

Small cells en massive MIMO een verkenning (deskresearch)

VERKENNING

Uitgebracht aan
Agentschap Telecom

Hilversum, 22-4-2019

Inhoudsopgave

1	Introductie.....	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	Doelstelling.....	3
1.3	Onderzoeksvragen en hoofdstukindeling.....	3
1.4	Scope van het onderzoek.....	4
1.5	Onderzoeksmethode	4
2	5G, small cells en massive MIMO	6
2.1	5G Algemeen	6
2.1.1	Pilots in Nederland	7
2.2	Small cells	9
2.2.1	Introductie small cells.....	9
2.2.2	Soorten small cells	10
2.2.3	Technische parameters	11
2.2.4	DAS versus small cells	15
2.3	Massive MIMO	16
2.3.1	Massive MIMO indoor en outdoor.....	18
2.3.2	Beamforming en massive MIMO	18
2.3.3	DAS versus massive MIMO	19
2.4	Samenvatting	20
3	Technische ontwikkelingen en trends	21
3.1	Trends en verwachtingen.....	21
3.1.1	Internationale trends	22
3.2	Capaciteit	23
3.3	Verdichting versus macro	25
	Frequenties.....	25
3.4	Schatting aantallen small cells.....	26
3.5	Samenvatting	27
4	Continuïteit bij stroomuitval en cyber security	28
4.1	Continuïteit bij stroomuitval	28
4.2	Cyber security	30
Annex A	Technische specificaties small cells en massive MIMO-antennes	31

1 Introductie

1.1 Aanleiding

In aanloop naar de uitrol van 5G-technologie in Nederland wil Agentschap Telecom de kennis over 5G-antennes bundelen en aanvullen met een schematisch overzicht van informatie over small cells en massive MIMO-antennes. Agentschap Telecom heeft Stratix gevraagd dit overzicht te verschaffen.

1.2 Doelstelling

Doel van het onderzoek is dat Agentschap Telecom objectieve antwoorden kan blijven geven op nieuwe vragen over 5G-antennes, in het bijzonder vragen over small cells en massive MIMO-antennes. Het is bedoeld om inzake de uitrol van deze 5G-antennes, kennis hierover te versterken en gericht antwoord te kunnen geven op vragen die in de maatschappij leven.

1.3 Onderzoeksvragen en hoofdstukindeling

Deze verkenning begint met een introductie van het onderzoek gevolgd door hoofdstukken die in algemene zin en in detail beantwoording geven op de onderzoeksvragen. Hoofdstuk 2, aangevuld door bijlage A, is het meest gedetailleerd en geeft antwoord op de eerste onderzoeksvraag *"Om welke soorten apparatuur gaat het bij small cells (inclusief LTE LAA en multefire) en massive MIMO-antennes?"*

Het beantwoorden van deze onderzoeksvraag bestaat uit het in kaart brengen van in de naaste toekomst beschikbare apparatuur voor small cells die aangeboden wordt door de grootste toeleveranciers aan de telecomproviders in Nederland (Ericsson, Nokia, Huawei, en ZTE). Op basis van beschikbare informatie maakten wij een overzicht met technische specificaties van de small cells, indien mogelijk geïllustreerd met afbeeldingen. Ook werd er gekeken naar de technische mogelijkheden van massive MIMO voor 5G en welke apparatuur in de toekomst kan worden verwacht.

Bij het maken van het overzicht is er gekeken naar:

- soorten small cells;
- frequentiebanden en
- vermogen;
- ondersteunde protocollen/toepassingen;
- gebruikelijke features en afhankelijkheden (cell afmetingen, etc.).

Aanvullende specificaties die van toepassing zijn voor het onderzoek zullen worden toegelicht.

De technische ontwikkelingen en trends (hoofdstuk 3) en continuïteit (hoofdstuk 4) worden in algemene termen beantwoord en zijn door middel van eigen expertise en quick-scan desk research uitgevoerd.

In hoofdstuk 3 beantwoorden we de tweede onderzoeksvraag: *"Inventariseer ervaringen met small cell toepassingen vanuit huidig gebruik en breng de mate van verdichting (waar sprake van kan zijn) en de effecten daarvan in kaart"*.

Omdat 5G-small cells nog niet ruim in gebruik zijn focussen we in hoofdstuk drie op trends en ontwikkelingen volgens de plannen en uitspraken van fabrikanten en hoe de verwachtingen van het gebruik, de verdichting van het netwerk en de capaciteit zullen zijn. Vervolgens halen we uit ons onderzoek in 2017¹ de verwachte aantallen small cells en reflecteren we daarover ten opzichte van de trends die we nu zien.

Vervolgens wordt er gekeken, in algemene termen, naar het te verwachten data volume in Nederland in de komende vijf jaar. Dit zal op basis van het genoemde 5G netwerkverdichting onderzoek door Stratix in 2017 worden gedaan en nieuw vergaarde informatie op basis van deskresearch. Ook wordt gekeken naar factoren die van invloed zijn op de manier waarop operators het netwerk verdichten. Tot slot wordt er in hoofdstuk 3 een schatting gedaan van het aantal small cells wanneer 5G is uitgerold. Zoals aangegeven wordt deze vraag in algemene termen beantwoord.

In het laatste hoofdstuk (4) gaan we in op het beantwoorden van de derde onderzoeksvraag: *"In hoeverre zijn er risico's op het gebied van continuïteit?"* De focus in deze verkenning is de continuïteit bij stroomuitval en een korte paragraaf over cyber security. Ook deze vraag wordt in algemene termen beantwoord.

1.4 Scope van het onderzoek

Het onderzoek kijkt vooral naar de technische aspecten van small cells en massive MIMO-antennes aangevuld met een blik op verwachtingen en gerelateerde aspecten. Voor de small cells en massive MIMO is detailinformatie verzameld van verschillende bronnen met als doel een beeld te vormen van de beschikbaarheid en wat er in de nabije toekomst gaat komen. Vanwege deze focus zullen de vragen in hoofdstuk 2 in detail worden beantwoord met voorbeelden en getallen. De vragen in hoofdstukken 3 en 4 die te maken hebben met trends, schattingen en toekomstverwachtingen krijgen een algemene beantwoording, omdat het zeer brede onderwerpen zijn die op zichzelf een onderzoek waard zijn. Hierbij wordt gekeken waar de ontwikkeling van small cells in de toekomst naartoe zal gaan en aspecten als continuïteit bij stroomuitval en cyber security.

Niet alle small cells en massive MIMO-antennes die er bestaan zijn onderzocht omdat dat te ruim is voor dit onderzoek. Ook is er niet gesproken met operators over hun small cell en massive MIMO-visie en -strategie.

1.5 Onderzoeksmethode

De onderzoeksmethode bestaat hoofdzakelijk uit deskresearch waarbij informatie over 5G, massive MIMO, en small cells wordt verzameld door middel van onderzoek en aangeleverde informatie van leveranciers. Daarnaast wordt er ook gebruik gemaakt van interne kennis die

¹ <https://www.stratix.nl/onderzoek-kosten-netwerkverdichting-5g/>

is opgedaan in voorgaande projecten zoals ons 5G onderzoek in 2017. De verzamelde informatie vanuit hoofdstuk 2 is gestructureerd in een overzichtstabel gezet met verschillende relevante categorieën.

2 5G, small cells en massive MIMO

Dit hoofdstuk begint met een algemene introductie over 5G, vervolgens gaan we verder met het beschrijven van small cells, de verschillende soorten en de techniek. Het hoofdstuk eindigt met een paragraaf over massive MIMO. Bijlage A is ondersteunend aan dit hoofdstuk en bevat het resultaat van onze deskresearch. Het laat gedetailleerd de verschillende soorten small cells en eigenschappen zien.

2.1 5G algemeen

5G is als standaard nog volop in ontwikkeling en er wordt op het moment nog gediscussieerd over de specificaties van de protocollen en de infrastructuur van het netwerk. Verantwoordelijk voor deze ontwikkeling is het 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Dit is een samenwerkingsverband, met als doel om wereldwijd een toepasbaar technisch systeem te maken gebaseerd op de evolutie van de derde generatie mobiele netwerken. Eerdere resultaten van 3GPP zijn de standaarden voor 3G (UMTS) en 4G (LTE) mobiel en 5G is hiervan een doorontwikkeling. 5G-mobiele communicatie zal gebruikmaken van het 5G-New Radio protocol, een standaard die het mogelijk maakt dat 5G-apparatuur met elkaar kan communiceren. Begin 2019 wordt 5G NR via release 15 van het 5G-protocol definitief vastgesteld².

In essentie is 5G alles wat zijn voorganger kon doen en meer. Het is een alomvattende term bestaande uit verschillende technieken voor een groot aantal frequenties waarbij alles met elkaar en afzonderlijk kan functioneren. De frequenties die door 5G ondersteund zullen worden bestaan uit de lage 700MHz en de hoogste 60GHz^{3,4} als een standaard frequentie voor 5G. Op het moment zijn er ook kleine antennes die frequenties hoger dan 60GHz ondersteunen. Die worden gebruikt als draadloze backhaul, de verbinding van de antenne naar het vaste netwerk, (bijv. op 80GHz)⁵. In Nederland zullen de 700 MHz, de 3,5 GHz en de 26 GHz voor 5G gebruikt worden. Op termijn zullen de huidige banden van 4G ook worden gebruikt voor 5G⁶.

Met de ondersteuning van de additionele frequenties kan met 5G een pieksnelheid gehaald worden van 10-20 Gbit/s⁷ per sector en 1 Gbit/s per gebruiker. Deze snelheid is vergelijkbaar met een vaste verbinding (2018), maar de grootste aanvulling is een snelle reactietijd (lage latency). 4G heeft een reactietijd van gemiddeld 50ms, hoewel dit een snelle reactietijd is, vragen real-time applicaties om een nog lagere reactietijd. In PR-materiaal wordt gesproken over voordelen van snelle reactietijd in communicatie tussen zelf rijdende auto's⁸, realtime

² Overigens is er geen voorgeschreven koppeling tussen mobiele generaties (3G, "3.5G", 4G, 5G) op de 3GPP releases waardoor er regelmatig discussie is welke features onder welke generatie vallen

³ Bron: <https://tweakers.net/reviews/6177/providers-en-5g-in-de-benelux-een-digitale-snelweg-met-veel-obstakels.html>

⁴ Bron: <https://www.imec-int.com/cache/pdfs/nl/imec-magazine/imec-magazine-april-2017/60ghz-technologie-voor-wigig-en-5g-toepassingen.pdf>

⁵ Bron: https://www.ericsson.com/ourportfolio/radio-system/all-outdoor-short-haul?nav=fgb_101_0859%7Cfgb_101_004

⁶ Bron: <https://www.kennisplatform.nl/welke-frequenties-gaat-5g-gebruiken/>

⁷ Bron: <https://arxiv.org/abs/1708.02562>

⁸ Het is zeer de vraag of zelfrijdende auto's belangrijke beslissingen zullen maken op basis van gegevens die met lage latency uitgewisseld worden over een 5G netwerk. De huidige modellen baseren zich vooral op gegevens van on-board sensoren.

virtual reality (VR), online games, of live 4K (Ultra HD) voetbal op je mobiel zonder vertraging. Met de introductie van 5G zal het mogelijk zijn om een snelle reactietijd te behalen van 1ms tot 10ms^{9,10}.

Verder biedt 5G de mogelijkheid om bandbreedtes dynamisch in te zetten. Dit is nodig omdat niet alle applicaties of apparaten dezelfde bandbreedte eisen. Het streamen¹¹ van bijvoorbeeld 4K (Ultra HD) video heeft meer bandbreedte nodig dan het besturen van een drone. Door een optimale verdeling te maken en te leveren wat er werkelijk nodig is, kan de capaciteit verbeterd en efficiënter worden toegepast¹⁰.

Om dit alles mogelijk te maken, maakt 5G gebruik van verschillende technieken. Belangrijke technologieën zijn small cells, ook wel bekend als SAWAP (Small Area Wireless Access Points), massive MIMO en multiple access technieken zoals beam division multiple access (BDMA). Ieder van deze technieken is er op gericht om de datastromen op een zo klein mogelijke afstand van de mast en parallel af te handelen. Massive MIMO heeft de meeste focus en wordt nu uitvoerig getest in pilot-projecten.

5G zal net zoals de voorlopers vooral gericht zijn op de massamarkt. Maar met 5G wordt het wel mogelijk om met hetzelfde netwerk ook specifiek diensten te ontwikkelen voor bedrijfstoe-passingen. Dat heeft te maken met het feit dat 5G extra toepassingen mogelijk maakt door functies als bijvoorbeeld network slicing (meerdere virtuele netwerken op één gedeelde fysieke netwerk), smart grid (slimme meters energiesector), Industrial Internet-Of-Things (IIOT)¹² (verbinden en verwerken van industriële apparaten en processen), vehicle-to-vehicle (V2V) communicatie waarbij vooral gebruikt wordt gemaakt van de snelle reactietijd^{3,10}, en crowdcontrol (preventief sturen van publiek op basis van patronen in data).

2.1.1 Pilots in Nederland

Zoals genoemd maakt 5G gebruik van verschillende technieken en de eerste 5G-stappen zijn al gezet in Nederland met de toepassing van small cells en massive MIMO. In 2017 zette T-Mobile een enkele mast op het Leidseplein in Amsterdam met ondersteuning voor massive MIMO. Al deze toepassingen worden verzorgd door middel van LTE op huidige 4G-spectrum (omdat 5G-spectrum nog niet geveild is).

Het doel van deze 5G-pilot voor T-Mobile is om te verkennen en leren hoe de toenemende vraag naar verschillende mobiele datastromen in de toekomst efficiënt kunnen worden verwerkt. Daarom is ervoor gekozen om de mast op een drukbezocht gebied te plaatsen in samenwerking met hun huidige 4G-netwerk. Een van de toepassingen van 5G voor T-Mobile is om de capaciteit van het netwerk te vergroten en om data optimaal te verwerken in drukke gebieden voor alle gebruikers.

KPN voert nu ook 5G-testen uit op vier verschillende locaties, elk met een speciaal component (zie Tabel 1). Het belangrijkste voor dit onderzoek is het pilotproject bij de Johan Cruijff Arena

⁹ Bron: <https://venturebeat.com/2018/03/02/5gs-secret-weapon-will-be-low-latency-empowering-next-gen-vr-and-gaming/>

¹⁰ Bron: <https://pdfs.semanticscholar.org/87a2/987b5fe3d6e7a63446ab1ceb1dd4e06eaa57.pdf>

¹¹ Streaming is een techniek waarbij een audio- of videobestand via internet direct beluisterd of bekeken kan worden, zonder het eerst te downloaden.

¹² Bron: <https://www.iotjournaal.nl/onderzoek-5g-is-ideaal-voor-industrial-internet-of-things/>

in Amsterdam waarbij ook massive MIMO techniek wordt toegepast. Daarnaast wordt gekeken naar network slicing en crowdcontrol. Bij crowdcontrol wordt met behulp van data vroegtijdig patronen in een publiek herkend (bijv. vroege tekenen van rellen). Beeld en geluid wordt door camera's opgeslagen en door kunstmatige intelligentie geanalyseerd. Als er vroegtijdig dreiging wordt gedetecteerd dan kunnen veiligheidsdiensten op tijd ingrijpen.

Het versturen en analyseren van hoge kwaliteit bewegende beelden vergt hoge bandbreedte, lage latency en weinig interferentie. Deze pilot maakt nu nog gebruik van 4G-frequenties, maar voor grootschalig gebruik is het noodzakelijk 5G te gebruiken.

<i>KPN-tests</i>	Johan Cruijff Arena in Amsterdam	Rotterdamse haven	Drenthe	Helmond
<i>Wat</i>	Massive mimo, networkslicing, crowdcontrol	Networkslicing, lokalisatie	MmWave	V2x
<i>Frequentie</i>	Onder 6GHz	Onder 6GHz	Boven 20GHz	Onder 6GHz

Tabel 1: KPN 5G pilots

In het Verenigd Koninkrijk is Vodafone van plan om putdeksels te voorzien van 4G- en 5G-antennes. Dit met als doel om de snelheden van de mobiele netwerken in steden te verhogen. In samenwerking met Ericsson wordt een systeem geïntroduceerd genaamd "The Vault" dat bestaat uit een putdeksel met een geïntegreerde 4G-antenne. Deze antenne kan later verder worden uitgebreid naar 5G¹³, zie Figuur 1. De antenne heeft een bereik tot zo'n 200 meter en zal gebruik maken van de bestaande ondergrondse infrastructuur. Ericsson heeft in 2016 een gelijknamige small cell proef uitgevoerd in Zwitserland waar zij small cells onder putdeksels plaatsten voor Swisscom¹⁴. Vodafone heeft nu al twee putdeksels geplaatst bij hun hoofdkantoor in Newbury. Of deze antennes binnenkort in Nederland komen, is afhankelijk van de Engelse resultaten¹⁵.



Figuur 1 Putdeksel met antenne

Zuid-Korea heeft tijdens de Olympische Winterspelen in februari 2018 een grootschalige 5G-service pilot geïntroduceerd samen met de Koreaanse telecomgigant KT. Tijdens de Spelen waren er verschillende pilot projecten te zien die 5G ondersteunden: augmented reality (een virtueel landschap als aanvulling op de realiteit), hologrammen, live uitzendingen, razendsnelle download snelheid op het terrein en meer. Het meest bijzondere project was de zelfrijdende bus door middel van 5G, essentieel hierbij was de snelle reactietijd om snel te reageren op verkeerssituaties waarvan de informatie via het netwerk met de auto gedeeld wordt (denk aan

¹³ Bron: <https://tweakers.net/nieuws/146739/vodafone-wil-in-verenigd-koninkrijk-putdeksels-voorzien-van-4g-en-5g-antennes.html>

¹⁴ Bron: <https://rdulal.blogspot.com/2016/03/first-underground-cells-deployed-by.html>

¹⁵ Bron: <https://www.apparata.nl/nieuws/4g-5g-vodafone-29281>

nieuws over ongelukken of files). Het doel was om 5G tastbaarder te maken voor het algemeen publiek door ze te laten zien wat 5G allemaal mogelijk kan maken in de nabije toekomst. Zuid-Korea wilde hiermee ook zijn inwoners alvast voorbereiden op de landelijke 5G-uitrol halverwege 2019. Zuid-Korea heeft aan het begin van 2018 de op één na snelste gemiddelde download internet snelheid met 48.8 Mbit/s (Hong Kong staat op één met 54.1 Mbit/s)¹⁶. Deze snelheid zal in de toekomst toenemen met de uitrol van 5G¹⁷.

2.2 Small cells

2.2.1 Introductie small cells

Met de groeiende vraag naar betere dekking en meer capaciteit in gebieden waar veel gebruikers zijn, bieden small cells een oplossing. Small cells zijn kleine antenne-installaties met een bereik van tien tot honderden meters. Deze antenne-installaties bestaan uit een combinatie van antenne en zender/radio-unit en komen bij small cells vaak voor als één geïntegreerd geheel (zie Figuur 2). Sommige small cells beschikken over de optie om extra antennes toe te voegen voor functies zoals MIMO (zie Figuur 3).



Figuur 2: Nokia Femtocell Multi-Band Soho¹⁸



Figuur 3: Ericsson Microcell Radio System met extra antennes¹⁹

Small cells zijn speciaal ontwikkeld om extra dekking te bieden op druk bezochte plaatsen met een grote capaciteitsvraag, zoals in een stadscentrum of stadion. Deze kleine antenne-installaties zijn niet gelimiteerd tot alleen outdoor. Ze kunnen ook indoor worden toegepast, als het signaal van outdoor antenne-installaties door de isolatie van gevels wordt geblokkeerd.

Afhankelijk van de soort small cell is het mogelijk om deze op een locatie te delen met meerdere operators. Zo heeft bijvoorbeeld Ericsson de "The Multi-Operator Dot solution" ontwikkeld waarop vier of meer operators kunnen uitzenden met één operator die als beheerder

¹⁶ Bron: <https://allesineen-keuzehulp.nl/top-5-landen-met-het-snelste-internet/>

¹⁷ Bron: <https://www.forbes.com/sites/elaineramirez/2018/02/23/in-the-race-for-5g-south-korea-shows-off-its-tech-prowess-at-the-winter-olympics/>

¹⁸ Bron: <https://networks.nokia.com/products/femtocell-multi-band-soho>

¹⁹ Bron: <https://fccid.io/TA8AKRC161553-1/Test-Report/Test-report-MPE-2878110>

functioneert²⁰. Huawei heeft ook een small cell product genaamd "Lampsite 3.0" met multi-operator-sharing waarbij ook vier operators kunnen worden bediend²¹.

Voor de werking van small cells moeten deze zijn verbonden met de backhaul van een operator. De backhaul is de verbinding van de antenne naar het core netwerk. Dit gebeurt normaal via een glasvezelnetwerk, maar deze netwerken zijn niet altijd beschikbaar door de veelzijdige inzetbaarheid van small cells. Small cells worden bij voorkeur aangesloten op de bedrade backhaul (glasvezel of andere breedband internet), maar deze apparaten hebben in voorkomende gevallen ook de mogelijkheid om te werken met een draadloze backhaul (point-to-point). Huidige draadloze backhails gebruiken microgolven van 6-42GHz en 70-80GHz, ongeicenseerde millimeter wave 60GHz, en sub 6GHz (point-to-point of point-to-multipoint)²².

Een deel van de small cells communiceert met elkaar en de operator via een "Untrusted backhaul", in algemene termen "het internet". Het systeem maakt hiervoor een beveiligde IPsec Tunnel verbinding²³. De eisen voor de minimum bandbreedte voor deze verbinding is afhankelijk van de type cells die worden gebruikt. Een microcell kan meer gebruikers bedienen over een grotere afstand dan een femtocell waardoor meer bandbreedte nodig is.

2.2.2 Soorten small cells

Small cells kunnen verder worden onderverdeeld naar verschillende soorten cellen op basis van hun bereik, aantal gebruikers en vermogen (Watt). Hierna (Tabel 2) volgt een overzicht en beschrijving van de verschillende soorten small cells. Ter vergelijking zijn ook DAS (Distributed Antenna Systems) en Wi-Fi toegevoegd. Small cells zijn nu nog in ontwikkeling en afhankelijk van de leverancier is het mogelijk dat bepaalde cellen meer gebruikers kunnen bedienen of grotere afstanden kunnen overbruggen dan is weergegeven in het overzicht. Daarnaast worden er nieuwe small cells ontwikkeld die niet onder één van deze categorieën vallen (bijv. Ericsson 5G radio dot) en is het aantal gebruikers afhankelijk van het aantal antennes (dit is niet meegenomen in dit overzicht).







Het vermelde vermogen in tabel 2 betreft het maximaal uitgezonden vermogen. Bij small cells zijn zender en antennes dermate geïntegreerd dat vaak geen onderscheid wordt gemaakt tussen uitgangsvermogen van de zender en het zendvermogen van de antenne.

²⁰ Bron: <https://www.ericsson.com/en/press-releases/2017/8/ericsson-launches-three-new-small-cell-solutions>

²¹ Bron: Huawei, 2018, Huawei Indoor Digitalization LampSite 3.0

²² Bron: https://www.winncom.com/images/solutions/Ceragon_Small_Cell_Solution_Brief.pdf

²³ Bron: https://static1.squarespace.com/static/519f78cae4b0cc7b837ad9d2/t/5b34ce38aa4a993c62235f73/1530187330620/Nokia_Security_Gateway_Application_Note_EN.pdf en <https://www.androidauthority.com/mmwave-vs-6ghz-5g-893004/>

Small cell	Afbeelding (ter illustratie los van tabel informatie)	Radius	Zendvermogen (Watt)	Aantal gebruikers (unit)	Type Gebruik
Indoor DAS	 Bron: Amphenol Antennas	Tot ± 61 m per antenne	2	300 ²⁴	Binnen Gebouwen (kantoren)
Wi-Fi	 Bron: Wifishop	± 15 tot 19 m	0.1	200	Binnen/ Buiten
Micro	 Bron: 5g eve	± 1600 m	10	1800	Binnen/ Buiten Openbare ruimtes
Metro	 Bron: Weisman	± 305 m	5	200	Binnen/Buiten Openbare ruimtes
Pico	 Bron: Huawei	± 229 m	1	32-64	Binnen
Femto	 Bron: ZTE	± 15 tot 19 m	0.1	4-6	Binnen

Tabel 2: Overzicht soorten small cells; waarden wijken mogelijk af per product^{25,26}

In het overzicht is te zien dat verschillende soorten cellen kunnen worden toegepast voor verschillende doeleinden. Verder is te zien dat elke cell een bepaalde radius heeft met een maximaal aantal gebruikers. Dit zijn algemene waarden voor een type cell, afhankelijk van het apparaat en de leverancier kunnen deze waarden afwijken. Een small cell zou bijvoorbeeld extra frequenties kunnen ondersteunen. Het exacte bereik van een small cell is afhankelijk van de gebruikte frequentie. Lage frequenties kunnen grotere afstanden overbruggen en hogere frequenties zijn alleen geschikt voor lokaal gebruik.

2.2.3 Technische parameters

De technische parameters voor small cells variëren per type cell. Om een beeld te krijgen van de huidige of te verwachten parameters, is er gekeken naar alle small cells van de grote leveranciers (Huawei, Ericsson, Nokia, ZTE). De verzamelde informatie is verwerkt tot een overzichtstabel (zie bijlage A). Uit de overzichtstabel is hieronder de volgende samenvattende tabel gemaakt om de technische parameters in het algemeen te behandelen inclusief een onderscheid tussen indoor en outdoor.

²⁴ Bron: <https://www.cleartosend.net/cts-050-introduction-to-das/>

²⁵ Bron: <https://www.repeaterstore.com/pages/femtocell-and-microcell>

²⁶ Bron: <https://www.signalbooster.com/pages/small-cell-installations-microcell-metrocell-picocell-femtocell>

Technische parameters	<u>Samenvatting van overzichtstabel</u>
Frequenties	<p>Small cells-frequenties variëren tussen de lage 800 MHz tot een hoge 63GHz. Hieronder volgt een onderverdeling van de meeste voorkomende frequenties:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indoor & outdoor: 1.8, 1.9, 2.1, 2.6, 3.4 en 3.6 GHz - Outdoor: 0.8, 26, 29, 59, 63 GHz (speciaal 70 en 80 GHz)
Protocollen	<p>Small cells zijn geschikt voor binnen en buiten gebruik (afhankelijk van de type cell). De meest gangbare ondersteuning zijn: 3G, 4G, Wi-Fi, LTE, LAA en 5G.</p>
Typisch gebruik	<p>Goede dekking en hogere capaciteit voor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indoor: bijv. kantoor gebouwen, bibliotheek - Outdoor: bijv. drukbezochte gebieden met een hoge overboeking (centrum, stadion, waarbij veel mensen tegelijk van hetzelfde antenne gebruik maken).
Ingangsvermogen	<p>Ingangsvermogen dat de zender ingaat varieert tussen 15W en 345W. Een deel van de small cells maakt gebruik van power over ethernet (PoE). PoE levert via ethernet-kabels vermogen aan netwerkapparaten. Er zijn vier verschillende types PoE met variërende vermogens tussen 15-100W.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indoor: vermogen tussen de 15-130W - Outdoor: vermogen tussen de 15-345W
Zendvermogen	<p>Het zendvermogen is afhankelijk van het uitgangsvermogen van de zender in combinatie met de toegepaste antennes. Het vermogen voor één antenne van een small cell varieert tussen 0.1W en 60W met een mediaan van 5W.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indoor: vermogen tussen de 0.1-5W - Outdoor: vermogen tussen de 0.2-60W
Afmetingen	<p>Small cell-apparatuur heeft een gemiddelde afmeting van ongeveer 200x200x50mm, maar er zijn ook een aantal rond de 350x350x100mm. Dit is vergelijkbaar met een modem of router voor consumentengebruik.</p>
Beamforming	<p>Er zijn weinig small cells die beamforming ondersteunen. Het is afhankelijk van het type antenne dat wordt toegepast of een small cell beamforming ondersteunt.</p>
Vergunningsvrij	<p>De gemiddelde hoogte van small cell apparatuur is kleiner dan 0,5 meter en daarom onder de huidige regelgeving vergunningsvrij te plaatsen op straatmeubilair²⁷.</p>

Figuur 4: Samenvatting van overzichtstabel

²⁷ Besluit omgevingsrecht, bijlage 2, artikel 2, onderdeel 15 onder b

Gebruik small cells

Zoals eerder vermeld zijn er verschillende typen small cells. Alle soorten small cells kunnen indoor worden toegepast maar niet alle cells zijn geschikt voor buiten. De pico en de femto small cells zijn voornamelijk bedoeld voor indoor. De micro en metro small cells zijn geschikt voor outdoor gebruik. Een micro- en metrocell heeft een grotere radius en kan meer gebruikers voorzien van een verbinding vergeleken met pico- en femtocellen.

Typisch gebruik van small cells is vooral om goede dekking en hogere capaciteit te leveren in gebieden met slechte dekking of veel datagebruik. Het gaat dan vooral om drukbezochte gebieden, zoals een stadscentrum, of plaatsen die afgeschermd zijn door bijvoorbeeld gebouwen of constructies. Voor indoor moet men denken aan kantoorpanden met veel mensen waarbij signalen van buiten de gevel niet kunnen penetreren. Signaalplus van Vodafone werd vroeger aangeboden om indoor dekking te verbeteren voor particulier en kleinzakelijk gebruik²⁸. Dat wordt echter niet meer aangeboden.

Ondersteunde frequenties

Over het algemeen ondersteunen small cells alle 3G- en 4G-frequenties en in sommige gevallen kunnen ze, door middel van upgrades of kleine aanpassingen, geschikt worden gemaakt voor 5G²⁹. Ook is er door middel van 'backward compatibility' waarbij nieuwere apparatuur kan samenwerken met oudere standaarden, soms inpassing mogelijk maken van oudere generaties apparatuur in nieuwere netwerken. Small cells die binnenkort op de markt komen beschikken over de mogelijkheid om nieuwe 5G-frequenties, hoog en laag, te ondersteunen. In voorgaande tabel (Figuur 4: Samenvatting van overzichtstabel) is te zien dat de ondersteunde frequenties variëren met als uiterste gevallen een lage frequentie van 800MHz en hoge van 63GHz. Over het algemeen schommelen de frequenties voor small cells tussen de 1.8 en 3.6 GHz. Op basis van de verzamelde informatie is er nog geen indicatie dat een small cell de 700MHz frequentie gaat gebruiken.

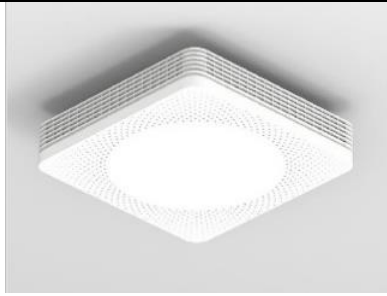
Resultaten tonen aan dat indoor small cells frequenties gebruiken die ook door outdoor small cells gebruikt worden. Outdoor small cells maken daarnaast ook gebruik van extra lage en hoge frequenties (800MHz en 63GHz).

Afmetingen small cells

Zoals eerder benoemd zijn small cells kleine antenne-installaties. De afmetingen van een small cell zijn gemiddeld 200x200x50mm (indoor Figuur 5 en outdoor Figuur 6) met grotere varianten van ongeveer 350x350x100mm (outdoor Figuur 7). Verder zijn er speciale small cells ontwikkeld die geïntegreerd zijn in putdeksels (Figuur 10), straatlantaarns (Figuur 9) en bushokjes (Figuur 8). Deze hebben dan speciale afmetingen afhankelijk van de plek waar ze geïntegreerd zijn. Er zijn geen grote verschillen in afmetingen tussen een in- en outdoor small cell. In de afbeeldingen hieronder zijn een paar small cells weergegeven ter informatie.

²⁸ In het buitenland is er een zeer gevarieerd beeld ten aanzien van aanbieders die small cells ondersteunen. Zo ondersteunt AT&T in de VS geen small cells voor consumenten en klein zakelijke toepassingen en Verizon wel. Sprint en T-Mobile ondersteunen wel een small cell, maar deze ondersteunt geen overdracht van het signaal van binnen naar buiten

²⁹ Bron: <https://www.ericsson.com/en/networks/offerings/5g/5g-radio>



Figuur 5: Indoor: Huawei Pico (BTS3911B) (200x200x55mm)



Figuur 6: Outdoor: Ericsson Radio 2203 (200x200x100mm)



Figuur 7: Outdoor: Nokia Flexi Lite (BTS2100) (380x325x86mm)



Multi-service column

Bus shelter

City information panels

Figuur 8: Kathrein 2-Port (121.5x124x74mm)



Figuur 9: Outdoor: Ericsson/Philips Light pole site large



Figuur 10: Outdoor: Kathrein Street Connect Y1 & Y2

Stroomverbruik en zendvermogen small cells

Het stroomverbruik van de small cells varieert tussen 15W en 345W. Uit de gelimiteerde informatie lijkt het erop dat microcellen tot >100W verbruiken, picocellen schommelen tussen de 20W en 60W. Daarnaast zijn er small cells die gebruik maken van power over ethernet (PoE), waarbij ze tussen de 15-100W kunnen verbruiken. De resultaten tonen aan dat outdoor small cells soms meer vermogen gebruiken dan indoor small cells. Een indoor small cell verbruikt tussen de 15-130W terwijl een outdoor small cell tussen de 15-345W verbruikt.

Het totale zendvermogen is afhankelijk van het aantal antennes dat is toegepast bij de small cells. Hoeveel antennes er zijn toegepast per type cell is afhankelijk van de leverancier en het product, sommige small cells hebben bijvoorbeeld de functie om extra antennes aan te sluiten. Voor de analyse wordt er gekeken naar het zendvermogen van één antenne. In het overzicht is te zien dat het vermogen van een indoor small cell varieert tussen de 0.1-5W en een outdoor cell varieert tussen de 0.2-60W. Gemiddeld is het zendvermogen van een small cell rond de 5W.

Het is te vroeg om op basis van beschikbare informatie concreet iets te zeggen over het verschil in energieverbruik tussen oude 4G- en nieuwe 5G-small cells. In theorie zullen 5G-antennemasten (macrocells (grotere antenne opstelpunten zoals die tot nu bekend zijn)) minder energie verbruiken vanwege de energie besparende eigenschap dat een 5G-mast niet continue aan het zenden is. Dit houdt in dat er pas echt energie wordt verbruikt wanneer hij actief uitzendt.

Beamforming

Beamforming is de eigenschap van een small cell om een signaal in een rechtstreekse bundel uit te zenden naar eindgebruiker. In de antennespecificaties vanuit de leveranciers is weinig informatie beschikbaar met betrekking tot beamforming. Beamforming is mogelijk bij een small cell, afhankelijk van het type antenne. Sommige small cells kun je uitbreiden met extra antennes. Als uitbreiding mogelijk is, dan is het ook mogelijk om uit te breiden met een antenne waarbij beamforming of MIMO mogelijk wordt.

2.2.4 DAS versus small cells

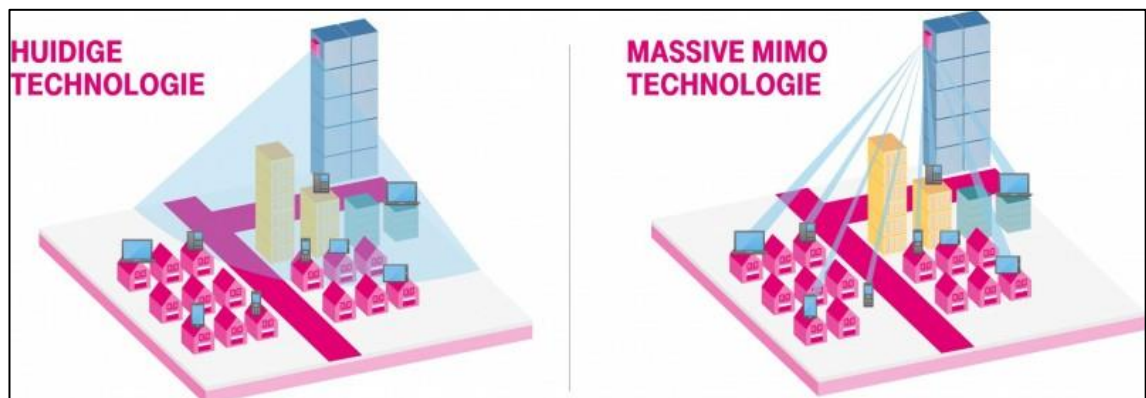
Radiopropagatie maakt het veelal onmogelijk om met een antennesysteem met één antenne indoor te werken. Daarom wordt er in de praktijk gebruik gemaakt van een gedistribueerd antenne systeem (DAS). Dit systeem distribueert het antennesignaal over de verschillende verdiepingen en soms zelfs verschillende gebouwen. Alle antennes zenden hetzelfde signaal uit en ontvangen dezelfde signalen. Door een relatief laag vermogen storen de antennes elkaar niet. Er vindt echter geen coördinatie tussen de verschillende antennes plaats.

In het algemeen lijken DAS en small cells op elkaar maar er zijn verschillen. Op technisch vlak is te zien dat een DAS-systeem een lokaal kabel netwerk nodig heeft (glasvezel, coax of UTP) om te functioneren. Een DAS is een point-to-multipoint systeem met aftakkingen en individuele WAP (Wi-Fi router) punten. Dit houdt in dat alle WAP-punten eerst alles naar het basisstation moeten sturen en vice versa. Een small cell daarentegen maakt gebruik van simulcasting waarmee één grote cell wordt gecreëerd uit allemaal kleine cellen, wel is het nodig om een basisstation aan te sluiten op één van die cellen.

Fabrikanten promoten nu cloud-RAN oplossingen³⁰ ter vervanging van DAS voor indoor dekking. Dit brengt small cell technieken samen met technieken die in mobiele netwerken gebruikt worden. Groot voordeel is dat er geen coax-netwerk uitgerold hoeft te worden. Bestaand glasvezel en UTP kan gebruikt worden en deze netwerken zijn minder veeleisend ten aanzien van signaalpropagatie. Daarbij kan iedere antenne een eigen cel worden of worden gecombineerd met aangrenzende antennes tot een grote cel en maakt het massive MIMO mogelijk. Het geheel kan naar behoefte op afstand of automatisch geconfigureerd worden en een extra antenne plaatsen vergt geen nieuwe radioplanning.

2.3 Massive MIMO

Massive MIMO is een techniek waarbij meerdere antennes worden gebruikt voor het gelijktijdig ontvangen en verzenden van data signalen over hetzelfde radiokanaal. Op deze manier kan je gebruikmakend van hetzelfde spectrum meer capaciteit bieden. Onderzoek naar massive MIMO en C-band (4 tot 8 GHz) /mmWave³¹ frequenties toont aan dat beide frequenties mogelijkheden bieden voor massive MIMO maar op het moment is de C-band voor massive MIMO het meest ontwikkeld. Daarom wordt er op het moment alleen massive MIMO apparaten uitgebracht met de C-band ondersteuning³².



Figuur 11: MIMO versus massive MIMO³³

Het is duidelijk dat MIMO een grote rol gaat spelen bij 5G. Er worden nu testen uitgevoerd door verschillende partijen (zie 2.1.1). Hieronder volgt een beschrijving van het huidige MIMO-concept en massive MIMO.

Het bekende mobiele telefonie netwerk bestaat uit zendmasten (voor 2G, 3G en 4G) met drie sectoren per zendmast. In andere woorden: in een zendmast zitten nu units voor 2G, 3G, en 4G die elk de dekking van een sector verzorgt van een gebied rondom de mast. Met Multiple In en Multiple Out (MIMO) wordt er gebruik gemaakt van meer antennes per installatie om éénzelfde gebied te dekken.

³⁰ Bij Cloud of Centralized Radio Access Networks (C-RAN) is een netwerkarchitectuur waarbij minder basisstations nodig zijn en veel gebruik gemaakt wordt van small cells.

³¹ Volgens de IEEE is de C-band de frequentieband tussen 4.0-8.0 GHz

³² Bron: <https://arxiv.org/pdf/1803.11023.pdf>

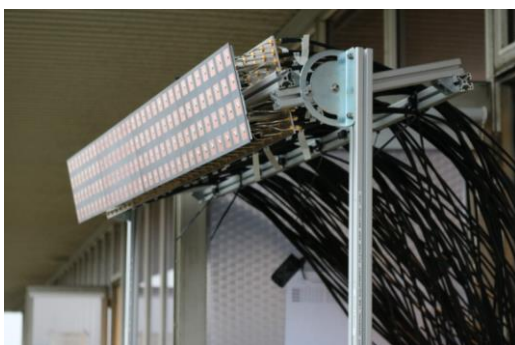
³³ Bron: <https://newsroom.t-mobile.nl/t-mobile-nederland-activeert-eerste-antenne-met-5g-technologie-in-amsterdam/>

MIMO maakt het mogelijk om met meerdere antennes te werken voor het ontvangen en verzenden van informatie, waardoor de capaciteit per gebruiker wordt verhoogd en de signaalkwaliteit kan worden geoptimaliseerd voor moeilijke gebieden. Het concept MIMO wordt in zijn klassieke vorm tegenwoordig toegepast door mobiele operators, waarbij de meeste 4G-masten 2x2 (tot een max van 8x8) MIMO bevatten³⁴.

5G maakt gebruik van massive MIMO (figuur 12), hierbij zullen verschillende MIMO-bundels worden gebruikt om tegelijkertijd verschillende verkeerstromen naar verschillende gebruikers te zenden genaamd multi-user MIMO (MU-MIMO). Dit is een eigenschap waarbij verschillende gebruikers tegelijk kunnen worden bediend, in tegenstelling tot oude single-user MIMO waarbij alle informatie per gebruiker één voor één moet worden verwerkt. MU-MIMO kan worden toegepast in massive MIMO omdat het basisstation beschikt over tientallen tot honderden antennes allemaal gerangschikt in een rooster, zie figuur 13. Deze combinatie van MU-MIMO en veel antennes maakt het mogelijk om de capaciteit te verhogen zonder over meer spectrum te beschikken. Daarnaast kunnen operators gebruikers bedienen met afzonderlijke antennebundels. De meest geavanceerde smartphones op dit moment (2019), ondersteunen MU-MIMO.



Figuur 12: massive MIMO³⁵



Figuur 13: massive MIMO antenne rooster³⁶

³⁴ Bron: https://www.bipt.be/public/files/nl/22619/Studie_impact_Brusselse_stralingsnormen_uitrol_mobiele_netwerken.pdf

³⁵ Bron: <https://www.mobileeurope.co.uk/news-analysis/vodafone-uk-leads-group-in-massive-mimo-roll-out>

³⁶ Bron: <https://www.theengineer.co.uk/uk-trials-of-massive-mimo-bring-5g-communications-closer-to-reality/>

2.3.1 Massive MIMO indoor en outdoor

Massive MIMO is toepasbaar voor binnen en buiten maar het wordt op het moment het meest outdoor toegepast met veel gebruikers en over grote afstanden. Echter is het scenario tussen massive MIMO indoor en outdoor anders. Het idee bij massive MIMO is een basisstation met veel antennes die vanaf één centraal punt veel gebruikers kan bedienen. Dit kan probleemloos buiten worden toegepast omdat er niet veel obstakels zijn, maar binnen moet er rekening gehouden worden met muren en isolatie³⁷.

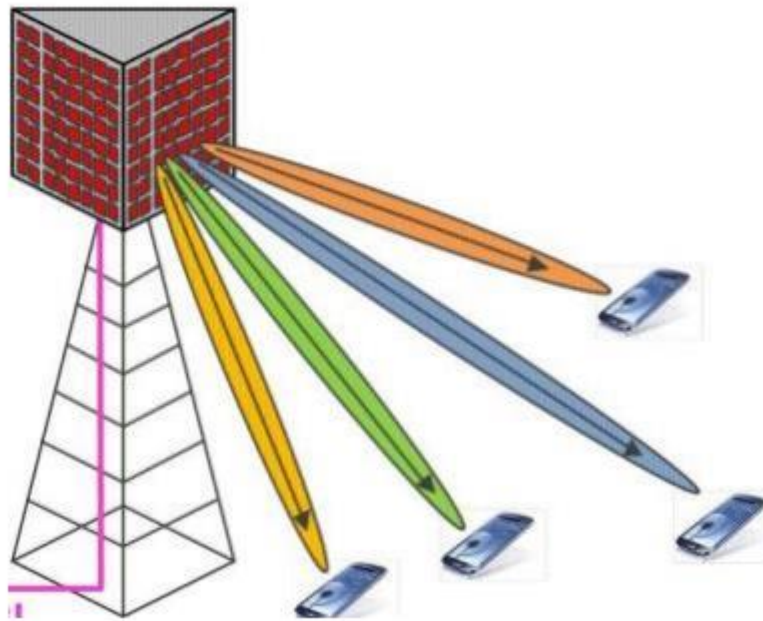
2.3.2 Beamforming en massive MIMO

De huidige antenne-installaties zenden signalen in een bundel uit met een brede openingshoek waardoor een bepaald gebied van bereik wordt voorzien. Dit is anders bij massive MIMO, hierbij wordt het gevraagde signaal in een rechtstreekse bundel(s) uitgezonden naar de eindgebruiker(s) (beamforming). Door deze manier van zenden is er minder energieverpilling; het signaal wordt enkel in de richting gezonden waar het nodig is. Er is alleen een signaal in de richting waar op dat moment een bundel naar toe wordt gezonden en niet continue en overal rondom de mast.

Een onderzoek door het Belgisch Instituut voor postdiensten en telecommunicatie (BIPT)³⁸ toont aan dat door een bundel van een massive MIMO-antenne een gebruiker aan meer vermogen wordt blootgesteld dan van een traditionele antenne. BIPT schrijft daarna: *“De klassieke berekeningen waarbij de blootstelling kon berekend worden door het vermogen van de cel en het type antenne te bekijken, en waarbij op basis daarvan met één berekening een permanente blootstelling kon bepaald worden, vervalt dus. De blootstelling wordt dus willekeurig (stochastisch) en dit betekent dat statistische analysemethoden zullen moeten gebruikt worden om de blootstelling te kenmerken. Een dergelijke analyse werd reeds gemaakt en stelt voor dat met grote waarschijnlijkheid (95%) een willekeurige blootstelling (op een willekeurige plaats) 4 maal (6dB) lager zal zijn dan deze die berekend werd op basis van de klassieke methode.”*

³⁷ Bron: <https://arxiv.org/pdf/1801.02888.pdf>

³⁸ Onderzoek BIPT: https://www.bipt.be/public/files/nl/22619/Studie_impact_Brusselse_stralingsnormen_uitrol_mobiele_netwerken.pdf



Figuur 14: De straling van massive MIMO

2.3.3 DAS versus massive MIMO

Traditioneel worden DAS systemen toegepast voor het verbeteren van de indoor dekking ter ondersteuning voor voice- en basis datadiensten. Maar het is niet ontwikkeld om high definition (HD) voice en videodiensten te leveren. Om DAS MIMO geschikt te maken en spectrale efficiëntie op LTE-niveau te bereiken moet een DAS-systeem opnieuw worden opgebouwd³⁹ vanwege de huidige netwerkarchitectuur. Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van DAS zitten vooral in de ontwikkeling van small cells en de toekomstige combinatie van deze twee technieken voor opties zoals multiple operators.

Traditionele DAS is niet geschikt voor 5G omdat het een netwerkarchitectuur gebruikt waarbij het niet mogelijk is om het verkeer van alle antennes accuraat te monitoren. Dit is nodig om de capaciteit van het netwerk goed te kunnen beheren en af te stemmen. Ook zal het in de toekomst verdere uitdagingen ondervinden voor netwerkbeheer, onderhoud en evolutie. Zoals vermeld behoort cloud-RAN tot de nieuwe ontwikkelingen op het gebied van DAS. Dit zal samen gaan met small cells. Massive MIMO is een optie om indoor toe te passen, maar hierbij moet er rekening worden gehouden met mogelijke indoor obstakels (muren). Ter compensatie zullen er dan extra antennes aan het massive MIMO basisstation moeten worden geplaatst, met als gevolg meer vermogen. Vanwege deze punten is de combinatie van cloud-RAN met small cells geschikter om indoor toe te passen dan massive MIMO.

³⁹ Bron: https://www-file.huawei.com/-/media/CORPORATE/minisite/mwc2016/pdf/Five-Trends-To-Small-Cell-2020-en.pdf?la=en&source=corp_comm

2.4 Samenvatting

5G wordt de nieuwe standaard en zal voldoen aan de nieuwe telecommunicatienormen met meer capaciteit, betere dekking, en een lagere latency. Het zal beschikken over alle mogelijkheden van zijn voorganger (2G, 3G, 4G). Nieuwe toevoegingen zijn een grotere frequentie bereik, snelheid, reactietijd en integratie van nieuwe technieken zoals network slicing, waaronder massive MIMO en small cells.

Massive MIMO zal een belangrijke rol spelen bij 5G. Het maakt gebruik van tientallen tot honderden antennes verdeeld in een rooster. Signalen zullen direct naar de eindgebruiker worden gezonden.

Verder zullen er ook small cells worden toegepast. Dit zijn kleine antenne-installaties die door middel van een beveiligde verbinding (IP tunnel) met elkaar verbonden zijn en communiceren. Small cells maken gebruik van verschillende frequenties die 5G tot zijn beschikking heeft, maar op het moment worden vooral de 1.8 tot 3.6 GHz toegepast. Het zijn kleine antennes van circa 200x200x50mm die bedoeld zijn om dekking en capaciteit te bieden op plaatsen waar het op andere wijze niet mogelijk is en op plaatsen waar het drukbezocht is. Dit zijn vooral gebieden waar veel capaciteitsdruk is op traditionele netwerken (bijvoorbeeld publieke omgevingen). Er bestaan verschillende typen small cells, elk met zijn eigen technische parameters en toepassingen. Zo zijn pico- en femtocells vooral bedoeld voor binnen gebruik en microcells voor zowel binnen als buitengebruik.

3 Technische ontwikkelingen en trends

Omdat 5G-small cells nog niet ruim in gebruik zijn focussen we in dit hoofdstuk op trends en ontwikkelingen volgens de plannen en uitspraken van fabrikanten en hoe de verwachtingen van het gebruik, de verdichting van het netwerken de capaciteit zullen zijn. Vervolgens halen we uit ons onderzoek in 2017⁴⁰ de verwachte aantallen small cells en reflecteren we daarover ten opzichte van de trends die we nu zien.

Zoals in hoofdstuk 1, de introductie, beschreven stond worden deze brede inventarisatievragen, kort en in algemene termen beantwoord.

3.1 Trends en verwachtingen

5G onderscheidt zich niet alleen door de snelheid, maar ook door extra mogelijkheden, zoals massive MIMO, beamforming (bundelvorming) waardoor er veel gericht uitgezonden wordt, network slicing (waardoor het netwerk virtueel gesneden wordt in verschillende netwerken) en andere technologieën. De toepassingen van deze technieken zijn vooral interessant voor de zakelijke markt en toepassingen zoals hulpdiensten⁴¹. In Nederland worden de frequenties die voor 5G zijn aangewezen vanaf 2019 geveild.

De specifieke technische kenmerken van 5G, ten opzichte van 4G, kunnen in drie niveaus verdeeld worden:

- Snelle mobiele verbinding met hoge capaciteit (tot 20 Gbit/s Piek, en 100Mbit/s per gebruiker);
- Lage latency (tot slechts 1ms);
- Aantal verbonden objecten (tot 1.000.000 objecten per km²).

Deze kenmerken zullen ervoor zorgen dat 5G een verbeterd netwerk is voor goede mobiele communicatie met een hoge betrouwbaarheid voor toepassingen waarbij een lage latency essentieel is.

Het mobiele netwerk is niet meer gelimiteerd tot het leveren van spraak-, beeld- en dataverbinding, maar wordt nu ook gebruikt om diverse economische en maatschappelijke sectoren te digitaliseren en te verbinden. Het gaat hierbij om sectoren met een eigen specifieke mobiele communicatie behoefte, bijvoorbeeld de auto-industrie (zelfrijdende auto's), veiligheidsdiensten (crowdcontrol), energiesector (smart grid), gezondheidssector (gezondheidsmonitor), media (overall realtime toegang), etc.

Small cells zullen een steeds belangrijkere rol spelen bij de ontwikkeling van mobiele netwerken. Oorzaken hiervan zijn de groeiende populariteit van smart devices (bijv. mobiel, tablets, en smartwatches). Volgens Huawei⁴² zal het aantal mobiele breedband gebruikers wereldwijd

⁴⁰ <https://www.stratix.nl/onderzoek-kosten-netwerkverdichting-5g/>

⁴¹ <https://www.stratix.nl/breedband-voor-de-oo-v-sector-in-de-700mhz-band/>

⁴² Bron: <https://www-file.huawei.com/-/media/CORPORATE/PDF/News/Five-Trends-To-Small-Cell-2020-en.pdf?la=en>

groeien van 3 miljard in 2015 tot 6,7 miljard in 2020. Gecorreleerd aan deze groei is een vraag naar meer en betere dekking en capaciteit.



MBB= Mobiele breedband

Figuur 15: Huawei five trends to small cell 2020⁴²

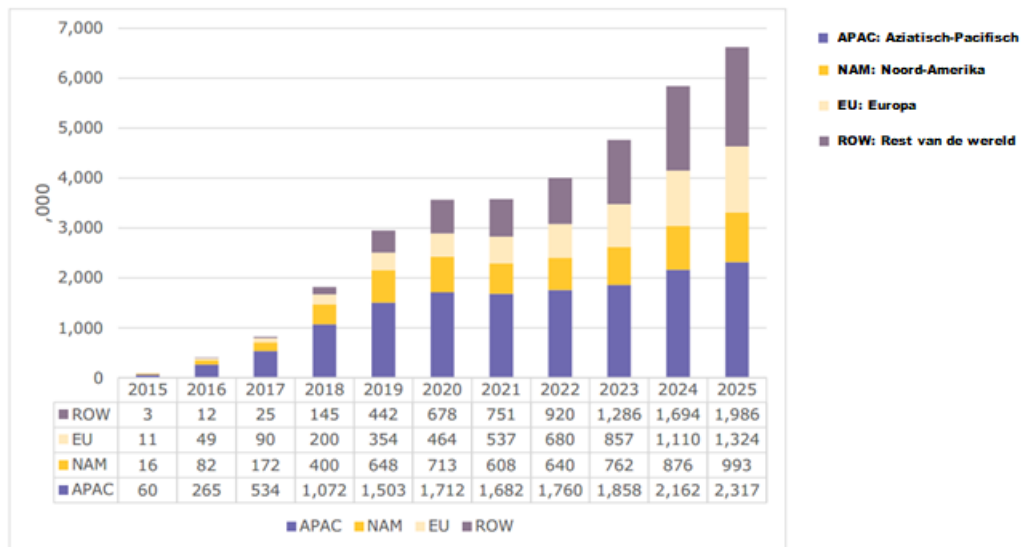
Er zijn volgens Huawei rond 2020 een aantal trends te verwachten in de implementatie en het gebruik van small cells:

- Small cells zullen aanvullend gebruikt worden naast de huidige Wi-Fi-systemen. Vooral in gebouwen met hoge gebruikersdichtheid lijkt de huidige Wi-Fi tegen de grenzen van de groeiende vraag aan te lopen. Door gebruik van bijvoorbeeld vergunningsvrij spectrum, kunnen small cells de dekking verbeteren of aanvullen.
- Small cells kunnen multimodaal worden ingezet (ondersteuning voor oudere standaarden) en kunnen meerdere frequenties ondersteunen. Hierdoor wordt multiband uitrol mogelijk om gebieden te ontlasten.
- Small cells kunnen worden ingezet om draadloze backhaul, graafkosten en andere investeringen te verminderen. Door de brede inzetbaarheid van small cells kunnen meerdere locaties worden gebruikt als mogelijke opstelpunten.
- De vierde trend is een goede ondersteuning voor licensed-assisted access (LAA) en LTE +Wi-Fi link aggregatie (LWA). Dit maakt een gecombineerde uitrol van gelicenseerde en ongelicenseerde spectrum mogelijk, waarmee de spectrale efficiëntie kan worden gemaximaliseerd en de gebruikerservaring verbeterd.

3.1.1 Internationale trends

Volgens Small Cell Forum (SCF)⁴³ zullen de meeste small cells rond 2020 al uitgerold worden in dichtbevolkte gebieden in Azië en Noord-Amerika. In Europa zal het uitrollen van small cells wat op zich laten wachten, omdat de frequenties nog niet overal geveild zijn. De verwachting is dat ook in Europa de uitrol van small cells in dichtbevolkte gebieden begint en dat daar de hoogste aantallen gebruikt zullen worden. Zo verwacht het SCF dat er in Europa rond de 1300 small cells uitgerold zullen worden per vierkante kilometer (Figuur 16).

⁴³ Bron: https://scf.io/en/documents/050_-_Small_cells_market_status_report_February_2018.php



Figuur 16: Implementaties van niet-residentiële kleine cellen in zeer dichtbevolkte-omgevingen

De verwachte trend, volgens het SCF-analyse, voor de groei van small cells zal vooral bestaan uit clusters van small cells die verbonden zijn met een controller of een ander apparaat dat werkt met virtualized netwerk functions (VNF). De reden is waarschijnlijk dat dit de meest eenvoudige oplossing is. De groei van deze toepassing zal significant toenemen wanneer het onderdeel uitmaakt van verdichting op grotere schaal. Te denken valt aan het upgraden of vervangen van huidige antennes of zenders die gekoppeld zijn met VNF in dichtbevolkte gebieden. Gedistribueerde systemen (All-in-one), zoals de Huawei LampSite of de Ericsson Radio Dot, worden ook toegepast en deze zullen vooral worden gebruikt voor verdichting. Het is niet bekend of site sharing voor de hand liggend is. In de klassieke antenne-opstelpunten gebeurt dat enigszins, maar operators geven nog niet in het openbaar door wat de 5G-uitrol strategieën zijn. Deze gedistribueerde systemen zullen 19% van het totaal aantal small cells wereldwijd uitmaken in 2025. De twee genoemde ontwikkelingen zijn verwachte trends op grote schaal, maar met de komst van 5G komen er ook nieuwe toepassingen.

3.2 Capaciteit

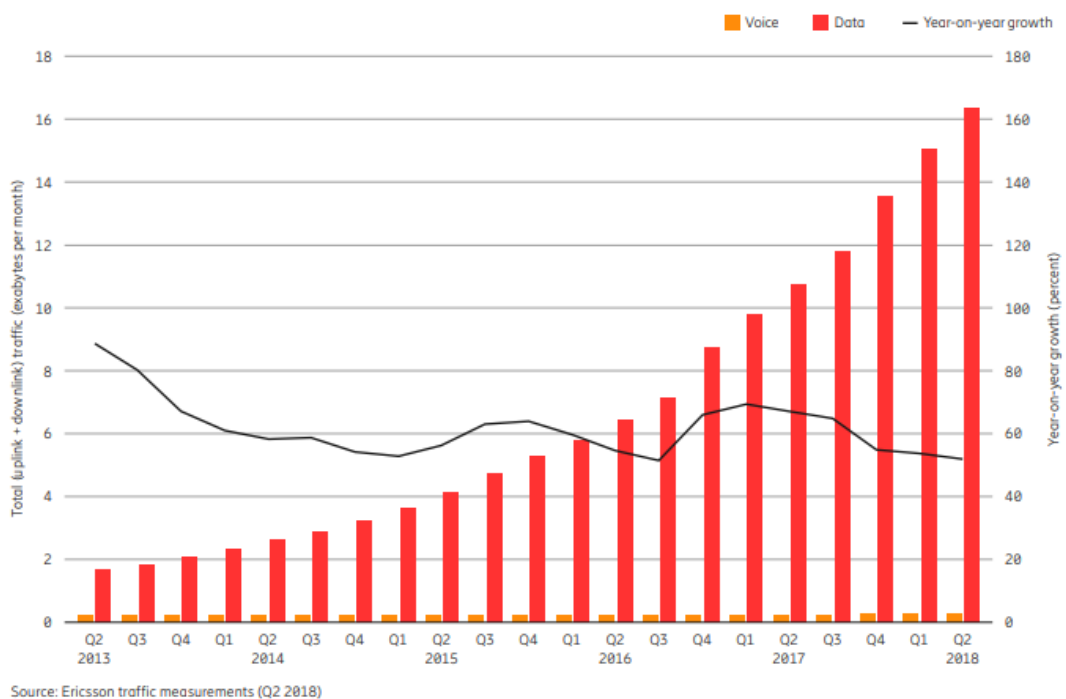
In de mobiele wereld staat capaciteit gelijk aan de hoeveelheid gebruikers per één cel met een bepaalde snelheid. Bij mobiele verbindingen heb je allerlei overhead per gebruiker. Het kan dus zijn dat één gebruiker in een cel 100 Mbps kan gebruiken, maar twee gebruikers tegelijkertijd maar 2 x 40, drie gebruikers 3 x 20 etc. Ook hangt het af van waar de gebruikers zich in de cel bevinden. De maximale capaciteit is meestal alleen te gebruiken als één gebruiker vlak voor de antenne gaat staan.

Daarnaast is er ook gesproken over de capaciteit van een small cell en hoeveel gebruikers een unit kan voorzien (zie tabel in hoofdstuk 2). Naast de snelheid gaat het bij macro antennes en ook bij small cells om hoeveel gebruikers die maximale snelheid kunnen halen per antenne⁴⁴.

⁴⁴ <https://www.repeaterstore.com/pages/femtocell-and-microcell>
<https://www.signalbooster.com/pages/small-cell-installations-microcell-metrocell-picocell-femtocell>

In dit hoofdstuk gaat de capaciteitsvraag meer om de toekomst van small cells. Zoals omschreven in paragraaf 3.1. is één van de trends een verschuiving naar HD-spraak en -videodiensten. Deze verschuiving vraagt om meer capaciteit en is één van de redenen waarom de vraag naar capaciteit blijft stijgen.

Fabrikanten van apparatuur schatten dat het mobiele-dataverkeer waarschijnlijk van 1800 miljard MB per maand tot 12.000 miljard MB per maand zal groeien wereldwijd. De stijging wordt weergegeven in de volgende figuur en het gaat niet alleen om de vraag vanuit mobiele telefoons, maar ook andere apparatuur zoals laptops en tablets. De trend is logisch gezien de stijging in data de afgelopen jaren, zie figuur 17.



Figuur 17: Groei van dataverbruik per maand in TeraBytes (TB) Bron: Ericsson⁴⁵

Er zijn twee factoren die de stijgende capaciteitsvraag kunnen opvangen, dat zijn netwerkverdichting en het beschikbaar maken van nieuwe frequentiebanden. Een andere factor die een rol speelt is de ontwikkeling van antennes zelf. Deze kunnen in de toekomst steeds meer capaciteit aanbieden door MIMO en massive MIMO, maar dat blijft een kleine rol spelen in het geheel.

⁴⁵ <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2018/emr-august-q2-2018.pdf> en <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2018/ericsson-mobility-report-november-2018.pdf>

3.3 Verdichting versus macro

Er zijn verschillende factoren die een rol spelen bij de vraag of een provider gaat kiezen voor verdichting door small cells of investeren in meer macro cells (de traditionele antennes). De snelheid waarmee de verdichting plaats gaat vinden is ook iets waarmee rekening gehouden zou moeten worden. De volgende factoren spelen waarschijnlijk allemaal een rol:

- De marktomstandigheden en de strategie van de operators zelf tijdens de spectrumveiling.
- De prijs van het te veilen spectrum.
- De prijs van apparatuur: hoe duurder een small cell in vergelijking met de aangeboden capaciteit per cell, hoe minder deze ingezet zal worden. Grote antennes bieden grotere capaciteit dan small cells.
- Strategie van de provider: gaat de provider zich richten op meer data aanbieding per persoon, op speciale toepassingen, op meer dekking in rurale versus dichtbevolkte gebieden? Bij een strategie gericht op dichtbevolkte gebieden of speciale zakelijke toepassingen zullen small cells wel aantrekkelijker zijn dan macro cellen.
- De huurprijs van de locatie: bij een grote antenne-installatie wordt een huurprijs aan de eigenaar van het gebouw (of het dak) betaald door de provider. Wanneer de prijs te hoog wordt ervaren, wordt het aantrekkelijker om small cells in te zetten.
- De kosten voor de aansluiting van (een reeks) small cells op een backhaul versus de kosten voor het bijplaatsen van een massive MIMO-installatie op een bestaand opstel-punt.
- De beschikbaarheid van locaties voor antenne-installaties: de bereidheid onder verhuurders en bewoners wisselt. Naarmate er minder locaties beschikbaar zijn, zal er meer geïnvesteerd worden in small cells.
- Regelgeving: op dit moment zijn er geen vergunningen nodig om een small cell te installeren, behalve bij monumenten en beschermde stads- en dorpsgezichten.

Over het algemeen worden 5G-small cells niet per se gezien als op zichzelf staande oplossing door fabrikanten. De keuze om small cells toe te gaan passen, hangt af van welke 5G-toepassingen een provider wil brengen naar de markt, op welke plaatsen en met welk spectrum, en met welke performance/capaciteitseisen. Op dit moment is de business case voor een small cell niet eenvoudig, de investering- en de operationele kosten zijn hoog in vergelijking met de hoeveelheid verkeer die een small cell kan afhandelen. Vooral buiten (outdoor) is de business case voor een macro-antenne veel beter te maken. Er wordt echter hard ontwikkeld aan betere small cells, waardoor de business case in de toekomst waarschijnlijk beter te maken is.

Frequenties

5G zal in Nederland naast 4G geïntroduceerd worden, in bestaande en nieuwe frequenties. Voor lagere frequenties (of vergelijkbaar met huidige spectrum) (700-2600 MHz) kunnen de bestaande opstelpunten worden gebruikt. De bestaande antennes zullen uitgebreid worden met meer antennepoorten ten behoeve van MIMO of zelfs massive MIMO. Dit zal de antennes breder maken.

Small cells worden waarschijnlijk meer ingezet in de hogere frequenties, zoals in hoofdstuk 2 te lezen is gaat het hier om bijvoorbeeld de 3500 MHz of 26 GHz. In deze frequenties worden bestaande opstelpunten gecombineerd met small cells en de precieze combinatie is afhankelijk van de gevraagde capaciteit en de diensten van de operator.

Voor optimale dienstverlening van de operator dienen small cells en macro cells op geavanceerde wijze met elkaar samen te werken. Hierbij is onder andere het minimaliseren van interferentie erg belangrijk. Om het spectrum efficiënt te gebruiken is het belangrijk dat small cells en macrocells waar mogelijk in dezelfde frequenties kunnen werken.

Om de samenwerking te verbeteren worden er nieuwe oplossingen bedacht door fabrikanten. Ericsson heeft bijvoorbeeld het zogenaamde street macro, een laag die de verbinding tussen de macro-antenne en small cell beter maakt, waardoor de dekking van een small cell wordt verbeterd. Te denken valt aan een small cell met extra antenne opties voor MIMO⁴⁶.

3.4 Schatting aantallen small cells

Ons in 2017 uitgevoerde onderzoek heeft zich vooral gefocust op het in kaart brengen van de kostencomponenten. Op basis van dit onderzoek is een aantal inschattingen gemaakt van de verwachte aantallen small cells, op basis van een rekenmodel⁴⁷.

Het door ons gebruikte model had het doel om de kosten te berekenen om over heel Nederland een bepaalde capaciteit per gebruiker te garanderen, rekening houdend met verschillende gebruikersdichtheden. Een gegarandeerde capaciteit van minimaal 30 Mbps per gebruiker is nu al haalbaar in een groot deel van de stedelijke gebieden. In de rurale gebieden is de nu aangeboden capaciteit op veel plaatsen net niet voldoende voor het garanderen van 30 Mbps per gebruiker, maar zodra men dit soort capaciteiten echt wil garanderen in rurale gebieden, moeten er veel cellen bijgeplaatst worden. Je creëert dan met het bijplaatsen wel meteen een forse overcapaciteit voor het overal halen van 30 Mbps.

Dit theoretisch model was gebaseerd op hoe de antennesituatie er in 2017 uitzag en gebruikte een aantal modelaannames over onder andere gebruikersdichtheden per gebiedstype. In de praktijk zijn de aantallen te plaatsen antennes (of het macro-, micro- of small cells zijn) afhankelijk van de strategie van de operator, de aan hem gelicenseerde en door hem gebruikte frequenties, de gebruikte technologie en uiteindelijk de bandbreedte vraag door de gebruikers. Merkt een operator dat in een specifiek gebied vaak situaties voorkomen waarbij gebruikers tijdelijk veel minder bandbreedte kunnen gebruiken dan ze is toegezegd? En wil die operator ook in dat gebied overal minimaal x mbps garanderen aan alle gebruikers op elk moment? Dan is het pas de moeite waard om ook daar te investeren in een groter aantal cellen.

Het model liet zien dat een operator met 30% marktaandeel ongeveer 21.000 extra small cells (ten opzichte van zijn huidige netwerk) nodig heeft om een snelheid van 100 Mbps te garanderen in stedelijke gebieden. De schattingen zijn gemaakt in de tijd dat de 3,5 GHz band nog niet was vrijgegeven voor 5G. Wordt de 3,5 GHz vrijgegeven, dan zal het aantal extra benodigde small cells aanzienlijk lager liggen.

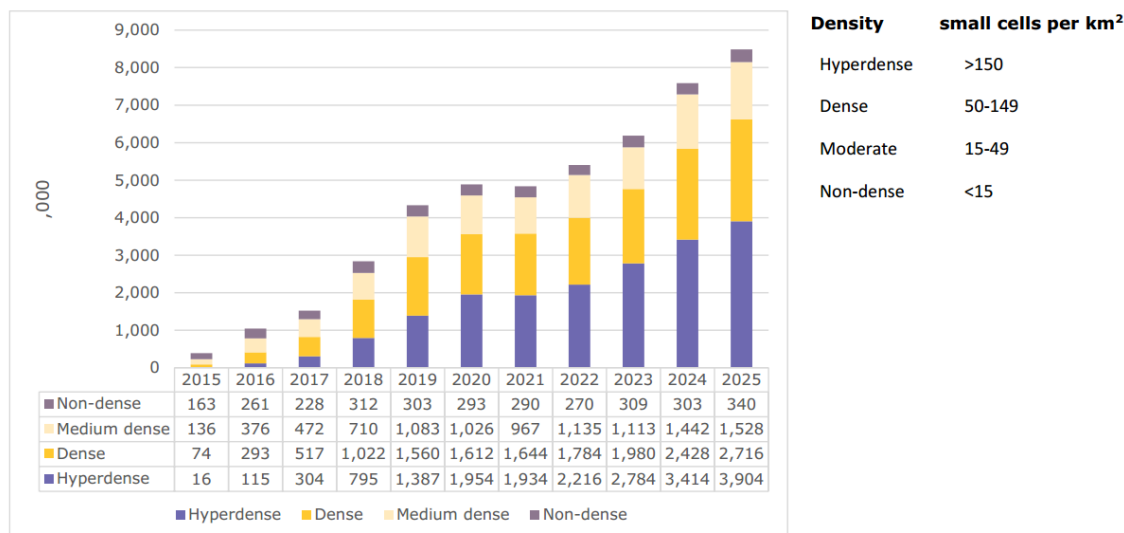
Ook andere onderzoeksbureaus hebben een poging gedaan om aantallen small cells in te schatten, maar meer in algemene termen en niet per se gebaseerd op een specifiek land of continent. De inschatting van SCF⁴⁸ is dat de aantallen small cells vooral gaat stijgen buitens huis (outdoor), terwijl er op dit moment vooral small cells gebruikt worden in gebouwen

⁴⁶ Ericsson website

⁴⁷ <https://www.stratix.nl/de-kosten-van-netwerkverdichting-5g/>

⁴⁸ <https://scf.io/en/documents/050 - Small cells market status report February 2018.php>

(indoor). Zoals onderstaande figuur laat zien, zijn er anno 2015 meer small cells in rurale gebieden, dan in stedelijke gebieden. Dit komt doordat in rurale gebieden het gebruik van signaal versterkende small cells al een tijd als extra dienst van mobiele operators aangeboden wordt. Zoals de figuur laat zien: de stijging van de outdoor small cells ten opzichte van de indoor small cells wordt pas na 2018 verwacht. Dit waarschijnlijk vanwege de verwachte komst van 5G in verschillende landen.



Figuur 18: Small cells per km² 2015-2025, voorspelling volgens SCF die een enquête heeft gehouden onder 50 mobiele operators wereldwijd

3.5 Samenvatting

Zowel fabrikanten als providers zijn nog zoekende naar de beste strategie om 5G uit te rollen. In deze inventarisatie focussen we steeds op het gebruik van small cells, maar in feite is een 5G-netwerk niet veel anders dan het huidige 4G-netwerk; een combinatie van macrocellen en kleinere cellen. Het verschil zit hem vooral in het feit dat de techniek van small cells vooruit is gegaan, ze zijn kleiner en veelzijdiger van toepassing dan de kleinere cellen die we nu kennen (pico, femto etc.). Daarom kan 5G een grotere mate van netwerkverdichting vereisen dan het huidige 4G-netwerk. Deze eventuele verdichting is niet alleen te wijten aan de techniek of de frequentie, maar ook het feit dat onze steden steeds dichter bevolkt zijn geworden met daarbij een groeiende behoefte aan capaciteit (lees, meer data, vooral video).

Desondanks, op dit moment valt er weinig te zeggen over de mate van verdichting in Nederland. De business cases van de mobiele providers zijn allesbepalend. De spectrumveiling komt pas laat in 2019 of 2020. De combinatie, prijs van het spectrum, prijs van apparatuur, prijs van de locaties om apparatuur (grote en kleinere antennes) op te hangen, de vraag vanuit de consument, en het abonnementsaanbod spelen een grote rol bij de uiteindelijke mate van verdichting en bij het tijdsbestek waar binnen de verdichting plaats gaat vinden.

4 Continuïteit bij stroomuitval en cyber security

In dit hoofdstuk gaan we in op het beantwoorden van de derde vraag van dit onderzoek. We gaan in op continuïteit bij stroomuitval en cyber security.

4.1 Continuïteit bij stroomuitval

Stroomuitval is een probleem bij elke vorm van elektronische communicatie. In mobiele netwerken wordt dit gedeeltelijk opgelost door het plaatsen van back-up stroomvoorzieningen. Deze zijn echter relatief groot en onpraktisch. Daarmee zijn ze in grote mate tegengesteld aan de doelen van een small cell. Het valt daarom te verwachten dat small cells vaker zullen uitvallen dan macrocellen. Toch zal dit afhangen van de individuele locatie en de wijze waarop de small cell van stroom voorzien wordt. Zo zijn er indoor oplossingen, zoals de Huawei Lamp-site, die door een koperdraad bij de glasvezel van stroom voorzien wordt. Deze kunnen in principe op de noodstroomvoorziening van een gebouw gekoppeld worden en dus blijven functioneren.

Een small cell gebruikt minder stroom dan een macro-cell en daarom kan een batterijvoorziening kleiner zijn dan bij een macrocell. In de documentatie over small cells die we voor het maken van het overzicht (zie bijlage) gelezen hebben lijkt noodstroom geen belangrijke rol te spelen. Dit kan een indicatie zijn dat het mogelijk maken van noodstroom op dit moment geen belangrijke rol speelt in de overwegingen van de fabrikanten.

Toch zijn veel locaties en gebouwen niet voorzien van noodstroom. Dit blijkt in de praktijk ook niet vaak nodig. De risico's hebben meer te maken met hoe vaak en duur van stroomuitval in Nederland. Stroomuitval in Nederland behoort tot de laagste van Europa. Al jaren zit het gemiddeld aantal verloren minuten per huishouden tussen de 20 en 30 minuten per jaar. In 2015 was dit gemiddelde door de grote stroomstoring in hoogspanningsstation van Diemen 32,9 minuten. Deze ene storing, waardoor meer dan een miljoen huishoudens minimaal een uur, maar vaak langer zonder stroom zaten, voegde 12,2 minuten aan het gemiddelde toe. In vergelijking met omringende landen doen alleen Duitsland, Luxemburg, Zwitserland en Denemarken het beter⁴⁹. Slechts 300.000 huishoudens hebben ieder jaar een uitval van langer dan 3 uur. Dat is vergelijkbaar met 1x per 20 jaar per huishouden.

Een additioneel probleem bij stroomuitval is dat een klein deel van de elektrische apparatuur in het algemeen, maar zeker telecom en ICT-apparatuur, na een stroomstoring niet meer blijkt te functioneren. Veelal is het niet duidelijk of dit komt door een onverwacht hoge spanning voor uitval of een al bestaand probleem dat zich manifesteert bij het opnieuw opstarten. Dergelijke problemen komen bij grotere schaal uitval altijd voor en kunnen de gevolgen van stroomuitval veel langer laten duren dan de eigenlijke duur van de stroomuitval. Hier zijn weinig statistieken voor, maar het is een fenomeen dat ook zichtbaar is in de documentatie die KPN aanleverde naar aanleiding van de stroomuitval in Amsterdam 2017. Een stroomuitval

⁴⁹ <https://www.agentschaptelecom.nl/documenten/rapporten/2017/november/01/thuiswerken-bij-stroomuitval>

heeft daarom, nadat deze hersteld is, nog na-ijleffecten, doordat dan duidelijk wordt welke apparaten de stroomuitval niet overleefd hebben of niet vanzelf herstarten. Met het gebruik van small cells betekent dit waarschijnlijk dat na een stroomuitval er meer small cells opnieuw opgestart of vervangen moeten worden.

Om een idee te geven hoeveel stroomuitval effect heeft op het mobiele netwerk lichten we verder toe hoe het in 2015 is gegaan. Uit onderzoek van het Agentschap Telecom naar de stroomuitval in Noord-Holland in 2015 blijkt dat:

- Om 09:37 uur de stroom uitvalt;
- circa 40% van alle antenne opstelpunten zijn binnen enkele minuten uitgevallen;
- ruim 75% van alle sites zijn na 1 uur uitgevallen;
- ruim 80% van alle sites zijn na 2 uur uitgevallen;
- nadat om 15:08 uur de gehele stroomvoorziening is hersteld, komt ongeveer 10% van de antenne opstelpunten in het getroffen gebied niet automatisch terug. Hierdoor zijn technici tot de volgende dag actief geweest om deze sites handmatig te activeren.

Ook bij de grote stroomstoring van 2017 in Amsterdam zijn er vergelijkbare ervaringen, alhoewel de percentages niet bekend gemaakt zijn. Bij kleinere (in geografische zin) uitval kan een deel van de dienstverlening overgenomen worden door naburige zendmasten, maar bij grootschalige uitval is niet zozeer de dekking, maar het aantal gebruikers per zendmast problematisch.

Het is ook mogelijk dat mobiele netwerken diensten afschakelen om de basisdienstverlening (spraak) langer te kunnen laten functioneren. Verschillende aanbieders schakelen eerst het LTE-netwerk af, of beperken dit tot Voice-over-LTE, of de LTE-antennes zijn niet op de noodstroomvoorziening aangesloten. Dit betreft juist de diensten die over small cells gaan.

De conclusie ten aanzien van telecommunicatiediensten en stroomuitval is dat bij kleinschalige of kortdurende uitval het mobiele netwerk veelal de enige terugvalmogelijkheid van veel consumenten is. Bij een grootschalige en langdurige uitval in een middelgrote stad moet de consument er rekening mee houden dat er geen alternatieven meer zijn voor mobiel internet en dat het mobiele telefonienetwerk verminderde capaciteit en waarschijnlijk zelfs congestie heeft. Small cells behoren tot de categorie antennes die het eerst afgeschakeld worden of uitvallen. De continuïteit van het netwerk is namelijk afhankelijk van de macrosites, deze moeten indien mogelijk blijven functioneren. De macrosites zijn essentieel voor het telefonienetwerk en daarbij de bereikbaarheid van 112, daarom hebben die prioriteit boven small cells. Het effect voor consumenten is dat de capaciteit van het netwerk nog sneller afneemt, omdat alleen grotere macrosites blijven functioneren. Stroomuitval is niet het enige risico bij small cells, in dit onderzoek hebben we de focus gericht op stroomuitval en hebben we andere risico's buiten dit onderzoek gelaten. Het programma Telekwetsbaarheid van het Agentschap Telecom onderzoekt voortdurend risico's van uitval in de telecommunicatie.

4.2 Cyber security

Wat betreft cyber security zijn er bij small cells wellicht grotere risico's dan bij andere soorten antennes. Het risico komt voort uit het feit dat sommige small cells gebruik kunnen maken van een verbinding over het internet om in contact te komen met een grotere cell. Traditionele antennes maken gebruik van een dedicated netwerk voor het mobiele net. Waar het vroeger moeilijk was om bij de individuele cell te komen, zijn deze nu in staat verkeer over internet te ontvangen en mogelijk dus ook vatbaar voor aanvallen van buitenaf.




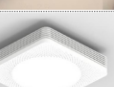







De veiligheidseisen bij operators zijn echter zeer streng en het is vooralsnog nog niet voorgekomen dat een telecommunicatienetwerk bestaande uit small cells gehackt is. Ook zijn er in de recente standaarden oplossingen geïntroduceerd waardoor een zogenaamde man in the middle attack (een aanval waarbij informatie tussen twee communicerende partijen onderschept wordt) moeilijker is dan bij traditionele 2G-netwerken. Met het toenemend gebruik van small cells zullen er wellicht een aantal andere zaken aan het licht komen, maar voor nu is het te vroeg om te zeggen of small cells tot een verzwakking van de beveiliging leiden.

4.3 Samenvatting




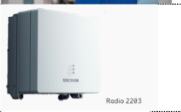

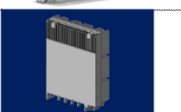






De continuïteit van small cell netwerken bij stroomuitval is beperkt. Op de locaties waar small cells opgesteld staan is veelal geen ruimte voor batterijen of aggregaten, waardoor de meeste small cells direct uit zullen vallen. Daarbij schakelen mobiele operators de data dienstverlening vaak af om energie te besparen, zodat het netwerk langer telefonie naar 112 kan ondersteunen. Grootschalige stroomuitval vindt echter niet vaak plaats in Nederland.

Small cells voegen een extra dimensie toe aan de ICT-beveiliging van mobiele netwerken. Tot nu toe werkten mobiele netwerken vooral met een eigen dedicated netwerk. Small cells werken ook via het internet en dit kan mogelijk tot beveiligingsproblemen leiden. Voor nu is het te vroeg om te zeggen of gebruik van small cells tot een verzwakking van de beveiliging leidt.















Annex A Technische specificaties small cells en massive MIMO-antennes

Indoor/ Outdoor	Type	Product	Afbeeldingen	Frequentie & Protocols	Typisch gebruik	Stroomverbruik	Uitgangsvermogen zender*	Zendvermogen ERP en/of antennegain	Afmetingen (mm)	Dekking in meters	Straat Integratie	Extra Informatie	Link
Indoor	Femtocell	ZTE: Femto ZXSDR BS8002		- Bandbreedte 20MHz - Ondersteund: LTE+WIFI of LTE, UMTS, WIFI	Klein tot middelgrote scenario's (kantoor, openbare ruimtes)	10W bij 100% RF belasting LTE 2.6 (V3.1 planning status)	2x 50mW, 2T2R 2x10mW, WIFI	...	...	...	Nee	...	ZTE produkt: Produkt ZTE web: Small cells
Indoor	Femtocell	Nokia : FemtoCell Multi-Band Soho		- Tx Freq: B1: 2210-2170 MHz | Rx Freq: B1: 1920-1980 MHz - Tx Freq: B3: 1805-1880 MHz | Rx Freq: B3: 1710-1785 MHz - Tx Freq: B7: 2620-2690 MHz | Rx Freq: B7: 2620-2690 MHz - 3G W-CDMA and 4G LTE	Klein tot middelgrote scenario's (kantoor, openbare ruimtes)	Input power: 100-240VAC, 50-60Hz, 1.0A Input power: 48VDC, 0.6A PoE Type 2: 30W	12VDC, 2A	Tx: B1: 21 dBm Tx: B3: 21 dBm Tx: B7: 21 dBm	(hxbxd): circa 200x300x50	Tientallen meters	Nee	...	Nokia web: Femtocell multi band soho Focid: Nokia SOHO handleiding
Indoor	Picocell	Huawei: 5G LampSite (pRRU5923)		- 4G: LTE-A, LTE-B, en ook 5G NR - C-Band/Sub 3GHz multi banden - Ondersteund: MU-MIMO, CoMP, CA, LAA, WIFI, 2G 3G 4G Diensten, en Multi Operator	Klein tot middelgrote scenario's (kantoor, openbare ruimtes)	...	<1G: 2*100mW / band >1G: 2*250mW / band	<1G: Gain 1.5dBi >1G: Gain 3dBi	(hxbxd): circa 230x230x40	...	Nee	Multi operator mogelijk	Huawei produkt: Lampsite Huawei web: Multiple in One 5G lampsite Huawei: Informatie verkregen van leverancier
Indoor	Picocell	Huawei: Pico (BTS3911B)		- Tx (AWS Band): 2110 tot 2155 MHz | Rx: 1710 tot 1755 MHz - Tx (PCS Band): 1930 tot 1990 MHz | Rx: 1850 tot 1910 MHz - Max. RF Bandbreedte 20MHz - Ondersteund: LTE: 5, 10, 15, 20MHz, UMTS, WIFI en MIMO	Klein tot middelgrote scenario's (kantoor, openbare ruimtes)	PoE 55V (afhankelijk van type: 15 tm 100W)	Tx max 250mW	+21dBm (Gain 3dBi)	(hxbxd): 200x200x55	...	Nee	...	Huawei web: Pico Huawei handleiding: BTS3911B Huawei report: BTS3911B test report
Indoor	Picocell	ZTE: Pico ZXSDR BS8102		- Bandbreedte 20MHz - Frequency banden: L2600: Band 7, L1800: Band 3, L2100: Band1, andere banden nog in planning	Klein tot middelgrote scenario's (kantoor, openbare ruimtes)	<20W	max 2x125mw	Receiving sensitivity 2R: -101dBm	(hxbxd): 245x177x46	...	Nee	...	ZTE produkt: Produkt ZTE web: Small cells
Indoor	Microcell	Nokia : AWHQA AirScale Indoor Radio n78 (B42) ASIR-ANT		- 5G Access: n78 (Band 42) - Band frequentie UL: 3400-3600MHz - Band frequentie DL: 3400-3600MHz - Provider bandbreedte: 50MHz, 100MHz - Ondersteund: 5G NR	Middel tot grote scenario's (kantoor, openbare ruimtes)	PoE Type 4: 100W	50mW tot 250mW / Tx path	-0dBi	(hxbxd): 210x210x54	Honderden meters	Nee	...	Nokia: Informatie verkregen van leverancier
Indoor	Niet te classificeren	Ericsson: 5G Radio Dot		- 3GPP - 5G middenband frequenties: 3-6GHz - Ondersteund: LAA, WIFI, MIMO, Multi Operator (bij Multi Dot)	Klein tot middelgrote scenario's (kantoor, openbare ruimtes)	PoE 55V (afhankelijk van type: 15 tm 100W)	50mW	+17dBm (Gain 23dB tot 75dB)	(hxb): circa 50x130	Tientallen meters	Nee	Multi operator mogelijk met "Multi dot"	Ericsson web: 5G supreme indoor coverage Smallcells 3G4G: Ericsson radio dot evolution Ericsson press: Operators adopt ericsson KTH: Scalability performance of dot system
Indoor	Niet te classificeren	ZTE: Ocell		- 2*20MHz MIMO LTE cells of 2G/3G/4G cells - Ondersteund: Multi-frequency en Multi-mode (GSM/UMTS/LTE of CDMA/LTE)	Middel tot grote scenario's (kantoor, openbare ruimtes)	...	n*50mw	...	...	...	Nee	...	ZTE produkt: Small Cell ZTE web: Qcell ZTE produkt: Info GTIgroup: Info
Indoor/ Outdoor	Picocell	ZTE: Pico ZXSDR BS8202		- Bandbreedte 30 MHz - Ondersteund: LTE+WIFI or LTE +UMTS +WIFI	Klein tot middelgrote scenario's (kantoor, openbare ruimtes)	Consumption 60W@100% RF load LTE2.6 (outdoor, V4.0 planning status)	2x 1W, 2T2R	...	...	...	Nee	...	ZTE web: Small cells Edoc: Info
Indoor/ Outdoor	Picocell	Nokia: Flexi Zone Indoor Pico BTS		- LTE gelicenseerd banden/carriers, tot 60MHz - Ondersteund: LTE-U/LAA(License Assisted Access) and up to 80MHz of Wi-Fi/LWA (LTE-Wi-Fi Aggregatie) 3G, LTE, Wi-Fi, DAS	Middelgrote scenario's (Hotspots)	AC 90 - 264 V	Up to 1W per TX branch, power down tot 250mW	...	...	Tientallen meters	Nee	...	Nokia: Info Focid: Handleiding info 1 Focid: Handleiding info 2
Indoor/ Outdoor	Microcell	ZTE: Micro BS8912		- Bandbreedte 20 MHz - Gebruiks frequentie band: 1800, 2100 & 2600MHz - Meer frequentie in planning - All-IP architecture	Middel tot grote scenario's (Straat niveau)	48V DC; 110*220V AC <130W (DC)	2X5W	-105dBm single antenna -107.8dBm dual antennas	(hxbxd): 360x230x110	...	Nee	...	ZTE produkt: Produkt ZTE web: Small cells Edoc: Info

* Uitgangsvermogen zender: Geeft een overzicht van het vermogen dat het apparaat uitzendt naar de antenne. De waarde is een weergave van wat het apparaat maximaal uitzendt naar de antenne of wat een antenne minimaal nodig heeft.

Indoor/ Outdoor	Type	Product	Afbeeldingen	Frequentie & Protocols	Typisch gebruik	Stroomverbruik	Uitgangsvermogen zender*	Zendvermogen ERP	Afmetingen (mm)	Dekking in meters	Straat Integratie	Extra Informatie	Link
Outdoor	Microcell	Nokia: Flexi Zone Micro BTS		- LTE licensed bands/carriers, tot 60MHz - LTE-U/LAA (License Assisted Access) tot 80MHz - Wi-Fi/LWA (LTE-Wi-Fi Aggregatie) 3G, LTE, Wi-Fi, DAS	Middelgrote scenario's (Hotspots)	AC 90 - 264 V	Tot 5W per TX branch, power down to 250mW	Max EIRP 53 dBm	...	Honderden meters	Nee	...	Nokia: Info Focid: Handleiding info 1 Focid: Handleiding info 2
Outdoor	Microcell	Nokia: Flexi Lite Base Station (Flexi Lite BTS 2100)		UMTS band I, Up-link 1920-1980 MHz Down-link 2110-2170 MHz WCDMA/HSPA and LTE	Middel tot grote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	100-240V AC 50/60Hz	Tot 10W + 10W	-121dBm single branch	(hxbxd): 380x325x86	Honderden meters	Nee	...	Manualzz: handleiding 1 Focid: Handleiding info 2 Mforum: Info
Outdoor	Microcell	Ericsson: Radio 2205		Hetzelfde als Ericsson Radio 2203 met als extra: - Ondersteuning voor ongelicentieerde B46 band - LAA	Middel tot grote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	-48 VDC or 100 - 250 VAC	Tot 2x316 mW	...	(hxbxd): 200x200x100	...	Nee	...	Ericsson: Radio-systeem
Outdoor	Microcell	Ericsson: Radio 2208		Hetzelfde als Ericsson Radio 2203+2205 en extra: - Ondersteuning voor LTE TDD met twee duplex Tx/Rx - Ondersteuning tot 3 LTE carriers en 60 MHz IBW. - Verder ondersteund het CBRS 3.5GHz in Amerika.	Middel tot grote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	-48 VDC or 100 - 250 VAC	2x10W	...	(hxbxd): 200x200x100	...	Nee	...	Ericsson: Radio-systeem
Outdoor	Microcell	Ericsson: Radio 2203		- Frequentie banden: 3GPP Bands B1 (W/L), B3 (L), B3C (W/L), B8 (W/L), B66A (W/L), B5 (W/L), B2/B25 (W/L), B12 (L), B13 (L) and B7 (L) - LTE: tot 40 MHz	Middel tot grote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	-48 VDC or 100 - 250 VAC	Tot 2 x 5 W	...	(hxbxd): 200x200x100	...	Nee	...	Focid: Handleiding Ericsson: Radio-systeem
Outdoor	Microcell	Ericsson: Radio 4402 for FDD.		- Frequentie: Onbekend - Ondersteund: MIMO	Middel tot grote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	...	4T/4R poorten 4x5W	...	...	...	Nee	...	Ericsson: 5G-radio
Outdoor	Microcell	Nokia: AWHCE AirScale Micro RRH 4T4R n78 40W		- Spectrum: banden n78 3400-3600 MHz (LTE Band 42) - RF Bandbreedte: oBW: 100 MHz 4T4R (5G) - RF Bandbreedte: iBW: 200 MHz 4T4R (5G) - Bandbreedte: Carrier NR: tot 1x100 MHz, 1x100 MHz, tot 1x50 MHz	Middel tot grote scenario's (Straat niveau)	76 - 288V AC of -40.5 to -57V DC 345W Max, Typ 285W	Tot 10W per TX Path (TD 4x10W) 4T4R	...	...	Honderden meters	Nee	...	Nokia: Informatie verkregen van leverancier Nokia: Airscale micro Info
Outdoor	Microcell	Huawei: AtomCell (BTS3912E)		1.8 GHz+2.1GHz	Middel tot grote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	...	2x10W	...	...	...	Nee	...	Huawei: Lampsite Edoc: Huawei Roadmap
Outdoor	Microcell	Ericsson/Phillips: Lightpole site large		Integreerd Ericsson Radio Small Cells	Middel tot grote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	...	...	...	...	...	Ja, in lantaarnpal en	...	Ericsson: Lightpole
Outdoor	Microcell	Ericsson/Phillips: Lightpole site slim		Integreerd Ericsson Radio Small Cells	Middelgrote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	...	...	...	...	...	Ja, in lantaarnpal en	...	Ericsson: Lightpole Ericsson: Lightpole-site-slim
Outdoor	Microcell	Nokia: FW3UA - 5G Medium Power RAP n257 28G		- Spectrum: Band n257 26500 - 29500 MHz - RF Bandbreedte: oBW : 800 MHz 2T2R (5G) - RF Bandbreedte: iBW : 1400 MHz 2T2R (5G) - Bandbreedte: Carrier NR: 50, 100, 200, 400 MHz (up to 8x100MHz carriers)	Middel tot grote scenario's (Straat niveau)	90 - 288 VAC of -40.5 to -57 V DC, 300W Max, Typ 270W	...	Max EIRP 53 dBm	(hxbxd): 330x220x123	...	Nee	...	Nokia: Informatie verkregen van leverancier Nokia: Airscale micro Info
Outdoor	Special	Ericsson: New Vault Radio 2268		- Alle Radio systemen micro banden - Ondersteund: TDD, FDD, LAA	Middelgrote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	...	...	...	...	...	Ja, putdeksel	2 delen radio unit onder putdeksel en antenne direct onder de deksel	Ericsson: New Vault Radio 2268 Smallcells.3g4g: Underground small cells Tweakers: Vodafone putdeksels Slideshare Ericsson: Urban case studies

* Uitgangsvermogen zender: Geeft een overzicht van het vermogen dat het apparaat uitzendt naar de antenne. De waarde is een weergave van wat het apparaat maximaal uitzendt naar de antenne of wat een antenne minimaal nodig heeft.

Indoor/ Outdoor	Type	Product	Afbeeldingen	Frequentie & Protocols	Typisch gebruik	Stroomverbruik	Uitgangsvermogen zender*	Zendvermogen ERP	Afmetingen (mm)	Dekking in meters	Straat Integratie	Extra Informatie	Link
Outdoor	Small cell antenne	Kathrein: 10-Port Omni Antenna Y3, Y4, Y5 - 84010555		- Frequentie bereik: 3550-3700 MHz - Frequentie bereik: 5150—5350, 5350—5470, 5470—5725, 5725—5850, 5850—5925 MHz	Middel tot grote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	...	...	Gain: 6.8 dBi & 7.0 dBi Gain: 5.0/6.0, 4.7/6.0, 4.8/6.0, 4.3/6.0dBi	(hxb): 626x407	...	Nee	Beamforming: ja	Kathrein: Producten Kathrein: Info
Outdoor	Small cell antenne	Kathrein: Street Connect Y1 & Y2 2-Port Antenna - 80010235		- Frequentie bereik: 1695-2690 MHz - Ondersteund: 2x2 MIMO	Middelgrote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	...	...	Gain 6 dBi Passive Intermodulation < -153 dBc (2 x 43 dBm carrier)	(hxb): 375x32	...	ja, putdeksel	...	Kathrein: Producten Kathrein: Info
Outdoor	Small cell antenne	Kathrein: 2-Port Kathrein Inside Connect Y1 - 80020100		- Frequentie bereik: 1695-2690 MHz - Ondersteund: 2x2 MIMO	Middelgrote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	...	...	Gain max 8 dBi Passive Intermodulation [dBc] < -150 (2 x 43 dBm carrier)	(hxbxd): 121.5x124x74	...	ja, bushaltes, billboards, etc.	...	Kathrein: Producten Kathrein: Info
Outdoor	Small cell antenne	Kathrein: 2-Port Antenna Y1 - 80010711		- Frequentie bereik: 1710-1990, 1920-2200, 2200-2490, 2490-2690 MHz	Middelgrote scenario's (Straat niveau, Hotspots)	...	...	Gain 8.7, 9.2, 9.6, 9.8 dBi	(hxbxd): 155x155x69	...	Nee	...	Kathrein: Producten Kathrein: Info
Outdoor	Massive MIMO	Nokia: AirScale massive MIMO Adaptive Antenna		- LTE networks in Single RAN configuration for FDD and TDD - Te upgraden naar 5G - MIMO plus coverage of lower band (64 transmit and 64 receive streams, 16 layer Massive MIMO)	Macro	...	120W for all ports	Gain (maximum) 23,4 dBi	...	...	...	Beamforming: ja	Nokia: Info Nokia: Massive MIMO Tyrn: Massive MIMO Nokia: https://fccid.io/VBNA4AE-01/Test-
Outdoor	Massive MIMO	Huawei: Massive MIMO AAU		- 5G ready - C-Band-All other bands using 200 MHz bandwidth. - TDD Massive MIMO and multi-carrier aggregation using the 40 MHz bandwidth on the 3.5 GHz band	Macro	...	...	...	...	...	...	Beamforming: ja	Huawei: Massive MIMO Huawei: Massive MIMO 2
Outdoor	Massive MIMO	Ericsson: AIR 6468		- 4G en 5G - The new radio provides LTE support as well, so it is applicable in today's networks.	Macro	...	120W	...	(hxbxd) 988x520x158 en 988x520x187	...	...	Beamforming: ja (64 zend- en 64 ontvangstantennes)	Ericsson: Massive MIMO Ericsson: 5G NR radio https://fccid.io/TABA KRD901075/User-
Outdoor	Massive MIMO antenne	Taoglas: Aurora CMM.100.A		- 5-6GHz - C-Band Massive MIMO Phased Array - The panel has over 1GHz 10dB impedance bandwidth and features over 20dB isolation between the horizontal and vertical polarizations.	Macro	...	...	Gain 19dBi tm 27 dBi	...	...	...	Beamforming: ja (64 zend- en 64 ontvangstantennes)	Taoglas: Massive MIMO
Outdoor	Backhaul (Short, Front, Node)	Ericsson: MINI-Link 6351		Frequentie: 59-63 GHz, FDD	Backhaul Node	POE (IEEE 802.3at) for single 1/f and -48V or +36V for multiple	20W	- 32 dBi - Tx: + 8dBm - Tx ontvanger bij 50MHz: -74 to 54 dBm	(hxb): circa 175x175	...	Nee	...	Ericsson: Wireless Fiber - 6351 Ericsson: MINI-Link 6351 Ericsson: Briefing Powertecowif: MiniLink brochure Fccid: Handleiding
Outdoor	Backhaul (Short, Front, Node)	Huawei: AtomCell RTN360 (Atomcell Radio transmission system)		59GHz-64GHz, Channel Spacing 200MHz	Radio Backhaul	PoE	<20W	...	(hxbxd): 190x190x65	Honderden meters	Nee	Beamforming: ja	Huawei: Huawei RTN 360
Outdoor	Backhaul (Short, Front, Node)	Ericsson: Fronthaul 6000 Active		- LTE, LTE-advanced en 5G.	Fronthaul	...	...	...	...	...	Nee	...	Ericsson web: Fronthaul 6000 GulfSouthtowers: Info Ericsson: Fronthaul Info
Outdoor	Backhaul (Short, Front, Node)	Ericsson: MINI-Link 6363		- Frequenties 6-42GHz en 70-80 GHz - Radiolink kanaal: 7-112 MHz	Backhaul Node	+57 VDC	20 W	Tx: -10 tot +30 dBm FIAT PANEL ANTENNAS HP 28 - 42 GHz, 30-33 dBi	(hxbxd): 179x197x79	...	Nee	...	Tele-a: Ericsson Wireless Fiber - 6363
Outdoor	Backhaul (Short, Front, Node)	Ericsson: MINI-Link 6392		- Frequenties: 70-80GHz banden	Fronthaul	...	...	...	...	...	Nee	...	BarcodeLand: Ericsson Wireless Fiber - 6392 Powertecowif: MiniLink brochure
Outdoor	Backhaul	ZTE: MagiC RRU ZT4R ZXSDR R8862A		- Frequentie banden: 1800/2100/2600 MHz - IBW: 40 MHz - Bandbreedte: 1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz	Fronthaul	DC: -48V (-37V, -60V DC) AC: 220V / 110V (100V, 240V AC)	2*40W @ 2600MHz 2*40W/2*60W bij 1800/2100MHz	Receiving sensitivity: -106.4dBm single antenna -109.2dBm dual antennas -112dBm four antennas	(hxbxd): 422x218x165	...	Nee	...	ZTE: Small-cell Edoc: ZTE: Enodewen Fccid: Handleiding

* Uitgangsvermogen zender: Geeft een overzicht van het vermogen dat het apparaat uitzendt naar de antenne. De waarde is een weergave van wat het apparaat maximaal uitzendt naar de antenne of wat een antenne minimaal nodig heeft.

Stratix

Stratix B.V.

Villa Hestia - Utrechtseweg 29
1213 TK Hilversum

Telefoon: +31.35.622 2020
E-mail: office@stratix.nl
URL: www.Stratix.nl
Reg. no.: 57689326
IBAN: NL85ABNA0513733922
BIC: ABNANL2A
VAT: NL8526.92.079.B.01