



Mogelijkheden voor het PAMR- spectrum in relatie tot continuïteit van slimme meters

In opdracht van:

Ministerie van Economische Zaken en
Klimaat

Project:

2019.111

Publicatienummer:

2019.111.1924 v1.4.2

Datum:

Utrecht, 28 mei 2020

Auteurs:

ir. Tommy van der Vorst
ir. Jan van Rees
mr. Melvin Hanswijk



Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	5
Bevindingen.....	5
1 Introductie.....	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Onderzoeksvraag.....	9
1.3 Aanpak.....	9
1.4 Leeswijzer	10
2 Huidig gebruik van de PAMR-band	11
2.1 Slimme meters.....	11
2.2 CDMA-technologie	13
2.3 CDMA-netwerk	14
2.4 Relevante toekomstige ontwikkelingen	18
3 Vereisten voor continuïteit.....	21
3.1 Capaciteit en dekking	21
3.2 Technologie	22
3.3 Digitale veiligheid	22
3.4 Levenscyclus van technologie en apparatuur	24
3.5 Frequentietechnische randvoorwaarden	26
3.6 Mobiele netwerkcode.....	28
4 Mogelijkheden borgen continuïteit.....	29
4.1 Technische mogelijkheden	29
4.2 Technische uitwerkingen.....	36
4.3 Technische alternatieven	46
4.4 Conclusie.....	48
5 Conclusie	51
5.1 Beantwoording hoofdvraag	51
5.2 Beantwoording deelvragen.....	52
Verwijzingen	57
Bijlage 1. Overzicht interviewrespondenten	59
Bijlage 2. Afhankelijkheid van de mobiele netwerkcode (MNC) 66	61
Inleiding.....	61
Beantwoording	61
Toekomstige gebruiksscenario's	64
Conclusie.....	66

Managementsamenvatting

Frequentieruimte in de 450-470 MHz Public Access Mobile Radio (PAMR)-band wordt door energienetbeheerders momenteel gebruikt om een deel van de slimme meters van een draadloze verbinding te voorzien. Voor de wettelijk verplichte grootschalige uitrol van slimme meters is van belang dat de geplaatste en nog te plaatsen meters kunnen blijven functioneren. Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) vraagt inzicht in de mogelijkheden die er zijn ten aanzien van de frequentieruimte, waarbij continuïteit van betreffende slimme meters kan worden geborgd.

De hoofdvraag luidt:

Hoe kan de continuïteit (werking) van betreffende slimme meters worden geborgd voor de periode na 17 november 2024? Beschrijf de verschillende opties met voor- en nadelen, randvoorwaarden en de haalbaarheid.

Bevindingen

In Nederland zijn, en worden tot en met 2021, circa 4,3 miljoen slimme meters op basis van CDMA-technologie uitgerold. De netbeheerders beogen deze minimaal tot circa 2038 - 2040 in bedrijf te houden. CDMA-technologie is 'end of life'. Noch de technologie, noch het netwerk zijn in staat om de communicatiebehoefte te dragen die wordt voorzien in de energietransitie. Daarnaast neemt de beschikbaarheid van CDMA-technologie (chipsets, modemmodules, netwerkkapparatuur) de komende jaren verder af. De CDMA-meters zijn, zonder interventie op locatie, uitsluitend uit te lezen via CDMA in de PAMR-band. Vervanging (al dan niet van de communicatiemodule) behelst een omvangrijk traject en investering.

In de periode na 17 november 2024 zou de PAMR-band op verschillende manieren kunnen worden ingevuld. Uit het onderzoek volgt dat de haalbaarheid en risico's ten aanzien van continuïteit bij verschillende invullingen afhangt van drie parameters:

1. *Hoeveel CDMA-carriers zijn er beschikbaar voor de slimme meter (binnen het ondersteunde bereik)?* Zijn dit er twee, dan heeft dit geen impact op de continuïteit: de huidige situatie wordt voortgezet. Is dit er één, dan is een migratie van twee naar één carriers noodzakelijk. Dit vraagt het uitbreiden van de capaciteit van het CDMA-netwerk (door het bijbouwen van sites) en/of het migreren van meters naar een ander netwerk (om de druk op het CDMA-netwerk te verlagen). Daarnaast is een aanpassing in de configuratie van de CDMA-meters nodig (die op afstand is uit te voeren, maar minimaal enkele maanden tijd kost en beheersbare risico's kent). Zijn er tot slot géén CDMA-carriers beschikbaar, dan dienen alle meters (of communicatiemodules daarin) te worden vervangen voor exemplaren die een andere vorm van connectiviteit ondersteunen.
2. *Wordt de PAMR-band verbreed (en, noodzakelijkerwijs om dit zinvol te laten zijn, de frequenties van CDMA-carriers aangepast)?* Een aanpassing van CDMA-frequenties vraagt ten minste een update van de configuratie van de meter ("PRL-update"), een operatie met beheersbaar risico. Daarnaast kan de gevoeligheid van de CDMA-meter slechter zijn op andere kanalen (ook al worden deze ondersteund) dan de huidige, wat extra sites of netwerkoptimalisatie zou vragen.
3. *Hoeveel niet-colocated netwerken zijn actief in het spectrum rondom de CDMA-carrier van de slimme meter?* Met niet-colocated wordt bedoeld: netwerken die

geen gebruik maken van dezelfde basisstationlocaties. Wanneer een tweede netwerk niet-colocated is, dient rekening te worden gehouden met interferentie. Wanneer het nieuwe netwerk colocated is dan beperkt dit de problematiek, maar is mogelijk nog steeds lokaal sprake van beperkte capaciteit ten opzichte van een situatie waarin meer ruimte (guard band) is aangebracht tussen beide carriers.

Zonder een CDMA-carrier in de huidige PAMR-band zouden de netbeheerders vanaf 2024 de CDMA-meters niet meer kunnen uitlezen. Dit scenario vraagt vervanging van alle CDMA-meters of vervanging van een communicatiemodule. Wel stellen we vast dat het mogelijk is om over te stappen op één carrier in plaats van twee. Dit vraagt een investering in nieuwe sites, en/of het overzetten van een deel van de meters naar een ander netwerk. Wanneer een van de bestaande carriers wordt uitgeschakeld, ontstaat ruimte voor een tweede kavel in het spectrum.

Op welke wijze maken de betreffende slimme meters gebruik van de PAMR-frequentieband, en zijn zij daarvan afhankelijk? Wat zijn relevante ontwikkelingen?

De uitgerolde en nog uit te rollen CDMA-meters zijn in ieder geval afhankelijk van ten minste één CDMA-carrier in CDMA 450-spectrum (band 5/11 block C, vanuit de aanbesteding is alleen ondersteuning van de PAMR-band gegarandeerd). Is deze carrier niet beschikbaar, dan zullen de (communicatiemodules in de) betreffende CDMA-meters moeten worden vervangen. Hiervoor is inzet van een monteur op locatie nodig, en zijn er ontwikkelkosten.

Als meest relevante ontwikkeling zien we, naast de doorlopende uitrol van slimme meters en verwachte afname van beschikbaarheid van CDMA-apparatuur en -ondersteuning, een toename in de datavraag. Waar in eerste instantie één waarde per dag werd uitgelezen, is de vraag naar kwartierwaarden (ééns per dag opgehaald) groter dan verwacht door de netbeheerders. Er zijn daarnaast signalen dat ook vraag naar real-time "secondenwaarden" zal ontstaan, iets wat op basis van het CDMA-netwerk niet realistisch lijkt.

Welke aspecten zijn frequentie- en netwerktechnisch gezien van belang voor de continuïteit (werking) van de slimme meters?

Voor CDMA-meters geldt dat er (zoals hierboven aangegeven) tenminste één carrier beschikbaar moet zijn in het ondersteunde frequentiebereik (in ieder geval de PAMR-band, mogelijk CDMA-band 11 block C) met voldoende signaalsterkte. Daarnaast moet het netwerk voldoende capaciteit bieden (zowel in termen van aantal ondersteunde meters per cel als doorvoercapaciteit).

Vanuit netwerkperspectief betekent de doorlopende uitrol van CDMA-meters dat er verdichting moet plaatsvinden (het bijplaatsen van sites). Utility Connect is hier reeds mee bezig. Omdat er op dit moment twee carriers worden gebruikt, en de grenzen van de capaciteit van het huidige netwerk in zicht zijn, zou een overstap naar één carrier een nog verdere verdichting vragen in bepaalde gebieden.

Kijken we naar de gehanteerde communicatietechnologie dan valt op dat CDMA een beperkende factor vormt ten aanzien van het aantal slimme meters en de doorvoercapaciteit die per cel wordt ondersteund. Nieuwere technologieën als LTE-M en NB-IoT maken vele malen efficiënter gebruik van spectrum. We zien dat de grenzen van CDMA gezien de toenemende datavraag in zicht komen.

Los van de netwerktechnologie en de 'legacy' van geïnstalleerde CDMA-meters zien we geen redenen om aan te nemen dat het PAMR-spectrum noodzakelijk zou zijn om slimme meters uit te lezen. De band heeft als bijzondere eigenschap ten opzichte van andere

banden dat deze minder uitdooft in dergelijke (indoor)situaties. Deze eigenschap moet echter worden gezien ten opzichte van de andere parameters die bepalend zijn voor dekking. Door het propagatiepad te verkorten (en dus meer sites te plaatsen) is dezelfde signaalsterkte te realiseren. We zien dat commerciële netwerken in hoger spectrum (bijvoorbeeld 800 MHz) een veelvoud aan sites hebben vergeleken met Utility Connect. Daar komt bij dat het linkbudget (of *maximum coupling loss*) van nieuwere technologieën als LTE-M en NB-IoT hoger ligt dan dat voor CDMA, waardoor de dekking verder verbetert.

Het uitlezen van slimme CDMA-meters is tot slot afhankelijk van de mobiele netwerkcode (MNC) 66, welke op dit moment aan Utility Connect is toegewezen. Er bestaan geen risico's rondom continuïteit bij ander gebruik van deze MNC, zolang rekening wordt gehouden met enkele (technische) beperkingen bij dit gebruik (een uitwerking is te vinden in Bijlage 2).

Welke opties zijn er om die continuïteit na 2024 langer te borgen, binnen de frequentieruimte en eventueel daarbuiten?

De meest voor de hand liggende optie is om CDMA in de PAMR-band terug te brengen tot één carrier. In de vrijgekomen ruimte kunnen smalbandige technologieën worden gebruikt, zoals NB-IoT. In plaats van de CDMA-carrier kan ook een LTE-carrier worden geplaatst. De capaciteit hiervan kan niet volledig worden benut als gevolg van wederzijdse interferentie (dit effect is sterker indien de carrier niet co-located is). Wanneer de PAMR-band minimaal 170 kHz kan worden verbreed, kan (ook bij niet-colocated) de volledige capaciteit van de nieuwe LTE-carrier worden benut. Met verdere verbreding kan worden aangesloten op LTE-band 31. De impact van CDMA op het spectrum is daarmee tot het minimale gereduceerd, terwijl ruimte ontstaat voor maximaal twee operators op basis van LTE(-M) (1,4 MHz), of één operator op basis van 3 MHz.

In het geval er één CDMA-carrier zal zijn in de PAMR-band hoeven CDMA-meters niet te worden vervangen. Wel moet er worden geïnvesteerd in het CDMA-netwerk om voldoende capaciteit te kunnen bieden. Daarnaast moet er een update worden doorgevoerd op de meters. Modellen waarin een andere partij CDMA-dienstverlening gaat leveren zijn technisch gezien mogelijk (er is een update van de slimme metersoftware en uitwisseling van beveiligingsgegevens nodig).

Mogelijkheid	Aantal CDMA-450-carriers	PAMR-band	Netwerken	Spectrum-gebruik	Borging continuïteit
A	2	Huidige	Colocated	2xCDMA	Gelijk aan huidige situatie
B	2	Huidige	Niet colocated	2xCDMA	Migratie slimme meters naar één CDMA-carrier. Beperkte vraag naar CDMA buiten slimme meter
C	2	Verbreed (maximaal +1,77 MHz)	Colocated	2xCDMA	Wijzigen CDMA-frequenties slimme meters; verbreding PAMR-band
D	2	Verbreed (maximaal +1,77 MHz)	Niet colocated	2xCDMA	Wijzigen CDMA-frequenties slimme meters; verbreding PAMR-band
E	1	Huidige	Colocated	1xCDMA + 1xLTE ($\leq 1,4$ MHz)	Migratie slimme meters naar één CDMA-carrier; LTE alleen door CDMA-aanbieder.
F	1	Huidige	Niet colocated	1xCDMA + 1xLTE ($\leq 1,4$ MHz)	Migratie slimme meters naar één CDMA-carrier; interferentie tussen CDMA en LTE (beperkte capaciteit LTE-carrier)
G	1	Verbreed (+170 kHz)	Colocated	1xCDMA + 1xLTE ($\leq 1,4$ MHz)	Migratie slimme meters naar één CDMA-carrier; wijzigen CDMA-frequenties slimme meters
H	1	Verbreed (+170 kHz tot +1,77 MHz)	Niet colocated	1xCDMA + 1xLTE (≤ 3 MHz)	Migratie slimme meters naar één CDMA-carrier; wijzigen CDMA-frequenties slimme meters
X	0	n.v.t.	n.v.t.	LTE (≤ 5 MHz)	Vervanging slimme meter of communicatiemodule

1 Introductie

1.1 Achtergrond

Frequentieruimte in de 450-470 MHz Public Access Mobile Radio (PAMR)-band wordt door energienetbeheerders momenteel gebruikt om een deel van de slimme meters van een draadloze verbinding te voorzien. Voor de wettelijk verplichte grootschalige uitrol van slimme meters is van belang dat de geplaatste en nog te plaatsen meters kunnen blijven functioneren. Daarom is in de toelichting op het Verlengbaarheidsbesluit [1] van de huidige PAMR-vergunning opgenomen dat bij een latere herverdeling zo nodig nadere voorzieningen worden getroffen om de continuïteit van de betreffende slimme meters te borgen voor de periode na de verlenging, dus na 17 november 2024, en dat onderzocht zal worden hoe dit gerealiseerd kan worden op een wijze waarbij de frequentieruimte optimaal bruikbaar is en waarbij marktpartijen zoveel mogelijk gebruik kunnen maken van de frequentieruimte en kans maken om deze te verwerven.

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) vraagt inzicht in de mogelijkheden die er zijn ten aanzien van de frequentieruimte, waarbij continuïteit van betreffende slimme meters kan worden geborgd. In dit onderzoek wordt primair naar de technische mogelijkheden gekeken. Het rapport vormt één van de bouwstenen voor een toekomstig beleidsvoornemen ten aanzien van de frequentieruimte.

1.2 Onderzoeksvraag

De hoofdvraag luidt:

Hoe kan de continuïteit (werking) van betreffende slimme meters worden geborgd voor de periode na 17 november 2024? Beschrijf de verschillende opties met voor- en nadelen, randvoorwaarden en de haalbaarheid.

De deelvragen hierbij zijn:

1. Op welke wijze maken de betreffende slimme meters gebruik van de PAMR-frequentieband in het 450 - 470 MHz-spectrum en zijn zij daarvan afhankelijk? Wat zijn relevante ontwikkelingen?
2. Welke aspecten zijn frequentie- en netwerktechnisch gezien van belang voor de continuïteit (werking) van de slimme meters?
3. Welke opties zijn er om die continuïteit na 2024 langer te borgen, binnen de frequentieruimte en eventueel daarbuiten? In hoeverre hebben energienetbeheerders daarbij eigen (exclusief) spectrum nodig en/of kan dit bijvoorbeeld via dienstverlening door een derde partij en/of via andere banden?

Bij het uitwerken van de opties wordt in ieder geval rekening gehouden met technologische ontwikkelingen en doelmatigheid van het frequentiegebruik.

1.3 Aanpak

Het startpunt van dit onderzoek is de huidige en nog te installeren populatie van slimme meters met CDMA-connectiviteit van netbeheerders Liander, Stedin en Westland Infra. Voor deze meters onderzoeken we de ondersteuning op gebied van spectrum en

communicatietechnologie. We doen dit op basis van gesprekken en gegevens van de netbeheerders en Utility Connect, de exploitant van het huidige netwerk in de PAMR-band.

Vervolgens bekijken we in bredere zin wat *continuïteit* in het kader van de slimme meter betekent, en welke uitwerking dit heeft op de technische invulling van de connectiviteit. Naast de kennis van de netbeheerders maken we hier gebruik van literatuur en modellering.

Vervolgens lopen we systematisch door verschillende mogelijkheden voor invulling van het PAMR-spectrum vanaf 2024, en bespreken we of en hoe binnen deze mogelijkheid risico's bestaan ten aanzien van continuïteit van de werking van de slimme meter. We werken de mogelijkheden uit naar de technische aanpassingen die noodzakelijk zouden zijn en onderzoeken daarvan eveneens de haalbaarheid, op basis van literatuurstudie en modellering.

Met alle respondenten is afgesproken dat zij niet herleidbaar geciteerd zullen worden in het eindrapport, en dat de gespreksverslagen niet zullen worden gedeeld buiten het onderzoeksteam. Ook is hen de kans geboden het gespreksverslag te redigeren en vertrouwelijke informatie daarin te markeren. Deze informatie is (waar relevant voor onderbouwing van uitspraken in dit rapport) opgenomen in een vertrouwelijke bijlage.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 geven we aan hoe de PAMR-band op dit moment wordt gebruikt door slimme meters, en relevante ontwikkelingen ten aanzien van de slimme meter (in feite de beantwoording van de eerste deelvraag). In hoofdstuk 3 werken we het begrip "continuïteit" uit voor de slimme meter en naar concrete technische vereisten. In dit hoofdstuk is het antwoord op deelvraag 2 te vinden. In hoofdstuk 4 lopen we systematisch langs de mogelijke invullingen van de PAMR-band ná 2024 en bekijken we de impact daarvan op de continuïteit van de slimme meter. De mogelijkheden, haalbaarheid en impact daarvan worden geschetst in paragraaf 4.1; de haalbaarheid van enkele technische uitdagingen wordt nader uitgewerkt in paragraaf 4.2. In paragraaf 4.3 zijn nog enkele alternatieve invullingen van de mogelijkheden te vinden. In hoofdstuk 5 tot slot wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvragen.

2 Huidig gebruik van de PAMR-band

In dit hoofdstuk gaan we in op het huidig gebruik van de PAMR-band door slimme meters. We gaan in op de *installed base* van slimme meters en relevante parameters daarvan, zoals geografische verspreiding, levensduur en specificaties. Daarnaast beschrijven we het netwerk van Utility Connect dat in de PAMR-band actief is. We geven tot slot een korte beschrijving van relevante toekomstige ontwikkelingen ten aanzien van de slimme meter.

2.1 Slimme meters

Netbeheer Nederland (NBN) rapporteert periodiek aan het ministerie van EZK en de Autoriteit Consument & Markt (ACM). Deze rapportage bevat de meest actuele cijfers ten aanzien van de grootschalige uitrol van slimme meters (het 'GSA'-programma: *grootschalige aanbidding slimme meters*), en een planning voor de resterende uitrol (Figuur 1 toont aanbiedingen en Figuur 2 plaatsingen).

De eerste meters werden in 2015 uitgerold, de laatste naar verwachting in 2021. Er worden in 2020 naar verwachting nog circa 2 miljoen meters geplaatst. De netbeheerders lopen gelijk op als het gaat om uitrolpercentage.

Sector	Versie:						Juli 2019	
Slimme meter aanbiedingen	Pre-GSA	2015*	2016*	2017*	2018*	2019**	2020	
Liander	387.946	191.121	428.390	535.740	643.519	584.904	419.877	
Enexis	445.743	259.501	404.468	454.461	445.345	459.000	366.771	
Stedin	315.589	237.816	351.210	337.815	345.013	300.000	319.146	
Enduris	32.174	21.555	27.684	32.768	32.893	32.800	31.003	
Endinet	13.312	4.724						
Westland Infra	6.461	8.527	8.289	8.789	6.247	10.796	6.879	
Coteq	8.862	4.957	9.156	8.197	10.681	6.225	5.599	
Rendo Netwerken	2.941	3.245	4.613	6.317	4.522	4.800	5.028	
Totaal	1.213.028	731.446	1.233.810	1.384.087	1.488.220	1.398.525	1.154.303	
Cumulatieve aantallen per jaar		1.944.474	3.178.284	4.562.371	6.050.591	7.449.116	8.603.419	
Cum % SM aanbiedingen t.o.v. 8,6 miljoen		22,6%	36,9%	53,0%	70,3%	86,6%	100,0%	

* 2015, 2016, 2017 en 2018 zijn aantallen gerealiseerde aanbiedingen / de jaren 2019 t/m 2020 zijn plannings. Het totaal is de volledige meterpopulatie (peildatum 2013)
 ** 2019: het actuele cum % SM aanbiedingen per eind juni 2019 is 80,0%

Figuur 1 Voortgang van de uitrol van de slimme meter: aanbiedingen [2]

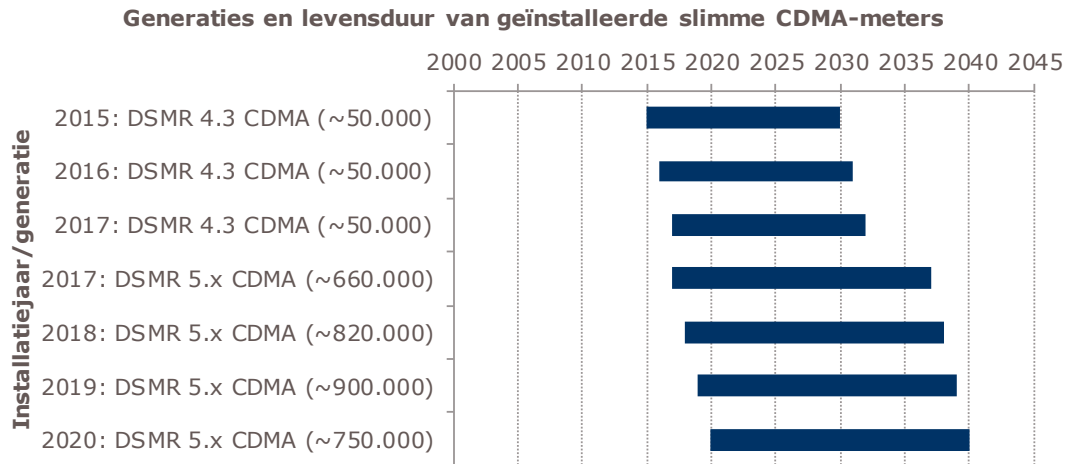
Sector	Versie:						juli 2019	
Gerealiseerde slimme meter plaatsingen	Pre-GSA	2015	2016	2017	2018	2019*	2020	
Liander	378.983	170.558	377.484	434.569	532.355	310.906		
Enexis	427.906	233.247	366.010	387.146	381.185	240.760		
Stedin	315.589	180.777	271.309	268.598	278.153	123.797		
Enduris	32.174	18.290	23.058	25.578	26.276	15.743		
Endinet	13.312	4.571						
Westland Infra	6.461	7.687	7.030	7.563	5.407	3.687		
Coteq	8.862	4.669	8.738	6.765	9.826	2.406		
Rendo Netwerken	2.941	2.593	4.284	5.584	4.064	1.312		
Totaal	1.186.228	622.392	1.057.913	1.135.803	1.237.266	698.611		
Realisatie% per jaar		97,8%	85,1%	85,7%	82,1%	83,1%	84,0%	
Cumulatieve aantallen realisaties		1.808.620	2.866.533	4.002.336	5.239.602	5.938.213		
Cum % SM plaatsingen t.o.v. 8,6 miljoen		21,0%	33,3%	46,5%	60,9%	69,0%		

* 2019: cijfers t/m juni 2019

Figuur 2 Voortgang van de uitrol van de slimme meter: plaatsingen [2]

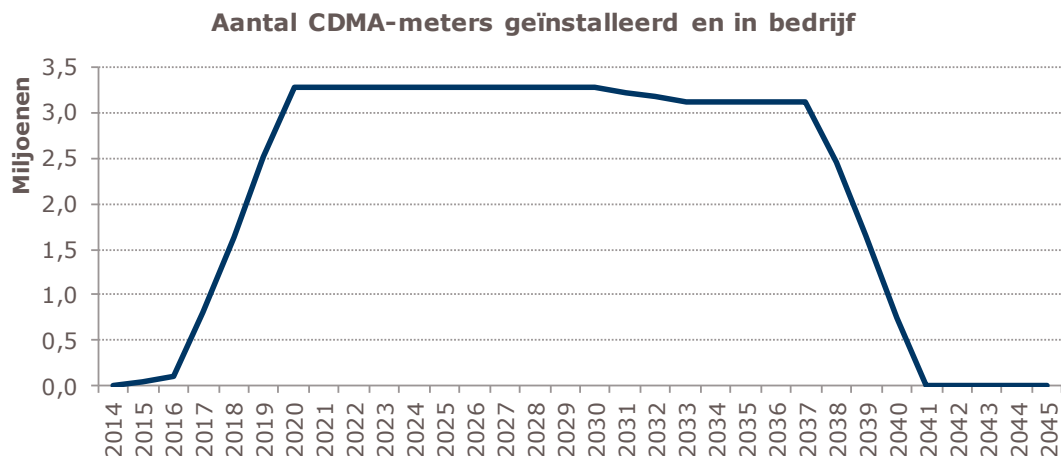
De levensduur van de eerste generatie CDMA-meters (op basis van DSMR 4.3, uitgerold tussen 2015 en 2017) is door de netbeheerders gesteld op (ten minste) 15 jaar. Dat zou betekenen dat de slimme meters die zijn en worden geplaatst tijdens de grootschalige uitrol nog tot minimaal 2033 in gebruik zullen zijn. De tweede generatie, op basis van

DSMR 5.x, heeft een (door de netbeheerders) beoogde levensduur van 20 jaar, is vanaf 2017 uitgerold, en wordt (ten minste) tot en met 2020 uitgerold. De laatst geplaatste meters uit deze generatie zouden dan ook (minimaal) tot 2040 in gebruik zijn. Figuur 3 toont de in het kader van de grootschalige uitrol geïnstalleerde en nog te installeren CDMA-meters naar installatiejaar.



Figuur 3 Uitrol van verschillende generaties slimme CDMA-meters¹

Op basis van bovenstaande kan worden bepaald hoeveel meters er in de periode tot en met 2040 in bedrijf zullen zijn (Figuur 4). Zoals uit de figuur is af te leiden raakt het merendeel van de CDMA-meters tussen 2038 en 2040 buiten de voorziene levensduur.



Figuur 4 Verwacht aantal slimme CDMA-meters dat per jaar geïnstalleerd en in bedrijf zal zijn

¹ Op basis van opgave netbeheerders. In totaal zijn er circa 150.000 CDMA-meters (elektriciteit) op basis van DSMR 4.3 uitgerold in de periode 2015 t/m 2017. Vanaf 2017 worden DSMR 5.x-meters uitgerold. Op moment van opgave (eind 2019) waren circa 2,3 miljoen meters geïnstalleerd. In onze analyse is voor 2017 en 2018 uitgegaan van de gerapporteerde uitrolcijfers (voor 2017 uiteraard minus het geschatte aantal van 50.000 DSMR 4.3-meters). Voor 2019 is het geplande aantal aangehouden.

2.2 CDMA-technologie

De Nederlandse netbeheerders gebruiken voor het op afstand uitlezen van slimme meters een mix van draadloze technologieën. In de jaren voorafgaand aan de hierboven beschreven grootschalige uitrol zijn door alle netbeheerders slimme meters geplaatst op basis van GSM/GPRS. Voor de grootschalige uitrol hebben Enexis en enkele kleinere netbeheerders gekozen voor een oplossing op basis van GSM/GPRS² en (later) LTE.³ Dit zijn dezelfde technologieën als door de mobiele operators worden ingezet voor respectievelijk 2G en 4G. De netbeheerders maken dan ook gebruik van (een mix van) deze openbare mobiele netwerken.

Stedin, Liander en Westland Infra kozen voor de grootschalige uitrol voor connectiviteit via een eigen mobiel netwerk op basis van CDMA-technologie. Dit netwerk maakt gebruik van frequenties in de PAMR-band.

2.2.1 Wat is CDMA?

CDMA staat voor *Code Division Multiple Access*. CDMA is een manier om meerdere gebruikers tegelijkertijd, zonder elkaar te storen, gebruik te kunnen laten maken van hetzelfde spectrum (vandaar "multiple access"). Bij CDMA versleutelen alle zenders hun transmissie met een (per zender unieke, en bij de ontvanger bekende) code. De ontvanger kan op basis van de code de verschillende (eventueel gelijktijdige) transmissies weer scheiden. CDMA kan worden vergeleken met alternatieven als TDMA (*Time Division Multiple Access*) waarbij in plaats van een onderscheid op basis van codes iedere zender een eigen tijdslot krijgt toegewezen om te zenden, en FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) waarbij iedere zender een eigen frequentie krijgt toegewezen.

Het CDMA-principe wordt toegepast in verschillende standaarden voor mobiele netwerken, waaronder het in Nederland voor 3G gebruikte UMTS. Waar in Nederland voor 2G het (op TDMA-gebaseerde) GSM werd gebruikt, werd in andere delen van de wereld CDMA toegepast. Een van deze CDMA-standaarden wordt op dit moment toegepast bij het uitlezen van slimme meters. Wanneer we het in dit document hebben over CDMA bedoelen we deze standaard.

Om verkeer in twee richtingen mogelijk te maken zijn in een CDMA-netwerk twee frequentiebanden benodigd, ieder met een breedte van 1,25 MHz (bij de gehanteerde CDMA-standaard). Deze twee frequentiebanden worden 'gepaard' genoemd en zijn op enige afstand van elkaar geplaatst in het spectrum.

2.2.2 Levenscyclus van CDMA

De CDMA-telecommunicatiestandaarden hebben zich in de afgelopen decennia parallel ontwikkeld aan de 3GPP-standaarden UMTS en LTE. De eerste versie betreft de 2G-standaard CDMA IS-95 (ook bekend als 'cdmaOne') en werd in 1995 gepubliceerd (ter vergelijking, de GSM-standaard kwam uit in 1991). Op basis van IS-95 werd vervolgens

² GSM is de technologie die de basis vormt voor de Nederlandse 2G-netwerken. GPRS staat voor 'General Packet Radio Service' en is een technologie waarmee via GSM-netwerken data kan worden overgebracht.

³ LTE staat voor 'Long Term Evolution' en is de technologie die de basis vormt voor de huidige 4G-netwerken in Nederland. Er bestaan verschillende varianten van LTE. Specifiek relevant zijn LTE-M (een variant bedoeld voor machine-to-machinecommunicatie, met beter linkbudget) en NB-IoT (een variant bedoeld voor Internet of Things-toepassingen die past in een nog smallere band dan LTE-M, en een substantieel lagere doorvoercapaciteit kent).

doorontwikkeld naar de CDMA2000-standaardfamilie, ter invulling van de vereisten voor 3G. De eerste versie van de cdma2000-standaard is *CDMA2000 1xRTT*. De toevoeging '1xRTT' verwijst naar het feit dat de hoeveelheid bandbreedte per carrier gelijk is aan die van IS-95 (1,25 MHz). Opvolger CDMA2000 1xRTT Advanced vergrootte de capaciteit en dekking. In 3GPP2-verband zijn vervolgens CDMA2000 EV-DO Release 0 en revisies A tot en met C ontwikkeld (IS-856). Hoewel de eerdere CDMA-standaarden reeds in staat waren om data over te dragen, was EV-DO specifiek voor dit doel ontwikkeld.

Hoewel de CDMA-standaarden voor 2G en 3G wereldwijd veel werden gebruikt is het nooit tot een 4G-opvolger van de CDMA-standaarden gekomen. Hoewel er door Qualcomm werd gewerkt aan 4G-opvolger UMB (Ultra Mobile Broadband) werd de ontwikkeling omstreeks 2008 gestaakt ten faveure van LTE. [3] Het kantelpunt lag een jaar eerder, toen Verizon, operator van destijds een van de grootste CDMA-netwerken ter wereld, aankondigde voor LTE te kiezen in plaats van UMB en WiMax (de 4G-standaard van IEEE). [4] Rond dezelfde tijd maakten ook Sprint, MetroPCS (Verenigde Staten), Bell, Telus (Canada), KDDI (Japan), SK Telecom (Zuid-Korea) en China Telecom/China Unicom dezelfde keuze. Vanaf 2008 werd er dan ook steeds kritischer gekeken naar de toekomst van CDMA. (zie bijvoorbeeld [5]). De rapporten van Rysavy Research laten de positie van CDMA over de tijd zien: waar de CDMA-technologieën nog nadrukkelijk op de roadmap stonden in 2007 [6, pp. 16, Figure 3] werd in 2008 opgemerkt dat er geen commitment vanuit de operators was voor UMB [7, pp. 19, Figure 5] en verdwijnt het in 2009 grotendeels van de roadmaps.

Wereldwijd worden 3G-netwerken, en daarmee ook de laatste CDMA-netwerken, uitgeschakeld ten faveure van 4G en 5G. Verizon zal zijn CDMA-netwerk per 31 december 2020 uitschakelen [8] en KDDI per 31 maart 2022 [9] Op Wikipedia is een (incompleet, maar wel met bronnen onderbouwd) overzicht te vinden waaruit volgt dat een groot aantal netwerken is uitgeschakeld tussen 2006 en 2019 [10] Het netwerk van Utility Connect is volgens hetzelfde overzicht het laatst uitgerolde CDMA2000-netwerk. Hierbij moet worden opgemerkt dat in Oostenrijk een CDMA-netwerk op basis van "CDMA 1xEVDO" actief is in 450-spectrum ten behoeve van de utiliteitssector. [11] De vergunning voor het spectrum, 2x4,4 MHz,⁴ werd in 2013 verleend en kwam in 2016 terecht bij de huidige operator, ArgoNET. [12] De betreffende vergunning is geldig tot 31 december 2029. [13]

Het uitfaseren van CDMA2000-technologie is zoals uit bovenstaande blijkt in vergevorderd stadium. Aan de gebruikerszijde, waar voldoende volume is, wordt CDMA 1xRTT op dit moment nog wel ondersteund (onder andere in de nieuwste modems van Qualcomm. [14] [15]). Een risico is echter dat leveranciers van netwerkapparatuur en de benodigde chipsets de ondersteuning ervan steeds verder zullen reduceren of zelfs stoppen; met name wanneer het gaat om kleine volumes en apparatuur aan de netwerzijde. De Nederlandse netbeheerders zelf lijken uit te gaan van beschikbaarheid van CDMA-apparatuur tot en met 2030 [16] terwijl de nu uitgerolde CDMA-meters pas in 2036 afgeschreven zouden zijn.

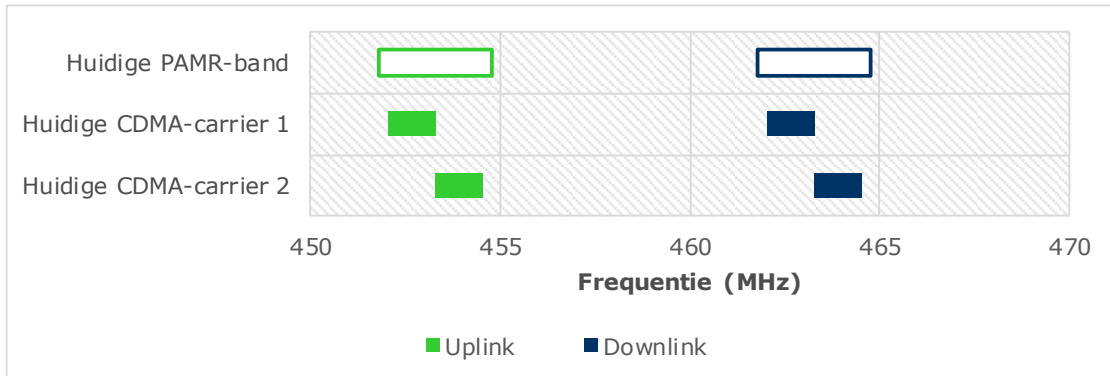
2.3 CDMA-netwerk

2.3.1 Opbouw van het CDMA-netwerk

De basis van het CDMA-netwerk van Utility Connect werd door KPN rond 2010 gebouwd. KPN had in 2005, na overname van Nozema, de vergunning voor de PAMR-band in handen gekregen. [17] Sinds 2010 is het netwerk ingericht en gedimensioneerd om slimme meters in de verzorgingsgebieden van Liander, Stedin en Westland Infra te kunnen uitlezen.

⁴ 451,300 - 455,740 MHz (uplink) en 461,300 - 465,740 MHz (downlink).

Het netwerk van Utility Connect bestaat op dit moment uit 152 sites. Het betreft vrijwel uitsluitend sites met drie sectoren. Op alle sites worden *twee* CDMA-carriers ingezet, enkele sites ten noordwesten van Amsterdam uitgezonderd. [18] Er zijn dus steeds *twéé* banden van 1,25 MHz in gebruik voor verkeer van netwerk naar gebruiker ('downlink'), en *twéé* banden in de andere richting ('uplink'). Figuur 5 toont dit schematisch.



Figuur 5 Inzet van de PAMR-band voor het CDMA-netwerk van Utility Connect

2.3.2 Toepassingen

De volgende toepassingen maken gebruik van het CDMA-netwerk van Utility Connect:

- **Het uitlezen van slimme meters.** Het betreft meters van Liander, Stedin en Westland Infra. Dit zijn er nu circa 2 miljoen en (na afronding van de grootschalige uitrol) naar schatting circa 4,3 miljoen. De vereiste is dat deze binnen een bepaald interval (tussen 1 en 7 uur 's nachts) eens per dag kunnen worden uitgelezen (met een 'retry' tussen 7 en 10 ter mitigatie van 'cell breathing' en andere verstoringen van de communicatie). Dit verkeer is niet tijdkritisch.
- **Ter controle** van connectiviteit van de meters worden er in het gehele verzorgingsgebied in totaal nog eens circa 10.000 meters per dag 'gepingd'.
- **Het schakelen van openbare verlichting** ("FlexOVL" [19]). Dit leidt tot een verkeerspiek in het netwerk: binnen vijf minuten moeten alle schakelaars binnen een cel worden bediend.
- **Distributie-automatisering op het middenspanningsvlak.** Het betreft een relatief klein aantal terminals, met een relatief grote datavraag en hogere mate van tijd-kritiekheid.
- **Groen gas-sensoren** (idem).

2.3.3 Capaciteit en bezetting van het netwerk

Om een inschatting te kunnen geven van de impact van verschillende toekomstscenario's is het van belang om te weten hoe de belasting van het CDMA-netwerk eruit ziet. Utility Connect heeft de onderzoekers op dit punt voorzien van (bedrijfsvertrouwelijke) specificaties en kengetallen. Op basis hiervan en op basis van openbare bronnen is een modellering uitgevoerd waarmee uitspraken kunnen worden gedaan over de bezetting in relatie tot de netwerkstructuur en geografische locatie.

Methodologie: modellering van de capaciteit en bezetting van het CDMA-netwerk

Op basis van de publiek beschikbare informatie over het netwerk van Utility Connect is het netwerk gemodelleerd, wat ons in staat stelt uitspraken te doen over de geschatte capaciteit en bezetting van het netwerk. De modellering is uitgevoerd volgens een eerder (in opdracht van Agentschap Telecom) ontwikkelde methode, die op hoofdlijnen als volgt werkt: [20]

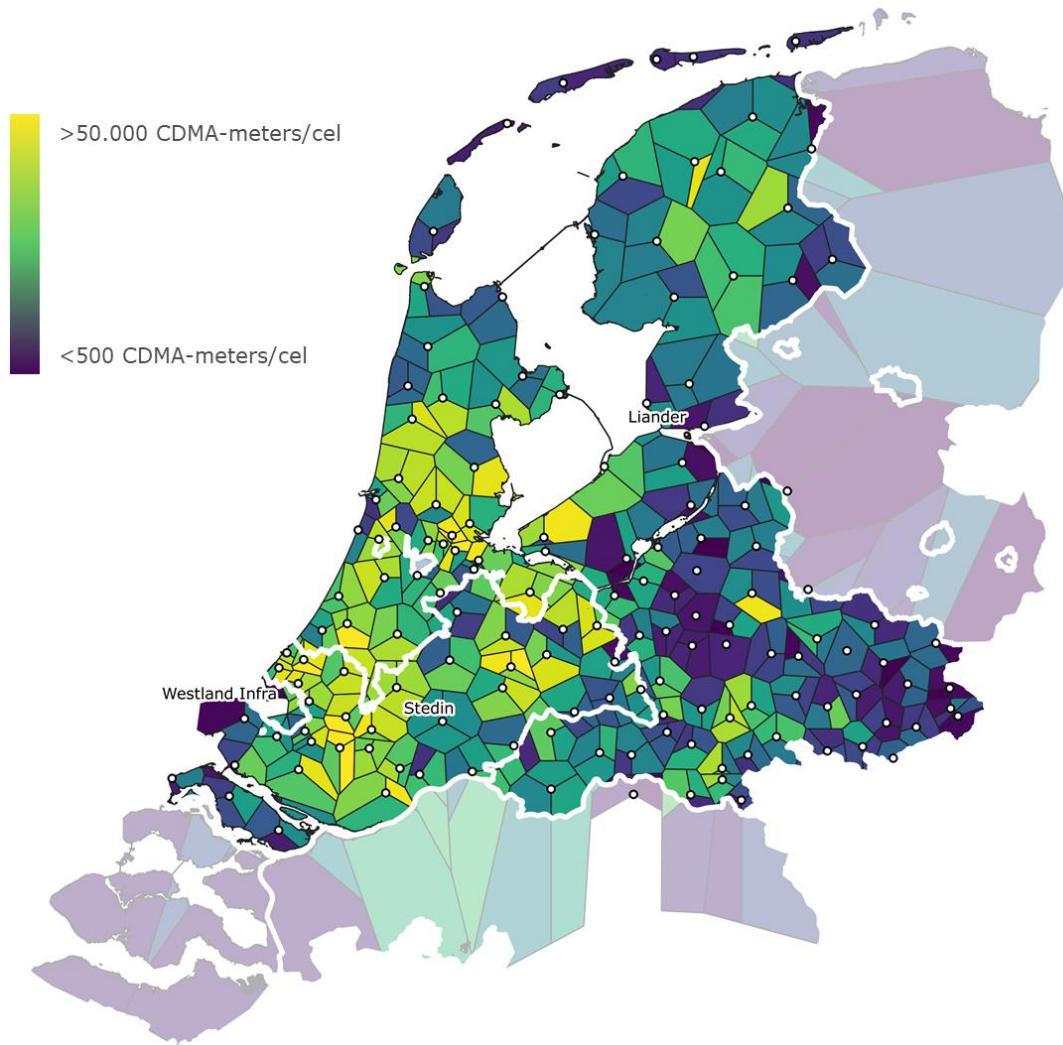
- Er wordt een dataset opgesteld met alle PAMR-antennes in Nederland, waarin per antenne locatie, hoogte, middenfrequentie, vermogen en hoofdstraalrichting bekend is.⁵ [18] Op basis van de frequentie kan worden geverifieerd dat het antennes van Utility Connect betreffen (de frequenties corresponderen met de eerder genoemde downlinkfrequenties).
- De antennes van het Utility Connect-netwerk worden (per frequentie) gegroepeerd naar 'sites'.
- Op het midden tussen twee sites wordt een lijn getrokken. Deze lijnen worden vervolgens aan elkaar verbonden (een zogenaamde "Voronoi-tesselatie"). Dit levert vlakken op die aangeven welke site verantwoordelijk zou zijn voor dekking op welke locatie, onder de aanname dat het signaal niet uitdooft.
- Rondom een antenne wordt een sector van een cirkel getekend. De start- en eindhoek zijn gebaseerd op de hoofdstraalrichting van de antenne en die van de buurantennes op de site (is er één site op een antenne, dan wordt een volledige cirkel getekend). De radius van de cirkel wordt bepaald op basis van de geschatte afstand waarbinnen het signaal nog bruikbaar is. Dit is afhankelijk van het zendvermogen, de demping van het signaal (die afhankelijk is van bebouwing, hoogte van de antenne) en de minimumeisen van de gebruikte technologie. Voor deze exercitie wordt aangenomen dat de afstand geen beperking is (er is dus geen propagatiemodel gebruikt).
- Op basis van de geografische beschrijving van de verzorgingsgebieden van de netbeheerders [21] worden alle adressen in deze gebieden (op basis van de Basisregistratie Adresgegevens) geselecteerd. Deze worden vervolgens toegewezen aan een gemodelleerde cel van het netwerk. Dit leidt tot een inschatting van het aantal adressen dat per cel 'bediend' wordt.

Op basis van het aantal adressen per cel wordt een vertaling gemaakt naar het aantal slimme meters per cel. We doen dit op basis van de eerder genoemde statistieken rondom uitrol en verwachte uitrol per netbeheerder. [2] Hiermee is dus rekening gehouden met 'weigeraars' en het feit dat niet alle adressen een slimme meter hebben (denk bijvoorbeeld aan gesplitste woningen, waar wellicht één slimme meter en

⁵ De mate waarin de antenne in verticale richting gekanteld is, is niet bekend in het Antenneregister. Deze parameter heeft invloed op het gebied dat door een antenne wordt gedekt. Door een antenne naar beneden te kantelen ('downtilting') wordt dit gebied kleiner gemaakt. Een netwerkoperator doet dit in de regel om te zorgen dat cellen elkaar minder storen (in het eigen netwerk, maar ook in bijvoorbeeld grensgebieden) en om gebruikers aan de randen van de cel gebruik te laten maken van een ander basisstation. Downtilting is een vorm van netwerkoptimalisatie. Het model houdt geen rekening met downtilting en de uitkomsten zijn daarmee een pessimistische benadering.

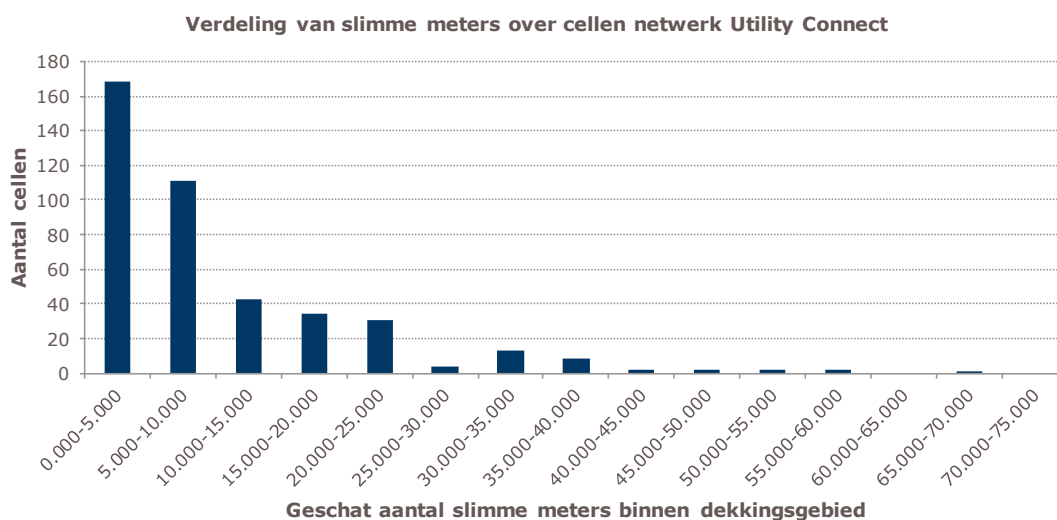
meerdere deelmeters zijn geïnstalleerd). Daarnaast zijn GPRS-meters afgetrokken van het totaal.⁶

Figuur 6 hieronder toont het geschatte aantal meters per cel in het huidige netwerk van Utility Connect. In de kaart hieronder bevatten de meest gele cellen circa 75.000 CDMA-meters (aangenomen dat de uitrol voltooid is – in dit aantal is rekening gehouden met adressen die de meter 'weigeren' en reeds uitgerolde GPRS-meters).



Figuur 6 Geschat aantal meters per cel in netwerk Utility Connect op basis van modellering Dialogic

⁶ In de uitrolrapportage van het GSA (Figuur 2) is te vinden dat er voorafgaand aan het GSA reeds 701.033 meters zijn geplaatst in het gebied van Liander, Stedin en Westland Infra, waarvan mag worden verondersteld dat het GPRS-meters betreft. We hebben geen indicatie dat er gedurende het GSA door deze netbeheerders een substantieel aantal GPRS-meters is uitgerold. Wel is het denkbaar dat er voorafgaand aan het GSA meer GPRS-meters zijn uitgerold. Deze zullen dan echter ook niet zijn meegenomen in het totaal uit te rollen aantal voor het GSA, en hoeven hier dus niet van het totaal te worden afgetrokken.



Figuur 7 Geschatte verdeling van het aantal meters per cel in netwerk Utility Connect op basis van modellering Dialogic

Uit de modellering volgt dat de capaciteitsvraag in het netwerk niet overal gelijk is. Dit is te verwachten, gezien de grote verschillen in bevolkingsdichtheid in Nederland, tegenover de relatief gelijkmatige verdeling van de sites van het netwerk (omwille van dekking).

2.4 Relevante toekomstige ontwikkelingen

2.4.1 Slimme meter

De uitrol van de slimme meter loopt nog tot eind 2020 door en leidt tot (uiteindelijk) een installed base van circa 4,4 miljoen CDMA-meters.⁷ Vanuit EZK wordt mogelijk een 'aanvullende opdracht' gegeven om opnieuw te pogen slimme meters te plaatsen op adressen waar deze eerder werden geweigerd.

Groeiend datavolume

Voor een groeiend deel van de slimme meters ontstaat vraag naar kwartierwaarden ("P4 intervaldata") vanuit de energieleveranciers. Deze data wordt niet real-time (per kwartier) uitgelezen, maar als geheel eens per dag. De vraag naar deze gedetailleerde data is groter dan vooraf gedacht. Dit stelt aanvullende eisen aan de achterliggende platforms en aan de benodigde connectiviteit. Het CDMA-netwerk kan op dit moment voldoen aan de vraag. Real-time uitlezing (waarvoor toepassingen worden gezien in de utiliteitssector) is praktisch gezien niet mogelijk op het CDMA-netwerk zonder forse investering in de infrastructuur. Het is zeer aannemelijk dat in de toekomstige slimme meterstandaarden CDMA geen rol meer zal spelen, en andere connectiviteit zal worden toegepast.

⁷ Inschatting Dialogic. Volgens de Basisregistratie Adresgegevens (BAG; editie 10 juni 2019) bevinden er zich 5.767.659 adressen in het verzorgingsgebied van Liander, Stedin en Westland Infra (in totaal zijn er 9.103.366 adressen in Nederland). Volgens [2] worden er 8.603.419 meters aangeboden in het GSA; naar rato (van aantal adressen) zouden dit er 5.448.739 zijn voor de drie netbeheerders. Trekken we daar het aantal pre-GSA-meters (701.033) en weigeraars (354.168, 6,5%) in deze gebieden van af, dan komen we op 4.393.538 CDMA-meters.

Doorontwikkeling slimme meter-standaarden

Er wordt gewerkt aan een 'zesde generatie' slimme meters en bijbehorend ecosysteem (DSMR 6). In deze specificatie zal ook de connectiviteit van slimme meters worden uitgewerkt. Het ligt voor de hand dat dit geen CDMA (meer) zal zijn. Gedacht wordt aan een modulaire aanpak ten aanzien van communicaties (zodat meerdere technologieën en diensten kunnen worden ingezet/afgewisseld; een 'mix' van bijvoorbeeld private LTE450 en een commerciële dienst in de 800 MHz-band op basis van LTE).

LTE of de 5G-opvolger hiervan liggen voor de hand als basistechnologie voor draadloze connectiviteit. Standaardisatie van de 5G IoT variant is onderdeel van 3GPP Release 16 en wordt in 2020 verwacht. Feitelijke beschikbaarheid in netwerken en randapparatuur volgt in de meeste gevallen circa 2 jaar na afronding van de 3GPP standaard (NB-IoT was hierop een uitzondering: de eerste producten kwamen ca. 6 maanden na standaardisatie).

Het tijdspad voor de zesde generatie is nog niet vastgelegd, maar duidelijk is wel dat de ontwikkeling en uitwerking doorloopt tot na de datum waarop een beleidskeuze ten aanzien van de PAMR-band zou moeten zijn gemaakt. DSMR 6 zal niet op tijd klaar zijn om mee te worden genomen in de uitrol in het kader van de 'aanvullende opdracht'. Daarnaast zullen bestaande CDMA-meters nog niet zijn afgeschreven op het moment dat DSMR 6 gereed is. Wel kan worden beargumenteerd dat het zinvol is om te wachten met vervanging van slimme meters tot de specificatie gereed is.

Mogelijke afschakeling van GSM/GPRS in de toekomst

Voor een substantieel aantal meters wordt gebruik gemaakt van GSM/GPRS-connectiviteit. In het gebied van Liander, Stedin en Westland Infra gaat het naar schatting om circa 1,2 miljoen meters.⁸ Mobiele operators hebben over het algemeen de voorkeur om oudere technologie zoals GSM/GPRS uit te schakelen en te vervangen door de meer efficiënte opvolgers. Mocht GSM/GPRS worden uitgeschakeld, dan betekent dit dat de betreffende slimme meters op een andere manier moeten worden geconnecteerd. Het is echter onwaarschijnlijk (gezien de levenscyclus van CDMA) dat deze connectiviteit op basis van CDMA gerealiseerd zal gaan worden. Daarnaast heeft tot op heden alleen T-Mobile in Nederland aangekondigd GSM/GPRS uit te schakelen (per november 2020). [22]. We nemen dan ook aan dat er geen impact is op het voorliggende vraagstuk.

2.4.2 CDMA-netwerk

Ten aanzien van het CDMA-netwerk zijn twee ontwikkelingen van belang bij het beoordelen van de verschillende (technische) mogelijkheden (in hoofdstuk 4 wordt dit nader toegelicht):

- Er worden op dit moment door Utility Connect sites bijgebouwd om in de capaciteitsvraag vanuit de voortdurende uitrol te kunnen voorzien.
- Utility Connect voert experimenten uit met nieuwe technologieën, om kennis op te doen over de mate waarin deze technologieën kunnen worden ingezet ter vervanging van CDMA, en of (en hoe) deze 'naast' een CDMA-carrier kunnen worden gebruikt.

Bovenstaande is relevant in het kader van de voorliggende vraag rondom continuïteit, omdat (zoals verderop zal worden uitgewerkt) het vervangen van één van de CDMA-

⁸ Zie eerdere voetnoot rondom dit getal.

carriers door LTE een mogelijk scenario is, en de capaciteit van het CDMA-netwerk hierbij mogelijk een beperkende factor vormt.

3 Vereisten voor continuïteit

In dit hoofdstuk beschrijven we welke aspecten frequentie- en netwerktechnisch gezien van belang voor de continuïteit (werking) van de slimme meters.

3.1 Capaciteit en dekking

In principe dient een slimme meter op het CDMA-netwerk eens per dag te worden uitgelezen. Omdat per cel een maximum geldt ten aanzien van het aantal slimme meters (vanwege het benodigde signaleringsverkeer) dient het netwerk te worden verdicht zolang er nieuwe meters worden bijgeplaatst. Hieraan wordt op dit moment reeds gewerkt. Wanneer de vraag naar data groeit zal op enig moment ook de doorvoercapaciteit een beperking worden.

Slimme meters worden over het algemeen geplaatst op locaties zoals meterkasten die, vanuit het perspectief van mobiele communicatie, niet ideaal zijn. De netbeheerders geven om deze reden aan dat zijn veel waarde hechten aan het kunnen inzetten van spectrum in de 450 MHz-band. De band heeft als bijzondere eigenschap ten opzichte van andere banden dat deze minder uitdooft in dergelijke (indoor)situaties. Deze eigenschap moet echter worden gezien ten opzichte van de andere parameters die bepalend zijn voor dekking.

Of er op een bepaalde locatie 'dekking is' wordt bepaald door de sterkte van het signaal (en ruis) op die locatie. Deze wordt bepaald door het zendvermogen, de demping op het propagatiepad (afhankelijk van onder andere de frequentie, hoogte van de zender, indoor/outdoor, en bebouwing), en het *linkbudget* (of *maximum coupling loss*) van de technologie. Het linkbudget geeft aan hoeveel het signaal gedempt kan worden voordat het onbruikbaar wordt. In plaats van het inzetten van (voor demping relatief gunstige) 450 MHz-spectrum kan dus ook worden gedacht aan het verkorten van het propagatiepad (door het bijplaatsen van sites: de gemiddelde afstand tot de site wordt dan kleiner) of het inzetten van een technologie met hoger linkbudget.

Het linkbudget is bij benadering 144 dB voor GPRS, 142,7 dB voor LTE en 155,7 dB voor LTE-M. [23] Voor CDMA 1xRTT is het linkbudget weliswaar maximaal 154,76 dB, maar dan wordt alleen een (problematisch lage) doorvoercapaciteit van 9,6 kbit/s in de uplinkrichting gehaald. Bij een linkbudget van 145 dB zijn snelheden tot 153,6 kbit/s mogelijk. [24] Voor LTE-M geldt een veel hogere doorvoercapaciteit bij een hoger linkbudget. NB-IoT tot slot kent een superieur linkbudget, en is specifiek ontwikkeld om hoge dekking te realiseren ten koste van hoge bitrate.

Een blik op het Antenneregister wijst uit dat het aantal basisstations van de mobiele operators in de 800 MHz-band een veelvoud is van het aantal sites van Utility Connect. Daarnaast worden technologieën gebruikt met een groter linkbudget dan CDMA 1xRTT. Naar onze inschatting is het gebruik van een (bijvoorbeeld op LTE gebaseerde) dienst in de 800 MHz-band voor het uitlezen van de slimme meter radiotechnisch dan ook goed mogelijk. Deze conclusie wordt ondersteund door de ervaringen van Enexis met het gebruik van publieke mobiele netwerken.

Conclusie

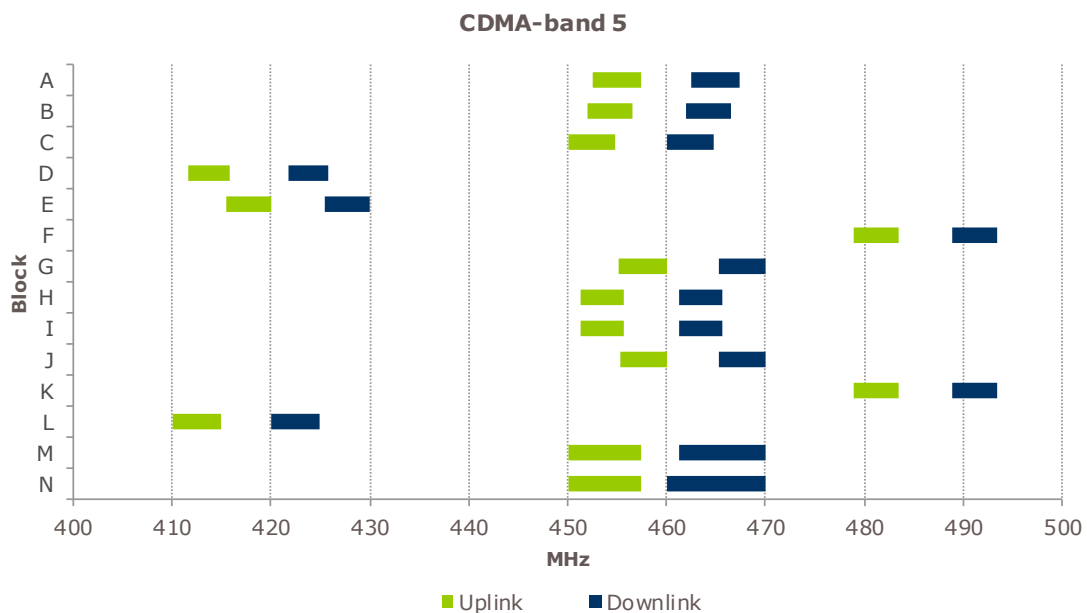
Voor het uitlezen van slimme meters is niet per definitie spectrum in de 450 MHz-band nodig (dit los van de vraag of huidige meters andere frequenties ondersteunen – zie

verderop). Andere netbeheerders gebruiken hiervoor met succes frequenties in hogere banden.

3.2 Technologie

De op dit moment uitgerolde CDMA-meters volgen een door de netbeheerders opgestelde specificatie ten aanzien van connectiviteit. Dat betekent dat zij ten minste ondersteuning bieden voor CDMA 1xRTT in CDMA-band 11, blok C in kanalen⁹ 72 t/m 192. Op dit moment worden kanalen 107 en 157 gebruikt. Middels een *Preferred Roaming List* (PRL) zijn de meters geconfigureerd om alleen in de genoemde kanalen te zoeken naar een netwerk.

Het is denkbaar dat slimme meters ook andere blokken dan blok C ondersteunen binnen CDMA-band 11. Figuur 8 toont alle in CDMA-band 5 gespecificeerde blokken.¹⁰



Figuur 8 Specificatie van CDMA-band 11 en blokken M en N uit CDMA-band 5 [25]

Conclusie

De geïnstalleerde en (binnen GSA) te installeren slimme meters ondersteunen (gegarandeerd) een beperkt aantal CDMA-frequenties in de 450 MHz-band, en *mogelijk* aanvullende frequenties in 450-spectrum (CDMA-band 5). Het is onwaarschijnlijk dat meters andere frequenties ondersteunen. Gebruik van spectrum binnen deze kaders is dus noodzakelijk voor het borgen van continuïteit zonder vervanging van de slimme meters of communicatiemodule daarin te vereisen.

3.3 Digitale veiligheid

De netbeheerders zien de slimme meter als een bijzondere asset, omdat deze zich achter de voordeur van de klant bevindt. Er is zeer veel aandacht voor privacy en digitale

⁹ CDMA-carriers kunnen niet op willekeurige frequenties worden geplaatst, maar slechts op bepaalde vaste frequenties (hier en in de standaard 'kanalen' genoemd).

¹⁰ In de figuur worden ook blokken M en N getoond. Deze bestaat niet in CDMA-band 11, maar wel in CDMA-band 5 (welke een subset is van CDMA-band 11).

veiligheid (immers verwerkt de slimme meter gevoelige klantgegevens). Dit stelt bijzondere eisen aan de gekozen oplossing.

In de telecom- en ICT-wereld zien we echter dat de veiligheid van technologieën vaak niet langer dan enkele jaren kan worden gegarandeerd. De CDMA- en GSM-standaarden zijn bijvoorbeeld al lange tijd “gebroken”, wat wil zeggen dat er met relatief goedkope hardware en op internet te vinden software kan worden ‘ingebroken’ en afgeluisterd op deze netwerken (dit is tevens een van de redenen dat operators wereldwijd CDMA- en GSM-netwerken willen afschakelen).

Huidige beveiliging communicatie met slimme meters

De slimme meter is, volgens de netbeheerders, ‘vrijwel onmogelijk te hacken’, en bevat geen functionaliteit om de energievoorziening op afstand uit te schakelen. [26] De werkgroep ‘privacy & security’ van Netbeheer Nederland concludeert echter ook (reeds in 2010) dat de meter gedurende haar minimale levensduur van 15 jaar waarschijnlijk eens gehackt zal worden, en dat er (zeker gezien de fraudegevoeligheid) een risico bestaat op snelle verspreiding van dergelijke hacks. [27, p. 16]

Beveiligingsrisico’s kunnen grofweg worden geordend in drie categorieën:

- Risico’s ten aanzien van **confidentialiteit** (het openbaar worden van gevoelige gegevens, in dit geval privacygevoelige). Dit risico is door de werkgroep in 2010 benoemd en is gemitigeerd door het toepassen van vergaande encryptie. [27] We achten het onwaarschijnlijk dat het breken van confidentialiteit voor CDMA het risico vergroot.
- Risico’s ten aanzien van **integriteit** van de gegevens (de juistheid). De afhankelijkheid van de meter groeit. Wanneer de data van de slimme meter in de toekomst gebruikt zou worden om het net in balans te houden¹¹ kan foutieve data er alsnog voor zorgen dat het net overbelast raakt, en zullen ironisch genoeg de beveiligingen ervoor zorgen dat de spanning eraf wordt gehaald. Dit risico wordt door de werkgroep in 2010 niet benoemd, maar maatregelen ten aanzien van integriteit van de gegevens zijn wel genomen. [27, p. 16]
- Risico’s ten aanzien van **beschikbaarheid** van de slimme meterdata. Op dit punt merken we op dat theoretisch gezien alle draadloze communicatie te verstoren is, en CDMA op dit punt niet per definitie onveiliger is dan andere technologieën. Andersom zien we geen noodzaak voor eigen frequentieruimte (in casu de PAMR-band) ten behoeve van beschikbaarheid. Diversiteit in communicatiekanalen (netwerken en frequenties) is echter wel een mogelijke mitigatie. Daarnaast zijn er verschillen tussen netwerken als het gaat om beschikbaarheid (bijvoorbeeld bij stroomuitval, mate van redundantie in het netwerk, et cetera).

Conclusie

De gebroken veiligheid van de gebruikte CDMA-technologie lijkt geen risico te vormen voor de continuïteit van de slimme meter, omdat op hogere lagen beveiligingsmaatregelen zijn

¹¹ Doordat een steeds groter deel van energie wordt opgewekt uit duurzame bronnen, neemt de variatie in het aanbod toe (beschikbaarheid van wind- en zonne-energie zijn afhankelijk van het weer). Om aan de energievraag te voldoen moeten elektriciteitsnetten in toenemende mate aanbod (bijvoorbeeld van ‘stand-by’ traditionele centrales) aan- en afschakelen (het ‘balanceren’ van vraag en aanbod). In de toekomst is denkbaar dat vraag en aanbod fijnmaziger gestuurd moet worden (bijvoorbeeld door het uitstellen van het opladen van een elektrische auto bij een dreigend tekort).

getroffen. Er is niet per definitie een *eigen* frequentie nodig ten behoeve van beschikbaarheid. Diversiteit in frequenties en netwerken en aanvullende maatregelen aan de netwerzijde (zoals redundantie en stroomback-up) dragen er echter wel aan bij.

3.4 Levenscyclus van technologie en apparatuur

Continuïteit betekent voor de netbeheerders vooral dat er zekerheid ten aanzien van de toekomst bestaat gedurende de verschillende fasen van haar asset management-trajecten. Uit gesprekken met de netbeheerders destilleren we een aantal (wat ons betreft) relevante aspecten.

Een belangrijke constatering is dat de tijdshorizon in de telecomsector en die in de utiliteitssector sterk uiteen lopen. Waar in de telecomsector wordt gerekend met periodes van 7 tot 10 jaar, begint de utiliteitssector bij 15-20 jaar (de slimme meters die nu worden uitgerold zijn bedoeld om minstens 15 jaar te functioneren). Conventionele gasmeters gingen tot wel 40 jaar mee (en sommige meters die op dit moment worden vervangen zijn nog veel ouder).

In het GSA, en meer algemeen bij asset managementtrajecten, geldt een voorbereidings-tijd van 4-5 jaar. In deze periode vallen onder andere aanbestedingen voor de meters en 'lead time' bij de leveranciers, die de meters geschikt moeten maken voor de Nederlandse standaarden.

De Nederlandse standaarden zijn uitgebreid en er zijn grote verschillen tussen de verschillende landelijke standaarden. Specifieke aandachtspunten voor de Nederlandse standaard zijn:

- Communicatie tussen gas- en elektriciteitsmeter
- Diverse fysieke specificaties, zoals de hartafstand bij gas
- Diverse protocollen en interfaces (zoals de P1/P2/P3/P4-poort)

De uitrol op zichzelf duurt eveneens 4-5 jaar. In deze periode sluiten de netbeheerders contracten af met leveranciers en plannen zij vooruit. Daarnaast moet voor deze periode de beschikbaarheid van monteurs worden gegarandeerd.

Mate van controle

Liander, Stedin en Westland Infra geven aan dat de keuze voor het gebruik van CDMA in een private frequentieband (ook) was ingegeven vanuit het argument van controle over diverse aspecten van het netwerk, zoals de levenscyclus (termijn waarover de gevraagde dienst beschikbaar gegarandeerd zal blijven) en investering en optimalisatie van het netwerk (zoals het bijplaatsen van sites zodat de benodigde dekking wordt gehaald).

Een gerelateerd punt is dat de connectiviteit stroomredundant moet zijn. Juist wanneer de elektriciteit zou uitvallen is, volgens de netbeheerders, het uitlezen van de meters nodig. Marktpartijen kunnen dit niet garanderen, of hebben zodanig complexe netwerken dat er alsnog een risico op uitval bestaat. Merk op dat meetwaarden na stroomuitval in de slimme meter bewaard moeten worden (en later kunnen worden uitgelezen); voor de naleving van deze verplichting is stroomredundantie in het netwerk dus geen vereiste.¹²

Beschikbaarheid van apparatuur en diensten

Voor continuïteit is van groot belang dat ook de apparatuur en ondersteunende diensten (denk aan onderhoud en netwerkbeheer) beschikbaar blijven. De levensduur van

¹² Zie de relevante vereisten (o.a. DSMR-M 4.3.7) in [21].

verschillende netwerkcomponenten varieert tussen de 7 en 15 jaar. Vanwege deze termijnen en de kans op defecten is het zeer waarschijnlijk dat grote aantallen componenten gedurende de komende vijftien jaar worden vervangen. Utility Connect heeft voorzieningen getroffen ten aanzien van de beschikbaarheid van de apparatuur.

De netbeheerders hebben eveneens contracten afgesloten met de meterleveranciers om de beschikbaarheid van de meters gedurende de uitrol garanderen. De CDMA-meters zijn ten minste de komende drie jaar beschikbaar.

Toekomstvastheid gekozen oplossing

De keuze voor CDMA is tussen 2010 en 2012 gemaakt. Hoewel CDMA destijds al werd gezien als een verouderde techniek gaven verschillende argumenten, met de kennis van toen, de doorslag. Enexis heeft haar keuze voor de connectiviteitsoplossing later gemaakt, nadat bleek dat de eerder ingeslagen route van connectiviteit over de elektriciteitsdragers zélf (*Power Line Communications* ofwel PLC) niet de juiste bleek.

Naast een groot aantal GPRS-meters rolt Enexis sinds enkele jaren uitsluitend LTE-meters uit (LTE categorie 1 of LTE-M; een nieuwe generatie zal ook ondersteuning bieden voor NB-IoT). Daarbij wordt gebruik gemaakt van openbare mobiele netwerken. Hierbij is internationale en nationale roaming mogelijk, en worden (bij een deel van de meters) SIM-kaarten gebruikt waarmee (in theorie) gewisseld kan worden van primaire aanbieder.

Enexis heeft bewust gekozen voor een strategie waarin het als netbeheerder de connectiviteit uitbesteed aan telecompartijen. De achterliggende gedachte hierbij is geweest dat (1) deze partijen het best in staat zijn om de gevraagde connectiviteit te leveren, en (2) dat het aansluiten bij een zo groot mogelijke groep gebruikers van een technologie de hoogste kans biedt op lange ondersteuning van zowel de technologie als de dienst. Een derde argument is dat Enexis, in vergelijking met de andere netbeheerders, meer meters in grensgebieden plaatst, waardoor een eigen netwerk (radiotechnisch) complexer te realiseren is, en er in deze oplossing juist gebruik gemaakt kan worden van roaming.

Tot slot lijkt er voor de LTE-meters een migratiepad te bestaan; zo kan LTE Cat. 1 'tegelijk' in hetzelfde spectrum worden gebruikt met bepaalde 5G-varianten. De nieuwe generatie meters ondersteunt naast LTE-M ook NB-IoT, wat een extra mate van flexibiliteit met zich meebrengt. De mobiele operators bieden NB-IoT-diensten aan in de markt, welke gericht zijn op gebruikers met een langere tijdshorizon. Het is daarmee aannemelijk dat deze dienstverlening een langere levensduur zal hebben dan (het op regulier gebruik en consumenten gerichte) 'normale' LTE. Hoewel de capaciteit van NB-IoT lager is dan LTE-M is deze voor de basisfunctionaliteit van de slimme meter waarschijnlijk toereikend.¹³

Conclusie

De utiliteitssector kent een langere tijdshorizon dan de telecomsector. De gehanteerde CDMA-technologie was, op het moment dat de betreffende netbeheerders ervoor kozen, reeds sterk verouderd. De beschikbaarheid van CDMA-apparatuur en ondersteuning zal in de komende jaren sterk afnemen. Uitrol of aanpassingen aan de slimme meter die fysieke toegang door een monteur vragen (zoals vervanging) kennen, vanwege de schaal, een doorlooptijd van enkele jaren.

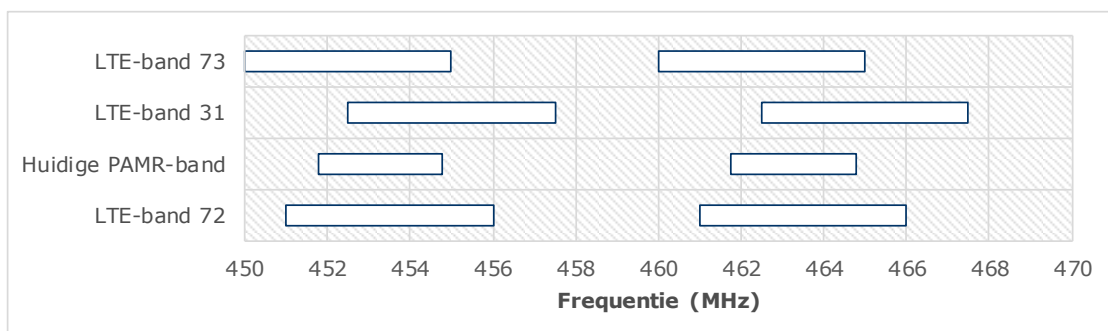
¹³ Middels een smalle in-band carrier van 200 kHz kan NB-IoT, volgens simulaties, met gemak 50.000 apparaten uitlezen met tot 50.000 berichten per uur van minimaal 100 bytes groot. [27] Merk op dat er meer doorvoercapaciteit nodig is voor zaken als software-updates (deze zijn echter minder tijdskritisch).

3.5 Frequentietechnische randvoorwaarden

Bandplannen

Voor vrijwel alle radiotechnologieën geldt dat ze alleen gespecificeerd zijn om te werken op bepaalde frequenties. Hoewel het in theorie meestal mogelijk is om op niet-gestandaardiseerde frequenties te werken, vereist dit specifieke ondersteuning van zowel de netwerkapparatuur als de apparatuur aan de gebruikerszijde. Het verdient dus de aanbeveling om bij het indelen van spectrum rekening te houden met deze bandplannen.

Voor zowel CDMA als LTE is een groot aantal *banden* gedefinieerd. Eerder is reeds CDMA-band 5 aanbod gekomen. Figuur 9 geeft een overzicht van de op dit moment gestandaardiseerde banden voor LTE. [28, pp. 59, Table 5.7.3-1: E-UTRA channel numbers] Er is op dit moment in de markt daadwerkelijk apparatuur verkrijgbaar die deze banden ondersteunt. Het is voor LTE niet ondenkbaar dat er in de toekomst nieuwe banden worden gedefinieerd.



Figuur 9 LTE-banden rond de huidige PAMR-band

Interferentie tussen naastgelegen kanalen

Bij de beoordeling van de verschillende technische mogelijkheden ten aanzien van de PAMR-band dient rekening te worden gehouden met interferentie tussen kanalen die dicht naast elkaar zijn geplaatst in en rond het PAMR-spectrum. Hoewel een carrier in de regel zodanig wordt gefilterd dat het merendeel van het zendvermogen terecht komt in het daarvoor bestemde kanaal, is deze filtering (als gevolg van fysieke grenzen) nooit perfect, en wordt ook buiten een kanaal altijd wat vermogen uitgezonden. Wanneer dit vermogen te hoog is en overlapt met een andere carrier kan dit problemen opleveren.

De problematiek van interferentie tussen naastgelegen kanalen wordt verder bemoeilijkt wanneer het gaat om twee carriers die niet *colocated* zijn.

Wat is colocatie?

Met *colocatie* wordt bedoeld dat twee verschillende carriers consequent vanaf dezelfde locatie worden uitgezonden. In de praktijk maken de twee carriers gebruik van hetzelfde opstelpunt, en mogelijk dezelfde antennes en achterliggende apparatuur. In de regel is colocatie van twee carriers dan ook eenvoudig te realiseren voor een operator binnen het eigen netwerk, maar niet wanneer het twee verschillende operators (met eigen opstelpunten en apparatuur) betreft.

Colocatie heeft invloed op de mate van interferentie tussen twee carriers met naastgelegen frequenties. Bij colocatie hebben de twee carriers overal min of meer dezelfde signaalsterkte, omdat ze allebei dezelfde demping ondervinden. Dit maakt interferentie van de twee carriers op elkaar beheersbaar. Wanneer de twee carriers

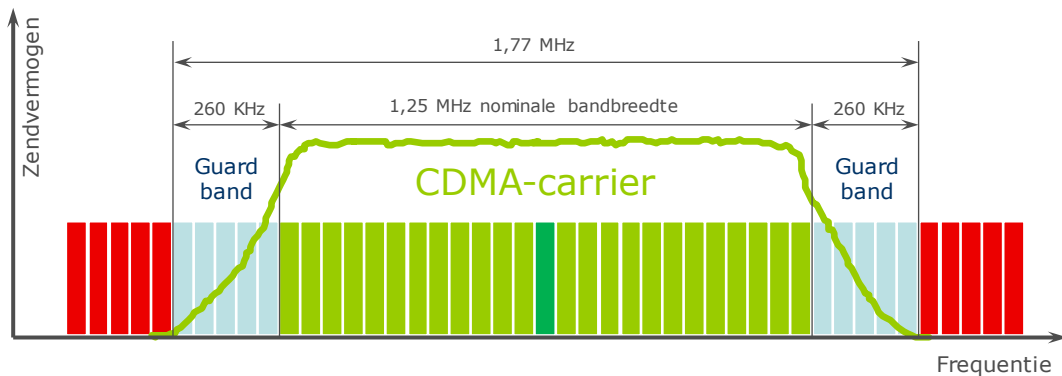
echter *niet* colocated zijn, is het verschil in signaalsterkte op de ene locatie groter dan op de andere, en wordt interferentie lastiger te beheersen.

De interferentie kan worden gemitigeerd door het toepassen van betere (duurdere en complexere) filters en/of het vergroten van de tussenruimte (de *guard band*) tussen beide carriers. Hoe groter de tussenruimte, hoe zwakker (gemiddeld) de out-of-bandemissies zijn.

Over het algemeen is geen guard band nodig tussen *colocated* LTE-carriers. Binnen een LTE-carrier worden de randen min of meer als *guard band* ingezet. Een LTE-carrier van 1,4 MHz bezet in feite slechts 1,08 MHz spectrum; deze 'ingebouwde guard bands' zijn dus 160 kHz breed. Voor niet-colocated LTE is eveneens geen guard band noodzakelijk.

Bij *colocated* CDMA-carriers is geen guard band nodig, terwijl dat voor niet-colocated CDMA wél het geval is. Wanneer het gaat om het naast elkaar plaatsen van verschillende technologieën (zoals LTE naast CDMA) is minder bekend. In de praktijk zal een guard band en filtering aan de zijde van LTE nodig zijn.¹⁴ Aan de zijde van LTE kunnen daarnaast specifieke *resource blocks* (subcarriers aan de rand van de carrier) worden aangepast¹⁵ zodat minder hinder wordt ondervonden (dit verlaagt dan wel de doorvoercapaciteit).

Plaatsing van CDMA naast LTE met een guard band van 260 kHz lijkt realistisch. Literatuur geeft onder andere aan dat een guard band van 260 kHz gebruikelijk was tussen AMPS/TDMA en CDMA wanneer het verschillende operators betrof die niet noodzakelijkerwijs colocatie gebruiken. Figuur 10 geeft een schematisch overzicht van een situatie in de 1900 MHz-band. Hier is de CDMA-carrier 1,25 MHz breed. De guard bands zijn 260 kHz breed.



Figuur 10 CDMA toepassen in de 1900 MHz-band naast AMPS [29], bewerking Dialogic

In 3GPP is onderzoek uitgevoerd naar het plaatsen van NB-IoT naast CDMA. [30] In daar uitgevoerde simulaties blijkt dat er minder dan 5% degradatie optreedt wanneer een guard band van 385 kHz wordt gehanteerd. Rekening houdend met de 'ingebouwde' guard bands bij regulier LTE zou dit vertalen naar een guard band van 225 kHz tussen CDMA en LTE.

¹⁴ Er zijn wel regels opgenomen in de standaard rondom interferentie tussen CDMA850 en LTE, maar deze zijn beperkt uitgewerkt (houden bijvoorbeeld beperkt rekening met de karakteristieken van CDMA850 in vergelijking tot GSM850) en niet goed toepasbaar op de voorliggende situatie.

¹⁵ Deze blokken worden dan met een lager vermogen ingezet, en kunnen bijvoorbeeld alleen nog worden gebruikt om te communiceren met toestellen die zich dichtbij het basisstation bevinden.

Merk op dat CDMA-apparatuur in de praktijk mogelijk substantieel beter presteert dan de standaard voorschrijft (in sommige studies wordt gesproken van tot wel 20 dB lagere out-of-bandemissie). [31] Het is onbekend of dat geldt voor de huidige apparatuur van Utility Connect.

Onderstaande Tabel 1 geeft een overzicht van de benodigde guard bands tussen verschillende technologieën bij acceptabele niveaus van signaaldegradatie. In alle gevallen geldt dat de degradatie bij kleinere guard bands hoger zal zijn. Daarnaast geven ook guard bands geen garantie: een device dat met line-of-sight onder een LTE-basisstation staat zal ook bij een guard band van 1 MHz slecht kunnen communiceren met een CDMA-basisstation dat ver weg is.

Tabel 1 Overzicht benodigde guard bands tussen naastgelegen kanalen

	Colocated	Niet colocated
CDMA naast CDMA	(geen)	260 kHz
LTE naast LTE	(geen)	(geen)
CDMA naast LTE	(geen/minimaal)	260 kHz
CDMA naast NB-IoT	385 kHz	385 kHz

3.6 Mobiele netwerkcode

Het uitlezen van slimme CDMA-meters is afhankelijk van de mobiele netwerkcode (MNC) 66, welke op dit moment aan Utility Connect is toegewezen. Er bestaan geen risico's rondom continuïteit bij ander gebruik van deze MNC, zolang rekening wordt gehouden met enkele (technische) beperkingen bij dit gebruik. Een uitwerking is te vinden in Bijlage 2.

4 Mogelijkheden borgen continuïteit

In dit hoofdstuk bespreken we welke opties er zijn er om de continuïteit (werking) van de slimme meter na 2024 langer te borgen, binnen de huidige frequentieruimte en eventueel daarbuiten. We bekijken in hoeverre energienetbeheerders daarbij eigen (exclusief) spectrum nodig hebben, en/of continuïteit ook geborgd kan zijn wanneer er sprake is van dienstverlening door een derde partij en/of andere banden.

4.1 Technische mogelijkheden

Ten aanzien van de technische invulling van de connectiviteit naar de (op dit moment uitgerolde en nog uit te rollen) CDMA-meters is logisch een aantal mogelijkheden af te leiden. Deze variëren op de volgende assen:

- Aantal beschikbare CDMA-450-carriers (géén, één, of twee).
- Gehanteerde band voor CDMA-450 (binnen of buiten huidige PAMR-band, binnen mogelijkheden netwerk en slimme meter).
- Of de netwerken colocated zijn of dat het meerdere, niet-colocated netwerken betreft.

Het aantal verschillende partijen dat de kavels exploiteert is technisch gezien relevant als het gaat om (het voorkomen van) interferentie en de afspraken die partijen daarvoor onderling moeten maken. De keuze van de technologie is uiteraard ook van belang, maar speelt in alle scenario's op gelijke wijze, en wordt besproken in de betreffende scenario's.

Tabel 2 Overzicht technische mogelijkheden ten aanzien van CDMA-450 voor de slimme meter

Mogelijkheid	Aantal CDMA-450-carriers	PAMR-band	Netwerken
A	2	Huidige	Colocated
B	2	Huidige	Niet colocated
C	2	Verbreed	Colocated
D	2	Verbreed	Niet colocated
E	1	Huidige	Colocated
F	1	Huidige	Niet colocated
G	1	Verbreed	Colocated
H	1	Verbreed	Niet colocated
X	0	n.v.t.	n.v.t.

De meest fundamentele keuze is of überhaupt wordt doorgedaan met CDMA-450 (A t/m H) voor het uitlezen van de slimme meter of niet (X). Het laatste zou uiteraard vervanging van de huidige CDMA-450-meters of van de communicatiemodule (voor slimme meters waarbij dat mogelijk is) vereisen, aangezien de huidige meters geen andere vorm van connectiviteit ondersteunen.

Wanneer wordt *doorgegaan* met CDMA-450 kan worden gekozen om dit met twee carriers (A t/m D) of slechts één carrier te doen (E t/m H). Ongeacht daarvan kan worden gekozen om deze carrier(s) op de huidige frequenties te laten werken (A, B, E, F), of om deze te verplaatsen naar elders in de 450-470 MHz-band (voor zover ondersteund door netwerk en slimme meter; C, D, G, H).

In de mogelijkheden E, F, G, H en X komt spectrum vrij, welke op verschillende manieren kan worden ingezet. In de praktijk zal een exploitant waarschijnlijk een netwerk op basis van LTE(-M)¹⁶ of opvolger realiseren. In de mogelijkheden met colocatie (E en G) kan slechts één partij de twee carriers exploiteren. Aangezien één van beide carriers de CDMA-carrier betreft is dat de facto Utility Connect (of een andere partij mits die ook de CDMA-dienstverlening overneemt). In scenario's F, G en X is colocatie niet vereist en is ruimte voor een andere partij. Alternatief kunnen twee of zelfs meer kleinere kavels voor smalbandige toepassingen worden ingezet. In het scenario waarin geen CDMA-450 meer bestaat (X) zijn uiteraard nog veel meer verkavelingen denkbaar, al is één kavel van 5 MHz (welke kan worden gebruikt met LTE-M) dan het meest efficiënt.

In onderstaande bespreken we de verschillende mogelijkheden voor zover deze relevant zijn. De mogelijkheden zijn gegroepeerd naar het aantal CDMA-carriers dat in de eindsituatie zou resteren: twee (huidig), één, of géén.

In de overzichtsgrafieken hieronder worden delen van het spectrum aangegeven als blokken. Witte blokken met blauwe rand geven een gespecificeerde band aan. Donkerblauwe blokken zijn delen van het spectrum die in gebruik zouden worden genomen door de netbeheerders. Groene blokken worden voor een ander (niet colocated) netwerk in gebruik genomen.

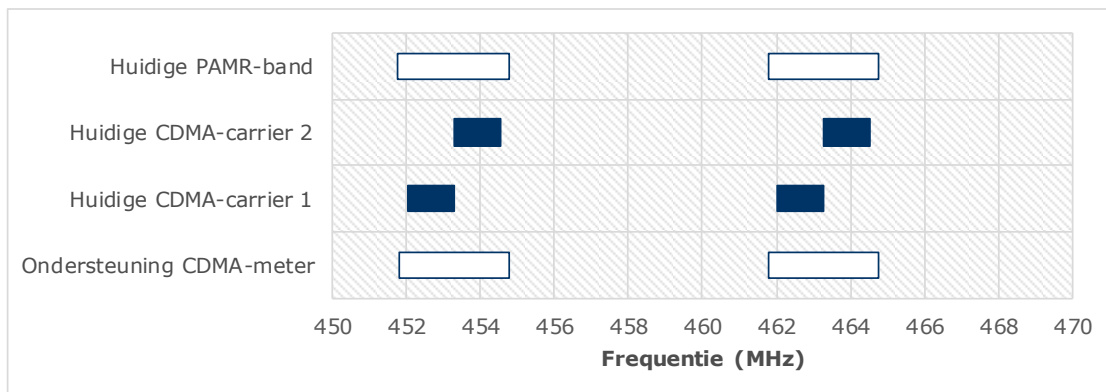
4.1.1 Mogelijkheden met twee CDMA-carriers

A: Voortzetting huidige situatie

In mogelijkheid A blijft de huidige situatie in stand. Er zijn twee CDMA-carriers voor de netbeheerders op de huidige frequenties binnen de huidige PAMR-band. Het is evident dat deze mogelijkheid geen verslechtering ten aanzien van de huidige mate van continuïteit van de slimme meter betekent (los van de eerder genoemde aandachtspunten rondom continuïteit van CDMA op zichzelf – leveringszekerheid van diensten en apparatuur en digitale veiligheid).

Deze mogelijkheid, de huidige situatie, is tevens de meest voor de hand liggende in een situatie waarin twee CDMA-carriers resteren (zie verderop onze analyse hierbij). Binnen dit scenario kan uiteraard worden onderzocht of de exploitant van beide CDMA-carriers andere geïnteresseerde partijen hierop toegang kan geven (we werken dit uit in paragraaf 4.2.5).

¹⁶ LTE is op dit moment de meest moderne en gangbare technologie voor breedband mobiele communicatie, en werkt (in de hier relevante banden) met carriers van 5 MHz of kleiner (3 MHz of 1,4 MHz). [28, pp. 60, Table 5.6.1-1: E-UTRA channel bandwidth] LTE-M is een specifieke, voor machine-to-machine geoptimaliseerde variant met een beter linkbudget, en zou daarom voor de slimme meter voor de hand liggen. Radiotechnisch is LTE-M vrijwel identiek aan 'gewoon' LTE. In het vervolg van dit hoofdstuk kan voor "LTE(-M)" dan ook zowel LTE, LTE-M als een 5G-opvolger of een andere (propriëtaire) technologie worden gelezen (mits de laatste dezelfde radio-eigenschappen kent en past in het 3GPP (LTE)-bandplan).



Figuur 11 Overzicht mogelijkheid A / huidige situatie: twee CDMA-carriers, één netwerk, op de huidige frequenties binnen de huidige PAMR-band

Minder voor de hand liggende mogelijkheden

Andere mogelijkheden met twee CDMA-carriers zijn technisch mogelijk, maar liggen niet voor de hand. We bespreken hieronder waarom.

B, D: Tweé CDMA-aanbieders

In mogelijkheden B en D wordt uitgegaan van twee niet-colocated CDMA-carriers. Dit impliceert dat een nieuwe aanbieder investeert in CDMA-infrastructuur, wat we (gezien de levenscyclus van CDMA-technologie) onwaarschijnlijk achten. Dit buiten beschouwing latend spelen er ten opzichte van scenario A spelen technisch twee uitdagingen:

- Er blijft in het geval waarin de netbeheerders slechts één van de kavels in handen krijgen nog maar één eigen CDMA-carrier over voor het uitlezen van de slimme meters. Wanneer het netwerk van de andere operator niet wordt ingezet om (een deel van de) slimme meters uit te lezen, moeten de meters middels één carrier worden uitgelezen. Een uitwerking hiervan geven we in paragraaf 4.2.1.
- Er moeten maatregelen worden getroffen om interferentie tussen beide netwerken te voorkomen (in een situatie waarin één operator de beide carriers exploiteert kan deze dit zelf regelen). In een scenario waarin beide netwerken niet colocated zijn is mitigatie van interferentie met naastgelegen kanalen noodzakelijk.

Gezien de uitkomsten van het marktonderzoek in 2016 lijkt het onwaarschijnlijk dat een exploitant een business case rond kan krijgen voor CDMA-dienstverlening in deze band. [32] Zelfs wanneer er interesse is in de band is het wat ons betreft zeer onwaarschijnlijk dat een nieuwe exploitant nieuwe CDMA-infrastructuur zal uitrollen, gezien de 'end-of-life'-status van CDMA-technologie. In de praktijk betekent dit scenario dus dat een ándere partij dan de netbeheerders de tweede carrier gaat exploiteren op basis van de bestaande infrastructuur. In dat geval liggen andere vormen van netwerktoegang (een soort 'roamingscenario', bijvoorbeeld) meer voor de hand dan gescheiden exploitatie. In dit scenario ligt het voor de hand dat de netbeheerders de diensten van deze tweede exploitant zullen gebruiken om (een deel van de) meters uit te lezen. De interferentieproblematiek als gevolg van het niet-colocated zijn vervalt daarmee eveneens.

C,D: Verschuiving van de CDMA-frequenties

Een mogelijkheid zou zijn om de PAMR-band aan te passen en de huidige CDMA-carriers te verplaatsen. De reden voor een verplaatsing zou kunnen zijn dat er meer ruimte vrijkomt voor andere toepassingen, of dat deze beter aansluit bij andere bandplannen (bijvoorbeeld van LTE).

De CDMA-meter ondersteunt (ten minste) CDMA-kanaal 72 t/m 192. Dit komt overeen met de huidige PAMR-band. Verplaatsing zou daarom alleen mogelijk zijn wanneer alle CDMA-meters een groter bereik ondersteunen, bijvoorbeeld de volledige CDMA-band 11C (450 MHz – 454,8 MHz en 460 MHz – 464,8 MHz). Dat zou een verbreding van (maximaal) 1,74 MHz betekenen.

Een verplaatsing zou overigens een aanpassing in de configuratie van de slimme meters. In paragraaf 4.2.2 werken we dit verder uit. Vanuit het perspectief van continuïteit van de slimme meter bestaan mogelijk risico's bij de herconfiguratie van slimme meters op afstand en verminderde gevoeligheid van de meters op de nieuwe frequenties.

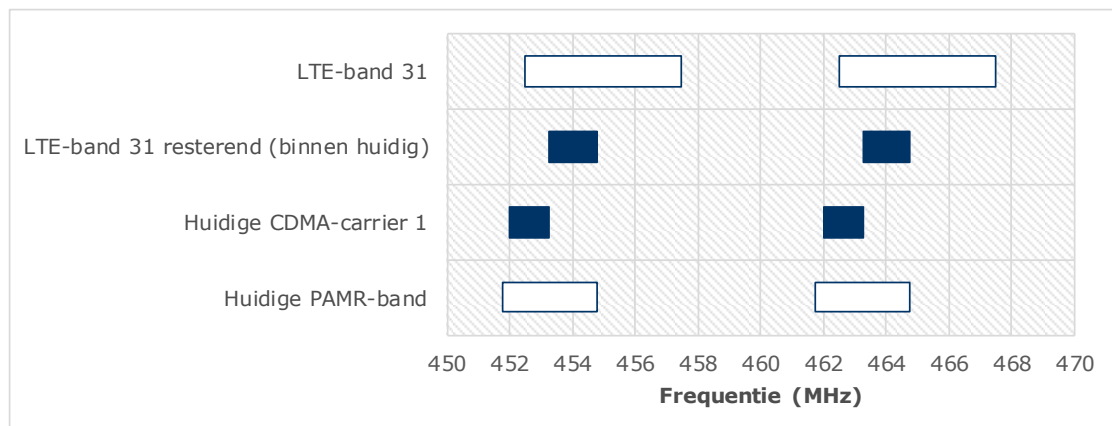
4.1.2 Mogelijkheden met één CDMA-carrier

In de mogelijkheden E t/m H is in de eindsituatie één CDMA-carrier en één LTE-carrier actief. Consequentie bij deze mogelijkheden is dat voor het uitlezen van CDMA-meters moet worden overgegaan naar één carrier – we werken dit nader uit in paragraaf 4.2.1.

Twee mogelijkheden lijken voor de hand te liggen; twee andere zijn technisch mogelijk, maar (vergeleken met de andere mogelijkheden) suboptimaal.

E: CDMA en LTE in de huidige PAMR-band (colocated)

In deze mogelijkheid wordt één CDMA-carrier behouden voor het uitlezen van de slimme meter, en wordt de andere bestaande carrier opgeheven ten behoeve van een LTE-carrier. In dit scenario wordt deze eveneens door de netbeheerders geëxploiteerd. Figuur 12 geeft een schematisch overzicht van deze mogelijkheid. In dit scenario zou de laagste CDMA-carrier in gebruik blijven, en een LTE-carrier van 1,4 MHz kunnen worden geactiveerd aan de bovenkant van de PAMR-band (downlink tussen 463,28-464,77 MHz en uplink tussen 453,28-454,77 MHz) zodat deze binnen LTE-band 31 en de huidige PAMR-band valt.



Figuur 12 Overzicht scenario E: een CDMA-carrier en een LTE-carrier, beide geëxploiteerd door de netbeheerders

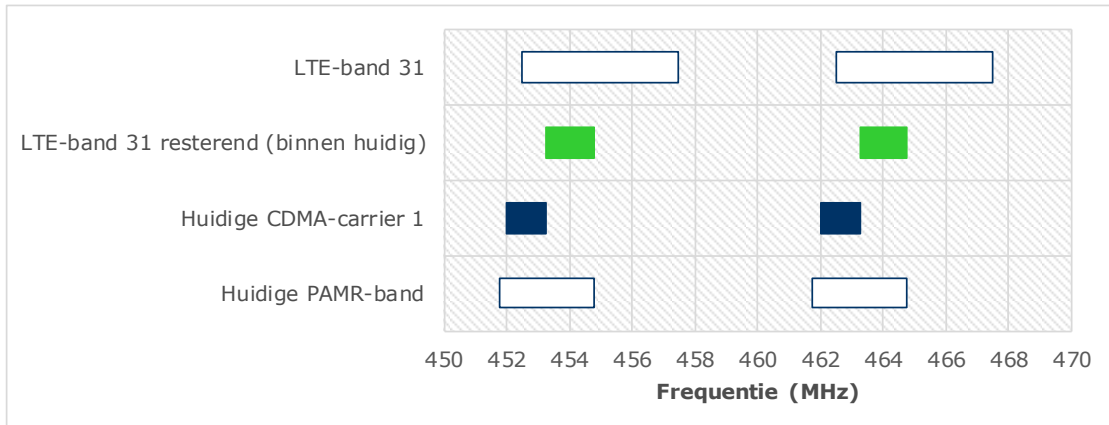
Wanneer CDMA en LTE in naastgelegen kanalen worden gebruikt moet rekening worden gehouden met interferentie tussen naastgelegen kanalen. In dit scenario kan de exploitant dit relatief eenvoudig zelf oplossen. De netbeheerders geven aan te kijken naar opvolgers voor CDMA en experimenteren met LTE-M, en ook deze problematiek te hebben onderzocht. Een mogelijke mitigatie is het uitschakelen van *resource blocks* aan de rand van de LTE-carrier (dit verlaagt de capaciteit van de carrier).

Omdat de beide netwerken in dit scenario waarschijnlijk vanaf dezelfde sites worden uitgezonden is interferentie goed beheersbaar (wanneer het CDMA-signaal zwak is, is het

LTE-sigitaal dat ook). Wanneer de beide carriers echter vanaf verschillende sites worden uitgezonden (wat het geval is bij meer dan één netwerk) dan kunnen er situaties ontstaan waarin de ene of juist de andere carrier een sterker signaal heeft.

F: CDMA naast LTE in de huidige PAMR-band (niet-colocated)

Deze mogelijkheid betreft de *niet-colocated* variant van mogelijkheid E hierboven. Figuur 13 geeft een schematisch overzicht. Hierbij wordt de LTE-carrier direct naast de CDMA-carrier geplaatst.



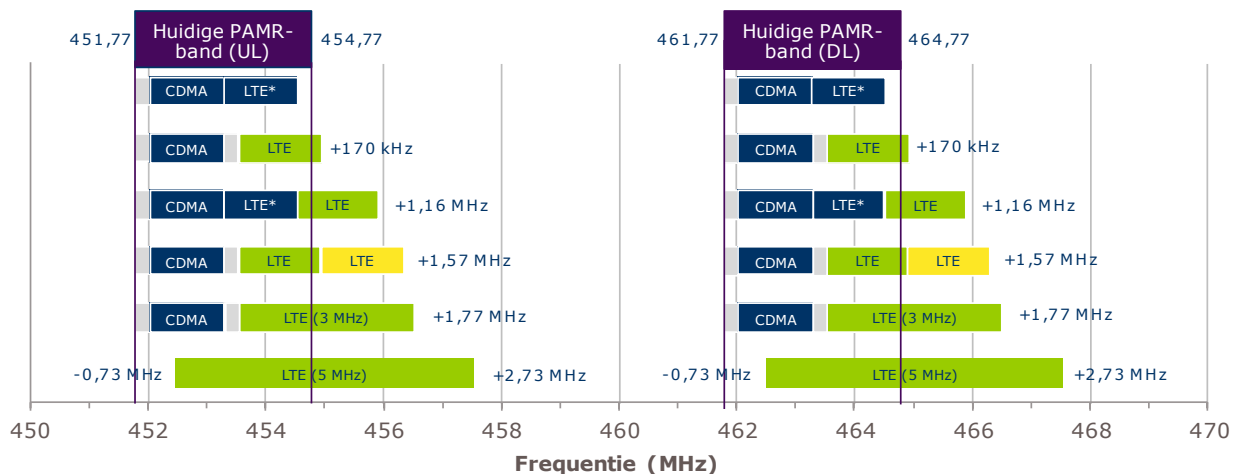
Figuur 13 Overzicht mogelijkheid F: CDMA en LTE in de PAMR-band, twee netwerken

Zoals bij mogelijkheid E al werd uitgelegd is de problematiek van *adjacent channel*-interferentie groter in een scenario met twee netwerken (met elk hun eigen sites) ten opzichte van mogelijkheid E met één netwerk (en dezelfde sites voor beide carriers). Er is dus meer mitigatie nodig waardoor één of beide kanalen substantieel moeten inleveren op capaciteit. De meest voor de hand liggende mitigatie is het zodanig configureren van de LTE-carrier dat de *resource blocks* die zich aan de rand bevinden niet of nauwelijks worden gebruikt (de facto ontstaat dus een soort 'guard band' binnen de LTE-carrier). Dit scenario ligt dan ook technisch gezien minder voor de hand.

In mogelijkheden G en H hieronder bespreken we een niet-colocated scenario waarin, door verbreding van de PAMR-band, wél voldoende scheiding tussen beide netwerken kan worden gerealiseerd.

G, H: CDMA en LTE in een verbrede PAMR-band (al dan niet colocated)

In mogelijkheden G en H worden CDMA en LTE rond de PAMR-band verplaatst zodat meer ruimte vrijkomt voor LTE, terwijl een huidig CDMA-kanaal in stand blijft of binnen het ondersteunde bereik wordt verplaatst. Een LTE-carrier eindigt daarbij (deels) buiten de huidige PAMR-band. Binnen de PAMR-band is colocated LTE naast bestaand CDMA mogelijk. Met een verbreding van 170 kHz is *niet-colocated* LTE (1,4 MHz breed) te realiseren. Bij een verbreding met 1,16 MHz is éénmaal colocated en éénmaal niet-colocated LTE te realiseren. Bij 1,57 MHz verbreding kunnen naast CDMA twee niet-colocated LTE-carriers worden geplaatst. Figuur 14 geeft een schematisch overzicht.



Figuur 14 Schematisch overzicht mogelijkheden verbreding PAMR-band (*= carrier moet colocated zijn met CDMA)

Er kan binnen deze mogelijkheid worden gekozen voor invulling conform band 72 of conform LTE-band 31.

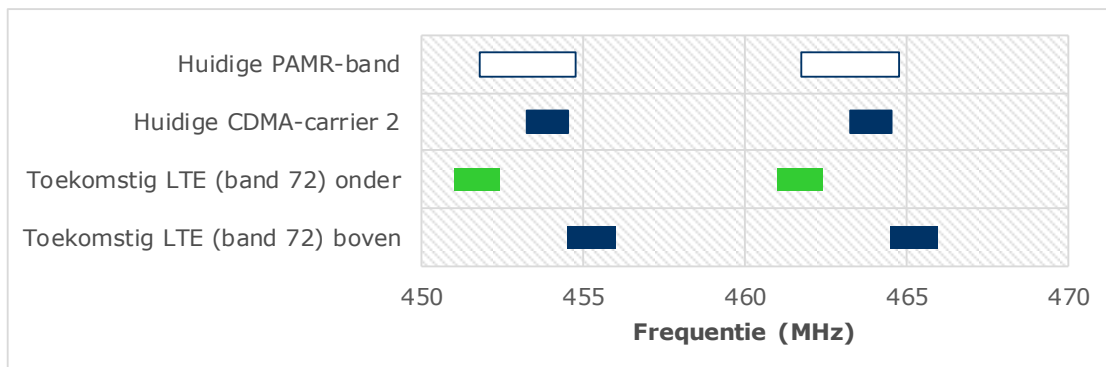
Invulling conform LTE-band 72

Zoals duidelijk wordt uit Figuur 15 en Figuur 16 liggen de huidige CDMA-carriers midden in LTE-band 72. Er kan, bij instandhouding van één CDMA-carrier, dus slechts een deel van de band worden gebruikt. Onder de onderste CDMA-carrier past binnen band 72 geen LTE-carrier meer (mogelijk wel NB-IoT).

Scenario's in band 72 met de bovenste CDMA-carrier actief zijn wel mogelijk. Hiervoor is er tussen de LTE-carrier onder de CDMA-carrier en diezelfde carrier voldoende ruimte. Utility Connect zou dit technisch gezien vanaf hun huidige infrastructuur colocated moeten kunnen realiseren. Ook niet-colocated is deze variant mogelijk gezien de ruimte die er is tussen het begin van band 72 en de CDMA-carrier. Merk op dat dit wel afhankelijk is van uitbreiding van de PAMR-band in deze richting.

Er is, wanneer band 72 wordt gevolgd, onvoldoende ruimte tussen CDMA en LTE daarboven voor niet-colocated gebruik. Zelfs bij colocatie zal er moeten worden 'gefinetuned' door het uitschakelen van *resource blocks*.

Een combinatie van niet-colocated LTE onder CDMA-carrier 2 en colocated LTE boven CDMA-carrier 2 is ook denkbaar. Wanneer de netbeheerders de ene, en een andere partij de tweede LTE-carrier in gebruik nemen ligt het dus voor de hand om de netbeheerders de bovenste carrier (dichtst bij de CDMA-carrier) toe te wijzen, en de andere partij de onderste LTE-carrier. Figuur 15 geeft dit schematisch weer.

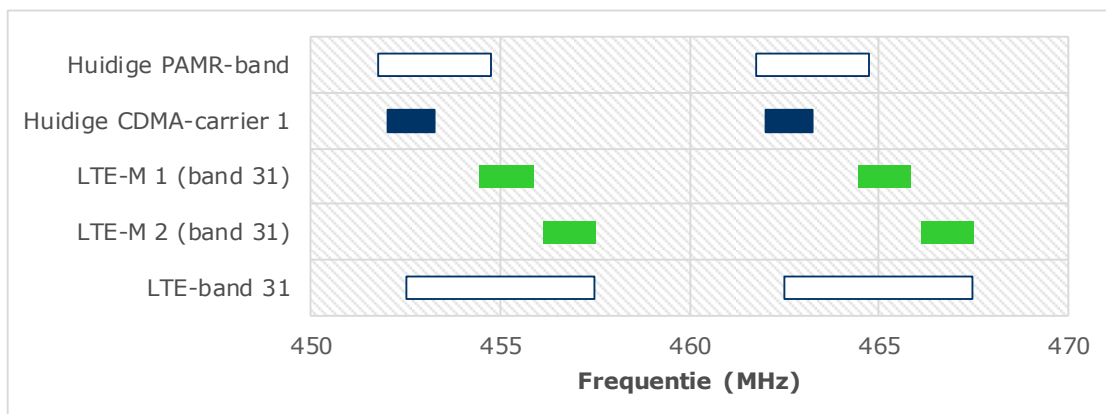


Figuur 15 Mogelijkheid H, variant 3: bovenste CDMA-carrier, niet colocated LTE-carrier eronder, colocated LTE erboven (band 72)

Invulling conform LTE-band 31

Op basis van band 31 is er ruimte voor één CDMA-carrier en twee LTE-carriers van 1,4 MHz. Deze carriers zouden door twee andere partijen kunnen worden ingezet, of één door de netbeheerders en één door een andere partij. De combinatie van CDMA met twee LTE-carriers wordt niet ondersteund door de huidige apparatuur van Utility Connect (maar zou met investering uiteraard mogelijk worden). Figuur 16 geeft een schematisch overzicht.

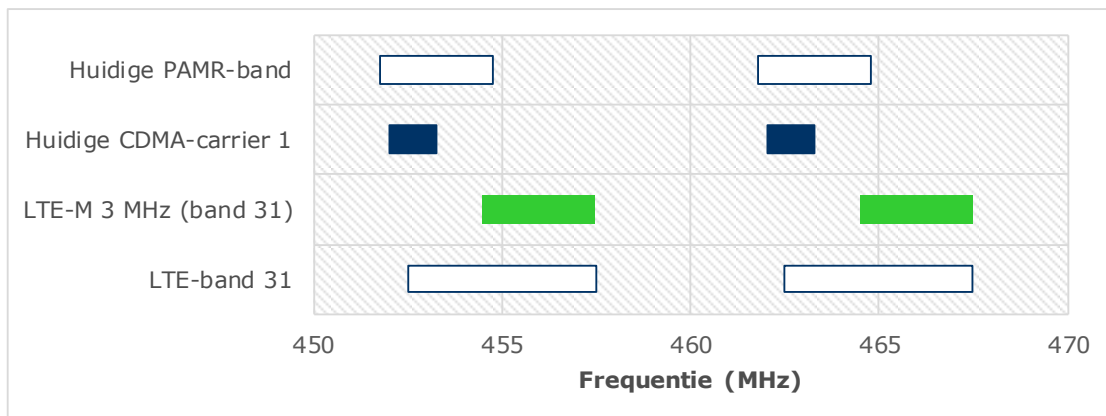
Gezien het risico op interferentie tussen naastgelegen kanalen (zie paragraaf 3.5) heeft non-colocatie tussen verschillende LTE-carriers de voorkeur boven non-colocatie tussen CDMA en LTE.



Figuur 16 Mogelijkheid H, variant 4: de onderste CDMA-carrier, 2x niet colocated LTE 1,4 MHz erboven (band 31)

Deze variant is om een aantal redenen technisch de meest voor de hand liggende (mits, uiteraard, de benodigde frequentieruimte kan worden vrijgemaakt). Allereerst wordt aangesloten op het LTE-bandplan door de bovenste LTE-carrier uit te lijnen met het einde van band 31. Daarnaast kan interferentie tussen naastgelegen kanalen worden beheerst doordat de interferentie tussen CDMA en LTE hetzelfde (colocated) netwerk betreft, en de interferentie tussen LTE-LTE goed beheersbaar is tussen verschillende (niet colocated) netwerken.

In plaats van de twee LTE-carriers van 1,4 MHz kan ook één carrier van 3 MHz worden ingezet. Dit biedt meer mogelijkheden voor wat betreft toepassingen die hogere bandbreedte vragen. Figuur 17 geeft een schematisch overzicht.



Figuur 17 Mogelijkheid H, variant 5: de onderste CDMA-carrier en LTE 3 MHz erboven (band 31)

Er is bij inzet van een 3 MHz-carrier nog steeds redelijke scheiding is tussen het CDMA- en LTE-kanaal. De huidige apparatuur van Utility Connect ondersteunt deze variant niet in combinatie met de CDMA-carrier. Aangezien een nieuw netwerk niet colocated zal zijn (tenzij de netbeheerders investeren in nieuwe infrastructuur) zal rekening moeten worden gehouden met *adjacent channel*-interferentie tussen beiden.

Conclusie

Bij niet-colocatie is een guard band nodig om interferentie tussen CDMA en LTE in de PAMR-band te voorkomen, en zou de PAMR-band iets verbreed moeten worden. We adviseren in dit geval aan te sluiten op LTE-band 31. De onderste CDMA-carrier blijft dan actief. Daarboven wordt een guard band van 260 kHz en een LTE-carrier van 1,4 MHz geplaatst. Bij verbreding met nog eens 1,4 MHz (tot 456,34 MHz en 466,34 MHz) zou een tweede (colocated of niet colocated) LTE-carrier van 1,4 MHz of één van 3 MHz passen. Een derde mogelijkheid zou zijn om één colocated LTE-carrier van 1,4 MHz te plaatsen boven CDMA en één niet-colocated LTE-carrier van 1,4 MHz daarboven.

4.1.3 Mogelijkheden zonder CDMA-carriers

In deze mogelijkheid ('X') is er geen enkele CDMA-carrier meer in gebruik in de door de CDMA-meter ondersteunde bereik (CDMA-band 5 blok C). Over continuïteit kunnen we dan ook kort zijn: deze hangt volledig af van de ondersteuning van de slimme meter voor andere frequenties (buiten CDMA-band 5 blok C) of technologieën (buiten CDMA). Gezien de eigenschappen van de meters vereist dit vervanging van een communicatiemodule of de hele meter.

In deze mogelijkheid staat de invulling van het vrijgekomen spectrum los van de slimme meter (zoals eerder opgemerkt heeft de slimme meter niet per definitie de 450-470 MHz-band nodig). Het ligt voor de hand aan te sluiten op de LTE-banden 72, 73 of 31 (Figuur 9). In tegenstelling tot de hierboven besproken mogelijkheden is dit het enige scenario waarin een LTE-band van 5 MHz mogelijk zou zijn met overlap van de huidige PAMR-band. Dit is tevens technisch gezien de meest efficiënte invulling.

4.2 Technische uitwerkingen

De hierboven genoemde mogelijkheden kennen technische uitdagingen welke dienen te worden opgelost. Hieronder gaan we in op deze uitdagingen. In de titel van de paragraaf is steeds aangegeven op welk scenario deze betrekking heeft.

4.2.1 E, F, G, H: Migratie naar één CDMA-carrier

Zowel vervanging (van CDMA door LTE-450) als verkaveling vragen het uitschakelen van één van beide CDMA-carriers door Utility Connect, zodat ruimte ontstaat voor de opvolger c.q. de andere vergunninghouder. Dit verlaagt de capaciteit die er op basis van CDMA beschikbaar is. In dergelijke scenario's is dus de vraag of er voldoende CDMA-capaciteit is om slimme meters te kunnen blijven uitlezen, en zo niet, wat er zal moeten gebeuren om dit alsnog te realiseren.

Toekomstig aantal CDMA-meters

Allereerst het aantal CDMA-meters dat dient te worden uitgelezen. Netbeheer Nederland geeft aan dat er in totaal 8,6 miljoen meters in Nederland zijn die (uiteindelijk) vervangen dienen te worden door een slimme meter. Daarnaast wordt een 'weigerpercentage' genoemd van 5,9% voor de eerste helft van 2019 (dit was 7,2% over 2018). [2] Omgerekend betekent dit dat er (bij 6,5%) in totaal zo'n 8 miljoen slimme meters zouden zijn bij volledige uitrol. Voorafgaand aan het GSA waren reeds 1.186.228 meters geplaatst. [2] Het betreft zeer waarschijnlijk GPRS-meters. In de verzorgingsgebieden van de netbeheerders die CDMA gebruiken gaat het om 701.033 meters. [2]

In het GSA werden landelijk tot en met 2019 ongeveer zes miljoen meters uitgerold. Daarvan bevinden zich er 2,7 miljoen in het verzorgingsgebied van de netbeheerders die CDMA gebruiken (Liander, Stedin, Westland Infra). In totaal vallen circa 5,8 miljoen adressen in het verzorgingsgebied van de netbeheerders die CDMA gebruiken (Liander, Stedin, Westland Infra). Na volledige uitrol zouden er dan circa 5,1 miljoen slimme meters zijn geplaatst. Minus GPRS-meters blijven 4,4 miljoen CDMA-meters over.

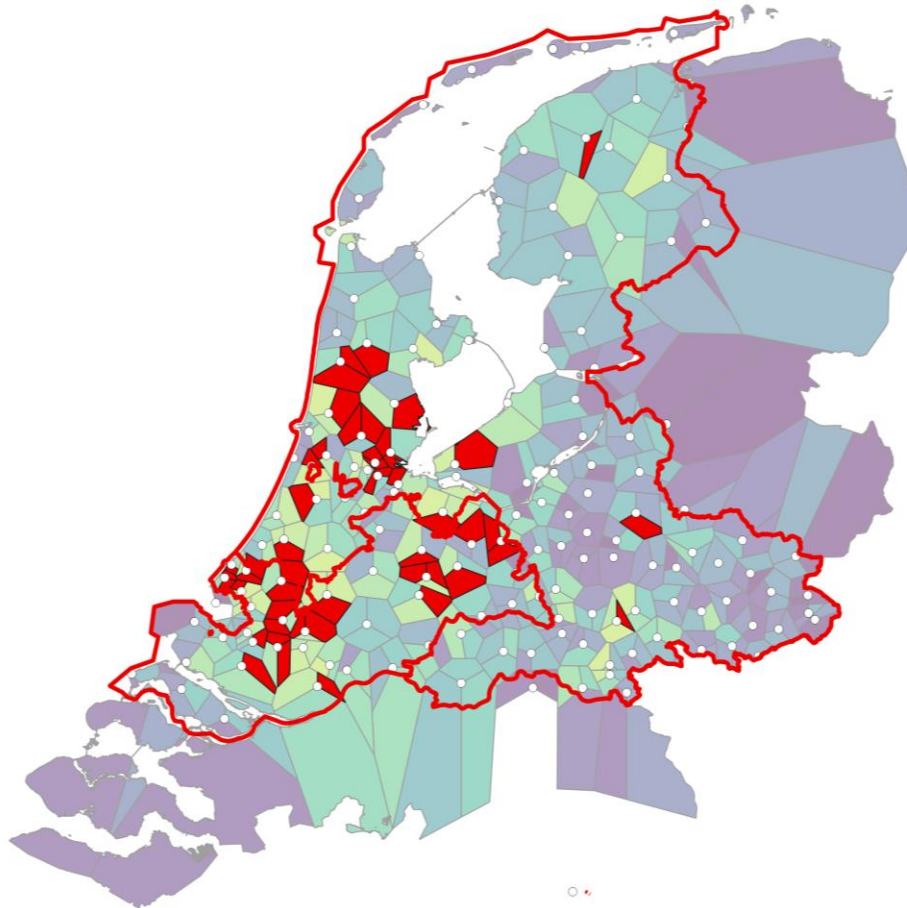
Capaciteit van het netwerk

Het CDMA-netwerk van Utility Connect is vanaf het begin ontworpen voor het eens per dag betrouwbaar kunnen uitlezen van maximaal vijf miljoen meters. Hiervoor worden twee CDMA-carriers ingezet. Utility Connect geeft aan dat per cel op dit moment een beperkt aantal meters kan worden uitgelezen, en dat de tweede carrier nu noodzakelijk is op bepaalde locaties. Het exacte getal is bij de onderzoekers bekend.

Om te kunnen beoordelen wat er nodig is om het uitlezen van het hierboven bepaalde aantal van 4,3 miljoen CDMA-meters te bereiken met één carrier is van belang om te weten hoe de adressen over de cellen en sites van dit netwerk zijn verdeeld.

We maken zoals eerder gebruik van de BAG (Basisregistratie Adresgegevens). Op basis van de cijfers hierboven kan worden vastgesteld dat er per adres in de BAG circa 0,76 keer een CDMA-meter geplaatst wordt (per honderd adressen worden gemiddeld 76 CDMA-meters geplaatst). Door te kijken hoeveel BAG-adressen zich in een cel van het (huidige) CDMA-netwerk bevinden kan een benadering worden gemaakt van het aantal *meters* in die cel. Is dit aantal hoger dan de grenswaarde die Utility Connect heeft opgegeven, dan heeft de cel onvoldoende capaciteit.

Op basis van de eerder besproken modellering zien we dat dit voor 50 cellen het geval is. Deze cellen betreffen 36 verschillende sites. Figuur 18 toont de betreffende cellen (rood gekleurd).



Figuur 18 Cellen in het CDMA-netwerk die minimaal gesplitst zouden moeten worden om de benodigde capaciteit bij één carrier te leveren (op basis van modellering Dialogic)

Merk op dat bovenstaande een ondergrens is. In werkelijkheid kan de distributie van slimme meters 'schever' verdeeld zijn, waardoor verdere netwerkverdichting noodzakelijk is. Ook betekent splitsing van een cel niet per definitie een verdubbeling van de capaciteit, maar is dit in de praktijk lager.

We gaan er daarnaast vanuit dat er voldoende capaciteit overblijft voor de overige toepassingen waarvoor het CDMA-netwerk wordt gebruikt (FlexOVL, distributie-automatisering, et cetera). Aangezien deze toepassingen vooral leunen op de downlinkcapaciteit verwachten we dat dit het geval zal zijn (hoewel er mogelijk beperkingen zouden kunnen ontstaan als gevolg van het aantal terminals in een cel). Aangezien het aantal meters per cel gemiddeld dicht tegen de grenswaarde aan zal zitten, zullen ook software-updates van slimme meters langer duren.

Kijken we naar de ligging van de te splitsen cellen, dan valt op dat deze zich (zoals te verwachten) in de dichter bevolkte, stedelijke regio's bevinden. Onderstaande Figuur 19 toont de te splitsen cellen in Utrecht.

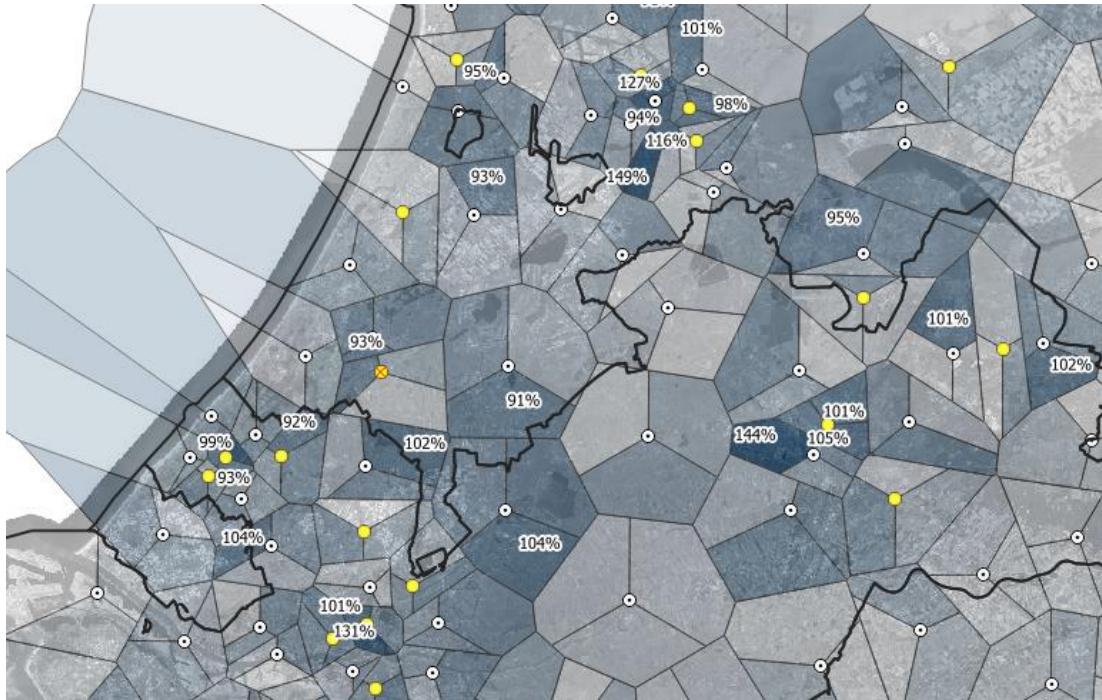


Figuur 19 Te splitsen cellen in het CDMA-netwerk bij gebruik van één carrier – Utrecht

Verdichting van het CDMA-netwerk

Om voldoende capaciteit te kunnen bieden, moeten de 50 hierboven genoemde cellen worden gesplitst, zodanig dat iedere cel minder dan het maximaal aantal meters (vertaald naar aantal adressen) 'bedient'. Dat betekent dat er minimaal 109 cellen gecreëerd dienen te worden. Aangezien er reeds 50 cellen aanwezig zijn moeten er dus minimaal 59 cellen worden gecreëerd. Uitgaande van drie-sector-sites betekent dat dat er minimaal twintig sites moeten worden bijgeplaatst. In de praktijk is dit aantal hoger, doordat niet 'optimaal' gesplitst kan worden, en opstelpunten uiteraard niet overal beschikbaar zijn. Daarnaast zijn er cellen die niet in twee, maar in drie of zelfs vier cellen gesplitst zouden moeten worden.

Figuur 20 toont een *indicatief* scenario waarin 28 sites zijn bijgeplaatst (de witte punten zijn bestaande sites, de gele zijn nieuw te plaatsen). De percentages geven het geschatte resulterende gebruik aan van de cel (verwacht aantal CDMA-meters na de uitrol gedeeld door het aantal dat de cel kan verwerken). Uit de afbeelding wordt duidelijk dat op een aantal locaties het gebruik boven de 100% ligt – hier zal in aanvulling op het plaatsen van sites optimalisatie moeten worden gedaan.



Figuur 20 Indicatief scenario voor het bijplaatsen van sites (detail randstad; inschatting Dialogic)

Zijn er andere mogelijkheden om de capaciteit van het netwerk te vergroten?

Een operator van een mobiel netwerk heeft drie 'knoppen om aan te draaien' als het gaat om de capaciteit van een netwerk: de hoeveelheid spectrum, de spectrale efficiëntie, en de netwerkdichtheid.

In dit geval is de hoeveelheid spectrum beperkt tot 2x 2x 1,25 MHz, en in dit specifieke scenario brengen we dat zelfs terug naar 1x 2x 1,25 MHz. Daarnaast is de technologie een gegeven: CDMA 1xRTT. Om de capaciteit te vergroten zal dus het netwerk moeten worden verdicht.

Voor verdichting ligt het plaatsen van 'invoegsites' zoals hierboven voorgesteld het meest voor de hand. Dit zijn sites die worden geplaatst binnen het dekkinggebied van een bestaande site en een deel van de capaciteit in de omgeving ervan 'overnemen'. Over het algemeen gaat het om relatief laag geplaatste sites. Dit heeft de voorkeur boven het bijplaatsen van hoge sites, vanwege het effect op het gemiddelde ruisniveau ('RTWP' bij CDMA). Er kan over het algemeen gebruik worden gemaakt van bestaande opstelpunten (mits daar genoeg ruimte is).

Een andere mogelijkheid is het bijplaatsen van antennes op bestaande sites. Hierdoor worden meerdere sectoren gecreëerd vanaf dezelfde site, en daalt in theorie het aantal terminals per cel. Het voordeel is uiteraard dat er geen volledig nieuwe site hoeft te worden gecreëerd. Zogenaamde 'zes-sector'-sites zijn echter niet evenredig efficiënter dan 'drie-sector'-sites (voornamelijk omdat terminals niet evenredig over de zes sectoren kunnen worden verdeeld), waardoor deze optie in de praktijk nauwelijks wordt gekozen. Specifiek voor CDMA geldt dat 'zes-sector'-sites extra onaantrekkelijk zijn vanwege het fenomeen "pilot pollution" – doordat veel naastgelegen carriers dezelfde signaalsterkte hebben daalt de efficiëntie. [33]

Kosten

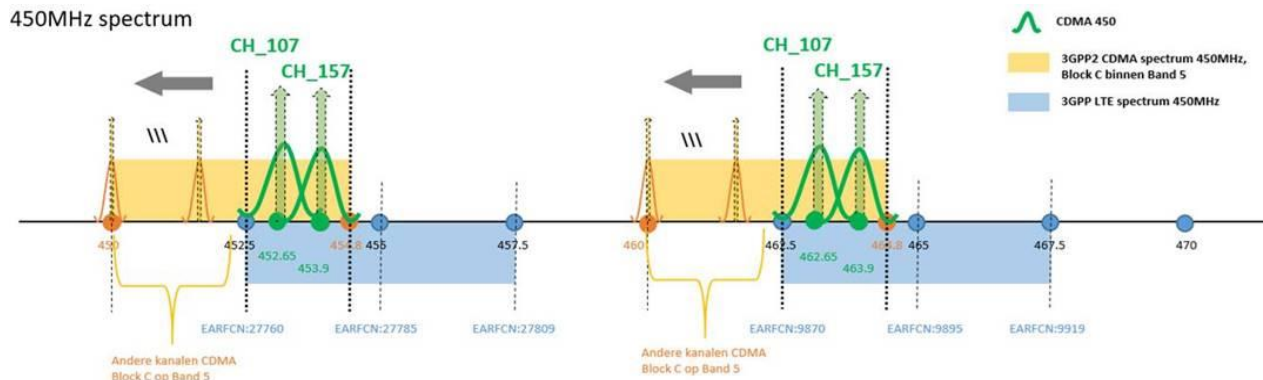
De eenmalige kosten voor een nieuwe site liggen naar schatting tussen de €40.000 - €100.000,- en circa €10.000 - €15.000,- per jaar. Het betreft de aanschaf van apparatuur en installatie, de huur van het opstelpunt, transmissie, en elektriciteit (gemiddeld circa 500 W per site, omgerekend 12 kWh/dag, dus 4.380 kWh/jaar tegen €0,22 plus vastrecht; dit komt neer op circa €1.500,- per jaar).

In bovenstaande is aangegeven dat het plaatsen van 28 nieuwe sites voldoende zou moeten zijn. Utility Connect heeft aangegeven reeds bezig te zijn met het plaatsen van 16 nieuwe sites, waarvan mag worden aangenomen dat ze zich grotendeels op de hier geïdentificeerde "hot spots" zullen bevinden. De aanvullende investering benodigd voor het vrijmaken van één CDMA-carrier bedraagt daarmee dus het bijplaatsen van 12 sites en het optimaliseren van de bestaande infrastructuur. In een pessimistisch scenario (€100.000 eenmalige kosten, €25.000,- jaarlijkse kosten per site; 0% inflatie, vervanging van de apparatuur na 7 jaar en een looptijd van 15 jaar) bedraagt de netto contante waarde van de investering €575.000,- per site, en krap 7 miljoen euro voor twaalf sites.

4.2.2 C, D, G, H: Wijzigen CDMA-frequenties

In mogelijkheden C, D, G en H speelt een wijziging van de CDMA-frequenties.¹⁷ De CDMA-meter ondersteunt (conform DSMR 5) CDMA-kanalen 72 t/m 192. CDMA-band 5 blok C loopt van CDMA-kanaal 72 t/m 163. Zonder vervanging van apparatuur in het netwerk van Utility Connect zijn alleen de CDMA-kanalen 72 t/m 163 bruikbaar.

Een verplaatsing ten behoeve van het vrijmaken van 3GPP (LTE)-banden vereist een verplaatsing naar CDMA-kanalen links van CDMA-kanaal 107 (dus kanalen 72 t/m 107). Figuur 21 laat dit schematisch zien (in relatie tot band 31).



Figuur 21 Het verschuiven van CDMA-kanalen naar buiten de LTE-band (bron: netbeheerders)

Een punt van aandacht is de scheiding tussen beide CDMA-kanalen. Het is aannemelijk dat het gebruiken van twee CDMA-carriers van 1,25 MHz met een tussenruimte van 1 MHz werkbaar is.

¹⁷ In mogelijkheid E en F wordt een van de CDMA-carriers uitgeschakeld en ingezet voor LTE. Aangezien de meter automatisch uit de twee geprogrammeerde CDMA-frequenties kiest zou geen wijziging noodzakelijk zijn. Eventueel kan de meter nog wel worden bijgewerkt om te voorkomen dat deze nodeloos zoekt op het LTE-kanaal (zie kop 'PRL-update' hieronder).

Gevoeligheid

De netbeheerders merken op dat het technisch lastig was om de gewenste ontvangstgevoeligheid op de meter te behalen voor de op dit moment gebruikte kanalen. Dit werd onder andere veroorzaakt door interferentie met andere onderdelen van de meter. Er zijn in de meter daarom hardwarematige maatregelen genomen (bestaande uit het toevoegen van afscherming) om dit te verbeteren. Een eventuele kanaalwijziging kan tot verminderde gevoeligheid leiden. Het spreekt voor zich dat de hardwarematige afscherming niet op afstand aan te passen is.

PRL-update

De communicatiemodule in een CDMA-meter bevat een lijst met kanalen waarop gezocht dient te worden naar een netwerk (de *Preferred Roaming List* of *PRL*). Een wijziging van een van beide kanalen vereist een aanpassing van de PRL. Wanneer slechts een kanaal wordt uitgeschakeld is in theorie geen PRL-update nodig (de meter blijft wel zoeken op het uitgeschakelde kanaal, maar zal dan automatisch het andere kanaal selecteren). Toch is het een goed idee om de PRL aan te passen wanneer er in het verlaten kanaal een nieuwe CDMA-carrier wordt geplaatst van een ander netwerk.¹⁸

De meters kunnen in principe op afstand (via het CDMA-netwerk) worden voorzien van software-updates die de PRL aanpassen. Het proces duurt relatief lang (enkele maanden) vanwege de beperkte capaciteit van het CDMA-netwerk, en het grote aantal meters dat van een update moet worden voorzien. De PRL-update is bij smart meters complexer dan een "gewone" PRL-update zoals die zou worden uitgevoerd bij een CDMA-telefoon. Bij de smart meter moet namelijk de volledige software in de meter bijgewerkt worden, omdat er blijkbaar geen gebruik gemaakt wordt van de gestandaardiseerde PRL-updatemethodes. Daarmee is het uitvoeren van een PRL update kritischer. De netbeheerders geven echter aan dat zij al eerder een dergelijke update hebben uitgevoerd (er was destijds één carrier in gebruik, en middels de update werd de tweede toegevoegd).

Een PRL-update brengt dan ook risico's met zich mee. Wanneer er iets misgaat kan het zijn dat de communicatie met het netwerk volledig wordt verbroken, er geen nieuwe update kan worden uitgerold, en de meters allen fysiek (door een monteur) moeten worden bijgewerkt. Een manier om de update beheersbaar uit te voeren is door eerst één carrier te verplaatsen, en pas als dat goed gelukt is de tweede te verplaatsen. Daardoor kan communicatie met het netwerk zeker gesteld worden als er iets mis mocht gaan met de PRL-update. De procedure is ongeveer als volgt (voor één carrier):

1. Het bijplaatsen van sites zodat er op één carrier genoeg capaciteit is voor alle meters.
2. Een carrier uitschakelen (de meters wisselen automatisch naar de andere carrier)
3. Alle meters naar deze carrier overzetten middels een PRL update
4. Gaat dit mis:
 - a. De uitgeschakelde carrier weer inschakelen
 - b. Opnieuw een PRL-update uitvoeren via deze carrier
5. De uitgeschakelde carrier definitief uitschakelen.

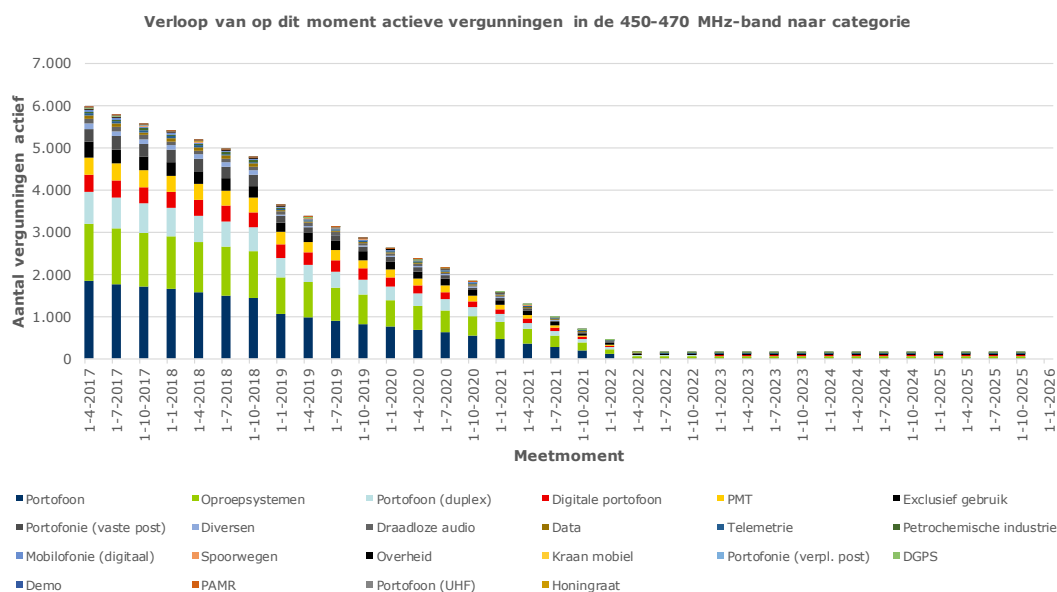
¹⁸ Wanneer er een LTE-carrier actief is op een frequentie zal een CDMA-terminal geen poging doen om verbinding te maken via deze frequentie. Wanneer er wel een CDMA-carrier actief is gebeurt dit mogelijk wel (zonder succes) wat de verbindingsoopbouw met de (nog actieve) CDMA-carrier zou kunnen vertragen.

Gezien het feit dat een dergelijke update al eens eerder is uitgevoerd en de risico's, via de beschreven procedure, te beheersen zijn, achten we de (mogelijke) impact op continuïteit hiervan zeer beperkt.

4.2.3 C, D, G, H, X: Verbreding van de PAMR-band

In mogelijkheden C, D, G, H en X worden indelingen voorgesteld die buiten de huidige PAMR-band vallen. In deze scenario's zal dan ook aanvullend moeten worden gekeken naar het huidige en toekomstige gebruik van dit spectrum.

In het eerdere onderzoek werd geconcludeerd dat het merendeel van de vergunningen in 450 - 470 MHz zal zijn verlopen per 1-1-2020. Uiteraard is het denkbaar dat er sinds 2016 nieuwe vergunningen zijn verleend of zijn verlengd.



Figuur 22 Moment waarop vergunningen voor spectrum in 450-470 MHz uit 2016 zouden verlopen [32]

4.2.4 X: Vervanging van de (communicatiemodule van) de CDMA-meter

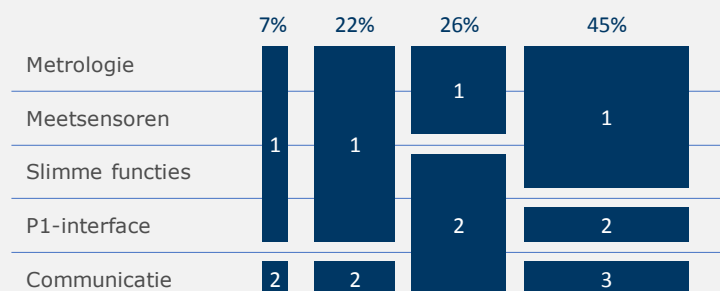
In scenario X wordt afgestapt van CDMA in de PAMR-band, en zullen de CDMA-meters via een ander netwerk moeten worden uitgelezen. Aangezien de CDMA-meters geen CDMA buiten de PAMR-band ondersteunen (zie eerder) en het daarbovenop de vraag is of investering in een nieuw netwerk zou opwegen tegen de kosten, betekent dit in feite vervanging van de CDMA-technologie.

Een dergelijke vervanging vereist ten minste het vervangen van de communicatiemodule in de meter of de gehele meter.

Hoe modulair zijn slimme meters?

De in Nederland uitgerolde CDMA-meters zijn aanbesteed volgens de Dutch Smart Meter-specificatie 5, welke geen eisen stelt ten aanzien van de modulariteit van de communicatiemodule.¹⁹

Sinds de start van de uitrol van CDMA-meters zijn en worden in Nederland zes verschillende typen slimme elektriciteitsmeters geïnstalleerd (er zijn daarbinnen meerdere generaties te onderscheiden), van drie verschillende merken. De mate van modulariteit verschilt tussen deze typen. Figuur 23 toont de verschillende gradaties van modulariteit en het relatieve aandeel van de verschillende configuraties.



Figuur 23 Gradaties van modulariteit van geïnstalleerde CDMA-meters²⁰

Circa 74% van de meters beschikt over een fysiek separaat verwisselbare communicatiemodule. De resterende 26% van de meters bevat een (vervangbare) module waarop naast de communicatie ook alle 'slimme functies' en de P1-interface zijn ondergebracht. Het is aannemelijk dat de kostprijs (en ontwikkelkosten) voor een vervangende module op basis van (bijvoorbeeld) LTE hiervoor hoger liggen dan bij de meters waarbij communicatie op een eigen module is ondergebracht.

Vervanging van een module in geïnstalleerde CDMA-meters is een ingrijpende en kostbare operatie. De volgende aspecten spelen daarbij (volgens de netbeheerders) een primaire rol:

- Er moet voor alle metertypen en -generaties een nieuwe communicatiemodule worden ontwikkeld; de interface noch de vorm van de module is gestandaardiseerd en verschilt daarom tussen meters.
- Verwisseling van de module vereist het breken van zegels die de meter beschermen tegen ongeautoriseerde aanpassingen. Alleen een gekwalificeerde monteur mag deze werkzaamheden uitvoeren. Het verbreken van een zegel kan daarnaast gevaar opleveren als delen bloot worden gesteld die onder spanning staan.
- Het is onduidelijk of alle meters het vervangen van een communicatiemodule onder spanning toestaan.
- De software van de meter moet worden aangepast om de nieuwe communicatiemodule te ondersteunen. De update van deze software moet plaatsvinden op

¹⁹ Opgave netbeheerders. De CDMA-specifieke DSMR-standaarden zijn vertrouwelijk.

²⁰ Op basis van opgave van netbeheerders, stand december 2019.

het moment dat de module wordt vervangen.

- Zowel de communicatiemodule als de meter bevatten beveiligingssleutels voor communicatie en toegang tot het netwerk. Deze sleutels zijn af-fabriek in de meters ingeprogrammeerd. Bij vervanging van de module moeten de meter en de module opnieuw aan elkaar worden gekoppeld.
- In sommige meters zijn aanpassingen gedaan om de gevoeligheid voor het radiosignaal te verbeteren. Sommige meters hebben een externe antenne. Bij gebruik van andere frequenties voor communicatie zijn mogelijk eveneens dergelijke (maar andere) aanpassingen nodig.

Uit bovenstaande wordt duidelijk dat het, voor het ombouwen van CDMA-meters naar (bijvoorbeeld) LTE-communicatie, zeer waarschijnlijk nodig is om (opnieuw) een monteur langs alle betreffende adressen te sturen. De vervanging van de module is voor de monteur echter wel een stuk eenvoudiger dan de initiële *plaatsing* van de slimme meter.

Daarnaast zijn er ontwikkelkosten vanwege de variatie in de modellen, en omdat de communicatiemodules niet gestandaardiseerd zijn. De netbeheerders geven aan dat zij hoge kosten verwachten vanwege de lock-in die er bestaat bij de betreffende leveranciers: alleen zij kunnen de nodige aanpassingen maken, en kunnen daarvoor dus hoge prijzen vragen. De netbeheerders hebben op dit moment (nog) geen kosteninschatting gemaakt.

In de kosten/batenafweging van een dergelijke vervangingsoperatie moet uiteraard de vervroegde afschrijving en mogelijk verlengde levensduur van de meter na vervanging worden meegewogen. De netbeheerders geven ten aanzien van het laatste punt aan dat er een afhankelijkheid bestaat met de gasmeter (deze werkt op een batterij welke 15 tot 20 jaar mee zou moeten gaan).

4.2.5 Migratie naar een ander CDMA-netwerk

In alle scenario's waarin een of meerdere CDMA-carriers actief blijven rijst de vraag of het, ten behoeve van de continuïteit van de slimme meter, vereist is dat de netbeheerders (c.q. Utility Connect) het CDMA-netwerk moeten (blijven) exploiteren, of dat dit eventueel door een andere partij zou kunnen worden gedaan. Zoals al eerder is aangegeven ligt het niet voor de hand dat een derde partij (gezien de levenscyclus van CDMA-technologie) nu nog zal investeren in een netwerk. Een overname van het netwerk zou dan wellicht meer voor de hand liggen.

Technisch gezien zou een (gedeeltelijke of gehele) migratie van de slimme meters naar het netwerk van een nieuwe aanbieder echter mogelijk moeten zijn. Er spelen twee complicaties:

- Het netwerk van de nieuwe aanbieder heeft waarschijnlijk een ander 'system ID' dan het netwerk van Utility Connect.²¹ De slimme meters zullen (middels PRL-

²¹ Hergebruik van dezelfde system ID ligt minder voor de hand, omdat het dan tijdens de migratie onduidelijk kan zijn op welk netwerk een slimme meter zich moet aanmelden (anders dan door via een PRL-update de frequenties als onderscheid te hanteren). Ook bestaat er, zowel aan de apparaat- als netwerzijde, een grotere kans op complicaties.

update, zie paragraaf 4.2.2) moeten worden geïnformeerd over de nieuwe system ID om zich op het nieuwe netwerk te kunnen aanmelden.

- Om toegangscontrole tot het netwerk te kunnen realiseren zal de nieuwe aanbieder beveiligingsgegevens moeten verkrijgen van Utility Connect (dan wel toegang tot die gegevens moeten krijgen via een signaleringskoppeling naar de systemen van Utility Connect).

Uiteraard dient in aanvulling de CDMA-technologie en frequentieband ondersteund te worden door de slimme meter (zie eerder).

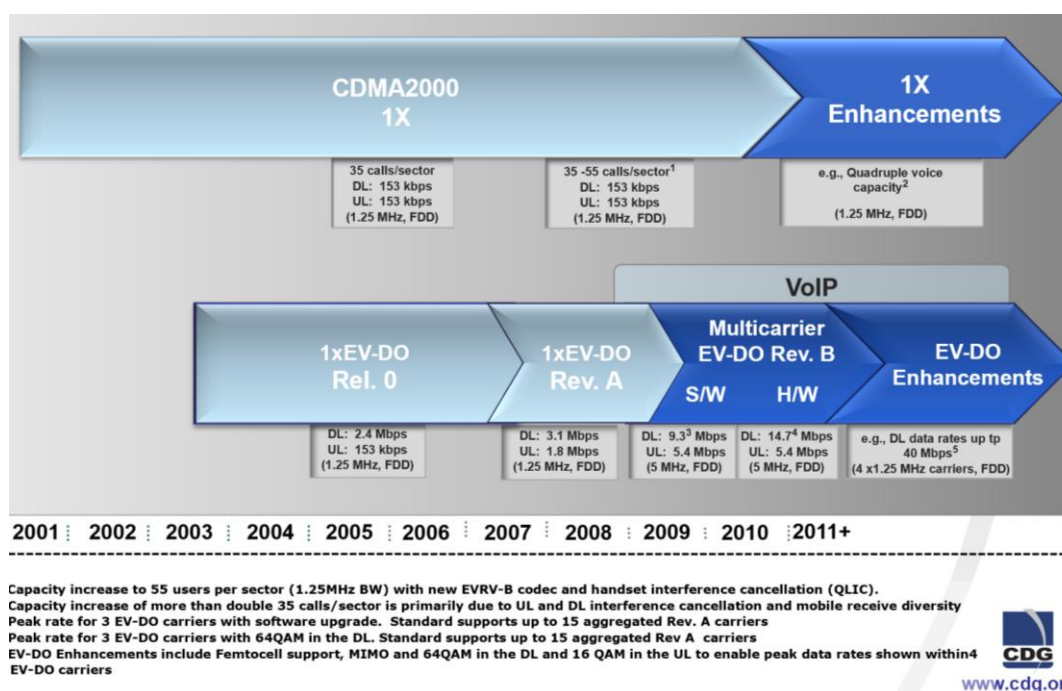
4.3 Technische alternatieven

Binnen de hierboven genoemde mogelijkheden bestaan nog enkele alternatieve invullingen, welke we hieronder bespreken.

4.3.1 Migratie naar een nieuwere CDMA-specificatie

Een migratie naar een nieuwere generatie van de CDMA-standaard kan de capaciteit van het netwerk sterk verhogen. In de scenario's waarin één of twee CDMA-carriers worden ingezet is deze mogelijkheid dus aan de orde.

Er zijn verschillende migratiepaden voor CDMA-netwerken beschreven in de literatuur. [34] Figuur 24 geeft een overzicht van de verschillende generaties van CDMA-standaarden.



Figuur 24 Overzicht van de verschillende generaties van cdma2000-standaarden [35]

De meest voor de hand liggende 'upgrade' van het huidige CDMA 1xRTT is een naar de CDMA EV-DO Rev. A-specificatie. Deze haalt pieksnelheden van 3,1 Mbit/s (downlink) en 1,8 Mbit/s (uplink) in een 1,25 MHz-breed FDD-kanaal (zoals de huidige kanalen van Utility Connect). In de praktijk worden gemiddelde doorvoersnelheden van 600-1400 kbit/s (downlink) en 500-800 kbit/s (uplink) genoemd. [35] De specificatie is *backwards compatible* met CDMA2000 1xRTT, wat wil zeggen dat apparatuur die alleen deze technologie ondersteunt kan verbinden met een Rev. A-netwerk (dit heeft echter effect op

de capaciteit, aangezien de 1xRTT-apparatuur meer 'zendtijd' nodig heeft om dezelfde hoeveelheid data te versturen of te ontvangen, en deze dus 'bezet' houdt voor andere gebruikers die mogelijk wél op Rev. A-snelheid kunnen zenden en ontvangen).

De toepasbaarheid van nieuwere CDMA-specificaties staat of valt met de ondersteuning vanuit de CDMA-meters. Wanneer de meters geen ondersteuning bieden is vervanging (van de meter of communicatiemodule) nodig en in dat geval ligt een modernere technologie (LTE en verder) meer voor de hand dan een nieuwere versie van CDMA.

4.3.2 Smalband in de PAMR-band

In de scenario's hierboven werd gekeken naar inzet van LTE (1,4 MHz) in (delen van) de huidige PAMR-band. In plaats van een LTE-carrier zou, met aandacht voor kanaalraster en guard bands, uiteraard ook smalbandige technologie kunnen worden toegepast. Hierbij valt te denken aan standaarden voor portofonie (dPMR, DMR, NXDN/NexEdge, TETRA) en aan IoT-technologieën als LoRA en NB-IoT. Een beschrijving van deze technologieën wordt gegeven in [32].

Merk op dat NB-IoT eventueel 'in-band' kan worden ingericht binnen een LTE-carrier. Dit is enkel gestandaardiseerd voor LTE-carriers van 3 MHz en groter, en speelt dus niet in de hier voorliggende scenario's.

4.3.3 Regionale verkaveling van de band

In onze analyse is niet gebleken dat er geografisch verschillen zijn binnen de verzorgingsgebieden van de netbeheerders als het gaat om de slimme meter. Er is dus geen subset van regio's aan te wijzen waarin de aanwezige slimme meters makkelijker of moeilijker zijn 'om te zetten' van CDMA naar LTE. Het enige verschil bestaat uit de aantallen meters. Zoals op de eerder getoonde kaart te zien is, is er groot verschil tussen enkele drukbevolkte gebieden en daarmee cellen in het netwerk (voornamelijk in en rond de grote steden) en 'rustige'.

Gezien het karakter van CDMA ligt regionale verkaveling ook om technische redenen niet voor de hand – het levert behoorlijke interferentieproblematiek op. Daarnaast is de opbrengst beperkt, aangezien de vraag naar regionaal verkaveld spectrum zich waarschijnlijk concentreert rond bedrijven(terreinen) welke zich vermoedelijk juist in de gebieden bevinden waar ook veel slimme meterconnectiviteit gevraagd wordt.

4.4 Conclusie

Onderstaande Tabel 3 geeft een overzicht van de verschillende hierboven besproken mogelijkheden en de relatieve voor- en nadelen ten aanzien van (1) efficiëntie van gebruik van het spectrum, en (2) de mate waarin de continuïteit van de slimme meter kan worden geborgd.

Tabel 3 Overzicht mogelijkheden PAMR-band in relatie tot spectrumgebruik en borging continuïteit

Mogelijkheid	Aantal CDMA-450-carriers	PAMR-band	Netwerken	Spectrum-gebruik	Borging continuïteit
A	2	Huidige	Colocated	2xCDMA	Gelijk aan huidige situatie
B	2	Huidige	Niet colocated	2xCDMA	Migratie slimme meters naar één CDMA-carrier. Beperkte vraag naar CDMA buiten slimme meter
C	2	Verbreed (maximaal +1,77 MHz)	Colocated	2xCDMA	Wijzigen CDMA-frequenties slimme meters; verbreding PAMR-band
D	2	Verbreed (maximaal +1,77 MHz)	Niet colocated	2xCDMA	Wijzigen CDMA-frequenties slimme meters; verbreding PAMR-band
E	1	Huidige	Colocated	1xCDMA + 1xLTE ($\leq 1,4$ MHz)	Migratie slimme meters naar één CDMA-carrier; LTE alleen door CDMA-aanbieder.
F	1	Huidige	Niet colocated	1xCDMA + 1xLTE ($\leq 1,4$ MHz)	Migratie slimme meters naar één CDMA-carrier; interferentie tussen CDMA en LTE (beperkte capaciteit LTE-carrier)
G	1	Verbreed (+170 kHz)	Colocated	1xCDMA + 1xLTE ($\leq 1,4$ MHz)	Migratie slimme meters naar één CDMA-carrier; wijzigen CDMA-frequenties slimme meters
H	1	Verbreed (+170 kHz tot +1,77 MHz)	Niet colocated	1xCDMA + 1xLTE (≤ 3 MHz)	Migratie slimme meters naar één CDMA-carrier; wijzigen CDMA-frequenties slimme meters
X	0	n.v.t.	n.v.t.	LTE (≤ 5 MHz)	Vervanging slimme meter of communicatiemodule

De kleuren onder 'spectrumgebruik' en 'borging continuïteit' geven een indicatie van de mate waarin afgeweken wordt van de huidige situatie (wit=niet, donkerpaars = sterk). Voor wat betreft spectrumgebruik betekent een donkere kleur een hogere mate van spectrumefficiëntie; onder continuïteit betekent een donkere kleur een grotere impact/mogelijk risico.

In de mogelijkheden waarin wordt vastgehouden aan de huidige PAMR-band (A, B, E en F) is toepassing van LTE mogelijk, maar niet ideaal, vanwege de beperkte scheiding tussen LTE en CDMA. Bij niet-colocatie is een guard band nodig om interferentie tussen CDMA en LTE in de PAMR-band te voorkomen, en zou de PAMR-band iets verbreed moeten worden. Het niet-colocated scenario (F) is dan ook risicovol omdat er (naast beperkte capaciteit voor LTE) mogelijk effecten zijn op CDMA die (vanwege niet-colocatie) lokaal kunnen optreden.

Andere mogelijkheden vereisen verbreding van de PAMR-band. Afhankelijk van de mate waarin dit mogelijk is zijn verschillende invullingen mogelijk. Een scenario met CDMA naast

LTE mét voldoende scheiding is al mogelijk bij verbreding met 170 kHz. Verdere verbreding zou gefaseerd in tijd kunnen plaatsvinden. Figuur 14 (p. 34) geeft een overzicht. We adviseren in dit geval aan te sluiten op LTE-band 31. Bij verbreding met nog eens 1,4 MHz zou een tweede (colocated of niet colocated) LTE-carrier van 1,4 MHz of één van 3 MHz passen.

5 Conclusie

5.1 Beantwoording hoofdvraag

Hoe kan de continuïteit (werking) van betreffende slimme meters worden geborgd voor de periode na 17 november 2024? Beschrijf de verschillende opties met voor- en nadelen, randvoorwaarden en de haalbaarheid.

Een belangrijke constatering is dat de tijdshorizon in de telecomsector en die in de utiliteitssector sterk uiteen lopen. Waar in de telecomsector wordt gerekend met periodes van 7 tot 10 jaar, begint de utiliteitssector bij 15-20 jaar. Conventionele gasmeters gingen tot wel 40 jaar mee (en sommige meters die op dit moment worden vervangen zijn nog veel ouder). Dit leidt tot een uitdaging ten aanzien van continuïteit: gedurende de levensduur van een 'asset' in de utiliteitssector verandert het telecom-ecosysteem meermaals. Een bijkomende uitdaging is dat trajecten in asset management in de utiliteitssector vaak enkele jaren voorbereiding vergen, wat een goede vooruitblik op de ontwikkelingen in de telecomsector vereist.

In Nederland zijn, en worden tot en met 2021, circa 4,3 miljoen slimme meters op basis van CDMA-technologie uitgerold. Deze meters blijven naar verwachting minimaal tot circa 2038 - 2040 in bedrijf. Utility Connect exploiteert hiervoor (en enkele andere toepassingen) namens en voor netbeheerders Liander, Stedin en Westland Infra een CDMA-netwerk in de huidige PAMR-band. De meters zijn, zonder interventie op locatie, niet geschikt voor andere technologieën, en hebben beperkte ondersteuning voor andere frequenties dan de huidige. Het vervangen van CDMA of het gebruiken van een niet-ondersteunde frequentie vereist het vervangen van de CDMA-meter of (in de gevallen waar dat mogelijk en zinvol blijkt) een communicatiemodule. Dit behelst een omvangrijk traject en investering.

Bij bovenstaande moet worden opgemerkt dat CDMA-technologie 'end of life' is. Noch de technologie, noch het netwerk zijn in staat om de communicatiebehoefte te dragen die wordt voorzien in de energietransitie en voorbij de slimme meter. De grenzen zijn zelfs op dit moment al in zicht, gezien de toenemende vraag naar kwartierwaarden. De nieuwe *use cases* in de energietransitie, vrijwel allen gerelateerd aan het balanceren van het elektriciteitsnet, vragen niet alleen meer capaciteit, maar zijn ook tijdskritischer. Het is echter nog niet duidelijk welke vorm van connectiviteit hiervoor zal worden ingezet – LTE-M en 5G-opvolgers liggen uiteraard voor de hand.

In de periode na 17 november 2024 zou de PAMR-band op verschillende manieren kunnen worden ingezet. Uit het onderzoek volgt dat de haalbaarheid en risico's ten aanzien van continuïteit bij verschillende invullingen afhangt van drie parameters:

1. *Hoeveel CDMA-carriers zijn er beschikbaar voor de slimme meter (binnen het ondersteunde bereik)?* Zijn dit er twee, dan heeft dit geen impact op de continuïteit: de huidige situatie wordt voortgezet. Is dit er één, dan is een migratie van twee naar één carrier noodzakelijk. Dit vraagt het uitbreiden van de capaciteit van het CDMA-netwerk (door het bijbouwen van sites) en/of het migreren van meters naar een ander netwerk (om de druk op het CDMA-netwerk te verlagen). Daarnaast is een aanpassing in de configuratie van de CDMA-meters nodig (die op afstand is uit te voeren, maar minimaal enkele maanden tijd kost en beheersbare risico's kent). Zijn er tot slot géén CDMA-carriers beschikbaar, dan dienen alle meters (of de communicatiemodules daarin) te worden vervangen voor exemplaren

die een andere vorm van connectiviteit ondersteunen. In specifieke gevallen volstaat wellicht het vervangen van een communicatiemodule (niet bekend is welke meters dit ondersteunen).

2. *Wordt de PAMR-band verbreed (en, noodzakelijkerwijs om dit zinvol te laten zijn, de frequenties van CDMA-carriers aangepast)?* Een aanpassing van CDMA-frequenties vraagt ten minste een update van de configuratie van de meter ("PRL-update"), een operatie met beheersbaar risico. Daarnaast kan de gevoeligheid van de CDMA-meter slechter zijn op andere kanalen (ook al worden deze ondersteund) dan de huidige, wat extra sites of netwerkoptimalisatie zou vragen.
3. *Hoeveel niet-colocated netwerken zijn actief in het spectrum rondom de CDMA-carrier van de slimme meter?* Wanneer een tweede netwerk niet-colocated is, dient rekening te worden gehouden met adjacent channel-interferentie. Wanneer het nieuwe netwerk colocated is (de facto geëxploiteerd door de netbeheerders) dan beperkt dit de problematiek, maar is mogelijk nog steeds sprake van beperkte capaciteit.

Zonder tenminste één CDMA-carrier in de huidige PAMR-band zouden de netbeheerders vanaf 2024 de CDMA-meters niet meer kunnen uitlezen. Dit scenario vraagt vervanging van alle CDMA-meters of vervanging van een communicatiemodule. Wel stellen we vast dat het mogelijk is om over te stappen op één carrier in plaats van twee. Dit vraagt een investering in nieuwe sites en/of het migreren van een deel van de meters naar een ander netwerk. Wanneer een van de bestaande carriers wordt uitgeschakeld, ontstaat ruimte voor een tweede kavel in het spectrum.

5.2 Beantwoording deelvragen

5.2.1 *Op welke wijze maken de betreffende slimme meters gebruik van de PAMR-frequentieband in de 450 - 470 MHz en zijn zij daarvan afhankelijk? Wat zijn relevante ontwikkelingen?*

De uitgerolde en nog uit te rollen CDMA-meters zijn in ieder geval afhankelijk van ten minste één CDMA-carrier in CDMA 450-spectrum (band 5/11 block C, vanuit de aanbesteding is alleen ondersteuning van de PAMR-band gegarandeerd). Is deze carrier niet beschikbaar, dan zullen de (communicatiemodules in de) betreffende CDMA-meters moeten worden vervangen.

De CDMA-meters die zijn uitgerold door Liander, Stedin en Westland Infra maken gebruik van twee CDMA-carriers van 1,25 MHz in de PAMR-band. Er worden twee carriers gebruikt om de benodigde capaciteit te realiseren, maar er is voor het uitlezen van de slimme meter strikt genomen slechts één carrier noodzakelijk.

De meters ondersteunen (vanuit aanbestedingscriteria) ten minste CDMA in een frequentiebereik dat overeen komt met de gehele PAMR-frequentieband. Mogelijk ondersteunen de meters een groter deel van CDMA-band 5. Er zijn hardwarematige aanpassingen (afscherming) doorgevoerd om de benodigde gevoeligheid te behalen voor de twee frequenties die nu in gebruik zijn. We merken hierbij op dat beperkte gevoeligheid kan worden gemitigeerd door demping tussen netwerk en meter te verminderen – in andere woorden, door sites bij te plaatsen.

De in Nederland uitgerolde en nog uit te rollen meters zijn niet aanbesteed met een vereiste tot modulariteit van de communicatie. De CDMA-meters zijn dit echter wel, in

verschillende mate. Desondanks zal voor vervanging van een communicatiemodule inzet van een monteur op locatie nodig zijn, en zijn er ontwikkelkosten.

Als meest relevante ontwikkeling zien we, naast de doorlopende uitrol van slimme meters, een toename in de datavraag. Waar in eerste instantie één waarde per dag werd uitgelezen, is de vraag naar kwartierwaarden (ééns per dag opgehaald) groter dan verwacht door de netbeheerders. Er zijn daarnaast signalen dat ook vraag naar real-time "secondenwaarden" zal ontstaan, iets wat op basis van het CDMA-netwerk niet realistisch lijkt.

5.2.2 Welke aspecten zijn frequentie- en netwerktechnisch gezien van belang voor de continuïteit (werking) van de slimme meters?

Voor CDMA-meters geldt dat er (zoals hierboven aangegeven) tenminste één carrier beschikbaar moet zijn in het ondersteunde frequentiebereik (in ieder geval de PAMR-band, mogelijk CDMA-band 11 block C) met voldoende signaalsterkte. Daarnaast moet het netwerk voldoende capaciteit bieden (zowel in termen van aantal ondersteunde meters per cel als doorvoercapaciteit).

Vanuit netwerkperspectief betekent de doorlopende uitrol van CDMA-meters dat er verdichting moet plaatsvinden (het bijplaatsen van sites). Utility Connect is hier reeds mee bezig. Omdat er op dit moment twee carriers worden gebruikt, en de grenzen van de capaciteit van het huidige netwerk in zicht zijn, zou een overstap naar één carrier een nog verdere verdichting vragen.

Kijken we naar de gehanteerde communicatietechnologie dan valt op dat CDMA een beperkende factor vormt ten aanzien van het aantal slimme meters en de doorvoercapaciteit die per cel wordt ondersteund. Nieuwere technologieën als LTE-M en NB-IoT zijn vele malen beter bij hetzelfde aantal sites. We zien dat de grenzen van CDMA gezien de toenemende datavraag in zicht komen.

Los van de netwerktechnologie zien we geen redenen om aan te nemen dat het PAMR-spectrum noodzakelijk zou zijn om slimme meters uit te lezen. De band heeft als bijzondere eigenschap ten opzichte van andere banden dat deze minder uitdooft in dergelijke (indoor)situaties. Deze eigenschap moet echter worden gezien ten opzichte van de andere parameters die bepalend zijn voor dekking. Door het propagatiepad te verkorten (en dus meer sites te plaatsen) is dezelfde signaalsterkte te realiseren. We zien dat commerciële netwerken in hoger spectrum (bijvoorbeeld 800 MHz) een veelvoud aan sites hebben vergeleken met Utility Connect. Daar komt bij dat het linkbudget (of *maximum coupling loss*) van nieuwere technologieën als LTE-M en NB-IoT hoger ligt dan dat voor CDMA, waardoor de dekking verder verbetert. Enexis, gebruiker van dergelijke oplossingen, geeft aan geen dekkingsproblemen te ervaren.

Hoewel we vaststellen dat CDMA vanuit beveiligingsoogpunt volledig 'gebroken' is zien we hierin geen argument voor uitfasering van CDMA, omdat beveiliging op hogere lagen wordt geregeld, en niet afhankelijk is van een veilig communicatiekanaal. Daar staat tegenover dat veiligheid in onze ogen geen argument is voor noodzakelijkheid van de 450-band voor het uitlezen van slimme meters.

Een laatste aspect is controle over het netwerk – specifiek de 'lifecycle' ervan – en de betrouwbaarheid. De gebruikers van het CDMA-netwerk geven aan dat dit belangrijke argumenten waren om voor de CDMA-oplossing te kiezen. Onafhankelijkheid van het lichtnet, onafhankelijkheid van mobiele operators en het volledig gescheiden zijn van het netwerk worden als argumenten genoemd. Enexis, gebruiker van openbare mobiele netten, stelt juist het tegenovergestelde: de keuze voor 'mainstream' technologieën leidt tot

langere levensduur, en de keuze voor openbare netten en de mogelijkheid tot roaming en wisselen tussen aanbieders geeft flexibiliteit, een betere onderhandelingspositie ten opzichte van de operators, en betrouwbaarheid bij storingen. We zien hierin dan ook geen argument om vast te houden aan CDMA.

Het uitlezen van slimme CDMA-meters is tot slot afhankelijk van de mobiele netwerkcode (MNC) 66, welke op dit moment aan Utility Connect is toegewezen. Er bestaan geen risico's rondom continuïteit bij ander gebruik van deze MNC, zolang rekening wordt gehouden met enkele (technische) beperkingen bij dit gebruik (een uitwerking is te vinden in Bijlage 2).

5.2.3 Welke opties zijn er om die continuïteit na 2024 langer te borgen, binnen de frequentieruimte en eventueel daarbuiten? In hoeverre hebben energienetbeheerders daarbij eigen (exclusief) spectrum nodig en/of kan dit bijvoorbeeld via dienstverlening door een derde partij en/of via andere banden?

De meest voor de hand liggende optie is om CDMA in de PAMR-band terug te brengen tot één carrier. In plaats van de CDMA-carrier kan een (co-located) LTE-carrier worden gerealiseerd. Wanneer de PAMR-band (minimaal 170 kHz) kan worden verbreed kan ook een *niet-colocated* LTE-carrier in de plaats komen. Met verdere verbreding kan worden aangesloten op LTE-band 31. De impact van CDMA op het spectrum is daarmee tot het minimale gereduceerd, terwijl ruimte ontstaat voor maximaal twee operators op basis van LTE(-M) (1,4 MHz), één operator op basis van 3 MHz, of meerdere NB-IoT-netwerken.

Borgen van continuïteit van de CDMA-meter na 2024 kan op basis van nul, één of twee CDMA-carriers in het PAMR-spectrum.

- In het geval er géén CDMA-carriers meer zullen zijn in de PAMR-band is vervanging van (communicatiemodules in) alle CDMA-meters noodzakelijk. Gezien de ervaringen van Enexis met LTE-meters lijkt het mogelijk om daarvoor gebruik te maken van openbare mobiele netwerken op basis van LTE, LTE-M of NB-IoT.

In dit geval kan het spectrum worden ingezet voor NB-IoT (200 kHz/carrier), LTE(-M) (1,4 MHz, 3 MHz of 5 MHz carriers). Afhankelijk van de gekozen invulling (hier niet onderzocht) zal de PAMR-band moeten worden aangepast, waarbij rekening dient te worden gehouden met huidige gebruikers van naastgelegen frequenties.

- In het geval er één CDMA-carrier zal zijn in de PAMR-band hoeven CDMA-meters niet te worden vervangen. Wel moet er worden geïnvesteerd in het CDMA-netwerk om voldoende capaciteit te kunnen bieden. Daarnaast moet er een update worden doorgevoerd op de meters.

In dit scenario kan naast de CDMA-carrier een LTE-carrier worden ingericht. Bij colocatie (zelfde aanbieder) kan dit binnen de huidige PAMR-band. Bij niet-colocatie is een guard band nodig om interferentie tussen beiden te voorkomen, en zou de PAMR-band minimaal 170 kHz verbreed moeten worden. We adviseren in het laatste geval aan te sluiten op LTE-band 31. De onderste CDMA-carrier blijft dan actief. De PAMR-band zou minimaal 170 kHz moeten worden verbreed (tot 454,94 MHz en 464,94 MHz). Bij verbreding met nog eens 1,4 MHz (tot 456,34 MHz en 466,34 MHz; dit zou uiteraard ook op een later moment kunnen) zou een tweede (colocated of niet colocated) LTE-carrier van 1,4 MHz (zonder guard band boven de andere LTE-carrier) of één van 3 MHz passen.

Afhankelijk van de gekozen indeling is *adjacent channel*-interferentie tussen carriers een aandachtspunt. Met name tussen CDMA en LTE verwachten we dat mitigatie nodig is. CDMA en LTE dienen colocated te zijn wanneer de carriers zich dicht bij elkaar bevinden.

- In het geval er twee CDMA-carriers zullen zijn in de PAMR-band verandert er niets aan de capaciteit ten opzichte van de huidige oplossing. Verschuiving van de CDMA-carriers is zeer beperkt mogelijk en levert geen voordelen op in termen van aansluiting op LTE-bandplannen.

Modellen waarin een andere partij CDMA-dienstverlening gaat leveren zijn technisch gezien mogelijk (er is een update van de slimme metersoftware en uitwisseling van beveiligingsgegevens nodig).

Verwijzingen

- [1] Staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat (2018). *Besluit verlengbaarheid PAMR-vergunning 2018* [zoek.officielebekendmakingen.nl] Den Haag,
- [2] Netbeheer Nederland (2019). *Voortgangsrapportage Aanbiedmonitor GSA. Rapportageperiode 1-1-2019 t/m 30-06-2019*
- [3] Reuters (2008). *Qualcomm halts UMB project, sees no major job cuts* [www.reuters.com] Reuters.
- [4] CNET (2007). *Verizon switches standards gears for next-generation network* [www.cnet.com]
- [5] 5G Technology World (2008). *End of the Road for CDMA?* [www.5gtechnologyworld.com]
- [6] Rysavy Research (2007). *EDGE, HSPA and LTE: The Mobile Broadband Advantage* [rysavyresearch.files.wordpress.com]
- [7] Rysavy Research (2008). *EDGE, HSPA and LTE: Broadband Innovation* [rysavyresearch.files.wordpress.com]
- [8] Telegeography (2019). *Verizon extends 5G coverage to four more cities; postpones 3G shutdown until 2020* [www.telegeography.com]
- [9] KDDI (2018). *KDDI to End CDMA 1X WIN Service* [news.kddi.com]
- [10] Wikipedia (2019). *List of CDMA2000 networks: Defunct networks* [en.wikipedia.org]
- [11] ArgonET (2019). *Technologie: CDMA2000* [www.argonet.at]
- [12] RTR. *Spectrum 450 MHz. Overview of 450 MHz band* [www.rtr.at]
- [13] RTR (2013). *Frequenzzuteilungsurkunde. Anlage 1) zum Bescheid F 13/12-81 der Telekom-Control-Kommission vom 19.08.2013* [www.rtr.at]
- [14] Qualcomm (2019). *Snapdragon X24 LTE Modem* [www.qualcomm.com]
- [15] Qualcomm (2019). *Snapdragon X55 5G modem-RF system* [www.qualcomm.com]
- [16] Netbeheer Nederland, projectgroep Telecom (2013). *Position paper datacommunicatie* Netbeheer Nederland.
- [17] Tweakers.net (2010). *'KPN werkt in stilte aan uitrol landelijk cdma450-netwerk' - update* [tweakers.net]
- [18] Agentschap Telecom (2019). *Antenneregister: 'Overig mobiel' PAMR.* [antenneregister.nl]
- [19] Liander (2019). *FlexOVL als nieuw schakelsysteem voor openbare verlichting* [www.liander.nl]
- [20] van der Vorst, T., van Rees, J., Veldman, J., en Brennenraedts, R. (2015). *Mobile network capacity mode* Utrecht: Dialogic.
- [21] Stichting Mijnaansluiting.nl (2019). *Gebiedsindeling Netbeheerders Elektriciteit, Gas en Water* [data.overheid.nl]
- [22] T-Mobile. *T-Mobile schakelt het 2G-netwerk in 2020 uit* [www.t-mobile.nl]
- [23] Tabbane, S. (2018). *Session 5: NB-IoT Networks* [www.itu.int] Suva, Fiji: ITU.
- [24] ZTE (2007). *CDMA Link Budget*

- [25]3GPP2 (2006). *Band Class Specification for cdma2000 Spread Spectrum Systems. Revision B.* [www.3gpp2.org]
- [26]Liander. *Dit is waarom de slimme meter in Nederland nog nooit is gehackt* [www.liander.nl]
- [27]Netbeheer Nederland (2010). *Privacy en Security slimme-meterinfrastructuur* [www.netbeheernederland.nl] Arnhem: Netbeheer Nederland.
- [28]3GPP (2018). *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 15.3.0 Release 15)* [www.etsi.org] Sophia Antipolis Cedex, France: ETSI.
- [29]Nortel Networks (2001). *CDMA Technology Overview. Lesson 2 - spectrum usage and system capacity* [read.pudn.com]
- [30]3GPP (2016). *TR 36.752 V1.0.0: Study on NB-IoT RF requirement for coexistence with CDMA; for approval* [portal.3gpp.org] 3GPP.
- [31]Hameed, A., en Oudah, A. (2014). *Interference in Wireless Networks: Causes, Analyses and Practical Mitigating Techniques* [citeseerx.ist.psu.edu] vol. 8, Pekan Pahang, Malaysia: Canadian Center of Science and Education. pp. 56-62.
- [32]van der Vorst, T., Bekkers, R., Lelie, T., Driesse, M., en Brennenraedts, R. (2016). *Marktonderzoek professionele mobiele communicatie in de 450-470 MHz PAMR-band* Utrecht: Dialogic en TU/e.
- [33]Niemelä, J., en Lempiäinen, J. . *Mitigation of pilot pollution through base station antenna configuration in WCDMA* Tampere, Finland: Institute of Communications Engineering, Tampere University of Technology.
- [34]Raman, B. (2009). *CDMA / EVDO/ LTE Interoperability and migration plans* [www.itu.int] Colombo, Sri Lanka: ITU.
- [35]CDG (2008). *CDMA Technology Roadmap* [cdg.org]
- [36]Netbeheer Nederland (2019). *Dutch Smart Meter Requirements: main document* [www.netbeheernederland.nl] Den Haag: Netbeheer Nederland.
- [37]Netbeheer Nederland (2019). *Dutch Smart Meter Requirements: P3 Companion Standard* [www.netbeheernederland.nl] Den Haag: Netbeheer Nederland.
- [38]3GPP2 (2006). *Band Class Specification for cdma2000 Spread Spectrum Systems, Revision B* [www.3gpp2.org] 3GPP2.
- [39]TechTarget (2011). *1xRTT (Single-Carrier Radio Transmission Technology)* [whatis.techtarget.com]
- [40]Eogogicsinc. *Tutorial – cdma2000 Technology Family: 1xRTT, EVDO, UMB, and EVDV* [eogogics.com]
- [41]pgASM – Beleidscommissie Privacy & Security (2015). *Nederlandse privacy en security eisen van de slimme meter-infrastructuur* Netbeheer Nederland.
- [42]ZTE (2015). *Capacity evaluation for in-band operation* 3GPP.
- [43]3GPP (2018). *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 15.3.0 Release 15)* [www.etsi.org] Sophia Antipolis Cedex, France: ETSI.

Bijlage 1. Overzicht interviewrespondenten

Naam	Organisatie	Functie
Annemieke Bulters	Enexis	Manager slimme meter
Arjan Olde Damink	Utility Connect	Directeur
Bert van den Bos	Utility Connect	Manager operation radio and core network
Brian Presentacion	Westland Infra	Projectmanager GSA
Erik Moll	Utility Connect	Telecom policy advisor
Hannah Hogenkamp	Liander	Manager strategie & assets
Hans-Peter Oskam	Netbeheer Nederland	Manager regulatory and government affairs
Janine Rumph	Netbeheer Nederland	Programmamanager grootschalig aanbieden slimme meter Nederland
Peter Hermans	Stedin	Chief technology officer
Sjane-Marie Koppers	Stedin	Manager meter- en meetdatamanagement

Er is in aanvulling per e-mail contact geweest met enkele meterleveranciers.

Bijlage 2. Afhankelijkheid van de mobiele netwerkcode (MNC) 66

Inleiding

ACM heeft aan Utility Connect (hierna UC) een mobiele netwerkcode (MNC, met numerieke waarde 66) toegekend.²² In dit onderzoek worden diverse scenario's besproken ten aanzien van de CDMA-dienstverlening. Het is daarom zinvol om in te gaan op de afhankelijkheid tussen het CDMA-netwerk en de MNC. De vraag die we in deze bijlage beantwoorden is: "wat is de afhankelijkheid op het aan Utility Connect toegewezen MNC voor het uitlezen van slimme meters?".

Beantwoording

MNC's worden gebruikt om (in combinatie met MCC, de Mobile Country Code) een 3GPP-netwerk (op basis van de GSM, UMTS, LTE en/of 5G-standaard) te identificeren. De MNC's keren daarnaast terug in IMSI (International Mobile Subscriber Number), een nummer waarmee een abonnee op dit type netwerken wordt geïdentificeerd.

In de toelichting op het Verlengbaarheidsbesluit wordt opgemerkt dat het gebruik van deze netwerkcode door UC van belang is voor de continuïteit van de slimme (CDMA-)meter. In onderstaande bekijken we waar deze afhankelijkheid uit bestaat.

Identificatie van netwerken

MNC's worden gebruikt om 3GPP (GSM, UMTS, LTE, 5G) radionetwerken van elkaar te kunnen onderscheiden. ACM wijst MNC's in principe alleen toe aan openbare netwerken, al zijn er ook codes toegekend aan netwerken die uitsluitend voor Defensie en de spoorwegen worden gebruikt.²³

Anders dan bij 3GPP-netwerken wordt op een CDMA-netwerk in principe geen gebruik gemaakt van een MNC om netwerken te identificeren. Er worden andere identificatienummers gehanteerd, met name het 'System ID'. Deze nummers kennen een wereldwijde scope (in tegenstelling tot MNC's, welke per land, specifiek MCC-code, opnieuw kunnen worden uitgegeven). De vraag rijst dan ook hoe het MNC een rol speelt in continuïteit van slimme CDMA-meters.

UC gebruikt het MNC *niet* als identificatie van het eigen CDMA-netwerk. Het CDMA-netwerk zendt het MNC niet uit. Het nummer speelt geen rol in het vinden en verbinden met het radionetwerk. **Er zouden geen problemen ontstaan wanneer er een 3GPP-netwerk zou worden ingericht in het dekkingsgebied van het CDMA-netwerk met de MNC 66, zolang diezelfde MNC niet ook door UC of haar gebruikers wordt gebruikt op een 3GPP-netwerk.**

Het is niet uitgesloten dat MNC 66 desondanks wordt gebruikt in de IMSI-nummers van reeds geïnstalleerde LTE- of GSM-gebaseerde meters. Het MNC 66 wordt daarbij niet door

²² Zie [acm.nl]

²³ Zie het nummerregister van ACM. MNC 21 is toegekend aan ProRail, MNC 22 aan het Ministerie van Defensie. MNC 91 is toegekend aan Enexis, en is bedoeld om een PVNO-scenario te ondersteunen.

een netwerk uitgezonden. Het effect dat hiermee wordt bewerkstelligd is dat de meter nationaal zal gaan roamen op de netwerken waarmee roamingafspraken zijn gemaakt. Mocht het MNC 66 in dit scenario alsnog worden uitgezonden, dan zullen deze meters met dat netwerk proberen te verbinden, en werkt het roamingmechanisme niet meer. Voor zover wij hebben kunnen vaststellen wordt deze constructie echter alleen gebruikt op basis van de aan Enexis toegekende MNC 91.

Identificatie van abonnees

Toegangscontrole netwerk

In het verkrijgen van toegang tot het CDMA-netwerk (door een slimme CDMA-meter) speelt het MNC geen rol. Er wordt gebruik gemaakt van de reguliere CDMA-identiteiten.²⁴

Opbouw dataverbinding

Zodra een slimme CDMA-meter toegang heeft verkregen tot het CDMA-netwerk zal deze een dataverbinding²⁵ pogen op te zetten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een soort "gebruikersnaam" ter identificatie. UC heeft ervoor gekozen deze gebruikersnaam vorm te baseren op een IMSI.²⁶ Een IMSI bestaat uit de volgende onderdelen: MCC, MNC en een tiencijferig MSIN (Mobile Station Identification Number).

Merk op dat de gebruikte "gebruikersnaam" (hier toevallig op basis van IMSI gekozen) anders dan bij de traditionele toepassing van een IMSI (namelijk voor identificatie in GSM/UMTS/LTE-netwerken) *niet* wereldwijd uniek hoeft te zijn. Het gebruik van het IMSI blijft binnen het netwerk van UC. Zolang er geen dubbele IMSI's worden gebruikt in het CDMA-netwerk zou er geen conflict moeten ontstaan. Een andere partij zou exact dezelfde IMSI's kunnen gebruiken op een eigen netwerk.

Het is denkbaar dat nieuwere meters (op basis van CDMA en/of LTE) worden voorzien van een eSIM en/of nieuwe software, waarmee de meter op afstand kan worden voorzien van een nieuwe identiteit ("over the air provisioning").

Applicatielaag

De keuze om identificatie te baseren op IMSI is gebaseerd geweest op een aanbeveling in de standaard van 3GPP2 (de standaardisatie groep voor CDMA) met nummer SC.R4005-0: "*cdma2000 M2M Numbering Recommendations System Requirements Document*" ([3gpp2.org]). Dit document geeft een aantal mogelijkheden aan met betrekking tot mogelijke identifiers die gebruikt kunnen worden voor CDMA. Specifiek voor de CDMA 1X M2M-variant die gebruikt wordt door UC stelt 3GPP2 twee varianten voor:

- MIN (heeft geen MNC nodig)
- IMSI (heeft de extra heading van MCC en MNC)

²⁴ Specifiek de A-key. Zie CAVE-authenticatie: [en.wikipedia.org]

²⁵ Het equivalent hiervan bij 3GPP-technologieën is PPP/PDP-context.

²⁶ In feite is dit IMSI denkbeeldig: er bestaat geen volledig gedefinieerde identiteit in de zin van de GSM/UMTS/LTE-standaard bij dit IMSI-nummer.

1X Subscription Identifiers		
MIN	10 decimal digits	The subscription identifier used by most cdma2000 1x networks (sometimes called "MIN-based IMSI"). Administered by the MBI Administrator (North America) and by IFAST (other continents and data-only uses).
IMSI	15 decimal digits	Defined for cdma2000 in 1994. MCC (first 3 digits) administered by ITU and MNC (next 2 or 3 digits) administered nationally.[15]

Alhoewel volgens 3GPP2 de MIN variant het meest gebruikt wordt bestaan er risico's op een gebrek aan nummerruimte voor specifiek voor M2M. Het beheer van de ze nummerruimte ligt in de VS. Daarom wordt aanbevolen om er voor te zorgen dat M2M randapparaten in ieder geval ook in staat zijn om naast MIN ook een volledige IMSI kunnen gebruiken:

SR-S-1x-01: All cdma2000 M2M devices that require a 1x Subscription Identifier should support provisioning with true IMSI.

SR-S-1x-02: M2M devices that may roam and that are provisioned with true IMSI should also be provisioned with MIN and MIN-based IMSI.

Verder stelt 3GPP2 ook dat een echte IMSI vrijwel nooit wordt gebruikt maar dat het desalniettemin aanbevolen is te zorgen dan CDMA 1X M2M randapparaten in staat zijn een volwaardige IMSI te gebruiken om uitputting van de MIN numbering resources te voorkomen.

5.6 IMSI vs. MIN

MIN (aka MIN-based IMSI) is almost universal in cdma2000 1x systems and true IMSI[15] is rarely used. On the other hand MIN is a much smaller resource and requires centralized administration. IMSI is a much larger resource and can be allocated independently by each nation. It is likely that early cdma2000 1x M2M devices will mainly be provisioned with MIN but they should support true IMSI to allow reprogramming some time in the future.

Support for MIN and MIN-based IMSI is necessary because most cdma2000 1x infrastructure today only supports MIN. Support for IMSI is important for M2M devices because the number of devices may eventually cause a migration towards true IMSI. Therefore:

See SR-S-1x-01.

See SR-S-1x-02.

SR-S-1x-03: M2M devices that require a 1x Subscription Identifier shall support provisioning with MIN and MIN-based IMSI.

3GPP2 concludeert met de volgende aanbevelingen:

12 RECOMMENDATIONS

The following suggested requirements for cdma2000 M2M 1x subscription identifiers have been included in this document for consideration when developing requirements for cdma2000 development activities:

- SR-S-1x-01: All cdma2000 M2M devices that require a 1x Subscription Identifier should support provisioning with true IMSI.
- SR-S-1x-02: M2M devices that may roam and that are provisioned with true IMSI should also be provisioned with MIN and MIN-based IMSI.
- SR-S-1x-03: M2M devices that require a 1x Subscription Identifier shall support provisioning with MIN and MIN-based IMSI.

Toekomstige gebruiksscenario's

In bovenstaande is de *huidige* afhankelijkheid van de continuïteit van de slimme meter op het MNC 66 uitgewerkt. In aanvulling zien we een aantal mogelijkheden waarop in de toekomst een afhankelijkheid zou kunnen ontstaan. Dit is mogelijk relevant bij het maken van keuzes ten aanzien van het toekomstig gebruik van MNC 66.

Het in gebruik nemen van een LTE-450 netwerk

Het is zeer denkbaar dat de netbeheerders in de toekomst gebruik gaan maken van LTE(-M) om slimme meters te connecteren. Een scenario daarbij is dat UC een LTE-M-netwerk inricht in de PAMR-frequentieruimte (zie betreffende scenario in het onderzoek). In dit geval zal hiervoor een MNC nodig zijn (en ligt het erg voor de hand om MNC 66 of MNC 91 te gebruiken).

Interconnectie

Voor interconnectie (nodig voor o.a. roaming) tussen netwerken is van belang dat identiteiten op alle met elkaar verbonden netwerken uniek zijn. Een IMSI dient dan ook wereldwijd uniek te zijn wanneer een netwerk signaleringsverkeer uitwisselt met een ander (openbaar) netwerk.²⁷ Op dit moment zijn er geen netwerken met een roamingrelatie met het netwerk van UC. Een dergelijke relatie zou kunnen ontstaan wanneer slimme meters

²⁷ Ook de Mobile Global Title (een adres op basis waarvan signaleringsverkeer wordt gerouteerd tussen aanbieders) wordt afgeleid van het IMSI.

zowel van een openbaar netwerk als een netwerk van UC gebruik zouden moeten kunnen maken.

Wanneer MCC 66 zou worden gebruikt door een ander netwerk dat meedoet in het internationale signaleringsverkeer, is het voor het netwerk van UC niet meer mogelijk om dat ook te doen zonder wijziging van de MNC (en vice versa).

TETRA dual mode

TETRA is een standaard voor digitale radiocommunicatie, met name gebruikt door professionele gebruikers, waaronder de "zwaailichtsector": het Nederlandse C2000-netwerk is gebaseerd op TETRA. Net als in de GSM-standaard zijn ook in de TETRA-standaard netwerkcodes gedefinieerd: de (T)MNC en (T)MCC zijn de TETRA-tegenhangers van het MNC en MCC in de 3GPP-standaarden.

Hoewel de naam en functie gelijk zijn, vormen de TETRA (T)MNC en (T)MCC ten opzichte van 3GPP MNC/MCC compleet verschillende en onafhankelijk gedefinieerde nummerreeksen.²⁸ Een (T)MNC en MNC die dezelfde numerieke waarde hebben, zijn onafhankelijk van elkaar. Een TETRA-netwerk met een (T)MCC/(T)MNC kan zonder problemen 'naast' een 3GPP-netwerk bestaan dat als MCC/MNC "toevallig" dezelfde numerieke waardes hanteert.

In een scenario waarbij dezelfde terminal zowel TETRA als 3GPP-netwerken ondersteunt ("dual mode") is het mogelijk om voor beide netwerken dezelfde identiteit te hanteren. In TETRA worden gebruikers geïdentificeerd aan de hand van het ITSI, de tegenhanger van het IMSI bij 3GPP-netwerken. De betreffende standaard (ITU E.218) geeft expliciet aan dat het ITSI een compleet losstaand nummer betreft.²⁹ Bij dual mode is het mogelijk om dezelfde identiteit, en daarmee dezelfde waarde voor IMSI en ITSI, te gebruiken op beide netwerken.³⁰ In een dergelijk scenario dienen bijgevolg de (T)MCC/(T)MNC van het TETRA-netwerk gelijk te zijn aan respectievelijk de MCC/MNC van het 3GPP-netwerk.

In een *dual mode*-scenario met een TETRA-netwerk van/voor UC met (T)MNC 66, een 3GPP-netwerk van/voor UC met MNC 66, en gedeelde identiteit tussen beiden (IMSI gelijk aan ITSI) mag het (T)MNC 66 niet reeds in gebruik zijn door een ander TETRA-netwerk, en de (T)MNC en MNC niet worden gebruikt op netwerken waarmee interconnectie bestaat.

In de praktijk achten we dit scenario zeer onwaarschijnlijk, omdat (1) er geen aanwijzingen zijn dat (de gebruikers van het netwerk van) UC gebruik zou(den) willen maken van TETRA, (2) het maar de vraag is of dergelijk gebruik *dual mode* zou zijn, (3) er in dat geval zonder problemen gescheiden identiteiten zouden kunnen worden gebruikt (door er simpelweg meerdere op de betreffende SIM-kaart op te slaan).

Andere gebruikers op het CDMA-netwerk van UC

Wanneer andere exploitanten of gebruikers gebruik zouden gaan maken van het UC-netwerk dan is het gebruik van de aan UC toegewezen MNC 66 in principe niet nodig. Zoals eerder aangegeven gebruikt UC het MNC 66 op het CDMA-netwerk uitsluitend om een

²⁸ Het (T)MNC kan bij TETRA daarnaast vier cijfers lang zijn, terwijl een MNC slechts drie cijfers kan tellen. De (T)MCC is eveneens een onafhankelijk van GSM's MCC gedefinieerd nummer. De numerieke waarde van de Nederlandse (T)MCC echter wel gelijk aan die van de Nederlandse MCC (204).

²⁹ "ITSI is a different numbering resource than the E.212 IMSI, and though the structure has some commonality to ITU-T Rec. E.212 IMSI identity, the ITSI differs in the length of its component parts"

³⁰ Zie [etsi.org]

dataverbinding op te zetten. De andere gebruikers kunnen dit doen op basis van een andere identificatiewaarde, die (zoals eerder aangegeven) niet hoeft te zijn gebaseerd op een IMSI (en daarmee een MNC-nummer bevat).

Conclusie

UC maakt op aangeven van aanbevelingen uit de CDMA-standaard gebruik van IMSI-nummers om slimme CDMA-meters te identificeren. Het volgen van deze aanbeveling is logisch gezien de schaarste aan MIN-nummers. In het IMSI-nummer komt noodzakelijkerwijs een MNC-nummer voor, en UC heeft het aan haar toegekende MNC 66 gekozen. Noch de IMSI-nummers, noch het MNC worden echter (in de huidige situatie) in hun traditionele rol gebruikt (identificatie van 3GPP-netwerken), buiten en mogelijk in een nationale roamingconstructie. Anders gezegd: het gaat weliswaar om IMSI en MNC, maar er kan, omdat het gebruik anders is, net zo goed gesproken worden van getallen die 'toevallig' de component '66' bevatten.

Het MNC zou in theorie kunnen worden ingezet op/door andere netwerken zonder dat dit conflicten oplevert met het gebruik door UC. Dit moet dan wel buiten het domein van de netbeheerders zijn, aangezien zij slimme meters op basis van IMSI uniek identificeren.

In de toekomst zou UC ten behoeve van het connecteren van slimme meters de MNC kunnen gaan inzetten op een 3GPP-netwerk (GSM, UMTS, LTE of 5G), kunnen inzetten om nationale roaming te realiseren, of om interconnectie aan te kunnen gaan met andere netwerken. Gebruik van MNC 66 door een ander 3GPP-netwerk staat deze scenario's mogelijk in de weg.



Contact:

Dialogic innovatie & interactie
Hooghiemstraplein 33-36
3514 AX Utrecht
Tel. +31 (0)30 215 05 80
www.dialogic.nl