



**Vlaanderen**  
is kwaliteitsvolle  
omgeving

# Evoluties van draadloze technologieën en hun toepassingen

## **Evoluties van draadloze technologieën en hun toepassingen**

Deze studie kadert binnen de opdracht 'Expertenondersteuning niet-ioniserende straling' (VPO/2020/201). De evolutie van nieuwe draadloze technologie en toepassingen en de daarbij samengaande veranderingen op de blootstelling aan RF-straling worden hierin opgevolgd en geïnterpreteerd. Elk half jaar bezorgt de expertgroep, bestaande uit experts van IMEC, een overzicht van de evolutie in technologieën, standaarden voor draadloze communicatie, 'data rate', evolutie in meettechnieken (niet limitatief). Hierbij is er aandacht voor de verwachte effecten van nieuwe technologie op de blootstelling van de bevolking (blootstellingsevaluatie, omgevingsblootstelling).

---

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

---

## **COLOFON**

### **Verantwoordelijke uitgever**

Toon Denys, secretaris-generaal  
Departement Omgeving  
Koning Albert-II laan 15 bus 553, 1210 Brussel (postadres)  
[vlaanderen.be/omgeving](https://vlaanderen.be/omgeving)

Een uitgave van het Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving  
[vpo.omgeving@vlaanderen.be](mailto:vpo.omgeving@vlaanderen.be)

Wout Joseph, IMEC Waves, Universiteit Gent

### **Publicatiedatum**

2025

## INHOUDSTAFEL

## INHOUD

|        |                                                                                                                                                  |    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1      | Inleiding .....                                                                                                                                  | 6  |
| 2      | Evoluties in communicatiesystemen.....                                                                                                           | 6  |
| 2.1    | Cellulaire netwerken                                                                                                                             | 6  |
| 2.1.1  | Femtocellen                                                                                                                                      | 6  |
|        | Coverage/network extender                                                                                                                        | 7  |
| 2.1.2  | Cell phone booster                                                                                                                               | 7  |
| 2.1.3  | VoLTE                                                                                                                                            | 8  |
| 2.1.4  | LTE Advanced Pro                                                                                                                                 | 8  |
| 2.1.5  | LTE-V                                                                                                                                            | 9  |
| 2.1.6  | Nieuwe 4G toepassingen                                                                                                                           | 9  |
| 2.1.7  | SON-netwerken                                                                                                                                    | 9  |
| 2.1.8  | Hybride 4G-broadcast netwerken                                                                                                                   | 10 |
| 2.1.9  | 5G netwerken                                                                                                                                     | 11 |
| 2.1.10 | Beyond-5G en 6G netwerken                                                                                                                        | 23 |
| 2.1.11 | Uitfasering 3G                                                                                                                                   | 24 |
| 2.1.12 | Nieuwe telecomoperator DiGi                                                                                                                      | 25 |
| 2.1.13 | 5 <sup>de</sup> Licentie 5G: spectrum overgenomen                                                                                                | 25 |
| 2.2    | WLAN netwerken                                                                                                                                   | 25 |
| WiFi 6 | 25                                                                                                                                               |    |
| 2.2.1  | WiFi 6E                                                                                                                                          | 25 |
|        | Li-Fi technologie                                                                                                                                | 26 |
|        | Indoor optische draadloze netwerken                                                                                                              | 27 |
| 2.3    | Broadcast netwerken                                                                                                                              | 27 |
| 2.3.1  | DAB+                                                                                                                                             | 27 |
| 2.4    | Internet of Things (IoT) – LPWAN netwerken                                                                                                       | 28 |
| 2.4.1  | IoT Technologieën                                                                                                                                | 29 |
| 2.4.2  | Toepassingen                                                                                                                                     | 33 |
| 2.5    | Andere                                                                                                                                           | 37 |
|        | Draadloos opladen van toestellen                                                                                                                 | 37 |
|        | Radio strips                                                                                                                                     | 38 |
|        | Glas antenne                                                                                                                                     | 38 |
| 2.6    | Overzicht van blootstelling van draadloze technologieën                                                                                          | 39 |
|        | 5G FR2 in situ metingen                                                                                                                          | 39 |
| 2.7    | Blootstellingmaten, -normen en regelgeving                                                                                                       | 40 |
|        | De blootstellingsindex (Eng: Exposure Index, EI)                                                                                                 | 40 |
|        | Nieuwe methodes bepalen van blootstelling                                                                                                        | 41 |
| 2.7.1  | Nieuwe ICNIRP richtlijnen                                                                                                                        | 42 |
| 2.7.2  | Uitvoeringsverordening van de Europese commissie m.b.t kenmerken van draadloze toegangspunten met laag vermogen en klein bereik van 20 juli 2020 | 47 |
|        | Standardisatie CENELEC en IEC                                                                                                                    | 48 |
| 2.8    | Optimalisatie van communicatienetwerken                                                                                                          | 49 |
| 2.8.1  | Optimalisatie naar energieverbruik en de blootstelling voor de mens                                                                              | 49 |
| 3      | Evoluties in elektriciteitstransport .....                                                                                                       | 49 |
| 3.1    | Hernieuwbare energiebronnen in draadloze toegangsnetwerken                                                                                       | 49 |
| 3.2    | Smart meters                                                                                                                                     | 50 |
|        | Studie van EPRI                                                                                                                                  | 52 |
| 3.2.1  | Studie van Kennisplatform                                                                                                                        | 53 |
|        | PHE Smart Meter Project                                                                                                                          | 53 |
| 3.2.2  | Studie van ANFR                                                                                                                                  | 53 |
| 3.2.3  | Andere                                                                                                                                           | 54 |
| 3.3    | Hoogspanningslijnen                                                                                                                              | 55 |
| 4      | ELF (Extremely Low Frequency) .....                                                                                                              | 56 |



|                  |            |                                     |
|------------------|------------|-------------------------------------|
| 9                | Kop 1..... | Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd. |
| 10               | Kop 1..... | Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd. |
| 10.1             | Kop 2      | Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd. |
| 10.2             | Kop 2      | Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd. |
| 10.2.1           | Kop 3      | Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd. |
| Referenties..... |            | Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd. |

## 1 INLEIDING

Dit document maakt deel uit van de expertondersteuningsstudie OMG\_VPO\_2024\_041. Dit document is een addendum op het rapport van de studie “Expertondersteuning voor de beoordeling van aanvragen van conformiteitsattesten, de opvolging van technologische evoluties en het onderzoek naar gezondheidseffecten inzake draadloze technologie: *Recente evoluties van draadloze technologieën en hun toepassingen*” met referentie nummer LNE/13113/M&G, “Expertadvies voor het beoordelen van aanvragen van conformiteitsattesten en ondersteuning voor het modelleren van niet-ioniserende straling: *Evoluties van communicatiesystemen en elektriciteitstransport*” met referentie nummer LNE/OL201500020/M&G en “Evoluties van draadloze technologieën en hun toepassingen” met referentie nummer OMG-VPO/2018/04. Deze studies bracht de recente ontwikkelingen op gebied van draadloze telecommunicatie en de gevolgen van deze ontwikkeling op het gebied van stralingsbelasting in kaart. Er werd een overzicht gegeven van diverse huidige draadloze technologieën, welke evolutie er heeft plaatsgevonden op gebied van draadloze toestellen en hoe het gedrag van gebruiker hierdoor al dan niet gewijzigd is. Er werd ook besproken hoe toekomstige netwerken er zullen uitzien en wat voor invloed dit zal hebben op de stralingsbelasting.

De huidige studie brengt de nieuwe evoluties sinds het aflopen van de vorige studie in kaart. Alle informatie uit de vorige rapporten werd hier eveneens opgenomen. We focussen in dit deel op de evolutie van toekomstige netwerken en mogelijke toepassingen.

## 2 EVOLUTIES IN COMMUNICATIESYSTEMEN

## 2.1 CELLULAIRE NETWORKEN

### 2.1.1 Femtocellen

Om de druk op een mobiel netwerk door het alsmaar groeiende (data)gebruik te verlichten, kunnen operatoren zogenaamde *femtocellen* ter beschikking stellen van de gebruikers; dit zijn miniatuurbasisstations die, met een uitgangsvermogen van maximum ongeveer 100 mW, te vergelijken zijn met Wi-Fi access points, en die via het kabelnetwerk verbonden zijn met het mobiel netwerk, waardoor de data via de kabel geoffloaded kan worden. De nabijheid van de femtocel zorgt er ook voor dat de dekking en capaciteit van het netwerk in de indoor-omgeving drastisch verbeterd worden.

Dit heeft ook zijn invloed op de blootstelling van een mobiele-telefoongebruiker in de indoor-omgeving; de blootstelling van de gebruiker aan de straling van zijn mobiele telefoon zal immers afnemen, aangezien het basisstation zich veel dichterbij de gebruiker bevindt dan in geval van connectie via een macrocel, en het uitgezonden signaal van de mobiele telefoon moet dus minder sterk zijn om het basisstation te bereiken, maar langs de andere kant zal de straling van de femtocel zelf niet te verwaarlozen zijn [Aerts, 2013]. Of de totale blootstelling (door de mobiele telefoon én de basisstation(s)) nu verlaagt door de femtocel hangt echter af van meerdere zaken, zoals de duur van het mobiele-telefoongebruik, de technologie gebruikt voor de communicatie (een mobiele telefoon straalt bv. minder uit via LTE (4G) en UMTS (3G) dan via GSM (2G)), en het uitgangsvermogen van de femtocel. [Aerts, 2013] rapporteert een vermindering van de totale blootstelling met een factor 20 tot 40 voor een gemiddelde dekking van de macrocel en een

In [Aerts, 2015a], bijvoorbeeld, werd berekend dat de lichaamsblootstelling in een rijdende trein van een gemiddelde (beltijd van 9.1 seconde per uur [Mohler, 2009]) mobiele-telefoongebruiker aan GSM-straling (bij 1800 MHz) met een factor 10 zou kunnen verlaagd worden door het plaatsen van een femtocel met een outputvermogen van 1 mW (en de blootstelling in het brein met een factor 35). Ter vergelijking, de lichaamsblootstelling van een gebruiker die 5 minuten belt, zou met een factor 57 verlaagd worden, en het plaatsen van een femtocel met een vermogen van 50 mW zou de blootstelling in het lichaam net zou verhogen, met een factor 3.5.

Wanneer je op een afgelegen plek woont of je in een goed geïsoleerde ruimte bevindt, is er soms onvoldoende of geen enkel GSM bereik. Sommige telecomoperatoren bieden hiervoor een oplossing aan. Bij Proximus heet dit de Mobile Coverage Extender [Proximus, 2016]; bij Mobistar de Network Extender [Mobistar, 2016]. Deze extender is een klein bakje dat wordt aangesloten via kabel of PLC (Programmable Logic Controller) op de modem, m.a.w. op het vaste bedraad netwerk. Het is dus geen versterker van het signaal afkomstig van het basisstation, maar een antenne voor indoor gebruik. Hierdoor wordt een indoor 3G-dekking van 10 tot 20 m rondom het apparaat voorzien en biedt ondersteuning voor 4 tot 8 gelijktijdige telefoongesprekken. Door gebruik te maken van zo een extender op een plaats met beperkt bereik kan de intensiteit van de straling geproduceerd door de mobiele telefoon gereduceerd worden. Dit komt omdat het mobiele toestel minder vermogen zal moeten uitzenden om het signaal op te pikken.

Hoewel de huidige draadloze communicatienetwerken reeds heel betrouwbaar zijn, is het toch soms moeilijk om op elke locatie een goed bereik te bekomen. Wanneer je bijvoorbeeld door landelijke of bergrijke gebieden reist kan het signaal soms zelfs volledig wegvallen. Dit is niet alleen frustrerend, maar zorgt er ook voor dat de batterij van het mobiel toestel snel leegloopt omdat het toestel steeds opnieuw probeert verbinding te maken. Een zogenaamde “cell phone booster” kan hiervoor een oplossing bieden [Toptenreviews, 2018]. Deze boosters gaan enkel het bestaande signaal oppikken en versterken. Ze hebben dus zeker de uitgebreide functionaliteit van een basisstation niet.

Merk op dat het plaatsen van cell phone boosters door particulieren verboden is in België. Deze mogen enkel geplaatst worden door de operatoren omdat ze gebruik maken van de frequenties waarvoor de operatoren een vergunning verkregen [BIPT, 2016].

### 2.1.3 VOLTE

Wanneer we een telefoongesprek willen voeren, schakelt onze telefoon automatisch terug naar 2G (2<sup>de</sup> Generatie) of 3G (3<sup>de</sup> Generatie), ook al is de telefoon met het netwerk verbonden via de 4G (4<sup>de</sup> Generation) technologie LTE (Long Term Evolution) of LTE-Advanced (ook vaak aangeduid als 4G+). De 4G technologie wordt bijna uitsluitend voor data-verkeer gebruikt. Met de introductie van VoLTE (Voice over LTE) zal hierin verandering komen [Proximus\_VoLTE, 2016]. Met VoLTE zal er namelijk ook gebeld kunnen worden over LTE. Het voordeel hiervan is dat een oproep sneller gestart kan worden, de geluidskwaliteit aanzienlijk verbeterd wordt (hoge en lage tonen hoeven er niet langer uit gefilterd te worden) en men kan simultaan mobiel bellen en surfen (wat nu niet mogelijk is). Proximus begon in November 2016 met de uitrol van VoLTE. . Sinds halfweg 2018 wordt deze technologie aangeboden door alle Belgisch operatoren. Mobiele toestellen recenter dan mei 2018 ondersteunen in de meeste gevallen ook VoLTE. Een analoge technologie is VoWiFi (Voice over WiFi) en ViLTE (Video over LTE) waarbij videogesprekken via 4G kunnen gebeuren. VoWiFi wordt eveneens door alle Belgische operatoren aangeboden.

### 2.1.4 LTE Advanced Pro

LTE werd ontwikkeld door de 3GPP. Vanaf LTE release 10 werd er gesproken van LTE Advanced. Met de komst van Release 13 werd de term LTE Advanced Pro geïntroduceerd [LTEAdvPro, 2016]. We bespreken hier de belangrijkste functionaliteiten die werden toegevoegd in Release 13 van deze technologie [vanKruysbergen, 2016].

Aan Release 13 werd de LAA (Licensed-Assisted Access) functionaliteit toegevoegd. LAA laat toe om kanalen uit de gelicentieerde spectrum te combineren met kanalen uit het licentievrij spectrum op de 5 GHz band. Door het combineren van deze kanalen kan de data rate voor de eindgebruiker verhoogd worden en wordt er ook meer netwerkcapaciteit voor mobiele internettoegang mogelijk gemaakt. Release 13 ondersteunt LAA enkel maar in de downlink. De toekomstige Release 14 zou ook ondersteuning moeten aanbieden voor de uplink (onder de noemer eLAA). Naast 3GPP ontwikkelde de MultiFire Alliance ook de MulteFire techniek om LTE uitsluitend in de licentievrije 5 GHz band te gaan gebruiken [MuleFire, 2016]. Hun techniek zou gebaseerd zijn op de Release 13 LAA voor de downlink en de Release 14 eLAA voor de uplink.

LTE Advanced biedt reeds ondersteuning voor het zogenaamde carrier aggregation. LTE Advanced laat toe om maximaal vijf carriers (van maximaal 20 MHz) simultaan te verzenden naar één bepaald toestel, waardoor hogere data rates kunnen bekomen worden. In LTE Advanced Pro wordt deze ondersteuning verder uitgebreid tot 32 carriers met maximaal 20 MHz per carrier. Hierdoor zou een snelheid van 25 Gbps per cel mogelijk gemaakt worden. Er is echter nog geen enkele netwerkkoperator met een licentie voor zoveel spectrum.

Tot slot werd ook de ondersteuning voor MIMO (Multiple Input Multiple Output) verder uitgebreid. Bij MIMO gaat men gebruik maken van meerdere antennes aan de zend- en ontvangstzijde om hogere data rates te behalen of om een betere signaalkwaliteit te verkrijgen. In LTE Advanced Pro zou er gebruik gemaakt kunnen worden van maximaal 16 antenne-elementen. In de toekomstige Release 14 zou dit verder uitgebreid worden naar 32 antenne-elementen. Daarnaast wordt ook MU-MIMO (Multi-User MIMO). Hierbij kunnen de antenne-elementen van één basisstation aan verschillende gebruikers toegewezen worden. Wat de blootstelling betreft, wordt het vermogen verdeeld over de verschillende antennes. Bijvoorbeeld bij een MIMO systeem met 2 antennes krijgt elke antenne 1/2 van het vermogen. Je kan dus bijvoorbeeld 3 dB in SNR (Signal-to-Noise Ratio) winnen. Ter vergelijking, het vermogen verdubbelen is gewoon twee antennes met hetzelfde vermogen.



- *self-healing* functionaliteit: hierbij gaat het netwerk zichzelf automatisch gaan aanpassen wanneer er een node inoperatief wordt om zo de impact van deze storing zo klein mogelijk te maken.

### 2.1.8 Hybride 4G-broadcast netwerken

[Reimers, 2015] beschrijft hoe 4G en broadcast netwerken kunnen samenwerken. Zo kunnen dergelijke netwerken 'dynamische broadcast' ondersteunen. Hierbij zal het klassieke broadcast netwerk het traditionele kijkcomfort nog steeds aanbieden aan de kijkers, maar zal er ook spectrum vrijgemaakt worden voor de draadloze breedbandnetwerken. Hierdoor zullen de zogenaamde TV white spaces, i.e. frequenties die toegekend zijn aan broadcast maar die niet in gebruik zijn, toch actief gebruikt worden.

Een laatste concept wordt TOOL+ (Tower Overlay over LTE-A+) genoemd. Figuur 1 toont het concept. Het rode netwerk stelt het LTE-netwerk voor. Dit netwerk bestaat uit verschillende basisstations met een grote dichtheid waardoor het een dure oplossing is om populaire media en video diensten over aan te bieden. Een oplossing is om een extra broadcast basisstation in het gebied te plaatsen (Figuur 1 groene gebied) die via een geschikte drager deze diensten kan aanbieden. Het broadcast en breedband netwerk maken op deze manier tegelijkertijd gebruik van het spectrum. Het gebruikerstoestel hoeft hiervoor niet uitgerust te worden met een broadcast interface om het signaal te ontvangen. In samenwerking met de Franse zender TDF en de Italiaanse zender RAI werden in april 2015 de eerste tests uitgevoerd in Parijs en Aosta [Hybrid, 2015].







met het hoogste aantal relevante praktijkgevallen, maar de meerderheid van deze zitten nog in de proeffase. In termen van livepraktijkgevallen is de productiesector dominant. 5G lijkt ook duidelijk bepaalde zakelijke gebieden vaker te ondersteunen dan anderen zijnde: operationale ondersteuning, verbetering van de procesbeheersing en verbetering van de klantendienst/-ervaring. Eerder ontwikkelde technologieën zoals 2G, 3G en 4G hadden kenmerken die eerder gunstig waren voor de consumentenmarkten. Vanuit een geografisch oogpunt zijn meer dan 50% van de praktijkgevallen gelinkt aan slechts vier verschillende landen. Specifiek komt 18% van de praktijkgevallen uit China, 12% uit de Verenigde Staten, 12% uit het Verenigd Koninkrijk en 9% uit Spanje. Ericsson, Huawei en Nokia zijn de drie grote verkopers/providers van netwerkkapitaal. Zij zijn betrokken in ongeveer twee derde van de relevante praktijkgevallen. De studie toont ook aan dat de Belgische achterstand hoogstwaarschijnlijk maar een tijdelijk fenomeen is. De Belgische economie positioneert zich op vlak van digitalisering immers minstens even innoverend als de andere leden van de EU. Op het gebied van 'internet der dingen', big data en edge computing heeft België bijvoorbeeld geen achterstand en vaak zelfs een voorsprong.

In 2019 had Ericsson reeds 10 5G-netwerken operationeel in de Verenigde staten, Zwitserland, Spanje, Dubai, Zuid-Korea en Australië [Ericsson, 2019]. Daarnaast kondigde het bedrijf nog 47 5G contracten publiek aan. De Orange groep lanceerde in 2019 in 17 steden in Europa en Luxemburg experimenten gelanceerd [Orange\_LUX, 2019]. Voor de experimenten in Luxemburg heeft het bedrijf gekozen voor apparatuur van Ericsson. China startte eind 2019 met het uitrollen van een commercieel 5G-netwerk bestaande uit 130 000 basisstations in grote steden zoals Peking, Shanghai of Kanton [China5G, 2019]. Hierbij werd uiteraard gekozen voor basisstations van het Chinese Huawei.

Tabel 1 Overzicht veiling 5G frequenties in de buurlanden en elders [5G frequenties]



Motorola kondigde in Augustus 2018 aan dat ze begin 2019 de eerste echte 5G mobiele telefoon op de markt zouden brengen. Begin 2019 werden er meer details bekendgemaakt over het toestel [Motorola, 2019]. Eén van de features waarmee ze uitpakten was het gebruik van nabijheidssensoren. Op basis van deze sensoren kan het toestel detecteren of de vingers van de gebruiker te dicht bij de antennes komen. Indien dit het geval is, kan het toestel één of meerdere van zijn vier mmWave 5G antennes uitschakelen om zo de blootstelling te verlagen. Ook Orange kondigde eind 2019 een 5G mobiele telefoon op de markt te brengen, net zoals de meest bekende andere fabrikanten: Samsung, Xiaomi, ZTE, LG, Huawei, OnePlus, Sony, Nokia, Google, etc. In oktober 2020 bracht Apple de nieuwe iPhone 12 uit die ondersteuning biedt voor 5G [Apple, 2020]. In Europa wordt enkel ondersteuning aangeboden voor de volgende frequenties: 700 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz en 2600 MHz. Het model dat uitgebracht wordt in de Verenigde Staten biedt naast bovenstaande frequenties ook nog ondersteuning voor de millimeter banden (28 GHz en 39 GHz). Ericsson publiceerde eind 2020 een studie omtrent de effectieve uitgangsvermogens van 5G gebruikerstoestellen in een commercieel 5G netwerk [Ericsson, 2020]. Ongeveer 545 miljoen data samples werden verzameld over vijftien dagen (i.e., ongeveer 122 uur aan uplink data transmissie) in 2 commercieel beschikbare 5G netwerken. De tijdsgemiddelde uitgangsvermogens zijn significant lager dan de maximum toegelaten waarden. Alle tijdsgemiddelde samples lagen lager dan 43% van de maximale waarde. Het 95<sup>ste</sup> percentiel, de gemiddelde en de mediaan waarden zijn respectievelijk 8%, 2% en 1% lager dan de maximale uitgangsvermogen voor de gebruikerstoestellen. De Signals Research Group bracht – in opdracht van Qualcomm – begin 2021 een update uit omtrent de netwerkperformantie en nieuwe use cases voor 5G NR millimeter waves [Signals, 2021]. Hun belangrijkste bevindingen waren:

- 5G NR mmWave smartphones (zoals o.a. LG V60 UW, OnePlus 8 5G UW, Samsung Galaxy Note 20 5G UW en de Samsung Galaxy A71 5G UW) zullen 8x100 MHz kanalen ondersteunen die datasnelheden toelaten die twee keer hoger zijn dan voor smartphones die gelimiteerd zijn tot 4x100 MHz kanalen. Datasnelheden boven 3 Gbps werden bekomen in een commercieel netwerk.
- De 8CC (8 Channel Carrier aggregation) feature laat niet alleen hogere data rates toe, maar is ook perfect voor typische 5G use cases zoals het streamen van video.
- De uplink data rates van 5G NR smartphones met 2CC uplink mogelijkheden zijn ongeveer twee keer hoger dan die van smartphones die enkel een 100 MHz uplink radiokanaal ondersteunen. Uplink data rates van boven 100 Mbps werden opgemeten hoewel het 5G NR mmWave radiokanaal het grootste deel van zijn bandbreedte beschikbaar stelt voor downlink.

pagina 16 van 109

In oktober 2023 bracht het Franse ANFR (Agence Nationale des Fréquences) uit dat de straling (de zogenaamde SAR) van de hierboven beschreven iPhone 12 te hoog was wat meteen leidde tot een verbod op de verkoop van dit toestel op de Franse markt. Apple ontwikkelde hierop een speciale software patch om de SAR waarde van het toestel in overeenstemming te brengen met de wettelijke limiet. Het verkoopverbod in Frankrijk werd dan ook eind 2023 opgegeven.

In augustus 2024 bracht het Franse ANFR uit dat SAR van de DOOGEE N50, DOOGEE S100 PRO en OSCAL C80 te hoog was. ANFR controleert zelf de SAR van toestellen. Distributeurs moeten zelf maatregelen nemen om producten uit de handel te nemen en terug te roepen als de fabrikant niets doet.

Naar aanleiding van de komst van 5G verschenen in 2018 ook de eerste publicaties die de blootstelling van 5G netwerken bestudeerden. Volgens [Chiaraviglio, 2018] zal het zeer moeilijk zijn om met de huidige (Italiaanse) normen, 5G te introduceren naast de bestaande 2G, 3G en 4G netwerken. De auteurs geven echter wel aan dat bepaalde features van 5G technologie zoals beamforming, massive MIMO en millimeter wave communicatie een positieve invloed kunnen hebben op de blootstelling, hoewel deze beweringen niet becijferd werden. Het BIPT (Belgisch Instituut voor Postdiensten en Telecommunicatie) bestudeerde de impact van de Brusselse stralingsnormen op de uitrol van 5G netwerken [BIPT, 2018]. Hun conclusie is dat het met de huidige norm van 6 V/m het niet mogelijk is om in Brussel 5G uit te rollen en is het moeilijk denkbaar om op korte termijn af te zien van 2G of 3G. Bovendien zal het wegvallen van de 2G- en 3G-technologie het in elk geval niet mogelijk zijn om plaats vrij te maken voor 5G. Het BIPT raadt dan ook een cumulatieve limiet die lager zou liggen dan 14,5 V/m bij een frequentie van 900 MHz sterk af. Deze conservatieve limiet zou volgens BIPT enkel maar een minimale 5G-uitrolstart in Brussel mogelijk maken. Deze uitrolstart zou met dezelfde problemen kampen als de 4G-uitrol in Brussel enkele jaren geleden. Het BIPT stelt daarom voor om de norm boven 14,5 V/m en tot 41,5 V/m te nemen. Deze norm sluit beter aan op de Europese norm en zal de gebruikerservaring voor de eindklanten verzekeren. Verder zal dit ook toelaten dat België zou meespelen in de Europese kopgroep van de ontplooiing van 5G netwerken.

Het Federal Institute of Metrology METAS publiceerde begin 2020 een nieuwe meetmethode voor 5G NR basisstations die gebruik maken van een frequentie tot 6 GHz [METAS, 2020]. De meetmethode gaat uit van een worst-case extrapolatie en gebruikt geen correctiefactoren.

pagina 17 van 109



Ericsson en Orange (Belgium) hebben met succes een automatiseringsproject voor 5G-netwerk slicing afgerond, gefinancierd door de Belgische Federale Overheidsdienst Economie [businessam, 2024]. MWingz zorgde voor robuuste integratie. Dit is een demonstratie van het creëren en beheren van end-to-end 5G netwerk slices binnen een live 5G netwerk over zowel core als radionetwerk domeinen. Dit realiseert geautomtiseerd beheer van netwerk slices over gedeelde fysieke infrastructuur [businessam, 2024] en maakt snellere, betrouwbaardere en aanpasbare netwerkdiensten voor bedrijven als individuele abonnees mogelijk.

Zoals reeds aangegeven in het eindrapport van de studie “Verkennde studie naar mogelijkheden tot technische aanpassingen/optimalisatie draadloze netwerken (gsm, umts, 4G, WiFi, ...) om humane blootstelling aan elektromagnetische straling te beperken” (met referentienummer LNE/OL201100025/12088/M&G) zal binnen 5G netwerken het concept van Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) gebruikt worden. Bij een Massive MIMO systeem wordt gebruik gemaakt van een zeer groot aantal antennes (100 of meer) aan zend- en/of ontvangstzijde. Elke antenne verbruikt hierbij een laag vermogen opdat het totaal uitgestraald vermogen van alle antennes samen beperkt is.

Zoals hierboven besproken zal in 5G NR gebruik gemaakt worden van massive MIMO. In de vorige en huidige generaties cellulaire netwerken bestaat een cel typisch uit drie sectoren, elk gedekt door een antenne met een 120 graden brede 'beam' (stralenbundel) [Ramalingam, 2018]. Het nadeel van dergelijke brede bundel is dat indien men een signaal wil zenden naar een bepaalde mobiel toestel in een bepaalde richting, het signaal voor de hele sector wordt verzonden, wat een negatieve invloed heeft op het link budget en ook interferentie met zich meebrengt. In 5G NR zal een *straal gebaseerd cel-sector bereik* mogelijk gemaakt worden door het gebruik van massive MIMO. Hierdoor wordt het link budget positief beïnvloed en kunnen de nadelen van het gebruik van het mmWave kanaal overwonnen worden. Dit betekent dat alle data en signalering transmissies gebundeld worden in de richting van de gebruiker. Figuur 2 geeft dit principe schematisch weer waarbij het massive MIMO systeem gebruik maakt van 20 stralen om een 120 graden sector te dekken. Nokia heeft bijvoorbeeld een massive MIMO systeem waarbij 128 antennes samenwerken om 32 stralen te vormen. Een mobiele toestel zal nu dus synchroniseren, connecteren en rapporteren via een bepaalde bundel.









voorzien [Deruyck, 2017]. Deze studie bevindt zich momenteel nog in een preliminaire fase waarbij gebruik wordt gemaakt van slechts één UABS.

#### 2.1.10.2 Reconfigurable Intelligent surfaces

Zoals hierboven reeds beschreven, biedt het gebruik van millimetergolf frequenties de mogelijkheid om gigabit datasnelheden te ondersteunen, maar aan de andere kant zijn deze frequenties bijzonder storingsgevoelig door bijvoorbeeld obstakels. Binnen de academische gemeenschap is men ervan overtuigd dat de zogenaamde RIS (Reconfigurable Intelligent Surfaces) technologie dit probleem zou kunnen overkomen [Moro, 2021]. Een RIS is een quasi-passief vlak oppervlak. De invallende radiogolven kunnen gemanipuleerd doordat de elektromagnetische parameters van dit oppervlak elektronisch kunnen gecontroleerd en ingesteld worden. Doordat deze RIS de elektromagnetische golven op verschillende manieren kan manipuleren en de mogelijkheid heeft om de golven te reflecteren en te focussen in elke richting kan deze RIS gezien worden als een passieve relay. Vooral in combinatie met millimetergolven is dit een bijzonder interessant eigenschap gezien de RIS een alternatief elektromagnetisch pad kan creëren in het geval van een blokkade.

In tegenstelling tot actieve relays zijn RIS energie-efficiënter en zijn er reeds prototypes gebouwd met goedkope materialen waardoor de implementatiekosten aanzienlijk verlaagd kunnen worden en het onderhouden van een veerkrachtig draadloos toegangsnetwerk ook vereenvoudigd wordt.

[Yin, 2023] maakte gebruik van MINLP (Mixed-Integer Non Linear Programming) om voor het optimaal plannen van RIS infrastructuur en het associëren van gebruikers met deze infrastructuur. Het doel is om het bereik van het netwerk te maximaliseren terwijl de blootstelling voor de mens geminimaliseerd worden. De resultaten tonen aan dat er substantiële verbeteringen in prestaties waren door RIS in te zetten in een millimetergolf netwerk. Het ontwikkelde algoritme in combinatie met de RIS infrastructuur zorgde voor verbetering van 20% qua connectiviteit en een reductie in blootstelling van 14% ten opzichte van een conventioneel benchmark netwerk.

[Cui, 2024] onderzoekt hoe RIS infrastructuur geïmplementeerd moet worden rekening houdend met regulering voor elektromagnetische veldblootstelling (EMV) voor verschillende landen. De resultaten tonen dat het risico op blootstelling aan EMV verwaarloosbaar is wanneer de RIS in de reflecterende modus werkt. Wanneer bundelvormingsmodus gebruikt wordt, moet de plaatsing goed worden gespecificeerd: wanneer een hoog aantal RIS elementen gebruikt wordt kunnen hogere velden optreden maar met de analytisch methode van [Cui, 2024] kan de uitrol van RIS geoptimaliseerd worden om te voldoen aan de regelgeving voor elektrische velden.

### 2.1.11 Uitsfaseren 3G

Begin 2024 kondigde BIPT (Belgisch Instituut voor Postdiensten en Telecommunicatie) aan dat mobiele operatoren hun 3G-netwerken gaan uitschakelen om plaats te maken voor de meer geavanceerde 4G- en 5G-technologie [BIPT, 2024]. Het dataverbruik op de 3G-netwerken is de laatste jaren in vrije val. Een rapport van BIPT in 2022 concludeerde dat mobiele data het vaakst verzonden wordt via het 4G-netwerk (96.3%) en slechts 2.2% meer over 3G. De 4G- en de 5G-netwerken zijn niet alleen performanter dan 3G, ze zijn ook energiezuiniger. Concreet zal de uitschakeling als volgt gebeuren:

- Januari 2024 voor het 3G-netwerk van Orange
- September 2024 voor het 3G-netwerk van Telenet
- Eind 2024 voor het 3G-netwerk van Proximus

De 2G-netwerken van de operatoren zullen voorlopig niet uitgeschakeld worden aangezien dit netwerk nog datadiensten met lage snelheid ondersteunt. Wie een toestel bezit dat geen 4G of 5G ondersteunt, kan steeds terugvallen op het 2G-netwerken om te bellen, surfen daarentegen zal

moeilijker worden met een dergelijk toestel.

### 2.1.12 Nieuwe telecomoperator DiGi

Sinds december 2024 is Digi, de nieuwe telecomoperator, actief in België. Digi België is een samenwerking tussen de Roemeense operator Digi Communications en Citymesh. Digi wil een eigen 4G- en 5G-netwerk uitbouwen Tegen 2025 zou er 30 procent dekking zijn met eigen infrastructuur en om tegen 2030 uitgerold te zijn. Voorlopig wordt gebruikt gemaakt van het Proximus netwerk maar 4500 zendmasten zouden in vijf jaar geplaatst worden. Telecom in België is relatief duur is en de komst van deze 4<sup>de</sup> operator kan leiden tot meer concurrentie en innovatie [datanews 2024].

### 2.1.13 5<sup>de</sup> Licentie 5G: spectrum overgenomen

Er waren 5 operatoren die 5G licenties in de 3600 MHz band in België gekocht hadden: Proximus, Orange, Telenet, Citymesh/Digi communications en NRB. NRB kondigde aan dat het zijn licentie en deel van het 5G-spectrum, meer bepaald 20 MHz in de 3600 MHz frequentieband, aan Proximus verkoopt. Hierdoor beschikt Proximus nu over 120 MHz in deze frequentieband, wat een hogere capaciteit is. Het BIPT (Belgisch Instituut voor Postdiensten en Telecommunicatie) onder voorbehoud dat overdracht van rechten plaatsvindt na de publicatie van een nieuwe oproep tot kandidaatstelling voor de 3410-3430 MHz [NRB, 2024], [BIPT, 2024b].

## 2.2 WLAN NETWERKEN

WLAN of Wireless Local Area Network zijn typisch beperkt in hun bereik tot gebouwen, een campus, etc. en worden vaak ingezet om bijvoorbeeld de bekabeling in kantoren te beperken.

### 2.2.1 WiFi 6

WiFi 802.11ax, ofwel WiFi 6, is de nieuwste standaard binnen WiFi [wifi6, 2019]. Deze standaard is opnieuw sneller dan zijn voorganger, WiFi 802.ac. De theoretisch maximumsnelheid die behaald zou kunnen worden is 9.6 Gbps versus 3.5 Gbps voor WiFi 802.ac. Dit is echter niet de enige verbetering die door WiFi 6 wordt aangeboden. De standaard introduceert enkele nieuwe technieken om de problemen te verhelpen die gepaard gaan met het gebruik van tientallen wifi-apparaten op hetzelfde netwerk. Zo zullen de nieuwe routers met meer apparaten tegelijkertijd communiceren en data naar verschillende apparaten in dezelfde transmissie kunnen verzenden door gebruik te maken van OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) en MU-MIMO (Multi-User Multiple Input Multiple Output). Omgekeerd kunnen de wifi-apparaten ook hun communicatie met de router inplannen, waardoor ze minder tijd nodig hebben om hun antennes te voeden. Dit komt dan op zijn beurt de levensduur van de batterij ten goede.

### 2.2.2 WiFi 6E

In April 2020 besliste de FCC (Federal Communications Commission) om een deel van het spectrum in de 6 GHz band te openen [wifi6E, 2020]. Deze upgrade kreeg door de WiFi alliance de naam WiFi 6E. Hoewel deze nieuwe naam doet vermoeden dat het om een nieuwe standaard gaat, is dit niet het geval. WiFi 6E is in essentie WiFi 6 ofwel WiFi 802.11ax. De 'E' impliceert dat een toestel met het label compatibel is met de 6 GHz band.

Het openstellen van een deel van de 6 GHz band zal het beschikbare spectrum verviervoudigen. Hierdoor zal er veel meer bandbreedte beschikbaar zijn voor routers en andere toestellen waardoor

### 2.2.3 Li-Fi technologie

pagina 26 van 109



De VRT radio schakelde op 5 maart 2019 voor haar DAB+ mux over op een volledig nieuw netwerk. Het contract met Norkring België was verlopen en een vervolgcontract werd vastgelegd met de Nederlandse Broadcast Partners. Het netwerk bestaat momenteel uit 36 zendstations [VRTradio, 2020]. Tegen 2022 mogen enkel nog lokale zenders op FM uitzenden, alle regionale zenders moeten tegen dan overgeschakeld zijn naar DAB+.

In de nabije toekomst zullen draadloze netwerken niet enkel bestaan uit toestellen die gedragen worden door de mens zoals een mobiele telefoon, een smartphone of een tablet, maar ook apparaten die niet gedragen worden door de mens zullen draadloos gaan communiceren. Hierbij denken we bijvoorbeeld aan machines, sensoren, voertuigen, smart cities en apparaten die de gezondheid van de mens in kaart brengen. Dit wordt het *Internet of Things (IoT)* genoemd [COSTIC1004, 2013]. Voertuigen zullen dus in het draadloos toegangsnetwerk geïntegreerd worden. Een voertuig kan binnen het netwerk gezien worden als een soort relay dat het signaal van het basisstation verder doorgeeft aan andere voertuigen en/of hun passagiers. Op deze manier kan het infotainment systeem verbeterd worden en de cloud services tussen verschillende voertuigen en eventueel het verkeerscentrum. Het infotainment systeem zal niet enkel de passagiers entertainen door bijvoorbeeld het streamen van muziek opgeslagen op een smartphone, maar de passagiers ook voorzien van relevante verkeersinformatie zoals bijvoorbeeld de locatie(s) van opstoppen, ongevallen, een spookrijder, etc. Dankzij de cloud services kan de verkeersveiligheid en de verkeers efficiëntie (i.e., de mate waarin de potentiële capaciteit van de verkeersinfrastructuur wordt benut) verbeterd worden [COSTIC1004, 2013].

In de toekomst zullen ook stedelijke omgevingen gebruikmaken van draadloze netwerken. In deze zogenaamde *smart cities* is de hele stad geconnecteerd. Dit laat toe om onder andere het openbaar vervoer te optimaliseren, gepersonaliseerde services aan te bieden aan de burgers en het vereenvoudigen van management en sociale services. Smart homes en buildings (zie volgende sectie) zullen deel uitmaken van de smart city [COSTIC1004, 2013].

Gezien een IoT toekomst steeds realistischer wordt, worden er dan ook heel wat verschillende draadloze technologieën en standaarden geïntroduceerd die ondersteuning bieden aan IoT omgevingen. In Sectie 2.4.1 geven we een overzicht van de bestaande technologieën en

standaarden. Netwerken voor IoT omgevingen worden vaak ook aangeduid als LPWAN (Low Power Wide Area Network). Sectie 2.4.2 bespreekt mogelijke toepassingen.

### 2.4.1 IoT Technologieën

### 2.4.1.1 LoRa

De LoRa technologie wordt ontwikkeld door de LoRa alliance [LoRaAlliance, 2016]. Deze laatste is een alliantie van technologiebedrijven en telecomoperatoren die een (open) standaard willen ontwikkelen voor netwerken die op lage frequentie werken. Deze LoRaWAN netwerken zullen geoptimaliseerd zijn voor draadloze apparatuur die door batterijen gevoed worden op regionale, nationale en globale schaal. LoRaWAN verwijst naar het MAC (Medium Access Control) protocol dat gebruikt zal worden. De beoogde vereisten zijn hierbij bi-directionele communicatie, mobiliteit en lokalisatie diensten. Het LoRaWAN netwerk is een ster topologie met gateways die een transparante brug vormen voor het doorgeven van berichten tussen het apparaat en de centrale server in het achterliggende netwerk. De communicatie tussen de apparaten en de gateways kan op verschillende frequenties en datasnelheden gebeuren. De datasnelheid zal een afweging zijn tussen de communicatie afstand en de duur van het bericht en zal typisch tussen de 0.3 kbps en de 50 kbps liggen. Dit initiatief kadert volledig binnen het Internet of Things, machine-tot-machine (M2M) communicatie, smart cities en industriële toepassingen.

Het voordeel van LoRa is het grote bereik. Eén gateway of basisstation kan een volledige stad of een paar 100 km<sup>2</sup> dekken. Het bereik hangt natuurlijk sterk af van de omgeving en mogelijke obstructies in de nabije omgeving van de zender [LoRaAlliance, 2015].

In Europa zal LoRa uitgerold worden bij de sub-GHz frequentie band van 867-869 MHz en een maximaal uitzendvermogen van 14 dBm [LoRaAlliance, 2015]. Een ERP van meer dan 2 W is dus niet toegelaten. Proximus biedt momenteel de LoRa technologie aan in heel België (Vlaanderen, Brussel, en de grote steden in Wallonië) [Proximus, 2017].

#### 2.4.1.2 Sigfox

Sigfox is een Frans bedrijf dat draadloze netwerken bouwt voor communicatie tussen alledaagse communicatie i.e., voor IoT omgevingen [Sigfox, 2016]. Deze netwerken zijn gebaseerd op de Sigfox technologie. De kern van deze ultra-narrowband technologie bestaat erin om datapakketten van maximaal 12 bytes (met een maximum van 140 berichten per dag) aan een zeer laag energieverbruik over een zeer lange afstand te versturen (uplink) [Engie, 2016]. Deze beperking in grootte van de datapakketten zou een batterijlevensduur van 5 tot zelfs 20 jaar mogelijk maken met een reikwijdte tot 130 km.

Net zoals LoRa maakt Sigfox gebruik van de licentievrije 868 MHz band. Beide technologieën doelen op dezelfde type applicaties en use cases. Het verschil is echter dat Sigfox propriëitair is, daar waar LoRa het resultaat is van een open source samenwerking van providers wereldwijd. In België wordt het Sigfox exclusief uitgerold door ENGIE M2M in samenwerking met Telenet Business [Engie, Telenet, 2016]. Het uitgezonden vermogen is beperkt tot 500 mW in de downlink en 25 mW in de uplink. Een ERP van meer dan 2 W is dus niet toegelaten.

### 2.4.1.3 DASH7

DASH7 is een RFID (Radio Frequency Identification) voor draadloze sensornetwerken en wordt ontwikkeld door de DASH7 Alliance [DASH7Alliance, 2016]. De DASH7 technologie laat een bereik tot 2 km toe en een bit rate van maximaal 200 kbps voor het verzenden van data. Het is een zogenaamde BLAST-netwerktechnologie:

- **Bursty:** de data-overdracht is niet continu zoals bij video of audio. Er wordt maar op een periodieke basis informatie overgedragen.
- **Light:** Enkel maar pakket met een grootte van maximaal 256 bytes worden toegelaten.

- DASH7 werkt tenslotte in de licentievrije 433 MHz band. Typische IoT applicaties zijn bijvoorbeeld het monitoren en assisteren van parkeerplaatsen, het detecteren van de aanwezigheid van een gebruiker in een museum en het tracken lokaliseren van groepen van voedselkarren [DASH7Alliance, 2016].

Ook binnen de wifistandaard i.e., de IEEE 802.11 technologie, wordt ondersteuning aangeboden voor IoT netwerken [802.11ah, 2016]. Hiervoor werd de IEEE 802.11ah standaard gedefinieerd. In tegenstelling tot de vorige wifiversies wordt niet langer gebruik gemaakt van de 2.4 GHz en de 5 GHz frequentieband, maar van de sub-1 GHz licentievrij banden, meer bepaald de 900 MHz band. Het voordeel van deze lagere frequentie is het groter bereik ten opzichte van de conventionele wifistandaarden. Daarnaast biedt wifi 802.11ah ook ondersteuning voor bursty datacommunicatie met een maximale bit rate rond 150 kbps. Hierdoor kunnen apparaten snel hun data verzenden en daarna terug overgaan op sleep mode om de levensduur van de batterij te verlengen. Het lager energieverbruik wordt tevens ook bekomen doordat grote groepen van stations of sensoren kunnen samenwerken en het signaal als het ware delen. De wifi 802.11ah is bedoeld om in competitie te treden met Bluetooth qua energieverbruik, maar dan wel met een veel groter bereik.

#### 2.4.1.5 LTE Enhancements for MTC

Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee categorieën voor de IoT ondersteuning: critical MTC (C-MTC) en massive (M-MTC) [vanKruysbergen, 2016]. C-MTC focust op applicaties waarbij een lage latency vereist zijn. Voorbeelden hiervan zijn de signaaloverdracht van autonome voertuigen en het op afstand bedienen van machines in gevaarlijke omstandigheden. M-MTC daarentegen focust op applicaties waarbij een laag energieverbruik belangrijk is en die af en toe kleine hoeveelheden data versturen zoals bijvoorbeeld sensornetwerken die omgevingsparameters gaan monitoren.

Om in te spelen op de M-MTC-trend werd eMTC (enhanced MTC) verder uitgebreid [Flore, 2016]. eMTC biedt een antwoord op een aantal IoT vereisten namelijk een langere batterijlevensduur (tot 10 jaar), een lagere kost voor de gebruikersapparatuur, een verhoogde dekking en variabele bit rates







- pagina 34 van 109



Antwerpen, Digipolis Antwerpen en Nokia Bell Labs hebben hun krachten gebundeld om een dergelijk systeem te ontwikkelen. Het twee jaar durende project bereikte zijn einde in 2020. In deze periode werden vijf potentiële scenario's in Antwerpen getest [smartlighting, 2019].

#### 2.4.2.4 Internet of animals

De komst van het internet of things brengt ook mogelijkheden voor het monitoren van dieren. In het eindrapport van de studie “Expertenondersteuning voor de beoordeling van aanvragen van conformiteitsattesten, de opvolging van technologische evoluties en het onderzoek naar gezondheidseffecten inzake draadloze technologie” (met referentienummer LNE/13113/M&G) bespraken we de zogenaamde wearables voor de mens. Dit principe heeft intussen zijn weg gevonden naar de dierenwereld. De partners van het imec.icon project MoniCow ontwikkelden een draadloos monitoringssysteem voor koeien dat verschillende parameters van gezondheid en vruchtbaarheid opvolgt met een beperkt aantal sensoren (temperatuursensor in oormerk en een bewegings- en lokalisatiesensor in de halsband) en die real-time draadloos updates versturen met behulp van IoT technologieën zoals bluetooth, WiFi, UWB en LoRa [MoniCow, 2018a, 2018b]. Intelligente algoritmes vertalen de data afkomstig van deze sensoren en kunnen zo ruim op voorhand kalving, branst en ziekte voorspellen. Het systeem wordt via een innovatief inductief laadsysteem (i.e., wireless power transfer, zie verder in dit rapport) opgeladen.

Deze evolutie bleef niet beperkt tot de koeien, ook in de paardenwereld wordt steeds meer gebruik gemaakt van Internet of Animals. Momenteel is reeds een groot aantal sporthorloges, wearables en geboortedetectiesystemen reeds commercieel beschikbaar om de gezondheid van het paard draadloos te monitoren (Tabel 2) zowel over korte afstand (d.m.v. bluetooth) of lange afstand (d.m.v. 3G). Het probleem met dergelijke toestellen is dat ze niet wetenschappelijk gevalideerd zijn en hierdoor geen accurate data over de gezondheid van het paard weergeven. De medische systemen (Tabel 2) kennen dit probleem uiteraard niet, maar dit zijn zogenaamde bolussen i.e., in-body systemen die door het spijsverteringstelsel bewegen of daar definitief blijven zitten. Deze bolussen kunnen enkel gebruikt worden met tussenkomst van de dierenarts. De medische systemen werken enkel over een zeer korte afstand. De ontvanger moet hierbij op het paard geplaatst worden (bv. door gebruik te maken van een riem). Ook bij schapen en geiten wordt onderzoek verricht naar het gebruik van geïmplanteerde bolussen om de conditie van de maag draadloos te monitoren. [Wang, 2017] bestudeert het in-to-out-body padverlies bij een frequentie van 434 MHz voor volwassen schapen en geiten.

In het IMEC.ICON project Hoof-MATE zal een oplossing geboden worden voor enkele technische uitdagingen die gepaard gaan met het ontwerpen van een activiteitstracker die in de hoof van het paard wordt geplaatst [Hoof-MATE, 2019]. Hierbij zal innovatie gecreëerd worden in het gebied van draadloze communicatie (off-body communicatie vanuit een metalen omgeving i.e., het hoefijzer), energy harvesting en sensors met de bijhorende data-analyse.

Tabel 2 Commercieel beschikbaar IoT systemen voor het paard (oktober 2017).

|               |                                   | Characteristics                                                         |                          |               |               |            |
|---------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|------------|
| Category      | Product                           | Health parameters                                                       | Accuracy                 | Practical use | Comfort horse | Range      |
| Sport watches | Polar Equine Series               | 1 (Heart rate)                                                          | -/+                      | +             | -             | Short      |
| Birth Alarm   | Birth Alarm                       | 1 (Elevation)                                                           | -/+                      | +             | -/+           | Long       |
|               | Breeder Alert, Equipage, EquiFone | 1 (Position head)                                                       | -/+                      | +             | +             | Long       |
|               | Foal-Alert, Keros Sigloo          | 1 (Opening birth canal)                                                 | +                        | -             | +             | Long       |
|               | Birth Alert                       | 1 (Temperature)                                                         | -/+                      | -             | +             | Unknown    |
|               | Wyke Foaling Alarm                | 1 (Perspiration)                                                        | -/+                      | +             | -/+           | Long       |
| Wearable      | Trackener                         | None (Distance, time, speed)                                            | +                        | +             | -/+           | Short      |
|               | Nightwatch                        | 5 (Heart rate, respiration, activity, motion, posture)                  | -                        | +             | +             | Long       |
|               | EquiSense Motion                  | 1 (Activity)                                                            | -                        | +             | +             | Short      |
|               | Equestic                          | 1 (Activity)                                                            | -                        | +             | +             | Short      |
|               | Arioneo performance               | 2 (Heart rate, activity)                                                | -/+                      | +             | -/+           | Short      |
|               | EquiSense Care                    | 6 (Heart rate, respiration, perspiration, temperature, activity, sleep) | Unknown (prototype only) | +             | -             | Long       |
|               | SeeHorse                          | 4 (Heart rate, respiration, temperature, activity)                      | -                        | +             | +             | Short      |
|               | Etrakka                           | 1 (Heart rate)                                                          | +                        | +             | +             | Short      |
|               | Fouganza blanket                  | 1 (Temperature)                                                         | -                        | +             | -             | Short      |
| Video         | Arioneo care                      | 1 (Temperature)                                                         | +                        | +             | -/+           | Short      |
|               | GesEq<br>EquiView360              | 1 (Behaviour)                                                           | +                        | +             | ++            | Short      |
| Medical       | PillCam                           | (Endoscopy)                                                             | +                        | -             | ++            | Very short |
|               | GIPill                            | 1 (Temperature)                                                         | +                        | -             | ++            | Very short |

Intussen is ook de geitenindustrie op de kar gesproken van het animal IoT. In het IMEC.ICON project Bolucap zal een draadloos gezondheidsmonitorsysteem ontwikkeld worden voor geiten via een bolus i.e., een soort van pil met electronica en sensoren, die in de pens van de geit wordt gebracht [Bolucap, 2020]. Op basis van de data die verzameld wordt door deze bolus (en draadloos wordt doorgestuurd) zal er ultraspecifiek advies worden gegeven voor gegeven aan de bedrijfs(bege)leider over het dagdagelijkse management van zijn dieren.

## 2.5 ANDERE

### 2.5.1 Draadloos opladen van toestellen

Ook het opladen van de batterij van onze draagbare toestellen gebeurt steeds vaker draadloos. Vandaag gebeurt dit meestal via inductie, een proces waarbij een elektrische spanning wordt opgewekt over een geleider wanneer deze zich in een veranderd magnetisch bevindt, zoals bijvoorbeeld ook gebruikt wordt bij het opladen van een elektrische tandenborstel. Concreet wordt de smartphone op een zogenaamde pad geplaatst. Hierbij is het belangrijk dat de smartphone de Qi standaard ondersteund die draadloos opladen mogelijk maakt. Indien de smartphone deze standaard niet ondersteund is het in sommige gevallen ook mogelijk om een hoesje voor de smartphone aan te schaffen die deze ondersteuning aanbiedt. Dankzij deze standaard is het mogelijk om verschillende merken met elkaar te combineren. Zo kan bijvoorbeeld een HTC mobiel toestel opgeladen worden met een draadloze lader van Samsung of LG.

Energous Corporation (<http://www.energous.com>) gaat met hun WattUp technologie nog een stapje verder en gaat een radio-frequent signaal omzetten naar vermogen om de batterij op te laden. Een mobiel toestel kan dus 'over-the-air' worden opgeladen en er is niet langer nood aan kabels of pads.



## 2.6 OVERZICHT VAN BLOOTSTELLING VAN DRAADLOZE TECHNOLOGIEËN

In [Urbiniello, 2014] worden de temporele trends van radio-frequente elektromagnetische velden onderzocht in micro-omgevingen in drie verschillende Europese steden waaronder Gent en Brussel. Gedurende 1 jaar werden er metingen uitgevoerd in 11 verschillende frequentiebanden gaande van FM (88 MHz) tot WLAN (2.5 GHz) in verschillende micro-omgevingen zoals buitenomgevingen (residentiële gebieden, binnenstad, voorsteden), publiek transport (tijdens trein, bus en tram of metro ritten) en binnenshuis (luchthaven, treinstation en shopping centra). De hoogste niveaus waren opgemeten tijdens publiek transport. Voor alle transporten samen, werd een gemiddelde waarde gevonden van 0.84 V/m in Brussel en 0.72 V/m in Gent. Voor alle buitenomgevingen werd een waarde van 0.41 V/m opgemeten in Brussel en 0.31 V/m in Gent. De blootstellingsniveaus voor buitenomgevingen stegen binnen het jaar met 38.2% voor Brussel en 20.1% in Gent. Deze verhoging wordt veroorzaakt door de basisstations (verhoogd bereik en een hogere vraag naar capaciteit) en door de invoering van de wetgeving voor zendantennes in 2009 in Brussel en in 2011 in Vlaanderen waaraan het netwerk zich nog aan het aanpassen was. De normering was voorheen de verantwoordelijkheid van de federale regering, maar valt nu onder de gewesten.

In het kader van het GERONiMO (Generalised EMF Research using Novel Methods) project, werden er persoonlijke RF blootstellingsmetingen uitgevoerd in 6 Europese landen (Zwitserland, Slovenië, Spanje, Denemarken, Italië en Nederland) volgens een gemeenschappelijk meetprotocol. De eerste metingen bij 49 adolescenten en 50 ouders in Zwitserland [Struchen, 2015] resulteerden in een gemiddelde persoonlijk blootstelling aan RF EMFs van 0.19 V/m. De gemiddelde persoonlijke blootstelling aan RF EMFs was 0.15 V/m in de thuisomgeving, 0.13 V/m op school, 0.21 V/m op het werk, 0.24 V/m buiten, 0.54 V/m in de trein, 0.29 V/m in de bus of de tram, 0.29 V/m in de auto en 0.34 V/m tijdens andere activiteiten.

In India werden de distributies van het uitgezonden vermogen van basisstation antennes en gebruikerstoestellen bepaald op basis van metingen in een 3G netwerk [Joshi, 2015]. Voor de downlink werd er gedurende 1 week data van 868 basisstation antennes verzameld. Het gemiddelde, de mediaan en de 90ste percentiel van het uitgezonden vermogen bedragen respectievelijk 24%, 21% en 42% van het maximaal uitgangsvermogen. Voor de uplink werd er data van 3G toestellen verzameld die geconnecteerd zijn met 1256 basisstation antennes. In totaal werd er meer dan 1 miljoen uur aan data trafiek en meer dan 700 000 uren van telefoongesprekken (voice) opgemeten. De genormalizeerde uitgangsvermogens voor voice, data, voice + data en video zijn ongeveer 1%, 3%, 2% en 4%, respectievelijk. Deze resultaten bevestigen de conclusies van voorgaande studies namelijk dat het maximaal uitgangsvermogen van basisstation en gebruikerstoestel in praktijk veel lager is dan de theoretische maxima.

### 2.6.1 5G FR2 in situ metingen

In 2024 werd een studie over in situ stralingsblootstelling van (NR) basisstations die werken in de FR2 millimeter wave (mmWave) frequentieband (26-28 GHz) gepubliceerd [Goegebeur et al 2024]. Er werd onderzocht of de meetoptellingen voor de lagere 5G frequenties (frequency range FR1) ook in deze band kunnen gebruikt worden. In-situ metingen van de blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden zijn uitgevoerd voor een indoor massief MIMO 5G-basisstation (BS) dat werkt op 26-28 GHz. Er werden metingen uitgevoerd op zes verschillende posities in line-of-sight (LOS) en in non-line-of-sight (NLOS). Er werd een vergelijking uitgevoerd tussen de metingen uitgevoerd met een omnidirectionele probe en met een hoornantenne voor scenario's met en zonder gebruikersapparatuur. Er werd aangetoond dat de conventionele triaxiale opstelling voor FR1 de blootstelling in FR2 onderschat, vanwege de beperkte verticale bundelbreedte van de



- f de fractie van de bevolking p met gebruikersprofiel l in lichaamshouding pos verbonden met radiotoegangstechnologie r via een cell c in omgeving e gedurende de periode t. De fractie f kan bepaald worden uit netwerkdata of tijdsbestedingsonderzoek.

$$d^{UL} = \frac{TD^{UL} SAR^{UL}}{P_{TX}^{ref}} \quad \left[ \frac{Ws}{kg}/W = \frac{J}{kg}/W \right] \quad (2)$$

$$d^{UL} = \frac{TD^{DL}SAR^{DL}}{S_{inc}^{ref}} \quad \left[ \frac{Ws}{kg} / \frac{W}{m^2} = \frac{J}{kg} / \frac{W}{m^2} \right] \quad (3)$$

$$d^{UL,nt} = \frac{TD^{UL,nt} SAR^{UL,nt}}{S_{inc}^{ref}} \quad \left[ \frac{Ws}{kg} / \frac{W}{m^2} = \frac{J}{kg} / \frac{W}{m^2} \right] \quad (4)$$

- TD de tijdsduur van blootstelling;
- SAR het specifieke absorptietempo (Eng: Specific Absorption Rate);
- $P_{TX}^{ref}$  de referentie voor het uitgestraalde vermogen van een mobiel toestel;
- $S_{inc}^{ref}$  de referentie voor de invallende vermogendichtheid op een persoon

De basis van de blootstellingsindex is de SAR waarde. Typisch wordt de SAR waarde uitgemiddeld over het totale lichaam van een persoon of in een volume met 10 g weefsel. We spreken dan respectievelijk van de totale lichaamsblootstellingsindex en de lokale blootstellingsindex. Het FP7-project LEXNET stelt een SAR database ter beschikking voor de meest frequente blootstellingsscenario's van een persoon.

In [Aerts, 2015b] wordt onderzocht of het al dan niet mogelijk is om de in sommige Europese landen bestaande databases met grootschalige radiofrequente elektromagnetische veldmetingen voor etherregulering te gebruiken voor de schatting van RF blootstelling over grote gebieden. In en rond een residentieel gebied werden de signalen van GSM-masten opgemeten met behulp van een meetsysteem op het dak van een auto. Daarna werden steeds nauwkeurigere blootstellingsmodellen opgesteld door interpolatie van de metingen op de rand van het gebied gecombineerd met een toenemend aantal metingen binnen het gebied. Door een 50-puntsvalidatie werd bekomen dat 80 metingen per km<sup>2</sup> voldoende waren om een nauwkeurig interpolatiemodel te bekomen. [Aerts, 2015c] presenteert een nieuwe methode om een bestaand sensornetwerk in Santander, Spanje, uit te breiden met eenvoudige exposimeters die de elektrische veldsterkte in meerdere radiofrequentiebanden opmeten (zie Figuur 7). De procedure bestaat erin zowel simulatie- als meetdata te gebruiken om een zo optimaal mogelijk implementatiedesign te bekomen i.e., een grid van exposimeters dat de relevante blootstellingsstatistieken oplevert en toelaat nauwkeurige blootstellingskaarten te creëren.





De basisrestricties worden voor lokale blootstelling uitgemiddeld over een kubisch volume met een massa van 10g lichaamsweefsel voor frequenties tot 6 GHz. Boven 6 GHz is de absorptie van elektromagnetische energie oppervlakkig (hoofdzakelijk in huidweefsel) en wordt de basisrestrictie in termen van geabsorbeerde vermogensdichtheid gedefinieerd. De uitmiddeling gebeurt over een oppervlakte van 4 cm<sup>2</sup>. Voor frequenties boven 30 GHz, waar blootstelling aan focale bundels kan optreden, wordt bijkomend een limiet gedefinieerd over een oppervlak van 1 cm<sup>2</sup>. Voor lokale blootstelling specificeert ICNIRP een uitmiddelingsperiode van 6 minuten.

Een snelle temperatuurstijging kan hot-spots en heterogene temperatuurdistributies over het lichaamsweefsel. Dit treedt op bij blootstelling aan korte pulsen. Om te voldoen aan de drempelwaarden bij blootstellingen van korte duur, specificeert ICNIRP maximale blootstelling als functie van de tijd voor blootstellingen korter dan 6 min.

### Basisrestricties

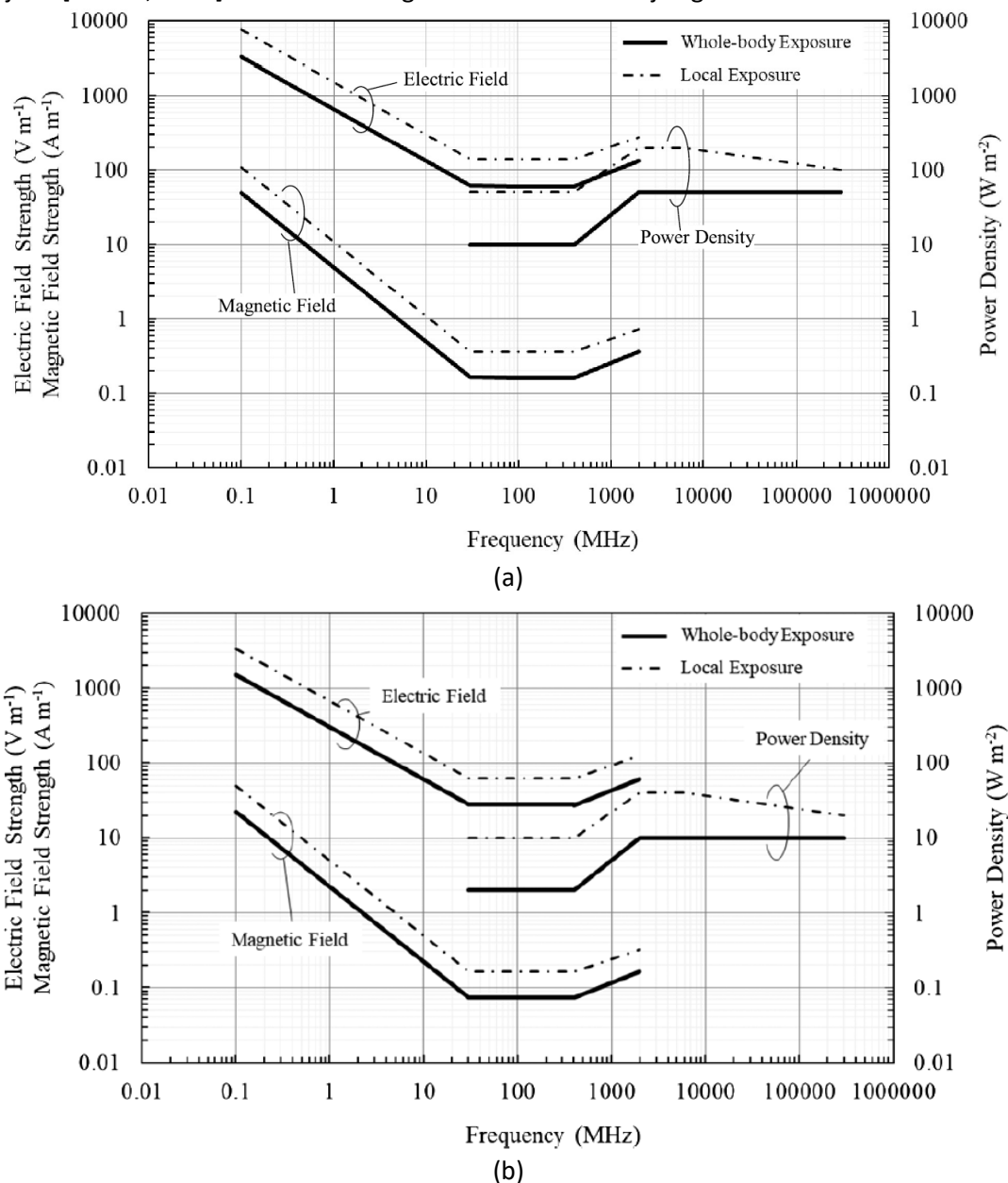
Bij kortstondige blootstelling (pulsen korter dan 6 minuten), legt ICNIRP bijkomende limieten tussen 400 MHz en 6 GHz op de specifieke energieabsorptie (SA) opdat de cumulatieve energie met een waarde gelijk aan de basisrestrictie op de 10g SAR uitgemiddeld over 6 minuten niet te snel wordt geabsorbeerd. Deze limieten die afhankelijk zijn van de blootstellingsduur staan vermeld in Tabel 3. Een gelijkaardige benadering wordt gevolgd boven 6 GHz en leidt tot de basisrestrictie op de lokaal geabsorbeerde energiedichtheid ( $U_{ab}$ ).



Tot slot staan in Tabel 4 de referentieniveaus voor kortstondige blootstelling (geïntegreerd over tijdsintervallen tussen 0 en 6 minuten) en in Tabel 5 de referentieniveaus voor piek ogenblikkelijke blootstelling tussen 100 kHz en 10 MHz.

### Simultane blootstelling aan meerdere frequenties

In situaties van gelijktijdig blootstelling aan velden met verschillende frequenties is het belangrijk om te bepalen of deze blootstellingen additief zijn in hun effecten. Voor simultane blootstelling heeft ICNIRP sommatieformules opgesteld waarbij per frequentie de fractie tot de respectievelijke limiet worden opgeteld. Deze som mag maximaal gelijk worden aan 1. We verwijzen naar de ICNIRP richtlijnen [ICNIRP, 2020] voor een meer gedetailleerde beschrijving van deze sommatieformules.



Figuur 8: Referentieniveaus voor tijdsgemiddelde blootstelling over een tijd groter of gelijk aan 6 minuten aan elektromagnetische velden van 100 kHz tot 300 GHz (onverstoorde rms waarden; zie Tabel 5 en Tabel 6 in de ICNIRP richtlijnen [ICNIRP, 2020]): (a) bij beroepsmatige blootstelling en (b) voor algemeen publiek.

Tabel 4: Referentieniveaus voor lokale blootstelling, geïntegreerd over intervallen tussen 0 en 6 minuten, aan elektromagnetische velden van 100 kHz tot 300 GHz (onverstoorde rms waarden).<sup>a</sup>

| Exposure scenario | Frequency range   | Incident energy density; $U_{inc}$ (kJ m <sup>-2</sup> ) |
|-------------------|-------------------|----------------------------------------------------------|
| Occupational      | 100 kHz – 400 MHz | NA                                                       |
|                   | >400 – 2000 MHz   | $0.29f_M^{0.86} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$     |
|                   | >2 – 6 GHz        | $200 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$                |
|                   | >6 – <300 GHz     | $275f_G^{0.177} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$     |
|                   | 300 GHz           | $100 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$                |
| General public    | 100 kHz – 400 MHz | NA                                                       |
|                   | >400 – 2000 MHz   | $0.058f_M^{0.86} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$    |
|                   | >2 – 6 GHz        | $40 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$                 |
|                   | >6 – <300 GHz     | $55f_G^{0.177} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$      |
|                   | 300 GHz           | $20 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$                 |

<sup>a</sup>Note:

1. “NA” signifies “not applicable” and does not need to be taken into account when determining compliance.
2.  $f_M$  is frequency in MHz;  $f_G$  is frequency in GHz;  $t$  is time interval in seconds, such that exposure from any pulse, group of pulses, or subgroup of pulses in a train, as well as from the summation of exposures (including non-pulsed EMFs), delivered in  $t$  seconds, must not exceed these reference level values.
3.  $U_{inc}$  is to be calculated over time  $t$ , and where spatial averaging is specified in Notes 5–7, over the relevant projected body space.
4. For frequencies of 100 kHz to 400 MHz, >0 to <6-min restrictions are not required and so reference levels have not been set.
5. For frequencies of >400 MHz to 6 GHz: (a) within the far-field zone: compliance is demonstrated if peak spatial  $U_{inc}$ , over the projected whole-body space, does not exceed the above reference level values;  $U_{eq}$  may be substituted for  $U_{inc}$ ; (b) within the radiative near-field zone, compliance is demonstrated if peak spatial  $U_{inc}$ , over the projected whole-body space, does not exceed the above reference level values; and (c) within the reactive near-field zone, reference levels cannot be used to determine compliance, and so basic restrictions must be assessed.
6. For frequencies of >6 GHz to 300 GHz: (a) within the far-field or radiative near-field zone, compliance is demonstrated if  $U_{inc}$ , averaged over a square 4-cm<sup>2</sup> projected body surface space, does not exceed the above reference level values; (b) within the reactive near-field zone, reference levels cannot be used to determine compliance, and so basic restrictions must be assessed.
7. For frequencies of >30 GHz to 300 GHz: exposure averaged over a square 1-cm<sup>2</sup> projected body surface space must not exceed  $275/f_G^{0.177} \times 0.72[0.025+0.975(t/360)^{0.5}]$  kJ m<sup>-2</sup> for occupational and  $55/f_G^{0.177} \times 0.72[0.025+0.975(t/360)^{0.5}]$  kJ m<sup>-2</sup> for general public exposure.

Tabel 5: Referentieniveaus voor lokale blootstelling aan piek elektromagnetische velden van 100 kHz tot 10 MHz (onverstoorde rms waarden).<sup>a</sup>

| Exposure scenario | Frequency range  | Incident E-field strength; $E_{inc}$ (V m <sup>-1</sup> ) | Incident H-field strength; $H_{inc}$ (A m <sup>-1</sup> ) |
|-------------------|------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Occupational      | 100 kHz – 10 MHz | 170                                                       | 80                                                        |
| General public    | 100 kHz – 10 MHz | 83                                                        | 21                                                        |

<sup>a</sup>Note:

1. Regardless of the far-field/near-field zone distinction, compliance is demonstrated if neither peak spatial  $E_{inc}$  or peak spatial  $H_{inc}$ , over the projected whole-body space, exceeds the above reference level values.

## 2.7.4 Uitvoeringsverordening van de Europese commissie m.b.t kenmerken van draadloze toegangspunten met laag vermogen en klein bereik van 20 juli 2020

De Europese Commissie maakt met de uitvoeringsverordening van 20 juli 2020 m.b.t. draadloze toegangspunten voor kleine cellen ('small cells') de weg vrij voor een tijdige uitrol van 5G netwerkinfrastructuur met hoge capaciteit. De "vijfde generatie" telecommunicatiesystemen, of 5G, is een van de meest cruciale bouwstenen van de economie en samenleving. 5G zal onder meer de digitalisering van de zorgsector ondersteunen en hierdoor medische behandelingen toegankelijker en opvolging eenvoudiger maken. 5G zal ook steden duurzamer en veiliger maken en maakt het autonoom rijden mogelijk [EC 2020b].

In de uitvoeringsverordening m.b.t kenmerken van draadloze toegangspunten met laag vermogen en klein bereik van 20 juli 2020 [EC 2020a] stelt de Europese Commissie strikte grenzen aan de omvang en het vermogen van de toegangspunten voor kleine cellen en zorgt op deze manier voor bescherming van de volksgezondheid tegen blootstelling aan elektromagnetische velden – in overeenstemming met de Europese aanbeveling 1999/519/EG [CEU 1999] – en voor visuele



- JMT 62704-1 IEC/IEEE 62704-1: "Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz - Part 1: General requirements for using the finite difference time-domain (FDTD) method for SAR calculations" linked to IEEE.
- JMT 62704-2 IEC/IEEE 62704-2: "Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz - Part 2: Specific requirements for finite difference time domain (FDTD) modelling of exposure from vehicle mounted antennas"
- MT 62704-3 IEC/IEEE 62704-3: "Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz - Part 3: Specific requirements for using the finite difference time domain (FDTD) method for SAR calculations of mobile phones"
- JMT 62704-4 IEC/IEEE 62704-4: "Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communication devices, 30 MHz to 6 GHz - Part 4: General requirements for using the finite element method for SAR calculations"

In [Deruyck, 2016c] worden een aantal strategieën voorgesteld om het energieverbruik van het draadloze toegangsnetwerk via het traditionele elektriciteitsnet te reduceren in het geval van een tekort aan vernieuwbare (zonne-)energie. Dit is een eerste stap naar een duurzaam en energieneutraal (gedurende de operationeel fase) draadloos toegangsnetwerk. Verder onderzoek is uiteraard noodzakelijk.

Figuur 9 toont de architectuur van een draadloos smart metering netwerk [EPRI, 2010]. Via dit draadloze netwerk kan elke smart meter informatie zenden van en naar het nutsbedrijf. Dit draadloos netwerk is geconfigureerd als een mesh netwerk. Een mesh netwerk is een netwerk waarbij de data via een aantal nodes wordt doorgestuurd tot aan de zogenaamde cell relay. De cell relay aggregeert alle data van de verschillende smart meters in zijn omgeving en stuurt dit door naar het nutsbedrijf via het cellulaire netwerk.



De uitspraak heeft geen impact op Vlaanderen en Wallonië. In Wallonië werd het beroep reeds in november 2020 verworpen, maar daar werd op voorhand wel een uitzondering voorzien voor elektrogevoelige mensen. Het Vlaamse uitvoeringsbesluit voorziet dat elke netgebruiker uiterlijk op

### 3.2.1 Studie van EPRI

Daarnaast mat EPRI over een periode van 6 maanden het elektromagnetische veld en de blootstelling op van twee meters die gebruikt worden door PG&E (Pacific Gas & Electric, US) [EPRI, 2011]. Het betreft de General Electric-I210 en Landis-Gyr Focus AXR-SD smart meter. Beiden zijn uitgerust met een (verschillende) draadloos communicatiesysteem van Silver Spring Networks (SSN). Deze smart meters maken gebruik van de 900 MHz band. Deze studie toonde opnieuw aan dat de opgemeten waarden zeer laag zijn ten opzichte van de FCC limieten zowel wat de piekwaarden betreft als de spatiaal uitgemiddelde waarden. De sterkste velden werden opgemeten op 0.3m met een piekwaarde van ongeveer 10% ten opzichte van het MPE. Voor de tijd en spatiaal uitgemiddelde waarden werd voor beiden een waarde bekomen die ongeveer 0.14% bedraagt van het MPE. Een grote verzameling van smart meters, zoals kan gevonden worden in appartementsgebouwen, zorgt ook niet voor grotere piekwaarden met betrekking tot het elektromagnetisch veld geproduceerd door een individuele smart meter. Het gecombineerd

IMEC en EPRI publiceerden in 2020 een nieuwe studie rond smart meters en smart meter banken [EPRI, 2020]. In deze studie werd een methode gepresenteerd om radiofrequente elektromagnetische velden uitgezonden door smart meters nauwkeurig op te meten. Deze methode werd vervolgens toegepast om de mogelijke menselijke blootstelling aan RF-EMV afkomstig van zowel individuele smart meters als banken van smart meters (20 – 81 meter) te bepalen op verschillende plaatsen in een dicht bewoond gebied in en rond New York City. De maximaal gemeten veldniveaus op een afstand van 30 cm waren 13 V/m voor een individuele smart meter en 38 V/m voor een smart meter bank. Verder werden duty cycles gemeten tussen 0.01% en 14%. Tot slot was het maximale gemiddelde blootstellingsniveau slechts 9.43% van het ICNIRP referentieniveau.

ANFR (Agence Nationale Des Fréquences – Frankrijk) heeft de voorbije jaren rapporten gepubliceerd van de elektromagnetische (EM) metingen rond smart meters voor elektriciteit [ANFR, 2019a,b & 2020]. De bestudeerde smart meters voor elektriciteit zijn van het type Linky. De communicatie van

In Tabel 6 is een overzicht te vinden van de maximaal opgemeten veldwaarden in de frequentieband van de CPL-communicatie (35 kHz tot 91 kHz) zoals besproken in de verschillende ANFR studies. De maximaal opgemeten elektrische veldwaarde bedroeg 3.7 V/m en de maximaal opgemeten magnetische veldwaarde bedroeg 0.27  $\mu$ T, beide opgemeten op een afstand kleiner of gelijk aan 40 cm tot de smart meter. Deze veldwaarden liggen meer dan 20 keer onder de plaatselijke geldende norm van 87 V/m en 6.25  $\mu$ T voor respectievelijk het elektrisch en het magnetisch veld. Aangezien de frequentie kleiner is dan 100 kHz dienen hier de maximale veldwaarden beschouwd te worden ter vergelijking met de norm en niet de tijdsgemiddelde 6 minuten-veldwaarden. Bijkomend dient nog opgemerkt te worden dat de metingen breedbandmetingen waren en dat de gerapporteerde veldwaarden mogelijks ook afkomstig zijn van andere bronnen dan de smart meter met frequenties tussen 9 kHz en 100 kHz.

| Studie        | Aantal metingen | Afstand tot smart meter [m] | Maximaal E-veld [V/m] | Maximaal H-veld [ $\mu$ T] |
|---------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| [ANFR, 2019a] |                 | 0.2                         | 1.0                   | 0.05                       |
| [ANFR, 2019b] | 178             | $\leq 0.4$                  | 3.5                   | 0.17                       |
| [ANFR, 2020]  | 287             | $\leq 0.4$                  | 3.7                   | 0.27                       |



#### 4 ELF (EXTREMELY LOW FREQUENCY)

De mogelijke gezondheidsrisico's die extreem-laagfrequente magnetische velden (ELF-EMV) vragen een nauwkeurige monitoring. Hierbij wordt een overzicht gegeven van de epidemiologische wetenschappelijke studies die handelen over de gezondheidseffecten van ELF-EMV, verschenen in 2022. Samenvattend kan er gesteld worden dat er geen opvallende nieuwe bevindingen zijn, maar het blijft wel zo dat er een statistisch verband voorkomt tussen blootstelling aan ELF-MF hoger dan 0,4  $\mu$ T en het risico op het ontwikkelen van leukemie bij kinderen.

## 4.1 REVIEWS EN META-ANALYSES

#### 4.1.1 Blootstelling aan magnetische velden en leukemie bij kinderen: een systematische review en meta-analyse van case-control en cohortstudies.

Brabant, C., Geerinck, A. , Beudart, C., Tirelli, E., Geuzaine, C., Bruyère, O. (2022). Exposure to magnetic fields and childhood leukemia: a systematic review and meta-analysis of case-control and cohort studies. *Reviews on Environmental Health*. Published online March 15, 2022.

<https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0112>

Achtergrond en doel: Het verband tussen kinderleukemie en extreem laagfrequente magnetische velden (ELF-MF) gegenereerd door hoogspanningslijnen en verschillende elektrische apparaten is de afgelopen 40 jaar uitgebreid bestudeerd. De omstandigheden waaronder ELF-MF een risicofactor voor leukemie vormen, zijn echter nog steeds onduidelijk. Daarom hebben de auteurs een systematische review en meta-analyse uitgevoerd om de relatie tussen ELF-MF uit verschillende bronnen en leukemie bij kinderen te verduidelijken.

Methode: De auteurs hebben systematisch gezocht in Medline, Scopus, Cochrane Database of Systematic Review en DARE om elk artikel te identificeren dat de relatie tussen ELF-MF en kinderleukemie heeft onderzocht. Ze hebben een globale meta-analyse uitgevoerd die rekening houdt met de verschillende metingen die worden gebruikt om de blootstelling aan magnetische velden te beoordelen: metingen van de magnetische fluxdichtheid ( $<0,2 \mu\text{T}$  vs.  $>0,2 \mu\text{T}$ ), afstanden tussen het huis van het kind en elektriciteitsleidingen ( $>200 \text{ m}$  vs.  $<200 \text{ m}$ ) en draadcoderingen (lage stroomconfiguratie vs. hoge stroomconfiguratie). Bovendien zijn er meta-analyses uitgevoerd, hetzij gebaseerd op magnetische fluxdichtheden, op nabijheid van hoogspanningslijnen of op draadcoderingen. Het verband tussen elektrische apparaten en leukemie bij kinderen is ook onderzocht.

Resultaten: Van de 863 geïdentificeerde referenties zijn 38 studies opgenomen in de systematische review. De globale meta-analyse duidde op een verband tussen leukemie bij kinderen en ELF-MF (21 onderzoeken, gepoolde OR=1,26; 95% BI 1,06-1,49), een verband dat voornamelijk wordt verklaard door de onderzoeken die vóór 2000 zijn uitgevoerd (eerdere onderzoeken: gepoolde OR=1,51 95% BI 1,26–1,80 vs. latere onderzoeken: gepoolde OR=1,04; 95% BI 0,84–1,29. De meta-analyses die alleen gebaseerd waren op magnetische veldmetingen gaven aan dat de magnetische fluxdichtheidsdrempel geassocieerd met kinderleukemie hoger is dan 0,4 µT (12 studies, >0,4 µT: gepoolde OR=1,37; 95% BI 1,05-1,80; alleen acute lymfatische leukemie : zeven onderzoeken, >0,4 µT: gepoolde OR=1,88; 95% BI 1,31–2,70). Lagere magnetische velden waren niet geassocieerd met leukemie (12 onderzoeken, 0,1–0,2 µT: gepoolde OR=1,04; 95% BI 0,88–1,24; 0,2–0,4 µT: gepoolde OR=1,07; 95% BI 0,87–1,30). De meta-analyses die alleen op afstanden waren gebaseerd (vijf onderzoeken) toonden aan dat de gepoolde OR's gedurende het leven binnen 50 m en 200 m van hoogspanningslijnen respectievelijk 1,11 (95% CI 0,81-1,52) en 0,98 (95% CI 0,85-1,12) waren . De gepoolde OR voor leven binnen 50 m van hoogspanningslijnen en acute lymfoblastische leukemie

**Conclusie:** Deze resultaten suggereren dat ELF-MF hoger dan 0,4  $\mu\text{T}$  het risico op het ontwikkelen van leukemie bij kinderen, waarschijnlijk acute lymfatische leukemie, kan verhogen. Langdurige blootstelling aan elektrische apparaten die magnetische velden van meer dan 0,4  $\mu\text{T}$  genereren, zoals elektrische dekens, wordt in verband gebracht met een groter risico op kinderleukemie. Deze meta-analyse suggereert dat blootstelling aan residentiële magnetische velden hoger dan 0,4  $\mu\text{T}$  het risico op leukemie bij kinderen kan verhogen. Toch is het belangrijk om te benadrukken dat zeer weinig huizen worden blootgesteld aan magnetische velden van meer dan 0,4  $\mu\text{T}$  die worden opgewekt door bovengrondse hoogspanningslijnen in landen met een hoog inkomen. Bovendien is de jaarlijkse incidentie van leukemie bij kinderen erg laag en varieert tussen 35 en 50 gevallen per miljoen kinderen in West-Europese landen en Noord-Amerika. Aangezien het absolute risico op kinderleukemie erg laag is en kinderen zelden continu worden blootgesteld aan magnetische velden van meer dan 0,4  $\mu\text{T}$  in landen met een hoog inkomen, vormt het verhoogde risico op leukemie dat in deze meta-analyse wordt gevonden geen groot probleem voor de volksgezondheid in deze landen. Magnetische fluxdichtheden hoger dan 0,4  $\mu\text{T}$  bevinden zich gewoonlijk binnen 50 m van bovengrondse hoogspanningslijnen. Magnetische fluxdichtheidsmetingen moeten worden uitgevoerd als kinderen binnen 200 m van bovengrondse hoogspanningslijnen wonen om te garanderen dat ze niet worden blootgesteld aan ELF-MF hoger dan 0,4  $\mu\text{T}$ . Daarentegen kan het wonen op meer dan 200 m afstand van bovengrondse hoogspanningslijnen worden beschouwd als een veilige afstand voor kinderen die niet is gekoppeld aan een hoger risico op leukemie. Deze systematische review suggereert dat kinderen uit middeninkomenslanden zoals Mexico en Iran vaker blootgesteld worden aan magnetische velden boven 0,4  $\mu\text{T}$  en het risico op leukemie als gevolg van ELF-MF is in deze landen waarschijnlijk hoger. Het is opmerkelijk dat geen van de studies die in deze review zijn opgenomen, is uitgevoerd in lage-inkomenslanden of in Afrika. Meer onderzoek naar ELF-MF en kinderleukemie is nodig in deze landen, met name in Afrikaanse landen. Deze meta-analyses suggereren dat blootstelling aan elektrische apparaten zoals elektrische dekens en elektrische klokken naast het bed het risico op leukemie bij kinderen verhoogt. Het is echter belangrijk op te merken dat de onderzoeken die een verband hebben gevonden tussen deze elektrische apparaten en leukemie bij kinderen, meer dan 20 jaar geleden zijn uitgevoerd en dat onze bevindingen moeten worden geïnterpreteerd op basis van de elektrische apparatuur die tegenwoordig wordt gebruikt. Elektrische dekens en elektrische klokken voor naast het bed die aan het einde van de twintigste eeuw werden gebruikt, konden magnetische velden van meer dan 0,4  $\mu\text{T}$  opwekken en kinderen werden doorgaans meerdere uren achter elkaar aan deze elektrische apparaten blootgesteld. Haardrogers daarentegen kunnen ook magnetische velden van meer dan 0,4  $\mu\text{T}$  genereren, maar worden meestal gedurende een kortere periode gebruikt en we hebben geen significant verband gevonden tussen het gebruik van haardrogers en leukemie bij kinderen. Deze bevindingen zijn vandaag relevant in die zin dat de duur van blootstelling aan ELF-MF een rol speelt en dat kinderen niet gedurende lange tijd mogen worden blootgesteld aan elektrische apparaten die magnetische velden van meer dan 0,4  $\mu\text{T}$  genereren. Belangrijk is dat Magne en collega's tussen 2007 en 2009 persoonlijke blootstelling aan ELF-MF bij Franse kinderen hebben gemeten. Ze hebben ontdekt dat wekkers de belangrijkste variabele waren die verband hield met de blootstelling aan magnetische velden van de kinderen. Het aandeel kinderen dat werd blootgesteld aan magnetische velden hoger dan 0,4  $\mu\text{T}$  was 3,1% wanneer alle kinderen in de analyse werden opgenomen en 0,8% wanneer de analyse werd beperkt tot kinderen waarvoor geen wekker was

#### 4.1.2 Magnetische velden en kanker: epidemiologie, cellulaire biologie en theranostica.

Conclusie van de auteur: Hoewel wetenschappers het er in het algemeen niet over eens zijn dat er een oorzakelijk verband bestaat tussen blootstelling aan MF en kanker, zijn MF's misschien niet de directe oorzaak van kanker, maar kunnen ze bijdragen aan de productie van ROS en oxidatieve stress veroorzaken, die kan leiden tot de (toegenomen) expressie van oncogenen.

## tumoren van het centrale zenuwstelsel

Achtergrond en doel: Tumoren van het centrale zenuwstelsel bij kinderen (cCNSt) zijn de meest voorkomende solide tumoren bij personen jonger dan 20 jaar, maar de omgevingsrisicofactoren zijn niet duidelijk. Daarom hebben de auteurs een overkoepelende review uitgevoerd om de huidige literatuur over risicofactoren met betrekking tot cCNSt samen te vatten.

Conclusie: Omdat cCNSt zeer heterogeen zijn, is toekomstig onderzoek nodig om risicofactoren per moleculaire en histologische subtypen te onderzoeken en nieuwe, onbevooroordeelde blootstellingsbeoordelingen toe te passen.

#### 4.1.4 Recent onderzoek naar EMV en gezondheidsrisico's: zestiende rapport van de Wetenschappelijke Raad voor Elektromagnetische Velden van het SSM, 2021.

Achtergrond en doelstelling: De Wetenschappelijke Raad voor elektromagnetische velden van de Zweedse Autoriteit voor stralingsveiligheid (SSM) monitort het huidige onderzoek naar potentiële gezondheidsrisico's in verband met blootstelling aan elektromagnetische velden en geeft de autoriteit advies over het beoordelen van mogelijke gezondheidsrisico's. De Raad geeft richting wanneer de autoriteit een advies moet uitbrengen over beleidsaangelegenheden. De raad is verplicht jaarlijks een schriftelijk verslag in te dienen over de huidige onderzoeks- en kennissituatie. Dit is een consensusrapport, wat betekent dat alle leden van de Wetenschappelijke Raad het eens zijn met het volledige rapport. Dit verhoogt de kracht van de gegeven conclusies. Het rapport heeft als hoofddoel het onderzoek van het voorgaande jaar op het gebied van elektromagnetische velden (EMV) en gezondheid te behandelen, maar ook om dit in de context van de huidige kennis te plaatsen. Het rapport geeft de autoriteit een overzicht en biedt een belangrijke basis voor risicobeoordeling.

Methoden: Dit rapport bespreekt studies over elektromagnetische velden (EMV) en gezondheidsrisico's, gepubliceerd van januari 2020 tot en met december 2020. Het rapport is het zestiende in een reeks jaarlijkse wetenschappelijke evaluaties die achtereenvolgens relevante nieuwe studies bespreken en beoordelen en deze in de context van beschikbare informatie plaatsen. Het rapport bestrijkt verschillende gebieden van EMV (statische, laagfrequente, intermediaire en radiofrequente velden) en verschillende soorten studies zoals biologische, menselijke en

**Resultaten en conclusie:** Er zijn geen nieuwe oorzakelijke verbanden tussen blootstelling aan EMV en gezondheidsrisico's vastgesteld. De studies die in dit rapport worden gepresenteerd, lossen niet op of de consistent waargenomen associatie tussen blootstelling aan ELF-EMV en leukemie bij kinderen in epidemiologische studies oorzakelijk is of niet.

#### 4.2.1 Residentiële extreem laagfrequente magnetische velden en huidkanker.

Achtergrond en doel: Foto-geïnduceerde radicale reacties spelen een fundamentele rol bij huidkanker veroorzaakt door ultraviolette straling, en veranderingen in radicale reacties zijn ook voorgesteld als een mechanisme voor de vermeende kankerverwekkende effecten van extreem laagfrequente (ELF) magnetische velden (MF's). De auteurs beoordeelden de associatie van melanoom en plaveiselcelcarcinoom met residentiële blootstelling aan MF.

Resultaten: De HR voor blootstelling aan MF  $\geq 6$  maanden was 1,05 (95% BI 0,72 tot 1,53) voor melanoom en 0,94 (95% BI 0,55 tot 1,61) voor plaveiselcelcarcinoom. Analyse van de leeftijd bij aanvang van het verblijf toonde een verhoogde HR (2,55, 95% BI 1,15 tot 5,69) voor melanoom bij degenen die in de appartementen woonden toen ze jonger waren dan 15 jaar. Deze bevinding was gebaseerd op zeven blootgestelde gevallen.

*Opmerking: De resultaten van deze studie moeten met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd, gezien de beoordeling van de blootstelling. Het is niet eenvoudig om de bevindingen te interpreteren als ondersteuning voor de hypothese dat residentiële MF huidkanker versterkt door UV-geïnduceerde radicale reacties te beïnvloeden. Blootstelling aan UV-straling van de zon vindt buiten plaats, dus de door UV veroorzaakte radicale reacties kunnen niet direct worden beïnvloed door de MF's die in woningen aanwezig zijn. Bovendien is de mechanistische verklaring nog steeds onduidelijk.*

Vasta, R., Callegaro, S., Grassano, M. et al. (2022). Amyotrofische Laterale Sclerose and Frontotemporal Degeneration, 0, 1-4. <https://doi.org/10.1080/21678421.2022.2142800>

**Conclusie:** Deze bevindingen suggereren dat elektromagnetische velden het ALS-fenotype of de progressie niet wijzigen.

Resultaten: Minder dan 7% van de gevallen vertoonde hoge niveaus van ELF-MV. De auteurs zagen geen verhoogd risico bij werknemers die waren blootgesteld aan hoge niveaus van ELF-MV voor NHL (OR: 0,93; CI 0,90 tot 0,97), CLL (OR: 0,98; CI 0,92 tot 1,05) of MM (OR: 0,96; CI 0,90 tot 1,01).

Conclusie: De resultaten bieden geen ondersteuning voor een verband tussen beroepsmatige blootstelling aan ELF-MV en elektrische schokken en het risico op lymfoom.

#### 4.3.2 Effect van beroepsmatige extreem laagfrequente elektromagnetische veldblootstelling op de schildklier van werknemers: een prospectieve studie

Fang, Y. (2022). Current Medical Science, 42(4), 817-823. <https://doi.org/10.1007/s11596-022-2610-8>

Doelstelling: Het doel van deze studie was het onderzoeken van de biologische effecten van beroepsmatige extreem laagfrequente elektromagnetische veld (ELF-EMF) blootstelling aan de schildklier.

**Methoden:** De auteurs voerden een prospectieve analyse uit van 85 werknemers (blootstellingsgroep) blootgesteld aan een ELF-EMF (100  $\mu$ T, 10-100 Hz) geproduceerd door het elektromagnetische vliegtuiglanceringssysteem en volgden gedurende 3 jaar schildklierfunctie-indicatoren, immunologische indicatoren en kleuren-Doppler-afbeeldingen op. Daarnaast werden 116 gezonde vrijwilligers willekeurig geselecteerd als controles (controlegroep), van wie de schildklierfunctie werd vergeleken met de blootstellingsgroep.

**Resultaten:** Er werd geen significant verschil waargenomen in de schildklierfunctie tussen de blootstellings- en controlegroepen. Tijdens de follow-up van de blootstellingsgroep bleek het serumvrije triiodothyronine (FT3) niveau langzaam af te nemen en het vrije thyroxine (FT4) niveau langzaam toe te nemen met toenemende blootstellingstijd. Er werd echter geen significant verschil gevonden in schildklierstimulerend hormoon (TSH) gedurende de drie jaar, en er werd geen significant verschil waargenomen in de FT3-, FT4- en TSH-niveaus tussen verschillende blootstellingssubgroepen. Bovendien werden geen significante veranderingen waargenomen in autoantilichaamniveaus in de schildklier en in echografiebeelden tussen subgroepen of in de loop van de tijd.

**Conclusie:** Langdurige blootstelling aan ELF-EMF kan de schildkliersecretie van T4 bevorderen en de eidinatie van T4 tot T3 remmen. ELF-EMF heeft geen significant effect op de immuunfunctie en morfologie van de schildklier.

#### 4.3.3 ELF-MF Blootstelling, werkelijke en waargenomen en bijbehorende gezondheidssymptomen: een casestudy van een kantoorgebouw in Tel Aviv-Yafo, Israël

Raz-Steinkrycer, L.S., Dubnov, J., Gelberg, S., Jia, P., Portnov, BA (2022). Sustainability, 14, 11065. <https://doi.org/10.3390/su141711065>

Achtergrond en doelstelling: Empirische studies koppelen blootstelling aan extreem laagfrequente magnetische velden (ELF-MFs) aan verschillende gezondheidssymptomen. Het is echter onduidelijk of deze symptomen geassocieerd zijn met daadwerkelijke of waargenomen blootstelling. In deze studie probeerden de auteurs deze vraag te beantwoorden door de gezondheidsklachten te bestuderen van werknemers die werken in een kantoorgebouw met meerdere verdiepingen in de buurt van een grote hoogspanningslijn.

Methoden: ELF-MF-metingen werden uitgevoerd in het gebouw met behulp van een triaxiale sensorspoel op alle 15 verdiepingen. Tegelijkertijd werden vragenlijsten afgenomen om de prevalentie van verschillende gezondheidssymptomen onder de werknemers te evalueren. Multivariate logistische regressies werden gebruikt om de associaties tussen werkelijke en waargenomen ELF-MF-blootstelling en de gezondheidsklachten van de werknemers te kwantificeren.

Resultaten: Uit de analyse bleek dat gevoelens van zwakte, hoofdpijn, frustratie en zorgen geassocieerd waren met zowel gemeten als waargenomen ELF-MF-blootstelling ( $p < 0,01$ ), terwijl

Verschillende beperkingen van de huidige studie moeten worden genoemd. Ten eerste kan de ELF-MF-blootstelling van studiedeelnemers niet alleen afkomstig zijn van de hoogspanningslijn, maar ook van verschillende andere EMF-bronnen (zoals mobiele telefoons, computers, monitoren, enz.), of ze kunnen gevoeligheden hebben voor bijvoorbeeld geur of lawaai. Bovendien konden de auteurs de blootstelling aan EMF-ELF in de huizen van de werknemers niet onderzoeken. Daarnaast werden vanwege technische beperkingen op verschillende verdiepingen van het gebouw op verschillende dagen metingen gedaan, wat enige variatie had kunnen veroorzaken.

Opmerking en beperkingen: De huidige studie heeft enkele beperkingen, waaronder de kleine steekproefomvang. Zowel EEG als autonome effecten werden waargenomen, maar de relatie van deze twee parameters kon niet worden beoordeeld vanwege de kleine steekproefomvang. Vrouwelijke deelnemers moeten worden gerekruteerd om de effecten van geslacht te controleren. ELF-EMV met verschillende groottes en verschillende frequenties moet in toekomstige studies worden gebruikt.

Tijdens deze jaarlijkse conferentie werden tal van resultaten gepresenteerd van blootstellingscampagnes met persoonlijke blootstellingsmeters [Bhatt, 2016; Gresits, 2016; Struchen, 2016] of in-situ metingen [Bornkessel, 2016; Conil, 2016]. Nieuw in de persoonlijke blootstellingsstudies was het gebruik van een gedistribueerde – dit is een blootstellingsmeter die bestaat uit meerdere antennes die op het lichaam gedragen worden – persoonlijk blootstellingsmeter tijdens een meetcampagne in België en Australië en het ontwerp van een







## 5.4 EDITIE 2019

### 5.4.1 5G blootstelling in real-life

Tijdens editie 2019 van de BioEM conferentie organiseerde de IMEC-WAVES onderzoeksgroep van de Universiteit Gent een plenaire sessie over het bepalen, beoordelen en optimaliseren van 5G blootstelling in real-life. Het doel van de plenaire sessie was om op algemeen begrijpelijke wijze volgende topics voor te stellen: (i) nieuwe meetmethodes om zowel de momentele als de (realistische) maximale 5G-blootstelling te beoordelen, (ii) de eerste in-situ 5G-blootstellingsevaluaties van basisstations, (iii) inzichten in 5G-NR apparatuur, apparaatgebruik en 5G-veldverdelingen, en (iv) concepten voor 5G-netwerkplanning met minimale blootstelling voor de mens. Voor elk van deze topics werden één of meerdere experts in het vakgebied uitgenodigd, zowel uit de industrie als uit de academische wereld:

- Wout Joseph, Universiteit Gent – IMEC – WAVES, *“Procedures for in-situ 5G-NR MaMIMO exposure evaluation and first trial results”*:
  - In deze presentatie werden de nieuwe meetmethodes voor 5G blootstelling – die door de WAVES-onderzoeksgroep werden ontwikkeld – toegelicht. Deze methodes werden gebruikt voor het opmeten van de blootstelling op enkele test trails. De eerste resultaten hiervan werden eveneens voorgesteld.
- Christer Törnevik, Ericsson Research, *“Determination of time-averaged power levels for assessment of actual RF-EMF exposure from massive MIMO antennas”*:
  - De spreker vertelde in eenvoudige bewoording hoe massive MIMO systemen verschillen van 4G systemen en waarom en in welke mate de blootstelling overschat zal worden indien men de huidige methodes zou toepassen op 5G.
- Joe Wiart, Télécom ParisTech, *“5G small cells and MaMIMO exposure assessment in real environments”*:
  - Naast massive MIMO systemen zal 5G ook getypeerd worden door het gebruik van zogenaamde small cells. Dit zijn kleine basisstations, vergelijkbaar qua grootte met een WiFi toegangspunt, die bijvoorbeeld in het straatbeeld kunnen verschijnen. De spreker bracht het concept van deze small cells en het bepalen van de blootstelling hieraan onder de aandacht van het publiek.
- Christophe Grangeat, Nokia Bell Labs, *“How to assess RF exposure compliance of base stations based on actual network service”*:
  - In deze talk werd toegelicht hoe de antenne arrays van massive MIMO systemen er uit zullen zien en welke implicaties dit heeft voor het bepalen van de blootstelling. De spreker waarschuwde ons net zoals de tweede spreker over het risico op overschatting van de blootstelling indien men de huidige methodes zou gebruiken. De spreker reikte een numerieke methode aan om de blootstelling correct te bepalen.
- Margot Deruyck, Universiteit Gent – IMEC – WAVES, *“5G network planning with minimum exposure in real environments”*:
  - Naast het bepalen van de blootstelling van het individueel basisstation is het ook belangrijk om naar het groter kader, namelijk het netwerk, te kijken. De spreker gaf een korte introductie op de door haar ontwikkelde netwerktool die toelaat om het netwerk te optimaliseren naar blootstelling, alsook de eerste resultaten bekomen

- Niels Kuster, IT'IS Foundation, *“Assessment of maximally allowable power-density averaging area for conservative electromagnetic exposure assessment above 6 GHz”*:
  - Deze presentatie bestond uit de toelichting van een uniek meetsysteem voor mm-golf apparatuur dat dient om de apparatuur te evalueren in vergelijking met normen. De methode werd voorgesteld (amplitudemetingen en near-field far-field transformatie) en toepassingen voor 5G mobilifoons werden gegeven.

### 5.4.2 RF Sensornetwerken

Sam Aerts van de IMEC-WAVES onderzoeksgroep van de Universiteit Gent besprak in zijn presentatie “*Measurement-based modeling of RF-EMF exposure in urban environments using artificial intelligence techniques*” een methode om een RF-blootstellingskaart te creëren aan de hand van de interpolatie van RF metingen die verspreid zijn over een groot gebied (bv. afkomstig van een RF-sensornetwerk, zie ook Sectie 4.4.1) met behulp van een zogenaamd *Artificial Neural Network*. Met deze *machine learning*-techniek kan bij de interpolatie gebruikt gemaakt worden van mogelijke extra informatie zoals parameters van zowel de aanwezige telecommunicatiebasisstations als de (stads)omgeving (bv. hoogte van de gebouwen), en uit initiële simulaties blijkt deze methode veelbelovend in vergelijking met huidige technieken (bv. Kriging-interpolatie).

## 5.5 EDITIE 2020

- Sam Aerts, “Design and validation of an in-situ measurement procedure for 5G NR base station RF-EMF exposure”:

- ## 5.6 EDITIE 2021

- Sam Aerts, “Assessment of 5G NR base station RF-EMF exposure in a commercial network in Switzerland”
  - De resultaten van een meetcampagne van de RF-EMV in een commercieel 5G New Radio netwerk in Bern, Zwitserland, werden voorgesteld. De metingen werden uitgevoerd aan de hand van de hierboven besproken meetmethode. De geëvalueerde basisstations werkten in de 3.5 GHz-band en maakten gebruik van *codebook-based*

pagina 71 van 109

- Sergei Shikhantsov, *“Numerical assessment of the spatiotemporal duty cycle of 5G Massive MIMO in an outdoor urban environment using radio-frequency Ray-Tracing”*
  - Het tijdsafhankelijke antennepatroon van verschillende array antennes (met één tot honderd elementen) en voor verschillende massieve MIMO-precodering werd bepaald en de spatiotemporele duty cycle afgeleid. Daaruit blijkt dat de tijdsgemiddelde maximale blootstelling (95<sup>e</sup> percentiel) geïnduceerd door de onderzochte antennes 9-13% zou uitmaken van de theoretische maximale blootstelling.
- Maarten Velghe, *“Protocol for 5G Personal RF-EMF Exposure assessment”*
  - Een nieuw op activiteiten gebaseerd protocol werd voorgesteld voor 5G micro-omgevingsmetingen en enquête-studies om persoonlijke RF-EMV-blootstelling te bepalen. Het voorgesteld protocol pakt de belangrijkste uitdagingen aan van persoonlijke blootstellingsmetingen in 5G NR-netwerken.
- Sam Aerts, *“What has been the impact of Covid-19 on the environmental exposure to RF-EMF?”*
  - Gebruik maken van RF-sensornetwerken (zie ook hierboven) in verschillende Europese landen werd de impact van COVID-19 op de omgevingsblootstelling aan RF-EMV onderzocht. Er werd een algemene correlatie gevonden tussen de mobiliteit en de blootstelling in verschillende micro-omgevingen.
- Gabrielle Tognola, *“EXPOAUTO – An international research project on cumulative exposure of people of different ages to radiofrequency electromagnetic fields from new technologies in automotive services and connected objects”*
  - Een nieuw Europees project genaamd EXPOAUTO werd voorgesteld. Dit project heeft als doel de blootstelling aan RF-EMV in een slimme-auto-omgeving te karakteriseren.
- Kenneth Deprez, *“Design of a low-cost modular 5G RF-EMF exposure sensor”*
  - Een nieuwe versie van de IMEC-WAVES RF-sensor werd voorgesteld die nu ook 5G NR banden kan opmeten.
- Sergei Shikhantsov, *“Collocated and distributed Massive MIMO from the human EMF exposure perspective: a comparative study”*
  - De mogelijke RF-EMV-blootstelling in een industriële omgeving veroorzaakt door twee types basisstation werd onderzocht. Het blijkt dat in het geval van een gedistribueerd basisstation (waarbij de antenne-elementen verdeeld werden over het



- Enkele publicaties over metingen van 5G straling bij mm-golven (FR2 band bij 28 GHz):

- Andere interessante studies:

- pagina 73 van 109



- Twee methodes om het 5G SSB signal (control signal, Synchronization Signal Block) op te meten worden vergeleken: een code-selectieve methode met specifieke hardware en een zero-span methode met een spectrum analyser. De RF-EMV waarden gemeten met de zero-span methode waren hoger dan de code-selectieve methode (de zero-span methode kan niet een specifiek BS selecteren).
- Sabine Duerr (Narda), “24/7 long-term EMF area monitoring”
  - Dit artikel focust op 24/7 EMV monitoring. In sommige landen is dit de geprefereerde oplossing voor EMV metingen en Narda presenteert hier een meetsysteem.
- Liebeth Gommé VPO studie
  - Dit artikel van VPO beschrijft een haalbaarheidsstudie ivm de nieuwe Vlaamse normering voor 5G basisstations. Operatoren die basisstations willen installeren moeten een conformiteitsattest aanvragen dat voldoet aan de regelgeving. De studie toont dat de nieuwe regelgeving die het voorzichtigheidsprincipe volgt erin slaagt de maximale velden van zendantennes te beperken en de uitrol van 5G in Vlaanderen mogelijk maakt.
- Mark Douglas “Investigation of Hand Grip and Hand Exposure During Voice Call Using a Mobile Phone”
  - Hier wordt in de context van de standaard IEC/IEEE 62209-1528 geëvalueerd hoe de blootstelling van de hand in de volgende versie van de standaard kan opgenomen worden. Een hoeveelheid handgrepen werden onderzocht en absorptiemechanismes werden besproken. Deze studie kan in de standaard gebruikt worden.
- Teruo Onishi “Monitoring of Radiofrequency Electromagnetic Field exposure levels by Car-mounted Measurements in Japan”
  - Er werden mobiele metingen van RF EMV in Japan uitgevoerd in een gebied met een straal van 100 km. in total werd 13000 km aan rijtesten gedaan. Het elektrisch veld van 5G lag 20-30 dB lager dan van de andere basisstations.

- Er waren vier plenaire presentaties (autoriteiten in hun onderzoeksdomein):
  - Peter Hore, “Magnetic compass sensing in migratory songbirds using radical pair magnetoreceptors”
  - G. A. O’Toole and C. Muratori “To Build a Biofilm: Modeling Polymicrobial Communities ; Cytotoxic effects of pulsed electric fields on Gram-positive bacteria: planktonic cells vs. bacterial biofilms”
  - Pascual-Leone “The State-of-The-Art and Future of Non-Invasive Neuromodulation”
  - Roel Vermeulen “The Exposome Paradigm to Understand the Environmental Origins of Health and Disease”
- Er waren verschillende artikels ivm de introductie van 4 nieuwe Europese projecten over 5G blootstelling: GOLIAT, SeaWAVE, ETAIN en NEXTGEM
- Katsumi Maida “Progress report of international validation project of the NTP study on carcinogenesis of mobile-phone radiofrequency radiation in Japan”

- Kinderleukemie is de meest voorkomende kanker voor kinderen wereldwijd. Daarom werd door German Federal Office for Radiation Protection (BfS) een internationale wetenschappelijke vergadering georganiseerd ivm extreem laagfrequent magnetische velden en de classificatie van IARC (International Agency for Research on Cancer) als “mogelijk carcinogeen”. Verder onderzoek naar mogelijke mechanismes is noodzakelijk.

De BioEM 2024 conferentie ging door van 16 tot 21 juni 2024 in Kreta, Griekenland (<https://bioem.org/bioem2024/>). Een jaarlijkse update omtrent deze conferentie wordt voorzien in dit rapport. De focus in deze sectie is opnieuw op dosimetrie en technologisch nieuw onderzoek o.a. ivm nieuwe meetsensoren, metingen van de straling van elektrische voertuigen, de Europese 5G stralingsprojecten, etc.

- CLUE-H workshop
  - In deze workshop van de European Research Cluster on EMF and Health (CLUE-H) werden de vier Europese projecten (GOLIAT, ETAIN, SEAWAVE, NEXTGEM) ivm 5G stralingsonderzoek voorgesteld en werden overzichten besproken..
- Workshop: From exposure to dose measure: what are suitable concepts for public communication and research. Hier werden verschillende aspecten metingen en communicatie gebruikt in de 4 EU projecten hierboven gepresenteerd. Er werden meetmethodes en datacollectie besproken. De beperkingen, sterktes en ervaringen werden voorgesteld in de context van metingen, regelgeving en interactie met het publiek. Er waren technische presentaties en ook onderzoek ivm risicoperceptie.
  - Marie Eggeling, "What is the laypeople's exposure perception? Results and experience from SEAWave"
  - Het communiceren van blootstellingsgerelateerde informatie over radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMF) voor het publiek is belangrijk, bijvoorbeeld bij de introductie van 5G. De meeste burgers weten weinig over hoe mobiele radio werkt en vertrouwen op hun intuïtie bij het beoordelen van de blootstelling aan RF-EMF, wat uitdagingen en risico's met zich meebrengt voor wetenschapperscommunicatie. De belangrijkste bevindingen waren dat leken vaak verschillende opvattingen over blootstelling hebben dan deskundigen, dat misvattingen en intuïtieve beoordelingen vaak voorkomen en dat persoonlijke relevantie vaak laag is. Risicocommunicatie moet afgestemd worden op de doelgroep. Liever dan het communiceren van complexe bevindingen over doses en blootstellingen, kunnen basisprincipes nuttiger zijn voor het publiek.
- Workshop: Breakthroughs in experimental and numerical EMF exposure assessment: the contribution of BioEM Young scientists. Deze workshop gaf een overzicht van het standpunt

van jonge onderzoekers o.a. van in de 4 EU projecten i.v.m. simulaties en metingen. De BioEM organisatie wil doctoraatsstudenten en jonge onderzoekers kansen geven hun bevindingen voor te stellen.

## Review artikels en overzichten van veldmetingen in verschillende landen

- Ourouk Jawad, “Impact of 5G technology on public exposure to electromagnetic fields : 2020-2023 measurement campaign review”
  - Voor het eerst was er een uitgebreid onderzoek naar de evolutie van het blootstellingsniveau van 5G (onder 6 GHz) waarbij meer dan 7500 geaccrediteerde in situ metingen in Frankrijk werden gepresenteerd. Het blootstellingsniveau ligt ver onder de grenswaarden voor elektromagnetische velden. Bovendien is het blootstellingsniveau aan breedband tussen 2020 en 2023 gestegen met 0,27 V/m (beginnend bij 1,53 V/m), terwijl het blootstellingsniveau van de 5G NR 3500 MHz-band verhoogd is met 0,34 V/m (vanaf 0,08 V/m). Sinds de start van de 5G-technologie is het aantal gebruikers langzaam toegenomen bij 8% van de metingen leverde 5G de grootste bijdrage.
- Teruo Onishi, “Monitoring of EMF Exposure Levels by Japanese National Project”
  - Monitoringresultaten in Japan met behulp van o.a. puntmetingen en metingen met auto's (41000 km sinds 2021-222-2023) in de 5 jaar looptijd werden voorgesteld. Dit gaat om een Japans project voor het monitoren van blootstelling aan elektromagnetische velden (EMF). De niveaus in Japan voldoen aan de nationale richtlijnen (eveneens 5G werd opgemeten). De resultaten van deze metingen zullen worden gebruikt voor risicocommunicatie en epidemiologische onderzoeken
- Stuart Henderson, “Comparison of RF EME surveys in Melbourne, Australia – how has the RF EME environment changed from 2011 to 2022?”
  - De toename van het gebruik van RF -apparaten heeft geleid tot een toenemende publieke perceptie van blootstelling en zorgen over mogelijke gevolgen voor de gezondheid. In maart en april 2022 werd een meetcampagne uitgevoerd om de RF stralingsniveaus op te meten en te karakteriseren op vijftig locaties in het grootstedelijk gebied van Melbourne. Signalen in het frequentiebereik 100 kHz tot 6 GHz werd gedetecteerd Het hoogst gemeten totale RF -niveau was 2,85 mW/m<sup>2</sup>. Dit is 0,14% van de relevante Australische limiet. Uit de resultaten bleek dat radiosignalen de grootste bijdrage leverden aan de metingen RF EME-niveaus op 30 locaties in de buitenwijken, terwijl downlinksignalen van mobiele telefoonmasten de grootste bijdrage leverden op de andere 20 locaties.
- Carolina Calderon “In-situ radiofrequency electromagnetic field measurements around 5G macro base stations in the UK”
  - De UK Health Security Agency (UKHSA) voerde een meetcampagne uit om de blootstelling van mensen aan radiofrequentie (RF) signalen te kwantificeren van 5G-basisstations voor mobiele telefoons in Groot-Brittannië, waar momenteel 5G-netwerken actief zijn. De kanaalvermogensmetingen worden uitgevoerd volgens drie scenario's: inactief, streaming en snelheidstest (IEC 62232:2022-norm) De verzamelde gegevens duiden op blootstelling aan 5G basisstations bevinden zich onder de 3% van de publieke referentieniveaus van ICNIRP, zelfs met maximum dataverkeer.

- Nicolas Loizeau “In-depth exposure assessment to extremely low frequency magnetic fields (ELF- MF) in Switzerland between 2021 and 2023 in numerous public areas, in transport and in private homes”
  - Blootstelling aan extreem laagfrequente magnetische velden (ELF-MV) is alomtegenwoordig in ons dagelijks leven. In deze studie werd een uitgebreid overzicht gegeven van ELF-MV blootstelling voor de Zwitserse bevolking op typische plaatsen waar langdurig verblijf plaatsvindt tussen 2021 en 2023. De mediaan van de ELF-MV-blootstellingen is het hoogst in treinen (mediaan: 0,44  $\mu$ T), in treinstations (mediaan: 0,38  $\mu$ T) en in woningen nabij hoogspanningslijnen van 220 en 380 kV (mediaan: 0,33  $\mu$ T). Systematische protocollen en controles om ELF-MF-blootstelling van hoogspanningslijnen te monitoren relevant zijn.

## Individuele artikels

- Kenneth Deprez, “High-Voltage Power Line Magnetic Field Monitoring: A Sensor Solution”
  - Dit artikel stelt een prototype ELF (extreem laagfrequente) meetsensor voor die magnetische 50-Hz velden bij zowel 0.4 als 100 uT nauwkeurig kan opmeten. Deze lage-kost sensor kan uitgerold worden om ELF straling te meten gedurende lange periodes. Hiervoor werd in samenwerking met Departement Omgeving een circuit ontworpen, antennes geselecteerd en gebeurde verificatie en kalibratie. Als validatie werd er bij een hoogspanningslijn en cabine gemeten en een goede overeenkomst met een gouden standaard (commerciële meetprobe) werd bekomen.
- Jeroen Van der Straeten, “Design of a low-cost triaxial 5G RF-EMF exposure sensor”
  - Dit artikel stelt een nieuwe triaxiale 5G meetsensor voor (3300-4200 MHz) die nauwkeurig het totale 5G veld kan opmeten. Deze sensor werd gekalibreerd in labo en in situ getest. Met deze sensor werden metingen uitgevoerd in een kantooromgeving (commercieel basisstation) en buiten bij een privaat 5G basisstation. Deze sensor kan gebruikt worden om 5G straling gedurende langere periodes in bv. een stad op te meten (smart city context).
- Gernot Schmid “Transient ELF and LF magnetic fields inside electric and conventional vehicles measured at standstill”
  - In dit artikel werden stralingsmetingen in elf elektrische auto’s en 2 conventionele auto’s besproken. De magnetische velden veroorzaken significante blootstelling wanneer gemeten werd volgens de ICNIRP aanbevelingen. Er wordt geconcludeerd dat de laagfrequentstralingsblootstelling van passagiers meer in beschouwing moet worden genomen.
- Rene Hirtl “ELF and LF magnetic field assessment on electric scooters and motorcycles”
  - Dit artikel onderzoekt ELF en laagfrequent stralingsblootstelling van elektrische scooters en motorfietsen. Dit is een studie waar hetzelfde onderzoeksinstituut als bovenstaande studie van G. Schmid bij betrokken is. Hoge immissies werden opgemeten, voor 3 van de vier voertuigen werd de blootstellingsindex (199/519/EC) overschreden, en voor één voertuig die van ICNIRP 2010. Numerieke berekeningen van de geïnduceerde elektrische veldsterkte in het lichaam moeten uitgevoerd worden om te onderzoeken of aan de basisrestricties voldaan wordt.

- M. Ziane, “Reflectivity-based skin equivalent phantom: towards a novel concept for APD evaluation”
  - Dit artikel stelt een nieuwe methode voor om de grootheid “absorbed power density APD” (geabsorbeerde vermogendichtheid bij frequenties boven 6 GHz gedefinieerd in ICNIRP 2020) op te meten. Met behulp van invallende E-veld metingen en infraroodmetingen kan de APD gereconstrueerd worden. Dergelijk dosimetrieonderzoek is belangrijk om in de toekomst praktische metingen bij mm-golven te kunnen uitvoeren.
- Francesca Lodato, “Planning 5G non-public network in a real hospital-case scenario: a ray tracing simulation study”
  - De installatie van 5G niet-openbare netwerken lijkt zeer geschikt voor zorgomgevingen. Vanwege de 5G-signaalkarakteristieken is echter eerst een optimalisatiestudie noodzakelijk vooraleer ze te introduceren in de klinische praktijk. Een ray tracing-analyse werd hier voorgesteld voor een scenario in een echt ziekenhuis, waarbij de planning wordt gemaakt van een 5G niet-openbaar netwerk.
- Peter Gajsek, “The role of different time averaged loads on extremely low frequency magnetic fields around high-voltage power lines in Slovenia”
  - Om berekeningen van ELF straling rond hoogspanningsleidingen voor Slovenië mogelijk te maken werd een 3D methode ontwikkeld om het langetermijngemiddelde van ELF velden te bepalen. Deze methode biedt een snel hulpmiddel om bepaalde ELF-waarden voor het grondgebied van het land voor elke gewenste belasting van het elektriciteitsdistributienetwerk te berekenen. Deze url geeft stralingskaarten in Slovenië; <https://inis.si/karta/>
- Carla di Paola, “EMF assessment based on actual output power of 5G base stations in a stadium with 100,000 people”
  - In dit onderzoek zijn de uitgangsvermoggenniveaus van negen 5G-basisstations die zich binnen de Melbourne Cricket Ground bevonden, opgemeten tijdens de grote finale van de Australian Football League 2023 met meer dan 100.000 aanwezigen (volledige stadioncapaciteit). Dit gebeurde onder extreem hoog mobiel verkeer en hoge gebruikersdichtheid. De resultaten laten zien dat onder deze uitzonderlijke omstandigheden verkeersomstandigheden het werkelijke tijdsgemiddelde uitgangsvermogen per bundelrichting onder het geconfigureerde maximale vermogen lag met gemiddelde en 95<sup>ste</sup> percentiel waarden van respectievelijk 7,6% en 9,5% van het maximum.
- Robin Wydaeghe, “Characterization of EMF hotspots for realistic exposure assessment in end-to-end simulations using a hybrid QuaDRiGa/FDTD tool”
  - Toekomstige 6G blootstelling werd hier voorspeld. Mobiele netwerken van de volgende generatie hebben een hogere antennedichtheid en hogere frequenties. Een hybride simulatietool werd hiervoor gebruikt. De hotspots werden gekarakteriseerd en blootstellingsstatistieken als functie van de tijd tijdens een wandeling door New York werden onderzocht en vergeleken met de ICNIRP-richtlijn.

## 6 GEBRUIKERTRENDS

Het gebruik van een bepaald mobiel toestel is sterk gecorreleerd met het tijdstip van de dag en de locatie waarop de gebruiker zich bevindt [Lexnet, 2015b]. Figuur 10 geeft een overzicht van het gebruik van de smartphone, laptop en tablet gedurende de dag. Figuur 11 geeft hetzelfde overzicht voor enkel de smartphone en de tablet.

De laptop wordt typisch binnenshuis gebruikt, zowel op kantoor als thuis. De tablet wordt bij voorkeur 's avonds en 's nachts gebruikt in de thuisomgeving, terwijl de smartphone de hele dag veelvuldig gebruikt wordt met een hoge piek tijdens het woon-werkverkeer.





## 6.1 IMEC-DIGIMETER

IMEC publiceert sinds 2009 jaarlijks het imec.digimeter rapport dat elk jaar het bezit en gebruik van media(technologie) bij Vlamingen in kaart brengt.

### 6.1.1 Editie 2015

De Digimeter van eind 2015 ondervroeg 2181 Vlamingen over het gebruik en bezit van media en ICT [Digimeter, 2015]. Uit dit rapport blijkt dat na jaren van sterke groei, de adoptie van tablets in Vlaanderen een plafond heeft bereikt op ongeveer 58% van de ondervraagden. Het feit dat de adoptie van tablets stagneert is een wereldwijde trend en vertaalt zich ook in de dalende verkoopcijfers van tablets (7.7%) ten opzichte van 2014. Daarnaast lijkt ook het gebruik van de tablet af te nemen. Waar in 2014 nog 69% van de tablet-bezitters dagelijks gebruik maakte van de tablet is dit aandeel gedaald naar 53% in 2015. De meeste gebruikers verbinden hun tablet met het internet via het WiFi thuisnetwerk (88%), via iemand anders WiFi thuisnetwerk i.e. een WiFi Fon spot of homespot of via een publieke hotspot in bijvoorbeeld een station of de luchthaven (15%). Slecht 1 op 10 maakt gebruik van het mobiele internet op hun tablet en 6% verbindt hun tablet niet draadloos met het internet.

Wat de mobiele telefoon betreft, zien we een zeer sterke adoptie van de smartphone. Ongeveer 7 op 10 Vlamingen heeft zijn traditionele GSM ingeruild voor een smartphone (ten opzichte van 57% in 2014). De smartphone wordt ook veelvuldig gebruikt. 27% van de smartphone-bezitters gebruikt hem minder dan 1 uur per dag, 32% 1 tot 3 uur per dag en 34% gebruikt de smartphone meer dan 34%. Dit komt mede door de zogenaamde 'over-the-top' (OTT) diensten zoals Facebook Messenger, Whatsapp en Snapchat. Hun gebruik vormt een aanvulling op de traditionele SMS maar blijkt daar absoluut geen complete vervanger te zijn. Het gebruik van SMS blijft stabiel op 70% ten opzichte van 2014. Het dagelijks gebruik van OTT diensten blijkt wel te stijgen. 0.3% van de ondervraagden die niet in het bezit waren van een smartphone gaven als reden aan dat dit was uit schrik voor gezondheidseffecten zoals straling en tinnitus. Dezelfde reden werd aangehaald door 1.6% van de ondervraagden die niet langer in het bezit van een smartphone (maar die er dus vroeger wel één in het bezit hadden).

Tot slot zien we ook voor het eerst wearables opduiken in het Digimeter rapport. 8% van de Vlamingen is het bezit van ten minste 1 type wearable. De meest populaire zijn het slimme sporthorloge (4%) die de sportprestatie (afstand, snelheid, duur, route, hartslag, etc.) van de gebruiker bijhouden, de slimme armband (2%) zoals de fitnessbanden die de lichamelijke beweging doorheen de dag bijhouden en de slimme horloge (2%) die geconnecteerd is met het internet en waarom bepaalde apps (zoals navigatie, agenda, notificaties voor inkomende telefoongesprekken en berichten, etc.) geïnstalleerd kunnen worden. Ongeveer 4% van de Vlamingen geeft aan wel een dergelijke wearable aan te komen in de nabije toekomst. Later in dit rapport (Sectie 4.2) wordt uitgebreid ingegaan op het huidige aanbod aan wearables.

Op basis van de resultaten van het Digimeter rapport waarschuwen de onderzoekers ook voor ‘digibesitas’ waarbij men te kampen krijgt met een teveel aan tijd die gespendeerd wordt aan digitale momenten of toepassingen [Digibesitas, 2015]. Smartphone, laptop, tablet, desktop en TV zijn allemaal tijdrovende gewoontes. Om al deze activiteiten in 24 gecomprimeerd te krijgen, moet de gebruiker gaan multitasken waardoor als snel de grenzen van het vermogen om informatie te verwerken bereikt worden. Vooral de millenials en de zogenaamde ‘digital natives’, mensen die zijn opgegroeid in een digitale omgevingen, zijn hier kwetsbaar voor omdat ze zich van jongs af aan reeds deze tijdrovende gewoontes hebben eigen gemaakt. Meer voorlichting op school of op het werk, alsook kinderen op een bewuste manier met digitale media leren omgaan, zou een oplossing kunnen bieden.

### 6.1.2 Editie 2016

De inzichten van de imec.digimeter 2016 zijn gebaseerd op de bevraging van 2.164 Vlamingen van 15 jaar of ouder [Digimeter, 2016]. Wij sommen hierbij de belangrijkste bevindingen op die relevant zijn voor het onderwerp van dit rapport.

32% van alle ondervraagden heeft minstens 4 slimme toestellen in hun huishouden. Dit is een stijging met 9% ten opzichte van 2015. Onder slimme toestellen verstaan ze computer of laptop, tablet, smartphone, smart TV en smart wearable. In de leeftijdscategorie van 15 tot 59 jaar wordt de smartphone het intensiefst gebruikt. De adoptiegraad van de smartphone heeft zich verder gezet tot 74% (i.e., 3 op 4 Vlamingen). In 2014 had nog ongeveer de helft van de ondervraagden die in het bezit was van een mobiele telefoon een klassieke GSM. WiFi wordt het frequentst gebruikt om de smartphone te connecteren met het internet. 7 op 10 van de Vlaamse smartphone eigenaars heeft een abonnement voor 3G of 4G mobiel internet. Slechts 2% van de smartphone eigenaars connecteert hun smartphone nooit met een ander toestel of het internet. Ongeveer de helft van de smartphone eigenaars gebruikt hun toestel meer dan 3 uur per dag; 18.4% beweert zelfs een gebruik van minstens 8 uur per dag. Meer dan 1 op 3 Vlamingen zou van al hun slimme toestellen hun smartphone het minst kunnen missen.

Wat het gebruik van communicatiediensten betreft, toont de Digimeter dat het dagelijks gebruik van SMS en berichten applicaties zoals Whatsapp en Facebook messenger stabiel is gebleven ten opzichte van 2015. 7 op 10 Vlamingen verzendt dagelijks een SMS. De jonge gebruikers (15 tot 19 jaar) gaan echter enkel SMSen verzenden wanneer andere berichten applicaties niet beschikbaar zijn. Daarnaast gaan ze ook vaker video gaan gebruiken tijdens hun telefoongesprekken. 45.0% van de Vlamingen voert dagelijks telefoongesprekken via het mobiele netwerk en slechts 13.2% via het traditionele telefoonnetwerk. Het aantal mobiele telefoongesprekken is de laatste jaren niet significant veranderd.

Het gebruik van slimme wearables is in 2016 bijna verdubbeld ten opzichte van 2015. Ongeveer 13.2% van de Vlamingen is in het bezit van een dergelijk toestel. Voorbeelden van slimme wearables zijn het slimme sporthorloge (6%), de activiteitstracker (4.4%), de smartwatch (3.8%), footpod (0.8%), slimme kledij (0.4%), slimme brillen (0.2%).

### 6.1.3 Editie 2017

De inzichten van de imec.digimeter 2017 zijn gebaseerd op de bevraging van 2345 Vlamingen van 15 jaar of ouder [Digimeter, 2017]. Wij sommen hierbij de belangrijkste bevindingen op die relevant zijn voor het onderwerp van dit rapport.

De algemene trends in media en ICT adoptie van de afgelopen jaren blijken zich verder te zetten in 2018. Zo blijkt de smartphone nog steeds aan gebruikers te winnen. 77,7% van de ondervraagden is in het bezit van een smartphone. Dit is een stijging met 3,8 procentpunten tot opzicht van 2016. Het verschil in adoptie tussen de 'klassieke' mobiele telefoon en de smartphone is sinds 2014 voortdurend toegenomen. Minder dan een derde van de Vlaamse bevolking beschikt nog over een gsm (31,3%), wat een significante daling is ten opzichte van vorig jaar (-4,5 procentpunten). De belangrijkste reden om geen smartphone aan te schaffen, is omdat de ondervraagden geen toegevoegde waarde zien in vergelijking met de klassieke mobiele telefoon. Slechts 4.4% van de ondervraagden die niet in het bezit zijn van een mobiele telefoon had schrik voor gezondheidsproblemen. Zij die vroeger in het bezit waren van een smartphone maar nu niet meer geven als belangrijke reden aan dat ze slechte ervaringen hebben met de smartphone. Zo willen ze niet meer altijd en overal bereikbaar zijn, zien ze geen toegevoegde waarde in vergelijking met de klassieke mobiele telefoon en vonden ze de smartphone ook te duur (zowel in aankoop als in abonnementskosten). Sommige respondenten ontwikkelden zelfs een aversie tegen smartphones.

pagina 85 van 109

### 6.1.4 Editie 2018

De inzichten van de imec.digimeter 2018 zijn gebaseerd op de bevraging van 4547 Vlamingen van minstens 16 jaar [Digimeter, 2018]. Wij sommen hierbij de belangrijkste bevindingen op die relevant zijn voor het onderwerp van dit rapport.

96% van de Vlamingen is in het bezit van een mobiele telefoon (GSM of smartphone). Dit is een zeer kleine daling ten opzichte van vorig jaar toen nog 97% van de Vlamingen in het bezit was van één of beide toestellen. Net zoals in de voorbije jaren is het bezit van de smartphone (van 78% naar 81%) er nog verder op vooruitgegaan. De andere toestellen, zoals TV en laptop, hebben hun plafond al enkele jaren bereikt, net zoals de tablet. Voor het eerst zijn er zelfs meer 65-plussers in het bezit zijn van een smartphone (52%) dan van een GSM (50%), ook in het segment 55 tot 64-jarigen bezit acht op de tien een smartphone. De belangrijkste redenen om geen smartphone te bezitten zijn: een GSM is voor mij voldoende (41%), ik heb een ander toestel om internet te gebruiken zoals een computer of tablet (31%) en een smartphone kost te veel (26%). Slechts 2% van de Vlamingen die niet in het bezit is van een smartphone geeft aan dat hij of zij bezorgd is om zijn gezondheid (bv. oorsuizen, stralingsgevaar).

Desondanks dat meer en meer Vlamingen in het bezit van een smartphone betekent dit niet dat de wereldwijde verkoopcijfers ook stijgen. De smartphone blijkt tegen een plafond te botsen: de afgelopen vier kwartalen lagen de verkoopcijfers telkens lager dan in hetzelfde kwartaal een jaar eerder. De belangrijkste reden hiervoor is wellicht dat het innovatietempo bij smartphones vertraagt. Nieuwe toestellen zijn vaak niet meer dan een upgrade van het vorige model, zonder echte vernieuwing. Desalniettemin is de smartphone nog steeds de technologie die de Vlaming niet kan missen (45%), gevolgd door de computer (29%) en de tablet (6%). Deze trend is ook meer uitgesproken dan vorig jaar (45% versus 39% in 2017). Niet alleen het bezit van de smartphone stijgt, maar ook het gebruik wordt steeds intensiever met het risico op digibesitas zoals we reeds vermelden in editie 2015 van de Digimeter. Eén op vijf smartphonegebruikers geef aan per dag minstens vijf uur zijn/haar toestel te gebruiken versus één op acht in 2017. Bij de 16 tot 24-jarigen gebruikt zelfs één op twee de smartphone minstens vijf uur per dag.

Qua berichtendiensten is e-mail nog steeds de belangrijkste dienst, gevolgd door SMS. Ongeveer 51% van de ondervraagden geeft aan nog dagelijks gebruik te maken van SMS. Daarna volgen online berichtendiensten zoals Facebook messenger en Whatsapp (37% en 41%).

Een segment waarin wel nog volop groei zit is dat van de wearables door enerzijds een groeiende interesse in het monitoren van gezondheidsaspecten zoals hartslag, beweging en slaappatronen en anderzijds de dalende prijs van smartwatches. Het bezit van een wearable is het grootst bij de 35 tot 44-jarigen (30% versus 28% in 2017). De grootste stijging situeert zich bij de 25 tot 34-jarigen: van 27% in 2017 naar 36% in 2018. Daar waar de smartwatch en de slimme polsband of activiteitstracker constant gebruikt wordt (60% en 64%, respectievelijke) wordt het slimme sporthorloge vooral gebruikt tijdens het sporten (66%). Slechts 44% van de bezitters geeft aan het slimme sporthorloge constant te gebruiken.

### 6.1.5 Editie 2019

In 2019 namen maar liefst 2754 Vlamingen boven de 16 jaar deel aan de Digimeter bevraging [Digimeter, 2019]. Wij sommen hier de belangrijkste bevindingen op die relevant zijn voor het onderwerp van dit project.

Alle Vlaamse huishoudens zijn momenteel smart en connected. Hiermee wordt bedoeld dat 98% beschikt over een internetverbinding en voor het eerst in de geschiedenis van de Digimeter bezitten alle Vlamingen ook over minstens één smart toestel. Deze laatste kan een computer, tablet, smartphone, smart TV of wearable zijn. 75% van de Vlamingen beschikt zelfs over drie of meer toestellen wat een stijging met 8 procentpunten is ten opzichte van vorig jaar. Bij de meest







connectiviteit of toestellen te kort om iedereen binnen het huishouden online te zijn op de momenten waarop ze dat wensen of verondersteld worden te zijn. Daarvoor zijn er in 19% van de huishoudens nog steeds schermen te kort en heeft 20% en 18% van de Vlamingen respectievelijk niet het gewenste vaste of mobiele internetabonnement omdat men zich dat niet kan veroorloven. Sinds 2016 is de smartphone het meest onmisbare toestel voor persoonlijk gebruik en dit is ook dit jaar nog steeds het geval. Door de digitale versnelling van de afgelopen jaren zijn we voor zowat alle aspecten van ons leven – zoals werk, school, shoppen en gezondheid – online platformen gaan omarmen. Deze platformen gebruiken doorgaans een mobiele app als toegangspoort. Het is dus zeker niet alleen het verknocht zijn aan sociale media, chat of andere sociale en/of entertainment apps die de voorkeur voor de smartphone verklaren. De dagelijkse gemiddelde schermtijd lijkt gestabiliseerd op zo'n drie uur per dag per Vlaming. Een vierde van deze schermtijd gaat naar sociale media, 15% naar chat apps en 10% naar video apps.

De kennis van de Vlaming omtrent een concept als 5G is er sterk op vooruit gegaan. 5G is intussen door bijna iedereen gekend (94%, stijging met 3 procentpunten t.o.v. 2022) en 58% van de Vlamingen kan het ondertussen ook uitleggen.

## 6.2 GEBRUIKERSTRENDEN TIJDENS DE CORONACRISIS IN 2020

In 2020 werd België, net zoals de rest van de wereld, getroffen door de corona crisis. Om de verdere verspreiding van het corona virus tegen te gaan, werden in België twee lockdowns afgekondigd. De eerste lockdown liep van ongeveer halfweg maart tot begin mei waarin heel België op slot ging: de bevolking werd geacht thuis te blijven, scholen, winkels en horeca gingen dicht en ook de landsgrenzen werden gesloten. De tweede lockdown startte begin oktober en is momenteel nog steeds lopende, maar is een stuk minder streng waarin bijv. de bevolking nog steeds niet-essentiële verplaatsingen mag uitvoeren. Tijdens beide lockdowns werd thuiswerk verplicht waar mogelijk. Deze lockdowns leidden tot een recordjaar voor het internetverkeer. Halfweg december 2020 publiceerde Telenet een lijst met de meest markante trends voor zowel het vaste als het mobiele netwerk [Corona, 2020]. In normale tijden neemt het internetverkeer elk jaar met ongeveer 30% toe. Telenet zag dit jaar echter op 10 maanden tijd een verdubbeling van deze trend. Er werd ongeveer 60% meer gesurfd en gedownload dan in 2019. Op 21 maart werd een eerste record gebroken met een gemeten volume van 2.6 Tbps. Ter vergelijking, dit komt overeen met het downloaden van 170.000 foto's op 1 seconde tijd. Zowel in november als in december werd dit record opnieuw gebroken. Op 15 december bereikte het verkeer over het netwerk de kaap van 3 Tbps, te vergelijken met het downloaden maar liefst 190.000 foto's op 1 seconde tijd. Telenet verwachtte deze piek pas te bereiken in 2022.

Hoewel de laatste jaren het grootste deel van het internetverkeer te wijten is aan streaming, zag Telenet in het afgelopen jaar een verschuiving in deze trend. Zo werd er 43% meer gesurfd (vermoedelijk te linken aan online shopping, thuiswerk en het online lesgeven). Door het verplichte thuiswerken verliepen er ongeveer 83% meer videocalls over het netwerk. Ook de sociale media zag 30% meer verkeer passeren.

Opmerkelijk is wel dat het mobiele dataverkeer niet meer is gestegen dan de voorbije jaren. In totaal nam dit toe met 30% ten opzichte van 2019, wat in de lijn van verwachtingen ligt. De lockdownperiodes van maart en november tekenen wel duidelijk een dip af in mobiele data, gezien veel mensen de voorkeur geven aan het gebruik van het wifi-netwerk thuis in plaats van 4G. Hoewel het mobiele dataverkeer elk jaar stijgt, daalt het aantal telefoongesprekken elk jaar. Vooral bij de eerste lockdown in maart waren er ongeveer 40% meer telefoonoproepen op het vaste netwerken en 20% meer op het mobiele netwerken dan op een normale werkdag. Onze gesprekken sinds de coronacrisis duren daarbij ongeveer dubbel zo lang als voorheen.



- |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [5Gdebat, 2020]       | <a href="https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2020/04/27/proximus-wil-in-dialoog-gaan-met-tegenstanders-5g/">https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2020/04/27/proximus-wil-in-dialoog-gaan-met-tegenstanders-5g/</a><br><a href="https://www.rtl.be/info/vous/temoignages/5g-anti-5g-deux-professeurs-d-universite-repondent-a-toutes-vos-questions-1213684.aspx">https://www.rtl.be/info/vous/temoignages/5g-anti-5g-deux-professeurs-d-universite-repondent-a-toutes-vos-questions-1213684.aspx</a><br><a href="https://www.hln.be/nieuws/binnenland/-is-het-nu-effectief-gevaarlijk-en-hoe-betrouwbaar-zijn-de-studies-die-de-ronde-doen-op-sociale-media-al-uw-vragen-over-5g-beantwoord~a5799d02/">https://www.hln.be/nieuws/binnenland/-is-het-nu-effectief-gevaarlijk-en-hoe-betrouwbaar-zijn-de-studies-die-de-ronde-doen-op-sociale-media-al-uw-vragen-over-5g-beantwoord~a5799d02/</a><br>Laatste toegang: Juni 2020. |
| [5GObservatory, 2019] | <a href="http://5gobservatory.eu/5g-trial/major-european-5g-trials-and-pilots/">http://5gobservatory.eu/5g-trial/major-european-5g-trials-and-pilots/</a> , laatste toegang: Januari 2020.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| [5Gvliegtuigen, 2022] | <a href="https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2022/11/24/5g-vliegtuigen/">https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2022/11/24/5g-vliegtuigen/</a> , laatste toegang: Januari 2023.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| [802.11ah, 2016]      | IEEE Computer Society, <i>IEEE Draft Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Amendment 2: Sub 1 GHz License Exempt Operation</i> , January 2016.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| [Aerts, 2013]         | S. Aerts, D. Plets, L. Verloock, L. Martens, W. Joseph, <i>Assessment and comparison of total RF-EMF exposure in femtocell and macrocell base station scenarios</i> , Radiation Protection Dosimetry, 2013.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| [Aerts, 2015a]        | S. Aerts, D. Plets, A. Thielens, L. Martens, W. Joseph, <i>Impact of a small cell on the RF-EMF exposure in a train</i> , International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 12, No. 3, pp. 2639-2652, 2015.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| [Aerts, 2015b]        | S. Aerts, W. Joseph, L. Colussi, J. Kamer, L. Martens, J. Bolte, <i>Interpolation in between road measurements in RF-EMF exposure assessment</i> , The Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society European Bioelectromagnetics Association (BioEM), California, USA, June 2015.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| [Aerts, 2015c]        | S. Aerts, L. Diez, L. Rodríguez de Lope, R. Agüero, G. Vermeeren, L. Martens, W. Joseph, <i>Optimal dosimeter deployment in an urban area for wideband RF-EMF exposure assessment</i> , The Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society European Bioelectromagnetics Association (BioEM), California, USA, June 2015.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| [Aerts, 2017]         | Sam Aerts, Carolina Calderon, Blaz Valic, Matthias Van Den Bossche, Leen Verloock, Myron Maslanyj, Darren Addison, Peter Gajsek, Luc Martens, and Wout Joseph. 2017. <i>Emissions of electric and magnetic fields at intermediate frequencies by household appliances</i> . BIOEM conference, Hangzhou, China, S02-5.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| [Aerts, 2018a]        | Sam Aerts, Joe Wiart, Luc Martens, Wout Joseph, <i>Long-term spatio-temporal RF-EMF exposure assessment in a sensor network</i> , BioEM 2018, Piran, Portoroz, Slovenia, Juni 2018.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| [Aerts, 2018b]        | Sam Aerts, Leen Verloock, Matthias Van Den Bossche, Ximena Vergara, Luc Martens, Wout Joseph, <i>Characterization of the</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

- |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | <p><i>exposure due to smart-home devices and other residential RF sources</i>, BioEM 2018, Piran, Portoroz, Slovenia, June 2018.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| [Aerts, 2019a]            | <p>Sam Aerts, Leen Verloock, Matthias Van Den Bossche, Luc Martens, Ximena Vergara, Wout Joseph, <i>Emissions from smart meters and other residential radiofrequency sources</i>, Health Physics, Vol. 116, No. 6, June 2019, pp. 776-788.</p>                                                                                                                                                                                                 |
| [Aerts, 2019b]            | <p>Sam Aerts, Leen Verloock, Matthias Van Den Bossche, Davide Colombi, Luc Martens, Christer Törnevik, Wout Joseph, <i>In-situ Measurement Methodology for the Assessment of 5G NR Massive MIMO Base Station Exposure at Sub-6 GHz Frequencies</i>, IEEE Access, Vol. 7, 2019, pp. 184658-184667.</p>                                                                                                                                          |
| [AGC, 2022]               | <p><a href="https://www.agc.com/en/news/detail/1202831_2814.html">https://www.agc.com/en/news/detail/1202831_2814.html</a>, laatste toegang: juli 2022.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| [AgentschapTelecom, 2019] | <p><a href="https://www.agentschaptelecom.nl/actueel/nieuws/2019/09/24/metingen-bij-5g-testlocaties-binnen-de-limiet">https://www.agentschaptelecom.nl/actueel/nieuws/2019/09/24/metingen-bij-5g-testlocaties-binnen-de-limiet</a>, laatste toegang: Januari 2019.</p>                                                                                                                                                                         |
| [Agoria, 2020]            | <p><a href="https://www.agoria.be/nl/5G?utm_campaign">https://www.agoria.be/nl/5G?utm_campaign</a>, laatste toegang: Juni 2020</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| [Amez, 2020]              | <p>Simon Amez, Suncica Vujic, Lieven De Marez, Stijn Baert, <i>Smartphone Use and Academic Performance: First Evidence from Longitudinal Data</i>, GLO Discussion Paper Series 438, Global Labor Organization (GLO).</p>                                                                                                                                                                                                                       |
| [Aminzadeh, 2016]         | <p>Reza Aminzadeh, Arno Thielens, Haolin Li, Carole Leduc, Maxim Zhadobov, Guy Torfs, Johan Bauwelinck, Luc Martens, and Wout Joseph. 2016. <i>Personal exposimeter for radio frequency exposure assessment in the 60-GHz band</i>. BIOEM conference, Ghent, Belgium, PB-48.</p>                                                                                                                                                               |
| [Aminzadeh, 2017]         | <p>Reza Aminzadeh, Arno Thielens, Patrick Van Torre, Sam Agneessens, Matthias Van Den Bossche, Stefan Dongus, Marloes Eeftens, Anke Huss, Roel Vermeulen, Rene De Seze, Paul Mazet, Elisabeth Cardis, and Hendrik Rogier, Martin Roösli, Luc Martens, and Wout Joseph. 2017. <i>Effect of human body morphology on measurement uncertainty of a multi-band body-worn distributed-exposimeter</i>. BIOEM conference, Hangzhou, China, S02-4</p> |
| [ANFR, 2019a]             | <p>Agence Nationale des Fréquences, <i>Rapport technique sur les niveaux de champs électromagnétiques créés par un Equipment Radio Linky (ERL)</i>, Juli 2019.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| [ANFR, 2019b]             | <p>Agence Nationale des Fréquences, <i>Étude de l'exposition du public aux ondes radioélectriques : Analyse des résultats de mesures d'exposition du public aux ondes radiofréquences des compteurs Linky réalisées entre juin et décembre 2018 dans le cadre du dispositif national de surveillance</i>, Oktober 2019.</p>                                                                                                                    |
| [ANFR, 2020]              | <p>Agence Nationale des Fréquences, <i>Analyse des résultats de mesures d'exposition du public aux ondes radiofréquences des compteurs Linky réalisées en 2019 dans le cadre du dispositif national de surveillance</i>, Mai 2020.</p>                                                                                                                                                                                                         |
| [ANFR, la maison]         | <p><a href="https://www.anfr.fr/contrôle-des-fréquences/exposition-du-public-aux-ondes/la-maison-anfr/">https://www.anfr.fr/contrôle-des-fréquences/exposition-du-public-aux-ondes/la-maison-anfr/</a></p>                                                                                                                                                                                                                                     |





- |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [Conil, 2016]         | Emmanuel Conil. 2016. <i>In situ measurements of RF electromagnetic field exposure of general public in France in 2014</i> . BIOEM conference, Ghent, Belgium, S10-4.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| [Corona, 2020]        | <a href="https://press.telenet.be/corona-en-lockdowns-resulteren-in-recordjaar-voor-internet--en-belverkeer">https://press.telenet.be/corona-en-lockdowns-resulteren-in-recordjaar-voor-internet--en-belverkeer</a> , laatste toegang: Januari 2021.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| [COSTIC1004, 2013]    | COST IC1004, <i>Cost IC1004 White Paper on Scientific Challenges Towards 5G Mobile Communications</i> , December 2013, <a href="http://www.ic1004.org/uploads/Documents/COST%20IC1004%20White%20Paper%20on%20Mobile%20Comms%20Challenges%20owards%205G%20%20-%202013.pdf">http://www.ic1004.org/uploads/Documents/COST%20IC1004%20White%20Paper%20on%20Mobile%20Comms%20Challenges%20owards%205G%20%20-%202013.pdf</a>                                                                                                                                                                                                                                     |
| [Cui, 2024]           | Zhuangzhuang Cui, Franco Minucci, Rizqi Hersyandika, Rodney Martinez Alonso, Andrea P. Guevara, Hazem Sallouha, Sofie Pollin, "Electric Field Evaluation of Reconfigurable Intelligent Surface in Wireless Networks", " <a href="https://arxiv.org/abs/2402.13132">https://arxiv.org/abs/2402.13132</a> , 2024.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| [DASH7Alliance, 2016] | <a href="http://www.dash7-alliance.org/">http://www.dash7-alliance.org/</a> , laatste toegang: December 2016.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| [Datanews, 2020]      | <a href="https://datanews.knack.be/ict/nieuws/cegeka-en-citymesh-blij-met-tijdelijke-5g-gebruiksrechten/article-news-1561973.html?utm_source=Newsletter-06/02/2020&amp;utm_medium=Email&amp;utm_campaign=Newsletter-RNB DATANNL&amp;cel_hash=c0d332045ef764e5005ae2f6697965fbe1e9e049&amp;M_BT=4657732012643">https://datanews.knack.be/ict/nieuws/cegeka-en-citymesh-blij-met-tijdelijke-5g-gebruiksrechten/article-news-1561973.html?utm_source=Newsletter-06/02/2020&amp;utm_medium=Email&amp;utm_campaign=Newsletter-RNB DATANNL&amp;cel_hash=c0d332045ef764e5005ae2f6697965fbe1e9e049&amp;M_BT=4657732012643</a> , laatste toegang: Juni 2020.        |
| [Datanews, 2021a]     | <a href="https://datanews.knack.be/ict/nieuws/de-sutter-mikt-op-70-procent-5g-dekking-tegen-midden-2023/article-news-1684945.html?cel_hash=c0d332045ef764e5005ae2f6697965fbe1e9e049&amp;chts=1610025463&amp;utm_source=Newsletter-07/01/2021&amp;utm_medium=Email&amp;utm_campaign=Newsletter-RNB DATANNL&amp;">https://datanews.knack.be/ict/nieuws/de-sutter-mikt-op-70-procent-5g-dekking-tegen-midden-2023/article-news-1684945.html?cel_hash=c0d332045ef764e5005ae2f6697965fbe1e9e049&amp;chts=1610025463&amp;utm_source=Newsletter-07/01/2021&amp;utm_medium=Email&amp;utm_campaign=Newsletter-RNB DATANNL&amp;</a> , laatste toegang: Januari 2021. |
| [Datanews, 2021b]     | <a href="https://datanews.knack.be/ict/nieuws/slimme-meters-teruggefloten-omdat-ze-elektrogevoelige-personen-niet-beschermen-update/article-news-1679247.html">https://datanews.knack.be/ict/nieuws/slimme-meters-teruggefloten-omdat-ze-elektrogevoelige-personen-niet-beschermen-update/article-news-1679247.html</a> , laatste toegang: Juli 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| [Datanews, 2021c]     | <a href="https://datanews.knack.be/ict/nieuws/regering-van-start-met-kennis-en-leerplatform-voor-5g/article-news-1728033.html?cel_hash=fa116a395a586fa078bf93b19ee45fcb3fc26aa6&amp;chts=1619612943&amp;utm_source=Newsletter-28/04/2021&amp;utm_medium=Email&amp;utm_campaign=Newsletter-RNB DATANNL">https://datanews.knack.be/ict/nieuws/regering-van-start-met-kennis-en-leerplatform-voor-5g/article-news-1728033.html?cel_hash=fa116a395a586fa078bf93b19ee45fcb3fc26aa6&amp;chts=1619612943&amp;utm_source=Newsletter-28/04/2021&amp;utm_medium=Email&amp;utm_campaign=Newsletter-RNB DATANNL</a> , laatste toegang: juli 2021.                      |
| [Datanews, 2021d]     | <a href="https://datanews.knack.be/ict/nieuws/citymesh-krijgt-eindelijk-nationale-5g-licentie/article-news-1731077.html?cel_hash=c0d332045ef764e5005ae2f6697965fbe1e9e049&amp;chts=1620302416&amp;utm_source=Newsletter-06/05/2021&amp;utm_medium=Email&amp;utm_campaign=Newsletter-RNB DATANNL">https://datanews.knack.be/ict/nieuws/citymesh-krijgt-eindelijk-nationale-5g-licentie/article-news-1731077.html?cel_hash=c0d332045ef764e5005ae2f6697965fbe1e9e049&amp;chts=1620302416&amp;utm_source=Newsletter-06/05/2021&amp;utm_medium=Email&amp;utm_campaign=Newsletter-RNB DATANNL</a> , laatste toegang: juli 2021.                                  |
| [Datanews, 2024]      | <a href="https://datanews.knack.be/nieuws/telecom/vierde-telecomoperator-digi-lanceert-morgen/">https://datanews.knack.be/nieuws/telecom/vierde-telecomoperator-digi-lanceert-morgen/</a> , laatste toegang: december 2024.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

- |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [De Santis, 2017]      | Valerio De Santis, Tommaso Campi, Silvio Cruciani, and Mauro Feliziani. 2017. <i>Numerical characterization of the exposure level in electrical vehicles equipped with a Wireless Power Transfer system</i> . BIOEM conference, Hangzhou, China, S04-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| [deMiguelBilbao, 2016] | Silvia de Miguel-Bilbao, M. Dolores Marcos, and Victoria Ramos González. 2016. <i>Experimental assessment about electromagnetic fields measurements in IoT environments</i> . BIOEM conference, Ghent, Belgium, PA-71.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| [Deruyck, 2013]        | M. Deruyck, W. Joseph, B. Lannoo, D. Colle, L. Martens, <i>Designing Energy-Efficient Wireless Access Networks: LTE and LTE-Advanced</i> , IEEE Internet Computing, Vol. 17, No. 5, 2013, pp. 39-45.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| [Deruyck, 2016a]       | M. Deruyck, E. Tanghe, D. Plets, L. Martens, W. Joseph, <i>Optimizing LTE Wireless Access Networks towards Power Consumption and Electromagnetic Exposure of Human Beings</i> , Elsevier Computer Networks, Vol. 94, pp. 29-40, January 2016.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| [Deruyck, 2016b]       | Margot Deruyck, Jorg Wyckmans, Luc Martens, Wout Joseph, <i>Emergency Ad-Hoc Networks by Using Drone Mounted Base Stations for a Disaster Scenario</i> , 12 <sup>th</sup> IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), Oktober 2016, pp. 1-7.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| [Deruyck, 2016c]       | Margot Deruyck, Daniela Renga, Michela Meo, Luc Martens, Wout Joseph, <i>Reducing the impact of solar energy shortages on the wireless access network powered by a PV panel system and the power grid</i> , 27 <sup>th</sup> Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), September 2016.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| [Deruyck, 2017]        | Margot Deruyck, Alberto Marri, Silvia Mignardi, Luc Martens, Wout Joseph, Roberto Verdone, <i>Performance Evaluation of the Dynamic Trajectory Design of an Unmanned Aerial Base Station in a Single Frequency Network</i> , 28 <sup>th</sup> Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), Oktober 2017.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| [Destandaard, 2015]    | <a href="http://www.standaard.be/cnt/dmf20151126_01990810">http://www.standaard.be/cnt/dmf20151126_01990810</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| [DeTijl, 2021]         | <a href="https://www.tijd.be/ondernemen/telecom/vlaanderen-klaar-voor-uitrol-5g-brussel-en-wallonie-nog-niet/10301047.html">https://www.tijd.be/ondernemen/telecom/vlaanderen-klaar-voor-uitrol-5g-brussel-en-wallonie-nog-niet/10301047.html</a> , laatste toegang: juli 2021.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| [Digibesitas, 2015]    | <a href="http://www.standaard.be/cnt/dmf20160113_02066688">http://www.standaard.be/cnt/dmf20160113_02066688</a><br><a href="http://www.hln.be/hln/nl/4124/Multimedia/article/detail/2584454/2016/01/14/Vlaming-heeft-last-van-nieuw-fenomeen-digibesitas.dhtml">http://www.hln.be/hln/nl/4124/Multimedia/article/detail/2584454/2016/01/14/Vlaming-heeft-last-van-nieuw-fenomeen-digibesitas.dhtml</a><br><a href="http://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20160114_02067301">http://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20160114_02067301</a><br><a href="http://deredactie.be/cm/vrtnieuws/cultuur%2Ben%2Bmedia/media/1.2545984">http://deredactie.be/cm/vrtnieuws/cultuur%2Ben%2Bmedia/media/1.2545984</a> |
| [Digimeter, 2015]      | B. Vanhaelewyn, G. Pauwels, P. De Wolf, T. Accou, L. De Marez in cooperation with K. Vervoort, M. Criel, N. Blanckaert, E. Blancke, "digiMeter: Measuring digital media trends in Flanders – Aug-Oct 2015", December 2015, <a href="https://www.iminds.be/nl/inzicht-in-digitale-technologie/digimeter/2015">https://www.iminds.be/nl/inzicht-in-digitale-technologie/digimeter/2015</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |



- |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [EPRI, 2011]          | EPRI, <i>Characterization of Radiofrequency Emissions From Two Models of Wireless Smart Meters</i> , Technical report, 2011.                                                                                                                                                                                                                     |
| [EPRI, 2020]          | S. Aerts, M. Van den Bossche, X. Vergara, S. Odie, L. Verloock, L. Martens, W. Joseph, <i>Spatial and temporal assessment of radiofrequency electromagnetic fields emitted by smart meters and smart meter banks in urban environments</i> , Environmental Research, accepted 2020.                                                              |
| [ERK, 2022]           | Europese Rekenkamer, Persbericht 24 januari 2022, <a href="https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/INSR22_03/INSR_Security-5G-networks_NL.pdf">https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/INSR22_03/INSR_Security-5G-networks_NL.pdf</a> , laatste toegang: juli 2022.                                                                    |
| [Flore, 2016]         | Dino Flore, <i>Evolution of LTE in Release 13</i> , February 2015, <a href="http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1628-rel13">http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1628-rel13</a> <a href="http://www.3gpp.org/images/presentations/3GPP_Standards_for_IoT.pdf">http://www.3gpp.org/images/presentations/3GPP_Standards_for_IoT.pdf</a> |
| [Foerster, 2017]      | Milena Foerster, Arno Thielens, Wout Joseph, Martin Rösli, <i>Decrease in adolescents' figural memory performance associated with cumulative brain dose over one year</i> , BIOEM conference, Hangzhou, China, S03-4.                                                                                                                            |
| [Foerster, 2018]      | Milena Foerster, Arno Thielens, Wout Joseph, Marloes Eeftens, Martin Rösli, <i>A Prospective Cohort Study of Adolescents' Memory Performance and Individual Brain Dose of Microwave Radiation from Wireless Communication</i> , Environmental Health Perspectives, Vol. 126, No. 7, July 2018.                                                   |
| [Fuentes, 2013]       | M. Fuentes, E. Garro, C. Garcia-Pardo, D. Gomez-Barquero, N. Cardona, <i>Coexistence of LTE and DVB Technologies in the Digital Dividend Band. A contribution to transmission parameters optimization</i> , 9th COST IC1004 MCM Meeting, Ferrara, Italy, February 5-7, 2014, TD (14)09042.                                                       |
| Goegebeur et al. 2024 | S. Goegebeur, K. Deprez, D. Colombi, J. E. Bischoff, C. Di Paola, B. Stroobandt, L. Verloock, S. Aerts, C. Törnevik, W. Joseph, "A Comparative Study of In Situ Methodologies for RF EMF Exposure Assessment from an Indoor 5G Base Station in FR2", <i>IEEE Access</i> , accepted 2024                                                          |
| [GH, 2020]            | <a href="https://www.const-court.be/public/n/2020/2020-162n-info.pdf">https://www.const-court.be/public/n/2020/2020-162n-info.pdf</a> , laatste toegang: Juli 2021.                                                                                                                                                                              |
| [GH, 2021]            | <a href="https://www.const-court.be/public/n/2021/2021-005n.pdf">https://www.const-court.be/public/n/2021/2021-005n.pdf</a> , laatste toegang: Juli 2021.                                                                                                                                                                                        |
| [Gresits, 2016]       | Ivan Gresits, Peter Necz, Noemi Nagy, and György Thuroczy. 2016. <i>Indoor RF exposure assessment in urban area conducted by personal RF exposimeter</i> . BIOEM conference, Ghent, Belgium, PA-61.                                                                                                                                              |
| [GSMA, 2016]          | GSMA Spectrum, 5G Spectrum: Public policy position, November 2016, <a href="https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2016/06/GSMA-5G-Spectrum-PPP.pdf">https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2016/06/GSMA-5G-Spectrum-PPP.pdf</a>                                                                                             |
| [Guraliuc, 2017]      | Anda Guraliuc, Maxim Zhadobov, Ronan Sauleau, Loic Marnat, and Laurent Dussopt. 2017. <i>User exposure in forthcoming 5G phone call and browsing scenarios in the 60-GHz band</i> . BIOEM conference, Hangzhou, China, S04-5.                                                                                                                    |
| [HaLow, 2016]         | <a href="http://www.theverge.com/2016/1/4/10691400/new-wifi-halow-standard-announced-iot-ces-2016">http://www.theverge.com/2016/1/4/10691400/new-wifi-halow-standard-announced-iot-ces-2016</a> , January 2016.                                                                                                                                  |

- [HaLow, 2019] <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-halow>, laatste toegang: Juni 2019.
- [HLN, 2021] <https://www.hln.be/binnenland/burgercommissie-pleit-voor-5g-loze-zones-in-brussel-om-milieu-impact-in-kaart-te-kunnen-brengen~a1fb7fa9/>, laatste toegang: juli 2021.
- [Hoof-MATE, 2019] <https://www.imec-int.com/en/what-we-offer/research-portfolio/hoof-mate>, laatste toegang: Juni 2019.
- [Hur, 2014a] S. Hur, Y.-J. Cho, K. Lee, J.-H. Ko, J. Park, *Millimeter-wave Channel Modeling based on Measurements in In-Building and Campus Environments at 28 GHz*, 10th COST IC1004 MCM Meeting, Aalborg, Danmark, May 26-28, 2014, TD (14)10053.
- [Hur, 2014b] S. Hur, Y.-J. Cho, T. Kim, J. Park, *Millimeter-wave Channel Modeling based on Measurements in In-building, Campus, and Urban Environments at 28 GHz*, 11th COST IC1004 meeting, Krakow, Poland, September 24-26, 2014, TD (14)11029.
- [Hur, 2014c] S. Hur, Y. Chang, B. Kim, J. Park, *mmWave Channel Modeling Based on 3D Ray-Tracing in Urban Environments*, 11th COST IC1004 meeting, Krakow, Poland, September 24-26, 2014, TD (14)11030.
- [Hybrid, 2015] <http://www.tdf-group.com/news/press-release/world%E2%80%99s-first-trials-of-lte-broadcast-simultaneously-in-paris-and-aosta>  
<http://www.broadbandtvnews.com/2015/04/15/tdf-and-rai-launch-first-lte-a-broadcast-trials/>  
<http://www.gatesair.com/media-center/news/gatesair-tower-overlay-demonstrates-over-the-air-broadcasting-and-lte-a-con>
- [ICNIRP, 2020] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), *RF EMF Guidelines 2020*, Maart 2020, <https://www.icnirp.org/en/activities/news/news-article/rf-guidelines-2020-published.html>, laatste toegang: Juni 2020.
- [IEC, 2017] International Electrotechnical Commission, "IEC 62232:2017 Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure." 2017. <https://www.ingenu.com>, Juni 2017.
- [Ingenu, 2017] In The Pocket, *The State of Mobile: A Year Report on Consumer Trends and Technological Advancements in the Mobile Space*, Oktober 2014, <http://www.inthepocket.be/state-of-mobile>.
- [Insteon, 2017a] <http://www.insteon.net/pdf/insteondetails.pdf>, Juni 2017
- [Insteon, 2017b] <http://cache.insteon.com/pdf/INSTEONCompared.pdf>, Juni 2017
- [Insteon, 2017c] <http://cache.insteon.com/pdf/insteondetails.pdf>, Juni 2017.
- [Joseph, 2020] <https://www.demorgen.be/meningen/elektromagnetische-straling-van-5g-er-is-geen-reden-tot-paniek~b642bc2a/>  
<https://www.eoswetenschap.eu/technologie/5g-straling-kaart-gebracht>  
Laatste toegang: Juni 2020.
- [Joshi, 2015] P. Joshi, B. Thors, D. Colombi, C. Tornevik, *Power level distributions of RBS equipment and user devices in a 3G mobile communication network in India*, The Annual Meeting of Bioelectromagnetics

- |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | Society European Bioelectromagnetics Association (BioEM), California, USA, June 2015.                                                                                                                                                                                          |
| [Jovicic, 2013]      | A. Jovicic, J. Li, T. Richardson, <i>Visible Light Communication: Opportunities, Challenges and the Path to Market</i> , IEEE Communications Magazine, Vol. 51, No. 12, 2013, pp. 26-32.                                                                                       |
| [Karunatilaka, 2015] | D. Karunatilaka, F. Zafar, V. Kalavally, R. Parthiban, <i>LED Based Indoor Visible Light Communication: State of the Art</i> , IEEE Communication surveys & tutorials, Vol. 17, No. 3, 2015, pp. 1649-1678                                                                     |
| [Kopacz, 2017]       | Thomas Kopacz, Christian Bornkessel, Matthias Hein, and Dirk Heberling. 2017. <i>Investigation of LTE user equipment transmit power control and comparison of uplink exposure between small and macro cell environment</i> . BIOEM conference, Hangzhou, China, S02-3.         |
| [Koymen, 2014]       | O. Koymen, A. Partyka, S. Subramanian, J. Li, <i>Indoor mm-Wave Channel Measurements: Comparative Study of 2.9 GHz and 29 GHz</i> , 11th COST IC1004 meeting, Krakow, Poland, September 24-26, 2014, TD (14)11066.                                                             |
| [Kühn, 2017]         | Sven Kühn, Serge Pfeifer, Pedro Crespo-Valero, and Niels Kuster. 2017. <i>Novel electromagnetic safety test system for 5G millimeter wave near-field sources</i> . BIOEM conference, Hangzhou, China, S13-3.                                                                   |
| [Lambert, 2015]      | S. Lambert, M. Deruyck, W. Van Heddeghem, B. Lannoo, W. Joseph, D. Colle, M. Pickavet, P. Demeester, <i>Post-peak ICT: Graceful degradation for communication networks in an energy constrained future</i> , IEEE Communications Magazine, Vol. 53, No. 11, 2015, pp. 166-174. |
| [Larsson, 2014]      | C. Larsson, F. Harryson, B.-E. Olsson, J.-E. Berg, <i>An Outdoor-to-Indoor Propagation Scenario at 28 GHz</i> , 9th COST IC1004 MCM Meeting, Ferrara, Italy, February 5-7, 2014, TD (14)09023.                                                                                 |
| [Lexnet, 2015a]      | <a href="http://www.lexnet.fr">http://www.lexnet.fr</a> , laatste toegang: December 2018.                                                                                                                                                                                      |
| [Lexnet, 2015b]      | LEXNET (Low EMF Exposure Future Networks), <i>Life Segmentation, ICT usage and SAR data for the Exposure Index evaluation</i> .                                                                                                                                                |
| [Liorni, 2017]       | Ilaria Liorni, Myles Capstick, Sven Kühn, and Niels Kuster. 2017. <i>Novel approach for compliance testing with basic restrictions of exposure to gradient magnetic fields generated by Wireless Power Transfer systems</i> . BIOEM conference, Hangzhou, China, S04-3         |
| [LoRaAlliance, 2015] | LoRa Alliance – Technical Marketing Workgroup 1.0, <i>A technical overview of LoRa and LoRaWAN</i> , November 2015.                                                                                                                                                            |
| [LoRaAlliance, 2016] | <a href="http://lora-alliance.org/">http://lora-alliance.org/</a> , laatste toegang: December 2016                                                                                                                                                                             |
| [LTEAdvPro, 2016]    | 3GPP, <i>3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 13)</i>                                         |
| [Lutron, 2018]       | <a href="http://www.lutron.com/en-US/Pages/default.aspx">http://www.lutron.com/en-US/Pages/default.aspx</a> , laatste toegang: December 2018.                                                                                                                                  |
| [Magne, 2016]        | Isabelle Magne, Martine Souques, Isabelle Bureau, Anne Duburcq, Emmanuel Remy, and Jacques Lambrozo. 2016. <i>Personal exposure</i>                                                                                                                                            |

- of children to ELF magnetic fields in France: results of the EXPERS study. BIOEM conference, Ghent, Belgium, S8-5.
- [Maltsev, 2014] A. Maltsev, A. Pudseyev, I. Karls, I. Bolotin, G. Morozov, W. Keusgen, R.J. Weiler, M.P.M. Danchenko, A. Kuznetsov, *Quasi-Deterministic Approach to MmWave Channel Modeling in the FP7 MiWEBA Project*, 11th COST IC1004 meeting, Krakow, Poland, September 24-26, 2014, TD (14)11065.
- [Matalatala, 2017] Michel Matalatala, Margot Deruyck, Emmeric Tanghe, Luc Martens, Wout Joseph, *Performance evaluation of 5G millimeter-wave cellular access networks using a capacity-based deployment tool*, Mobile Information Systems, Vol. 2017, doi: 10.1155/2017/3406074.
- [Matalatala, 2018] Michel Matalatala, Margot Deruyck, Emmeric Tanghe, Sotirios Goudos, Luc Martens, Wout Joseph, *Joint optimization towards power consumption and electromagnetic exposure for Massive MIMO 5G Networks*, IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, Bologna, Italy, September 2018.
- [Matalatala, 2020] Michel Matalatala, Sergei Shikantsov, Margot Deruyck, Emmeric Tanghe, David Plets, Sotirios Goudos, Luc Martens, Wout Joseph, *Combined Ray-tracing/FDTD and Network planner methods for the design of massive MIMO networks*, IEEE Access, Vol. 8, 2020, pp. 206371-206378.
- [METAS, 2020] Federal Institute of Metrology METAS, *Technical Report: Measurement Method for 5G NR Base Stations up to 6 GHz v2.0*, February 2020.
- [Metis, 2015] <https://www.metis2020.com/>
- [Mobistar, 2016] <https://business.mobistar.be/nl/professionals/get-inspired/news/hot-news/ook-op-kantoor-een-perfect-bereik>, laatste toegang: December 2016.
- [Mohler, 2009] E. Mohler, P. Frei, A. Aydin, A. Bürgi, M. Rösli, *Personal exposure to high-frequency electromagnetic fields in the region of Basel (Switzerland): an overview of the Qualifex study*, Umweltmedizin in Forschung und Praxis, Vol. 14, 2009, pp. 329-338.
- [Monicow, 2018a] <https://www.imec-int.com/nl/articles/monicow-zet-belangrijke-stap-richting-efficintere-monitoring-van-melkvee>, laatste toegang: Juli 2018.
- [Monicow, 2018b] [https://www.imec-int.com/drupal/sites/default/files/inline-files/ICON\\_resultleaflet\\_MoniCow\\_FINAL\\_WEB.pdf](https://www.imec-int.com/drupal/sites/default/files/inline-files/ICON_resultleaflet_MoniCow_FINAL_WEB.pdf), laatste toegang: Juli 2018.
- [Moro, 2021] E. Moro, I. Filippini, A. Capone, D. De Donno, *Planning Mm-Wave Access Networks with Reconfigurable Intelligent Surfaces*, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2021.
- [Motorola, 2019] <https://www.theverge.com/2019/2/16/18227951/motorola-5g-moto-mod-fcc-millimeter-wave-proximity-z3-pro>, laatste toegang: Juni 2019.
- [Muller, 2014] R. Müller, D. A. Dupleich, S. Häfner, R. Herrmann, C. Schneider, J. Luo, R. S. Thomä, *Ultra-Wideband Millimetre-Wave Measurements*

- |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | at 70 GHz in an Outdoor Scenario for Future Cellular Networks, 11th COST IC1004 meeting, Krakow, Poland, September 24-26, 2014, TD (14)11050.                                                                                                                                                                    |
| [MulteFire, 2016]  | <a href="http://www.multefire.org/">http://www.multefire.org/</a> , laatste toegang: December 2016.                                                                                                                                                                                                              |
| [MWF, 2021]        | Mobile & Wireless Forum, <i>Implications for Mobile Communications Infrastructure of Arbitrary Radio Frequency Exposure Limits</i> , 2019.                                                                                                                                                                       |
| [Myhrvold, 2012]   | N.P. Myhrvold, K. Caldeira, <i>Greenhouse gases, climate change and the transition from coal to low carbon electricity</i> , Environmental Research Letters, Vol. 7, No. 1, 2012.                                                                                                                                |
| [Nokia, 2016]      | Nokia, <i>White paper: LTE evolution for IoT connectivity</i> , 2016, <a href="http://resources.alcatel-lucent.com/asset/200178">http://resources.alcatel-lucent.com/asset/200178</a>                                                                                                                            |
| [NWAVE, 2017]      | <a href="http://www.nwave.io">http://www.nwave.io</a> , Juni 2017.                                                                                                                                                                                                                                               |
| [NRB, 2024]        | <a href="https://www.nrb.be/nl/over/nieuws/proximus-sluit-akkoord-met-nrb-en-verwerft-bijkomend-5g-spectrum">https://www.nrb.be/nl/over/nieuws/proximus-sluit-akkoord-met-nrb-en-verwerft-bijkomend-5g-spectrum</a> , laatste toegang januari 2025.                                                              |
| [Oestges, 2014]    | C. Oestges, <i>Experimental Validation of Ray-Tracing at 12 and 30 GHz</i> , 11th COST IC1004 meeting, Krakow, Poland, September 24-26, 2014, TD (14)11002.                                                                                                                                                      |
| [Onishi, 2017]     | Teruo Onishi, Daisuke Funahashi, Iyama Takahiro, and Akimasa Hirata. 2017. <i>Near-field exposure assessments of power density above 6 GHz</i> . BIOEM conference, Hangzhou, China, S02-2.                                                                                                                       |
| [Orange, 2017]     | <a href="https://orange.prezly.com/orange-belgium-new-iot-network-reaches-100-coverage-to-support-massive-internet-of-things-solutions">https://orange.prezly.com/orange-belgium-new-iot-network-reaches-100-coverage-to-support-massive-internet-of-things-solutions</a>                                        |
| [Orange, 2019]     | <a href="https://corporate.orange.be/en/news-medias/orange-belgium-first-launch-5g-testing-hub-business-belgium-orange-industry-40-campus">https://corporate.orange.be/en/news-medias/orange-belgium-first-launch-5g-testing-hub-business-belgium-orange-industry-40-campus</a> , laatste toegang: Januari 2020. |
| [Orange_LUX, 2019] | <a href="http://corporate.orange.lu/fr/actualites/dans-les-starting-blocks-pour-le-lancement-de-la-5g">http://corporate.orange.lu/fr/actualites/dans-les-starting-blocks-pour-le-lancement-de-la-5g</a> , laatste toegang: Januari 2020.                                                                         |
| [Peyman, 2017]     | Azadeh Peyman. 2017. <i>Exposure of people to IoT Smart Meter devices</i> . BIOEM conference, Hangzhou, China, W2-5.                                                                                                                                                                                             |
| [PHE, 2017]        | Azadeh Peyman, Darren Addison, Terry Mee, Cristian Goiceanu, Myron Maslanyj, Simon Mann, <i>Exposure to electromagnetic fields from smart utility meters in GB; part I) laboratory measurements</i> , BioElectroMagnetics, March 2017.                                                                           |
| [PHE, 2018]        | Nishtha Chopra, Darren Addison, Carolina Calderon, Myron Maslanyj and Azadeh Peyman, <i>Exposure to electromagnetic fields from smart meter technologies in Great Britain (Phase 3): On-site measurements in homes</i> , BioEM 2018, Piran, Portoroz, Slovenia, June 2018.                                       |
| [Pokovic, 2017]    | Katja Pokovic, Andreas Christ, Theodoros Samaras, Mark Douglas, and Niels Kuster. 2017. <i>Methods and instrumentation for reliable experimental SAR assessment at 6 – 10 GHz</i> . BIOEM conference, Hangzhou, China, S13-4.                                                                                    |
| [Proximus, 2016]   | <a href="http://www.proximus.be/nl/id_cr_mobcov_extend/particulieren/online-producten/mobile/catr-mequip/mobile-coverage-extender.html">http://www.proximus.be/nl/id_cr_mobcov_extend/particulieren/online-producten/mobile/catr-mequip/mobile-coverage-extender.html</a> , laatste toegang: December 2018.      |



- microenvironments in Europe: a systematic literature review. BIOEM conference, Hangzhou, China, S13-1.
- [Salous, 2014] S. Salous, V. Degliespoti, M. Nekovee, S. Hur, *Millimeter-wave Propagation Characterization and Modelling towards 5G Systems*, 10th COST IC1004 MCM Meeting, Aalborg, Denmark, May 26-28, 2014, TD (14)10091
- [Santander, 2016] Dosimeter network: <http://mu.tlmat.unican.es:5000/lexnet/dmapsantander.html>, laatste toegang: December 2016  
Volledig netwerk: <http://maps.smartsantander.eu/>, laatste toegang: December 2018
- [Sasaki, 2017] Kensuke Sasaki, Jerdvisanop Chakarothei, Iyama Takahiro, Teruo Onishi, and Soichi Watanabe. 2017. *A Study on back-propagation technique for compliance assessment of power density in millimeter-wave frequency*. BIOEM conference, Hangzhou, China, S13-2.
- [Sciensano, 2020] <https://www.sciensano.be/en/press-corner/5g-technology-fact-check>, laatste toegang: Juni 2020
- [Sebastiao, 2012] D. Sebastiao, M. Branco, C. Oliveira and L. M. Correia, *Usage of mobile phones and concerns on electromagnetic radiations of Portuguese youngsters*, ICNIRP 7th International NIR Workshop 2012.
- [Semaan, 2014] E. Semaan, F. Harrysson, A. Furuskär, H. Asplund, *Outdoor-to-Indoor Coverage in High Frequency Bands*, 11th COST IC1004 meeting, Krakow, Poland, September 24-26, 2014, TD (14)11025.
- [Shi, 2015] Yi Shi, *LTE-V: A Cellular-Assisted V2X Communication Technology*, ITU Workshop, Beijing, China, July 2015.
- [Shikhantsov, 2018] Sergei Shikhantsov, Arno Thielens, Günter Vermeeren, Emmeric Tanghe, Piet Demeester, Guy Torfs, Luc Martens, Wout Joseph, *Industrial indoor massive MIMO human EM-exposure evaluation*, BioEM 2018, Piran, Portoroz, Slovenia, June 2018.
- [Shikhantsov, 2020] S. Shikantsov et al., *Ray-Tracing-Based Numerical Assessment of the Spatiotemporal Duty Cycle of 5G Massive MIMO in an Outdoor Environment*, Applied Sciences, Vol. 10, No. 21, pp. 7631, October 2020, doi: 10.3390/app10217631.
- [Sigfox, 2016] <http://www.sigfox.com>, laatste toegang: December 2016.
- [Signals, 2021] Signals Research Group, *All Things 5G NR mmWave*, January 2021.
- [Signify, 2019] <https://www.trends.lighting/signify-roll-out-global-lifi-pilot>, laatste toegang: Juni 2019.
- [Smartlighting, 2019] <https://www.imec-int.com/en/imec-magazine/imec-magazine-november-2019/imec-and-nokia-bell-labs-collaborate-on-smart-streetlights>, laatste toegang: Januari 2020.
- [Sommerkorn, 2014] G. Sommerkorn, M. Käske, C. Schneider, S. Häfner, R. Thomä, *Full 3D MIMO Channel Sounding and Characterization in an Urban Macro Cell*, 10th COST IC1004 MCM Meeting, Aalborg, Denmark, May 26-28, 2014, TD (14)10042.
- [SON, 2018] <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/105-son>, laatste toegang: December 2018.
- [Struchen, 2015] B. Struchen, J. Fischer, M. Eeftens, M. Foerster, K. Roser, A. Schoen, M. Roosli, *Personal radiofrequency measurement campaigns in 6 European countries with GERoNiMO Project: First*

- results from Switzerland, The Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society European Bioelectromagnetics Association (BioEM), California, USA, June 2015.
- [Struchen, 2016] Benjamin Struchen, Katharina Roser, Benjamin Schwob, Noemi Meier, Jonas Fischer, Marloes Eeftens, and Martin Roosli. 2016. *Personal RF-EMF exposure in Switzerland: Differences in Exposure between Adolescents, Parents, young Adults and community types*. BIOEM conference, Ghent, Belgium, S8-1.
- [Sudan, 2015] M. Sudan, R. Hareuveny, M. Halgamuge, Y. Yaffe, Y. Tzabari, D. Namir, L. Kheifets, *Characterization of extremely low frequency magnetic fields from diesel, gasoline and hybrid cars under controlled conditions*, The Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society European Bioelectromagnetics Association (BioEM), California, USA, June 2015.
- [TechFirst, 2020] <https://www.forbes.com/sites/johnkoetsier/2020/06/11/5g-radiation-levels-9-comparables-from-everyday-life/>  
<https://johnkoetsier.com/are-5g-cellular-networks-safe-or-are-they-dangerous-to-humans-animals-and-the-environment/>  
Laatste toegang: Juni 2020
- [Telenet, 2016] <http://www2.telenet.be/nl/business/inspiratie/engie-m2m-telenet-ontwikkelen-iot/>, laatste toegang: December 2016.
- [Telenet, 2020] [https://datanews.knack.be/ict/nieuws/telenet-trekt-dinsdag-de-stekker-uit-analoge-radio/article-news-1561995.html?utm\\_source=Newsletter-06/02/2020&utm\\_medium=Email&utm\\_campaign=Newsletter-RNBDAANL&cel\\_hash=c0d332045ef764e5005ae2f6697965fbe1e9e049&](https://datanews.knack.be/ict/nieuws/telenet-trekt-dinsdag-de-stekker-uit-analoge-radio/article-news-1561995.html?utm_source=Newsletter-06/02/2020&utm_medium=Email&utm_campaign=Newsletter-RNBDAANL&cel_hash=c0d332045ef764e5005ae2f6697965fbe1e9e049&), laatste toegang: Juni 2020
- [Telenet, 2022] <https://press.telenet.be/telenet-rondt-de-verkoop-van-haar-mobiele-zendmastactiviteiten-af#:~:text=Eind%20maart%20dit%20jaar%20bereikte,1x%20EV%2FEBITDAaL%2020212>, Laatste toegang: Juli 2022.
- [Terragraph, 2018] <https://terragraph.com/#terragraph>  
Whitepaper, [https://terragraph.com/wp-content/themes/terragraph/static/doc/Terragraph\\_MikebudaTrial\\_Whitepaper.pdf](https://terragraph.com/wp-content/themes/terragraph/static/doc/Terragraph_MikebudaTrial_Whitepaper.pdf)  
Laatste toegang: December 2018.
- [Thielens, 2016] Arno Thielens, Aaron Pozzolo, Luc Dekoninck, Leen Verloock, Jos Knockaert, Dick Botteldooren, Luc Martens, and Wout Joseph. 2016. *Co-exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields and sound pressure in industrial environments: Temporal measurements near power transformers*. BIOEM conference, Ghent, Belgium, PA-77.
- [Thors, 2017] Björn Thors, Anders Furuskär, Davide Colombi, Christer Törnevik, *Time-Averaged Realistic Maximum Power Levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio Base Stations Using Massive MIMO*, IEEE Access, Vol. 5, pp.19711-19719, 2017.
- [Toptenreviews, 2018] <https://www.toptenreviews.com/mobile/accessories/best-cell-phone-boosters/>, laatste toegang: December 2018.
- [TUEindhoven, 2017] Technische Universiteit Eindhoven, *Wifi met lichtstralen: meer dan 40 Gbit/s, en nooit overbelast*,

- |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | <a href="https://www.tue.nl/universiteit/nieuws-en-pers/nieuws/17-03-2017-wifi-met-lichtstralen-meer-dan-40-gbits-en-nooit-overbelast/#top">https://www.tue.nl/universiteit/nieuws-en-pers/nieuws/17-03-2017-wifi-met-lichtstralen-meer-dan-40-gbits-en-nooit-overbelast/#top</a> , Maart 2017.                                                                                                                                                |
| [Unger, 2007]           | P. Unger, M. Schack, T. Kurner, <i>Minimizing the Electromagnetic Exposure Using Hybrid (DVB-H/UMTS) Networks</i> , IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 53, No. 1, March 2007.                                                                                                                                                                                                                                                             |
| [Urbiniello, 2014]      | D. Urbiniello, W. Joseph, L. Verloock, L. Martens, M. Rösli, <i>Temporal trends of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure in everyday environments across European cities</i> , Environmental Research, Vol. 134, Oktober 2014, pp. 134-142.                                                                                                                                                                                  |
| [vanKruysbergen, 2016]  | Noud van Kruysbergen, <i>LTE Advanced Pro: 25 Gbit/s en het Internet of Things</i> , c't magazine voor computer techniek, Vol. 12, December 2016, <a href="http://www.ct.nl/artikelen/lte-advanced-pro-25-gbits-en-internet-things/15165/">http://www.ct.nl/artikelen/lte-advanced-pro-25-gbits-en-internet-things/15165/</a>                                                                                                                  |
| [Velmenni, 2015]        | <a href="http://velmenni.com/">http://velmenni.com/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| [Velmenni, 2019]        | <a href="https://medium.com/@velmenni/real-life-usage-of-li-fi-8056b5dcbac3">https://medium.com/@velmenni/real-life-usage-of-li-fi-8056b5dcbac3</a> ,<br><a href="https://issuu.com/spafax/docs/apex_8.2_webready_from_solisco_link_875f82845abefb/54">https://issuu.com/spafax/docs/apex_8.2_webready_from_solisco_link_875f82845abefb/54</a> , laatste toegang: Juni 2019.                                                                   |
| [Ventilus, 2022a]       | <a href="https://www.landbouwleven.be/14874/article/2022-09-30/ventilus-wordt-extra-gecheckt-door-duitse-professor">https://www.landbouwleven.be/14874/article/2022-09-30/ventilus-wordt-extra-gecheckt-door-duitse-professor</a> , laatste toegang: Januari 2023.                                                                                                                                                                             |
| [Ventilus, 2022b]       | <a href="https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2022/11/13/ventilus-zorgt-voor-spanningen-tussen-wetstraat-en-dorpsstraat/">https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2022/11/13/ventilus-zorgt-voor-spanningen-tussen-wetstraat-en-dorpsstraat/</a> , laatste toegang: Januari 2023.                                                                                                                                                                                 |
| [Vermeeren, 2016]       | Günter Vermeeren, Leen Verloock, Wout Joseph, and Luc Martens. 2016. <i>Compliance assessment of baby phones in the frequency range of 446 MHz to 2450 MHz</i> . BIOEM conference, Ghent, Belgium, PA-81.                                                                                                                                                                                                                                      |
| [Vermeeren, 2017]       | Gunter Vermeeren, Arno Thielens, Olivier Caytan, Guy Torfs, Piet Demeester, Johan Bauwelinck, Hendrik Rogier, Luc Martens, and Wout Joseph. 2017. <i>Radiofrequency exposure induced by an attocell of an ultra-high density access network</i> . BIOEM conference, Hangzhou, China, S13-5.                                                                                                                                                    |
| [Vermeeren, 2019]       | G. Vermeeren, M. Van Den Bossche, R. Aminzadeh, S. Aerts, P. Leroux, M. De Meyer, J. Bergs, A. Philippron, L. Martens, W. Joseph, "Exposure to radiofrequency electromagnetic fields induced by advanced metering infrastructure in an urban environment", The Joint Annual Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association: Abstract Collection, Montpellier, France, Jun 23-28, 2019, p. 233-237 |
| [Vlaams5G, 2019]        | <a href="https://www.standaard.be/cnt/dmf20191001_04639006">https://www.standaard.be/cnt/dmf20191001_04639006</a><br><a href="https://www.techzine.be/nieuws/infrastructure/46164/vlaandere-n-wil-uitrol-5g-zelf-starten/">https://www.techzine.be/nieuws/infrastructure/46164/vlaandere-n-wil-uitrol-5g-zelf-starten/</a><br>Laatste toegang: Januari 2020                                                                                    |
| [Vlaams5Gveiling, 2019] | <a href="https://www.techzine.be/blogs/infrastructure/46235/zo-wil-vlaanderen-5g-uitrollen-spectrum-voor-bedrijven-en-samenwerking-met-overheid/">https://www.techzine.be/blogs/infrastructure/46235/zo-wil-vlaanderen-5g-uitrollen-spectrum-voor-bedrijven-en-samenwerking-met-overheid/</a> , laatste toegang: Januari 2020.                                                                                                                 |
| [Vodafone, 2017]        | Vodafone, Narrowband-IoT: doorbreek de grenzen van IoT, 2017, White paper.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

- |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        | <a href="https://www.vodafone.nl/_assets/mgb/downloads/solutions/whitepaper-nb-iot.pdf">https://www.vodafone.nl/_assets/mgb/downloads/solutions/whitepaper-nb-iot.pdf</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| [VRT, 2019]            | <a href="https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2019/03/27/veiling-5g-licenties-op-de-lange-baan/">https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2019/03/27/veiling-5g-licenties-op-de-lange-baan/</a> , laatste toegang: Juni 2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| [VRTnws, 2021a]        | <a href="https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2021/06/22/inspraakreacties-vlaamse-stralingsnormen-5g/">https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2021/06/22/inspraakreacties-vlaamse-stralingsnormen-5g/</a> , laatste toegang: juli 2021.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| [VRTnws, 2021b]        | <a href="https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2021/07/23/brusselse-regering-geeft-groen-licht-voor-hogere-stralingsnorm/">https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2021/07/23/brusselse-regering-geeft-groen-licht-voor-hogere-stralingsnorm/</a> , laatste toegang: juli 2021.                                                                                                                                                                                                                                                   |
| [VRTnws, 2021c]        | <a href="https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2021/11/24/5g/">https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2021/11/24/5g/</a> , laatste toegang: december 2021.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| [VRTRadio, 2020]       | <a href="https://nl.wikipedia.org/wiki/Digital_Audio_Broadcasting">https://nl.wikipedia.org/wiki/Digital_Audio_Broadcasting</a> , laatste toegang: December 2020.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| [VRT, 2022a]           | <a href="https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2022/06/21/daar-is-de-vierde-mobiele-operator-voor-consumenten-belgisch-ro/">https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2022/06/21/daar-is-de-vierde-mobiele-operator-voor-consumenten-belgisch-ro/</a> , laatste toegang: juli 2022.                                                                                                                                                                                                                                                 |
| [VRT, 2022b]           | <a href="https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2022/06/21/een-nieuwe-mobiele-operator-en-iedereen-droomt-onmiddellijk-van/">https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2022/06/21/een-nieuwe-mobiele-operator-en-iedereen-droomt-onmiddellijk-van/</a> , laatste toegang: juli 2022.                                                                                                                                                                                                                                                 |
| [WAVES, 2019]          | L. Verloock, M. Van den Bossche, W. Joseph, <i>Elektrische veldmetingen van een digitale elektriciteitsmeter en een digitale gasmeter (In opdracht van Vlaamse Overheid Department Omgeving)</i> , Maart 2019, <a href="https://researchportal.be/nl/publicatie/elektrische-veldmetingen-van-een-digitale-elektriciteitsmeter-en-een-digitale-gasmeter">https://researchportal.be/nl/publicatie/elektrische-veldmetingen-van-een-digitale-elektriciteitsmeter-en-een-digitale-gasmeter</a>                    |
| [Wang, 2017]           | L. Wang, G. Vermeeren, M. Prim, W. Joseph, C. Ferrer, <i>Characterization and Implementation of in-to-out Body Wireless Sensor Data Transmission for Smaller Ruminants</i> , Proceedings of the 5 <sup>th</sup> International Symposium on Sensor Science, 1:847-847, MDPI AG, 2017.                                                                                                                                                                                                                          |
| [Weightless, 2017a]    | <a href="http://weightless.org">http://weightless.org</a> , Juni 2017.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| [Weightless, 2017b]    | <a href="http://usgroup.eu/wp-content/uploads/2013/02/Weightless-Specification-v0.8.pdf">http://usgroup.eu/wp-content/uploads/2013/02/Weightless-Specification-v0.8.pdf</a> , Juni 2017.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| [WerkgroepCH, 2021]    | <a href="https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/dossiers/bericht-arbeitsgruppe-mobilfunk-und-strahlung.html">https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/dossiers/bericht-arbeitsgruppe-mobilfunk-und-strahlung.html</a> , laatste toegang: Juli 2021.                                                                                                                                                                                                                       |
| [wifi6, 2019]          | <a href="https://www.theverge.com/platform/amp/2019/2/21/18232026/wi-fi-6-speed-explained-router-wifi-how-does-work?utm_campaign=theverge&amp;utm_content=chorus&amp;utm_medium=social&amp;utm_source=twitter&amp;twitter_impression=true">https://www.theverge.com/platform/amp/2019/2/21/18232026/wi-fi-6-speed-explained-router-wifi-how-does-work?utm_campaign=theverge&amp;utm_content=chorus&amp;utm_medium=social&amp;utm_source=twitter&amp;twitter_impression=true</a> , laatste toegang: Juni 2019. |
| [wifi6E, 2020]         | <a href="https://www.theverge.com/2020/4/23/21231623/6ghz-wifi-6e-explained-speed-availability-fcc-approval">https://www.theverge.com/2020/4/23/21231623/6ghz-wifi-6e-explained-speed-availability-fcc-approval</a><br><a href="https://itdaily.be/blogs/infrastructuur/wat-is-wifi-6/">https://itdaily.be/blogs/infrastructuur/wat-is-wifi-6/</a><br>Laatste toegang: December 2020                                                                                                                          |
| [WirelessM-Bus, 2017a] | <a href="http://www.emcu.it/WirelessMBUS/Wireless_M-BUS_Solutions_and_more.pdf">http://www.emcu.it/WirelessMBUS/Wireless_M-BUS_Solutions_and_more.pdf</a> , Juni 2017.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| [WirelessM-Bus, 2017b] | <a href="http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Wireless-M-Bus-tutorial.html">http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Wireless-M-Bus-tutorial.html</a> , Juni 2017.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| [Yin, 2023]            | B. Yin, W. Joseph, M. Deruyck, <i>RIS-Aided mmWave Network Planning Toward Connectivity Enhancement and Minimal</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

