	T211	1.52	iGent – labo (-1)

¹De GPRS-signalen hadden een variabele frequentie binnen de banden 890.3–896.1 MHz en 902.1–908.7 MHz en een bandbreedte van 200 kHz. De LTE-signalen hadden een variabele frequentie binnen de banden 842.0–852.0 MHz (800 MHz-band) en 1710–1735 MHz (1800 MHz-band) en een maximale bandbreedte van 10 MHz. De NB-IoT-signalen hadden een vaste frequentie in de 800 MHz-band en een bandbreedte van 200 kHz.

De vier technologie-frequentiebandcombinaties geobserveerd tijdens de spatiale metingen werden allemaal opgemeten, NB-IoT bij 800 MHz zelfs twee keer (telkens de T211). De maximale duty cycles uitgemiddeld over 6 min, $DC_{gem,max}$, varieerden tussen 0.18% (GPRS bij 900 MHz, T210) en 4.07% (LTE bij 800 MHz, S210) (Tabel 6).

Hoewel in het geval van de twee T211-metingen dezelfde technologie-frequentiecombinatie gebruikt werd, was er een duidelijk verschil in $DC_{gem,max}$: 0.26% in het Sibelga-bureau en 1.52% in het iGent-labo (Tabel 6). Dit verschil is te wijten aan de slechtere verbinding in het labo in de kelder van het iGent-gebouw in vergelijking met het bureau dat zich op de derde verdieping bevond van het Sibelga-hoofdkwartier. Evenzo ziet men een lagere DC in het Sibelga-bureau voor LTE (bij 1800 MHz) dan in het iGent-archief (bij 800 MHz; omgeving met slechtere verbinding), hoewel men in acht moet nemen dat het hier over twee verschillende meters (S210 vs. T210) en twee verschillende frequentiebanden (800 MHz vs. 1800 MHz) gaat.

Er dient verder opgemerkt te worden dat de waarden in Tabel 6 de *maximale* 6-min-gemiddelde DCs zijn. Zoals in Figuur 4 wordt geïllustreerd voor de T210-meter in het Sibelga-bureau (gebruik makend van LTE-1800 MHz), varieert deze tijdsgemiddelde DC sterk gedurende de dag, met een maximum (in dit geval 2.03%) rond middernacht – wellicht de meteropname – en andere pieken (tussen 0.1% en 1.6%) ongeveer om het uur. De communicatie duurde bij alle meters telkens enkele tot enkele tientallen seconden. Het grootste deel van de tijd is er echter geen communicatie van de meter met het netwerk en is de DC dus 0% (Figuur 4). Dit geldt voor elke uitgemeten meter in Tabel 6. De resultaten in dit rapport zijn dus maximale realistische blootstellingswaarden (met E_{piek} en $DC_{gem,max}$).



Figuur 4: Duty cycle (in %), uitgemiddeld over 6 min (voortschrijdend gemiddelde), gemeten bij de Sagemcom T210-meter (voor de LTE-1800 MHz combinatie) in het Sibelga-bureau op 10-11 augustus 2021. De hoogste waarden zijn – net als bij de andere meters – opgemeten rond middernacht. De communicatie duurde bij alle meters telkens enkele tot enkele tientallen seconden.

3.2 METINGEN IN SITU

Na de labometingen werd op vier adressen van Sibelga-kanten in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest telkens een van de vier slimme meters uitgemeten, waarbij de piekblootstelling op de drie afstanden (40 cm, 100 cm, en 200 cm) bepaald werd. De resultaten van deze metingen kan men terugvinden in Tabel 7. Op elke locatie en voor elke meter werden de spatiale metingen voorafgegaan door een spectrumoverzichtsmeting om de technologie-frequentiebandcombinatie van de slimme meter in kwestie te bepalen.

Tabel 7: Spatiale metingen om de piekblootstelling (E_{piek} , in V/m) te bepalen op een afstand van 40 cm, 100 cm, en 200 cm van de vier slimme meters (S210, T210, S211, en T211) in situ bij Sibelga-kanten in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

Adres	Meter	Technologie	Frequentie ¹ (MHz)	E_{piek} (V/m)			Locatie (verdieping)
				40 cm	100 cm	200 cm	
In situ #1	T210	LTE	842.0 – 852.0	1.67	1.00	0.54	kelder (-1)
In situ #2	S210	GPRS	890.3 – 896.1 902.1 – 908.7	6.76	3.60	1.82	kelder (-1)
In situ #3	T211	NB-IoT	842.1	2.21	0.88	0.43	tussenverdieping* (-0.5)
In situ #4	S211	NB-IoT	842.1	1.07	0.53	0.16	kelder (-1)

* verdiep tussen kelder en gelijkvloers.

¹De GPRS-signalen hadden een variabele frequentie binnen de banden 890.3–896.1 MHz en 902.1–908.7 MHz en een bandbreedte van 200 kHz. De LTE-signalen hadden een variabele frequentie binnen de banden 842.0–852.0 MHz (800 MHz-band) en 1710–1735 MHz (1800 MHz-band) en een maximale bandbreedte van 10 of 20 MHz. De NB-IoT-signalen hadden een vaste frequentie in de 800 MHz-band en een bandbreedte van 200 kHz.

De piekwaardes in situ (Tabel 7) liggen in dezelfde lijn als die in de labo-omgevingen (Tabel 4 en Tabel 5), vooral op gelijkaardige locaties (i.e. kelderruimtes).

3.3 TIJDGEMIDDELTE BLOOTSTELLING

De combinatie van de spatiale metingen van secties 3.1.1 (labo) en 3.2 (in situ) met de temporele metingen van sectie 3.1.2 geeft volgens Vgl. (2) uiteindelijk de *maximale tijds-gemiddelde* elektrische veldwaarden ($E_{\text{gem,max}}$, in V/m) (uitgemiddeld over 6 min, zie sectie 2.2, “Meetmethode”) per slimme meter en technologie-frequentiebandcombinatie op afstanden van 40 cm (Tabel 8), 100 cm (Tabel 9), en 200 cm (Tabel 10). Gezien het geringe aantal temporele metingen, werden de DCs van niet-gemeten meter-technologie-frequentiebandcombinaties (bv. S211 – NB-IoT bij 800 MHz) gelijk verondersteld als die van dezelfde technologie-frequentiebandcombinatie gemeten bij een ander type meter van dezelfde meterserie (in dat geval, T211 – NB-IoT bij 800 MHz).

Tabel 8: Maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarden ($E_{gem,max}$, in V/m) gemeten per slimme meter en technologie-frequentiebandcombinatie op een afstand van 40 cm.

	op 40 cm				
	LTE/NB-IoT @800 MHz	GPRS @900 MHz	LTE/NB-IoT @900 MHz	GPRS @1800 MHz	LTE/NB-IoT @1800 MHz
S210	0.43	0.28	--	n.g.	0.20
T210	0.51	0.36	--	n.g.	0.61
S211	0.54	--	--	--	n.g.
T211	0.43	--	--	--	n.g.

n.g. = niet gemeten / niet geobserveerd.

Grijsgearceerde gebieden beduiden (op dit moment) niet-gebruikte technologie-frequentiebandcombinaties.

Tabel 9: Maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarden ($E_{gem,max}$, in V/m) gemeten per slimme meter en technologie-frequentiebandcombinatie op een afstand van 100 cm.

	op 100 cm				
	LTE/NB-IoT @800 MHz	GPRS @900 MHz	LTE/NB-IoT @900 MHz	GPRS @1800 MHz	LTE/NB-IoT @1800 MHz
S210	0.13	0.15	--	n.g.	0.15
T210	0.25	0.19	--	n.g.	0.34
S211	0.20	--	--	--	n.g.
T211	0.22	--	--	--	n.g.

n.g. = niet gemeten / niet geobserveerd.

Grijsgearceerde gebieden beduiden (op dit moment) niet-gebruikte technologie-frequentiebandcombinaties.

Tabel 10: Maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarden ($E_{gem,max}$, in V/m) gemeten per slimme meter en technologie-frequentiebandcombinatie op een afstand van 200 cm.

	op 200 cm				
	LTE/NB-IoT @800 MHz	GPRS @900 MHz	LTE/NB-IoT @900 MHz	GPRS @1800 MHz	LTE/NB-IoT @1800 MHz
S210	0.06	0.08	--	n.g.	0.10
T210	0.15	0.07	--	n.g.	0.26
S211	0.15	--	--	--	n.g.
T211	0.13	--	--	--	n.g.

n.g. = niet gemeten / niet geobserveerd.

Grijsgearceerde gebieden beduiden (op dit moment) niet-gebruikte technologie-frequentiebandcombinaties.

Door de relatief lage DCs bij GPRS (Tabel 6) liggen de tijdsgemiddelde veldwaarden $E_{gem,max}$ uiteindelijk onder die bij LTE/NB-IoT (zie bv. Tabel 8). De hoogste $E_{gem,max}$ gemeten in deze studie was 0.61 V/m (T210 bij LTE-1800 MHz; Tabel 8). Er is verder geen duidelijk verschil tussen de $E_{gem,max}$ gemeten voor de eenfasige (S210 en S211) en de driefasige meters (T210 en T211), wat ook niet verwacht werd gezien de identieke dataverwerking (elk kwartier worden vier registers uitgelezen, nl. verbruik dag en nacht en injectie van zonnepanelen dag en nacht, onafhankelijk van het type meter).

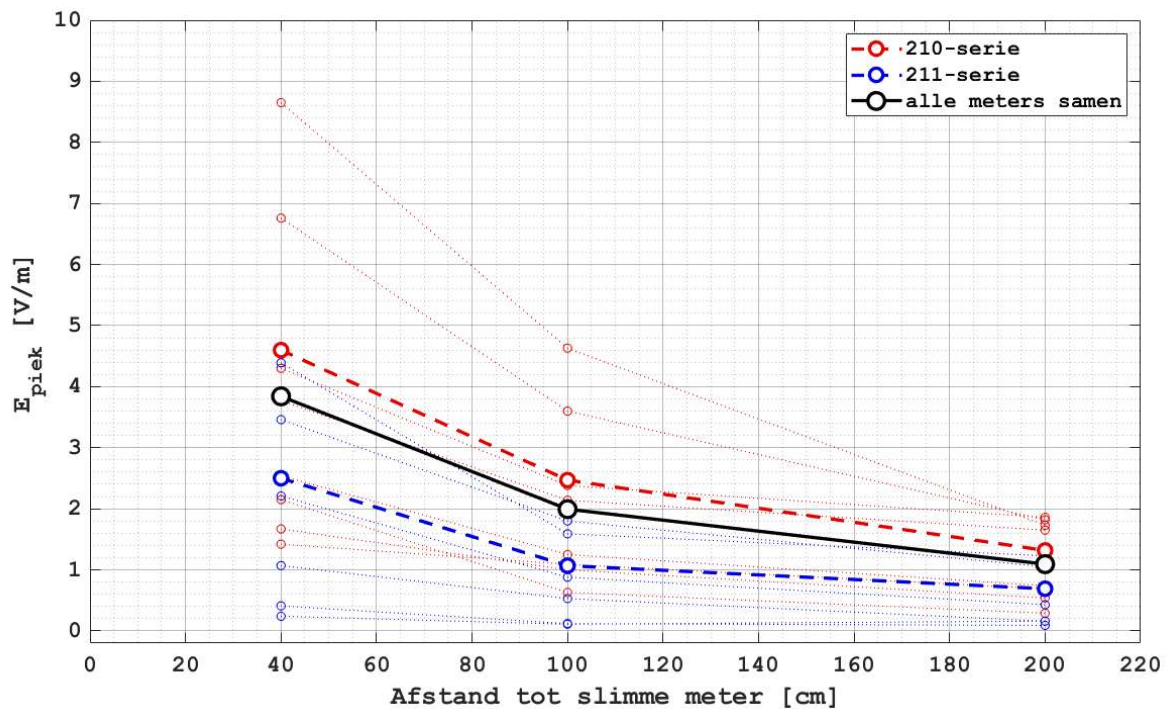
Ten slotte werden met behulp van Vgl. (3) op een afstand van 40 cm maximale blootstellingsratio's R bekomen van 0.06% (S210 bij LTE-1800 MHz) tot 0.9% (S211 bij NBloT-800 MHz) ten opzichte van de geldende norm in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (i.e. 6 V/m eq. 900 MHz, of $0.2 \sqrt{f}$ [5, 6]) (Tabel 11), een norm die ongeveer 50 keer (wat betreft vermogensdensiteit) strenger is dan het referentieniveau bepaald door de International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [7] en ook aanbevolen wordt door de Raad van de Europese Unie [4] (i.e. $1.375 \sqrt{f}$) (Tabel 11).

Tabel 11: Maximale blootstellingsratio's R gemeten per slimme meter en technologie-frequentiebandcombinatie op een afstand van 40 cm, ten opzichte van de geldende norm in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (i.e. 6 V/m eq. 900 MHz, of $0.2 \sqrt{f}$ [6,5]) en ten opzichte van het referentieniveau bepaald door de International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [7] en aanbevolen door de Raad van de Europese Unie [4].

Meter	Technologie	Frequentie ¹ (MHz)	$E_{gem,max}$ (V/m)	Vergelijking met Brusselse norm [5, 6]		Vergelijking met referentieniveau bepaald door ICNIRP (1998) [7] en aangeraden door Raad van de EU [4]	
				E_{norm} (V/m)	R (%)	E_{ref} (V/m)	$R_{ICNIRP/EU}$ (%)
S210	LTE	842.0 – 852.0	0.43	5.8	0.5	40	0.01
	LTE	1710.0 – 1735.0	0.20	8.3	0.06	57	0.001
	GPRS	890.3 – 896.1 902.1 – 908.7	0.28	6.0	0.2	41	0.005
T210	LTE	842.0 – 852.0	0.51	5.8	0.8	40	0.02
	LTE	1710.0 – 1735.0	0.61	8.3	0.5	57	0.01
	GPRS	890.3 – 896.1 902.1 – 908.7	0.36	6.0	0.4	40	0.008
S211	NB-IoT	842.1	0.54	5.8	0.9	40	0.02
T211	NB-IoT	842.1	0.43	5.8	0.5	40	0.01

3.4 THEORETISCH MODEL

In Figuur 5 worden alle bekomen piekwaarden (van de metingen in het labo én in situ) getoond als functie van de afstand en ook uitgemiddeld per meterserie (210 in het rood, 211 in het blauw) en over alle meters (zwart). De piekwaarden volgen het gekende met de afstand dalende verloop, en de piekwaarden voor de 210-serie (met GPRS en LTE) liggen gemiddeld twee maal hoger (factor vier in vermogensdichtheid) dan voor de 211-serie (NB-IoT). Of dit louter toevallig is (door het meten op andere locaties) of inherent aan de slimme meterseries (door het gebruik van een andere communicatietechnologie en/of ander ontwerp van de zend-antenne) kan niet met zekerheid gezegd worden gezien het geringe aantal metingen.



Figuur 5: De piekveldwaarde (E_{piek} , in V/m) per slimme meter als functie van de afstand tot de meter (rood: 210-serie, blauw: 211-serie). De gestreepte lijnen tonen het gemiddelde per serie, en de volle zwarte lijn het gemiddelde over alle meters.

Om de piekveldwaarde E_{piek} te modelleren als functie van de afstand d werd voor een veralgemeend afstandsmodel gekozen in navolging van [2]:

$$\log_{10} E_{piek}(d) = \log_{10} E_{piek}(d_0) - n \log_{10} \frac{d}{d_0}, \quad (4)$$

waarbij n en $E_{piek}(d_0)$ gefit worden aan de metingen. In het vrije veld (*free space*) geldt $n = 1$, en in principe is $E_{piek}(d_0)$ de piekveldwaarde op de afstand d_0 (bv. 40 cm).

In Vgl. (4) kan E_{piek} uiteraard door $E_{gem,max}$ vervangen worden.

Gebaseerd op de gemiddelde veldwaarden per afstand over *alle* slimme meters (zwarte curve in Figuur 5), werden $n = 0.78$ (met 95% betrouwbaarheidsinterval of *confidence interval* (CI) van 0.24–1.31) en $E_{piek}(d_0) = 3.91$ V/m (CI: 2.20–6.94 V/m) bekomen.

Gezien het zendvermogen van de slimme meter duidelijk afhangt van de technologie-frequentiebandcombinatie en van de sterkte van zijn verbinding met het mobiel netwerk (en dus van zijn locatie) (zie Figuur 5), wordt echter aangeraden minstens één meting uit te voeren op één afstand van de slimme meter (bv. op $d_0 = 40$ cm).

Wanneer we het theoretische model met $n = 0.78$ toepassen op de metingen per slimme meter (stippellijnen in Figuur 5), met als $E_{piek}(d_0)$ telkens de piekveldwaarde gemeten op 40 cm

(Tabel 4 en Tabel 7), bekomen we een R^2 van 0.91 en een root-mean-square error (RMSE) van 0.31 V/m, wat duidt op een goede modellering.

Het theoretische model van Vgl. (4) kan gebruikt worden om de blootstellingswaarden op andere afstanden d te schatten, met behulp van

$$E(d) = 10^{\log_{10} E(d_0) - n \log_{10} d / d_0} \quad (5)$$

Dit wordt geïllustreerd in Tabel 12 en Tabel 13 voor $E_{gem,max}$ op afstanden van respectievelijk 4 m en 6 m.

Tabel 12: Maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarden ($E_{gem,max}$, in V/m) per slimme meter en technologie-frequentiebandcombinatie geschat met behulp van het theoretische model op een afstand van 400 cm.

op 400 cm (schatting)					
	LTE/NB-IoT @800 MHz	GPRS @900 MHz	LTE/NB-IoT @900 MHz	GPRS @1800 MHz	LTE/NB-IoT @1800 MHz
S210	0.01	0.01	---	n.g.	0.02
T210	0.02	0.01	---	n.g.	0.04
S211	0.02	---	---	---	n.g.
T211	0.02	---	---	---	n.g.

n.g. = niet gemeten / niet geobserveerd.

Grijsgearceerde gebieden beduiden (op dit moment) niet-gebruikte technologie-frequentiebandcombinaties.

Tabel 13: Maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarden ($E_{gem,max}$, in V/m) per slimme meter en technologie-frequentiebandcombinatie geschat met behulp van het theoretische model op een afstand van 600 cm.

op 600 cm (schatting)					
	LTE/NB-IoT @800 MHz	GPRS @900 MHz	LTE/NB-IoT @900 MHz	GPRS @1800 MHz	LTE/NB-IoT @1800 MHz
S210	0.01	0.01	---	n.g.	0.01
T210	0.02	0.01	---	n.g.	0.03
S211	0.02	---	---	---	n.g.
T211	0.02	---	---	---	n.g.

n.g. = niet gemeten / niet geobserveerd.

Grijsgearceerde gebieden beduiden (op dit moment) niet-gebruikte technologie-frequentiebandcombinaties.

Ten slotte kan ook een attenuatiefactor van 4 dB (voor frequenties onder 1 GHz) of 6 dB (voor frequenties boven 1 GHz) gebruikt worden om de blootstelling in een aan de meter grenzende kamer te schatten, zoals gedefinieerd in Ref. [6]. In Tabel 14 vindt men de resulterende $E_{gem,max}$ op een afstand van 200 cm in een aanpalende kamer.

Tabel 14: Maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarden ($E_{gem,max}$, in V/m) per slimme meter en technologie-frequentiebandcombinatie geschat op een afstand van 200 cm in een aanpalende kamer met behulp van de attenuatiefactoren gedefinieerd in Ref. [6].

	op 200 cm in een aanpalende kamer (schatting)				
	LTE/NB-IoT @800 MHz	GPRS @900 MHz	LTE/NB-IoT @900 MHz	GPRS @1800 MHz	LTE/NB-IoT @1800 MHz
S210	0.04	0.05	--	n.g.	0.05
T210	0.09	0.04	--	n.g.	0.13
S211	0.09	--	--	--	n.g.
T211	0.08	--	--	--	n.g.

n.g. = niet gemeten / niet geobserveerd.

Grijsgearceerde gebieden beduiden (op dit moment) niet-gebruikte technologie-frequentiebandcombinaties.

Op basis van deze sectie kan men dus concluderen dat hoe verder men zich van de slimme meter bevindt en hoe meer obstakels (b.v. muren) er zijn tussen persoon en slimme meter, hoe lager de blootstelling.

3.5 VERGELIJKING MET VORIGE STUDIES EN ANDERE BRONNEN

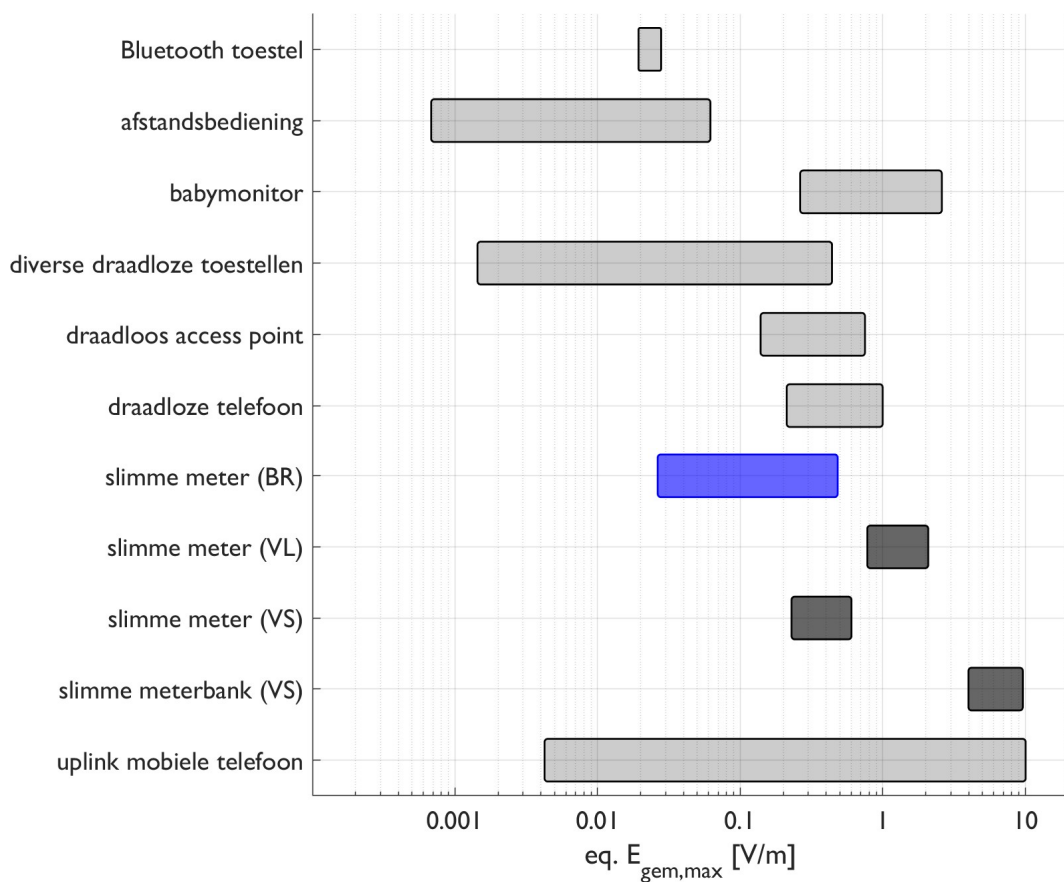
IMEC-WAVES voerde eerder ook elektrische veldmetingen van individuele slimme meters in Vlaanderen (in 2017) [1] en in de Verenigde Staten (VS; 2018) [2]. In Vlaanderen betrof het slimme meters met GPRS-communicatie in de 900 MHz band. Op een afstand van 50 cm werden hier piekveldwaarden tot 20.3 V/m gemeten. De hoogste $E_{gem,max}$ op deze afstand was, met een $DC_{gem,max}$ van 1.1%, 2.0 V/m. In de VS maakten de slimme meters gebruik van *mesh radio* (i.e. de slimme meters werkten als intermediaire nodes die data via elkaar doorstuurden naar een *access point* van waaruit ze naar het centraal netwerk werd verstuurd), werkend in de 900 MHz band (die in de VS een *industrial, scientific and medical* (ISM) frequentieband is, vergelijkbaar met de 2400 MHz band in België). Op een afstand van 1 voet (~30 cm) werden hier E_{piek} tot 12.8 V/m gemeten. De maximale duty cycle was 0.63%, wat leidde tot een $E_{gem,max}$ van 1.0 V/m.

Gebruik makend van het theoretische model van Vgl. (5) bekomt men voor deze metingen op een afstand van 40 cm de waarden in Tabel 15. Zo blijkt dat, hoewel de *duty cycles* gelijkaardig waren als die gemeten in deze studie in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, zowel E_{piek} als $E_{gem,max}$ hoger lagen, vooral in Vlaanderen (Tabel 15). De reden hiervoor is niet meteen duidelijk, maar een hoger maximaal uitgestraald vermogen (door bv. een slechtere verbinding met het netwerk) lijkt aannemelijk. Er dient ook opgemerkt te worden dat hier een slechts een klein aantal slimme meters met elkaar vergeleken wordt.

Tabel 15: Maximale piek- en tijdsgemiddelde veldwaarden (E_{piek} en $E_{gem,max}$, beide in V/m) bekomen op een afstand van 40 cm tot individuele slimme meters in verschillende studies.

Studie	Maximale E_{piek} (V/m)	Maximale $E_{gem,max}$ (V/m)
Vlaanderen [1]	23.8	2.5
VS [2]	10.3	0.8
Brussel (deze)	8.7	0.6

In Figuur 6 worden de 900-MHz-equivalente maximale tijdsgemiddelde veldwaarden [5, 6] op een afstand van 50 cm nabij de slimme meters (waarvoor gebruikt gemaakt werd van het theoretische model van Vgl. (5)) ook vergeleken met die nabij andere huishoudelijke bronnen van RF EMV, zoals mobiele telefoons en babymonitors. Daaruit blijkt dat de blootstelling nabij de besproken slimme meters vergelijkbaar is met die van diverse draadloze toestellen (een categorie die o.m. thermostaten, bewegingssensoren, en weerstations omvat), access points, en draadloze telefoons (hoewel die twee laatste categorieën ook hogere blootstellingswaarden opleverden). Mobiele telefoons kunnen dan weer in een heel gevarieerde blootstelling resulteren, zowel (veel) lager, van dezelfde orde, als (veel) hoger dan die van (individuele) slimme meters.



Figuur 6: Overzicht van de ranges in equivalente, maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarden (in V/m, t.o.v. 900 MHz [5, 6]) gemeten op een afstand van 50 cm van diverse categorieën van huishoudelijke bronnen van radiofrequente (RF) elektromagnetische velden (EMV). BR = Brussels Hoofdstedelijk Gewest (i.e. deze studie), VL = Vlaams Gewest [1], VS = Verenigde Staten van Amerika [2]. Meterbanken omvatten 20 tot 81 slimme meters. De categorie “diverse draadloze toestellen” omvatte o.a. thermostaten, weerstations, en bewegingssensoren.

4 BESPREKING EN CONCLUSIES

Dit rapport beschrijft de metingen van radiofrequente (RF) elektromagnetische velden (EMV) uitgezonden door vier types van zogenaamde ‘slimme meters’ geproduceerd door Sagemcom, i.e. de S210, T210, S211, en T211, die gedistribueerd worden door Sibelga in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, in het kader van het bestek 2020F0282 uitgeschreven door Leefmilieu Brussel: “Meten van de elektromagnetische velden die worden opgewekt door slimme meters die in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest geïnstalleerd zijn of zullen worden.”

In deze studie werden zowel spatiale metingen (op drie verschillende afstanden – 40 cm, 100 cm, en 200 cm), om zo hoog mogelijk elektrische veldwaarden op te meten (i.e. de *worst case*), als temporele (langetermijn) metingen, om de *duty cycle* (i.e. de fractie van de tijd waarin de meters effectief signalen uitzenden) van de slimme meters te bepalen, uitgevoerd. De combinatie van deze twee soorten metingen gaf uiteindelijk de maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarde, waarbij in deze studie werd uitgemiddeld over 6 min.

De meetlocaties bevonden zich in twee “labo”-omgevingen, namelijk het Sibelga-hoofdkantoor in Brussel en het iGent-gebouw in Zwijnaarde, en in situ op vier adressen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (met telkens een andere slimme meter). De geobserveerde communicatietechnologie en frequentieband waren afhankelijk van het type slimme meter en van de locatie, en varieerde tussen GPRS bij 900 MHz en LTE bij 800 MHz en 1800 MHz voor de 210-serie en NB-IoT bij 800 MHz voor de 211-serie. Hoewel het in principe mogelijk zou zijn, werd er geen GPRS-communicatie bij 1800 MHz (voor de 210-serie) noch NB-IoT-communicatie bij 1800 MHz (voor de 211-serie) geregistreerd.

Op een afstand van 40 cm tot de slimme meters werden piekveldwaarden van 0.24 V/m (S211 bij NB-IoT–800 MHz in een bureauruimte op de derde verdieping) tot 8.65 V/m (T210 bij GPRS–900 MHz in een kelderruimte op -1) gemeten tijdens de labometingen en 1.07 V/m tot 6.76 V/m in situ (in een kelderruimte of op een ondergrondse tussenverdieping). De elektrische veldsterkte daalt als functie van de afstand volgens een logaritmisch model (met modelparameter $n = 0.78$ i.p.v. $n = 1$ verwacht in geval van *free space* of het vrije veld), dat ook gebruikt werd om de veldwaarde op verdere afstanden (400 cm en 600 cm) te bepalen.

Door middel van langetermijnmetingen bij normale werking van de slimme meters (zoals in situ, met ongeveer elk uur communicatie en één meteropname per dag) werden 6-min-gemiddelde *duty cycles* van 0.18% (T210 bij GPRS–900 MHz) tot 4.07% (S210 bij LTE–800 MHz) gemeten. Op basis van de meting van eenzelfde meter in twee verschillende omgevingen (T211 bij NB-IoT–800 MHz, in een bureauruimte en een kelderlaboruimte) kan men echter besluiten dat de *duty cycle* afhangt van de sterkte van de verbinding van de slimme meter met het mobiel netwerk, en misschien niet zozeer van de gebruikte technologie-frequentieband-combinatie.

Combinatie van de piekveldwaarden en de maximale gemiddelde duty cycles gaf ten slotte maximale tijdsgemiddelde elektrische veldwaarden op een afstand van 40 cm van 0.20 V/m (S210 bij LTE–1800 MHz) tot 0.61 V/m (T210 bij LTE–1800 MHz). Gelet op het geringe aantal metingen was er geen significant verschil in gemiddelde veldwaarde tussen de verschillende metertypes. De hoogste blootstellingsratio ten opzichte van de geldende norm in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest bedroeg 0.9% (S211 bij NB-IoT–800 MHz), een norm die ongeveer 50 keer (wat betreft vermogensdensiteit) strenger is dan het referentieniveau bepaald door de International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) en aanbevolen wordt door de Raad van de Europese Unie [4]. De gemiddelde veldwaarden op een afstand van 40 cm waren dus minstens honderd keer lager dan de norm in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Bij slimme meters met een zwakkere verbinding met het mobiel netwerk (bv. in kelderruimtes) – en die dus met een hoger vermogen uitzonden – werden hogere blootstellingsratio's bekomen dan bij slimme meters met een goede verbinding (bv. in een bureauimte met raam). Overigens, hoe verder men zich van de slimme meter bevindt en hoe meer obstakels (b.v. muren) er zijn tussen persoon en slimme meter, hoe lager de blootstelling.

Ten slotte was de blootstelling nabij de besproken slimme meters vergelijkbaar met die van diverse huishoudelijke draadloze toestellen, access points en draadloze telefoons (hoewel die twee categorieën ook hogere blootstellingswaarden opleverden), en in bepaalde gevallen ook mobiele telefoons (in gedachten houdend dat de blootstelling nabij mobiele telefoons heel gevarieerd is: zowel (veel) lager, van dezelfde orde, als (veel) hoger dan die van slimme meters).

5 REFERENTIES

- [1] S. Aerts, L. Verloock, M. Van Den Bossche, X. Vergara, L. Martens, W. Joseph, "Emissions From Smart Meters and Other Residential Radiofrequency Sources", *Health Physics*, Vol. 116, No. 6, pp. 776-788, 2018. [doi: 10.1097/HP.0000000000001032]
- [2] S. Aerts, M. Van den Bossche, X. Vergara, S. Odie, L. Verloock, L. Martens, W. Joseph, "Spatial and temporal assessment of radiofrequency electromagnetic fields emitted by smart meters and smart meter banks in urban environments", *Environmental Research*, Vol. 183, pp. 109196, 2020. [doi: 10.1016/j.envres.2020.109196]
- [3] Brussels Hoofdstedelijk Gewest, "8 oktober 2009 – Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering tot vaststelling van de methode en de omstandigheden voor de meting van het elektromagnetische veld dat door bepaalde zendmasten uitgezonden wordt," [<http://www.ejustice.just.fgov.be/eli/bsluit/2009/10/08/2009031518/justel>]
- [4] Council of the European Union, "1999/519/EC: Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)," [<http://data.europa.eu/eli/reco/1999/519/oj> – ook beschikbaar in het Nederlands en het Frans]
- [5] Brussels Hoofdstedelijk Gewest, "1 maart 2007 – Ordonnantie betreffende de bescherming van het leefmilieu tegen de eventuele schadelijke effecten en de hinder van niet-ioniserende stralingen," [<http://www.ejustice.just.fgov.be/eli/ordonnantie/2007/03/01/2007031104/justel>]
- [6] Brussels Hoofdstedelijk Gewest, "30 oktober 2009 – Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering betreffende bepaalde antennes die elektromagnetische golven uitzenden," [<http://www.ejustice.just.fgov.be/eli/bsluit/2009/10/30/2009031544/justel>]
- [7] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz)," *Health Physics*, Vol. 118, No. 5, pp. 483-524, 2020. [doi: 10.1097/HP.0000000000001210]