



Onderzoek migratiekosten huidige gebruikers 3,5 GHz-band

In opdracht van:

Ministerie van Economische Zaken en
Klimaat

Project:

2020.103 v1.3.0 (2)

Publicatienummer:

2020.103.2021

Datum:

Utrecht, 14 oktober 2020

Auteurs:

ir. Tommy van der Vorst
ir. Jan van Rees
ir. ing. Reg Brennenraedts MBA

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	5
Woordenlijst	7
1 Introductie	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Onderzoeksvragen	9
1.3 Aanpak	9
1.4 Analyse kader directe kosten	10
2 Oplossingsrichtingen	13
2.1 Huidige situatie	13
2.2 A. Gesynchroniseerd LTE in 3.400 - 3.450 / 3.750 - 3.800 MHz	13
2.3 B. 5G NR in 3.800 - 4.200 MHz	18
2.4 C. 5G NR in 26 GHz (TDD)	20
2.5 D en E. Sub-6 GHz-band voor OOV-cameratoezicht	22
2.6 F. Niet-gesynchroniseerd in 3.400-3.450 / 3.750-3.800 MHz	24
2.7 G: Migratie naar een (MNO-)dienst of vaste infrastructuur	26
2.8 Conclusie	27
3 Conclusie	31
3.1 Beantwoording onderzoeksvraag	31
4 Verwijzingen	35
Bijlage 1. Situatie per vergunninghouder (bedrijfsvertrouwelijk)	37
Bijlage 2. Interviewrespondenten	39
Bijlage 3. Framestructuren	41

Citeren als: Dialogic, van der Vorst, T., van Rees, J., Brennenraedts, R. (2020). *Onderzoek migratiekosten huidige gebruikers 3,5 GHz-band*. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, Den Haag.

Managementsamenvatting

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) is voornemens om per 1 september 2022, 300 MHz spectrum beschikbaar te stellen voor landelijke mobiele communicatie (3.450 – 3.750 MHz). Op dit moment wordt de frequentieruimte tussen 3.410 – 3.800 MHz gebruikt door vergunninghouders. De einddatum van de looptijd van een aantal van deze vergunningen (uiterlijk september 2026) ligt voorbij de veiling in 2022. Het is daarom nodig dat deze gebruikers migreren naar een andere frequentie of communicatieoplossing. Dialogic heeft op verzoek van het ministerie onderzocht wat de (directe) kosten hiervan zijn.

Wat zijn de totale kosten voor de huidige vergunninghouders in de 3,5 GHz band die dienen te migreren, uitgewerkt per migratie-optie?

Voor migratie bestaan verschillende mogelijkheden; op hoofdlijnen:

- Migratie naar een van de subbanden in de 3,5 GHz-band die vanaf 2022 beschikbaar komen voor lokale netwerken (3.400 – 3.450 MHz: LTE-band 42, of 3.750 – 3.800 MHz: LTE-band 43). Vergunninghouders met geschikte (LTE-)apparatuur kunnen onder voorwaarden hun bestaande apparatuur opnieuw afstemmen.
- Migratie naar andere banden. Gedacht kan worden aan de 26 GHz-, 3,8-4,2 GHz- en de 4,9 GHz-band.¹ Voor OOV-toepassingen is een van de mogelijkheden het gebruiken van een sub-6 GHz-band specifiek voor OOV-cameratoepassingen (overige cameratoepassingen zijn beperkt in aantal).
- Migratie naar een dienst van een MNO (bijvoorbeeld geleverd in de 3,5 GHz-band; de eindgebruiker kan de dienst rechtstreeks afnemen, via een reseller, of via een MVNO/slice)
- Migratie naar vaste infrastructuur (koper, coax of glasvezel).

Indien voor alle vergunninghouders de meest passende² migratieoplossing mogelijk is, bedragen de directe migratiekosten (dat wil zeggen, zonder rekening te houden met andere kosten, zoals een verschil in economische waarde van het netwerk voor en na migratie) naar schatting tussen de € 0,9 miljoen en € 2,4 miljoen. Dit vereist wel dat voor OOV-cameranetwerken sub-6-GHz-spectrum (bij voorkeur de 4,9 GHz of 5,8 GHz-band) beschikbaar komt, en dat alle overige vergunninghouders in de 'nieuwe' 3,5 GHz-band kunnen worden geacommodeerd.³

De directe migratiekosten zijn *maximaal* circa € 16,4 miljoen. Dit betreft het scenario waarin *alle* vergunninghouders moeten migreren naar een andere band en/of technologie op technisch meest ongunstige wijze. Dit speelt met name wanneer er geen sub-6 GHz-spectrum beschikbaar komt voor OOV-cameranetwerken en wanneer FWA-netwerken (met veel klant-apparatuur) naar een andere band moeten migreren.

Bij een economische waardering van de impact zou nog moeten worden gecorrigeerd voor (onder andere) afschrijving en restwaarde van huidige apparatuur en de toegevoegde waarde van de nieuwe investering, waardoor het bedrag anders kan uitvallen. De directe kosten zouden in een periode van minimaal de (resterende) vergunningstermijn, en los daarvan in 10-15 jaar kunnen worden afgeschreven. De huidige apparatuur wordt maximaal vier jaar eerder afgeschreven.

¹ Beschikbaarheid van deze banden is niet gegeven; onderzoek loopt naar de 3,8 – 4,2 GHz-band.

² De oplossing met de kleinste impact op de netwerken (in de meeste gevallen tevens de goedkoopste)

³ Dit vereist een nadere radiotechnische analyse door Agentschap Telecom.

Bij het maken van deze schattingen zijn aannames gemaakt. De belangrijkste onzekerheden zijn de ontwikkeling van de kosten van (5G-)apparatuur (met name de mobiele core) en projectkosten. De beschikbaarheid van apparatuur is mede bepalend voor het slagen van migratiescenario's naar 26 GHz en een sub-6 GHz-band. Voor de 4,9 GHz- en 3,8 - 4,2 GHz-band is de beschikbaarheid goed.

Situatie per type vergunninghouder

Maatwerk per vergunninghouder is nodig (en mogelijk) omdat de netwerken sterk van elkaar verschillen, en om de migratiekosten beheersbaar te houden. De volgende oplossingsrichtingen zijn, gezien de migratiekosten, het meest voor de hand liggend en kunnen (op de volgende volgorde van voorkeur) worden toegepast:

- **A: Gesynchroniseerd LTE in 3.400 – 3.450 MHz en/of 3.750 – 3.800 MHz.** Partijen die al een LTE-netwerk gebruiken stemmen hun huidige apparatuur in deze oplossingsrichting af op een nieuwe frequentie binnen de 3,5 GHz-band, en gaan synchroniseren. Andere partijen, met netwerken die niet kunnen afstemmen naar de nieuwe band of niet synchroniseren met LTE, moeten hun netwerk vervangen door een 5G NR- of LTE-netwerk. Deze oplossing is veruit het goedkoopst voor partijen die actuele LTE-apparatuur hebben; hieronder vallen de FWA-aanbieders en de industriële gebruikers. Voor 'overstappers' geldt dat LTE en 5G NR beide nog substantieel duurder zijn dan de eenvoudigere fabrikant-specifieke 'WISP'-oplossingen die nu veel worden gebruikt.
- **D/E: Het gebruik van een sub-6- GHz-frequentie specifiek voor OOV-camera's⁴.** In deze oplossingsrichting wordt een band toegankelijk gemaakt voor OOV-camera's. Hoewel apparatuur moet worden vervangen, is dit voor cameranetwerken een passende oplossing, omdat (bij de juiste frequentie) gebruik kan worden gemaakt van relatief goedkope, fabrikant-specifieke apparatuur. Bij voorkeur wordt een band ingezet waarvoor apparatuur goed beschikbaar is: de 4,9 GHz- en 5,8 GHz-band hebben deze eigenschap, vanwege 'naastgelegen' vergunningvrije banden en het feit dat ze in andere landen worden ingezet voor cameratoepassingen.
- **F: Niet-gesynchroniseerd in 3.400 – 3.450 MHz en/of 3.750 – 3.800 MHz.** In deze oplossingsrichting blijft een netwerk in de huidige band bestaan zonder synchronisatie. Dit is een relatief goedkope (maar in onze ogen ook kortetermijn)oplossing voor netwerken die ver weg liggen van andere private gebruikers. Retuning en het plaatsen van filters (in de MNO-netwerken) is noodzakelijk. Deze oplossing lijkt bij slechts één vergunninghouder passend.

Naast bovenstaande oplossingsrichtingen is gekeken naar migratie op basis van 5G NR in de 3,8 -4,2 GHz-band (B) of de 26 GHz-band (C). Een volledige overstap naar een dienst van een MNO (G) ligt voor geen van de vergunninghouders voor de hand, maar kan wel voor een kleine groep klanten daarvan een oplossing zijn.

⁴ Hieronder wordt verstaan: camera's die in opdracht van het bevoegd gezag worden gebruikt in het kader van de bewaking van de Openbare Orde en Veiligheid (OOV).

Woordenlijst

5G NR	<i>5G New Radio</i> . De standaard voor radiotoegang tot 5G-netwerken, ontwikkeld door 3GPP, als opvolger van LTE (voor 4G).
BBDR	<i>Broadband Disaster Relief</i> . Breedbandige toepassingen in de OOV-sector. Ook wel "broadband PPDR" (Public Protection and Disaster Relief) genoemd.
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i> . Typisch een 'modem' of ander apparaat (bij vastdraadloos bijvoorbeeld vaak een buitenantenne, soms op een mast) welke door de operator bij een klant wordt geplaatst om een verbinding te realiseren.
DL	<i>Downlink</i> . Communicatie van een netwerk (een basisstation) met een toestel.
FWA	<i>Fixed Wireless Access</i> . Een aansluiting op een openbaar netwerk dat draadloos (via een straalverbinding of punt-multipuntverbinding) wordt gerealiseerd, waarbij de aansluiting vast (niet-mobiel) is. Wordt typisch toegepast voor het realiseren van vaste aansluitingen op locaties die niet kosteneffectief op vaste infrastructuur (glasvezel, coax, kopernetwerk) kunnen worden aangesloten.
LTE	<i>Long Term Evolution</i> . De standaard voor radiotoegang tot 4G-netwerken, ontwikkeld door 3GPP.
MNO	<i>Mobile Network Operator</i> . Een mobiele netwerkaanbieder die openbare diensten aanbiedt.
MVNO	<i>Mobile Virtual Network Operator</i> . Een mobiel netwerk dat gebruik maakt van infrastructuur van een (wholesale) MNO.
OOV	<i>Openbare Orde en Veiligheid</i> .
PMSE	<i>Programme Making & Special Events</i> . Een categorie draadloze toepassingen gerelateerd aan (live-)evenementen en -rapportages.
TDD	<i>Time Division Duplex</i> . Door afwisselend te zenden en ontvangen kunnen netwerk en toestel dezelfde frequentieruimte delen voor verkeer in beide richtingen.
UL	<i>Uplink</i> . Communicatie van een toestel met het netwerk (een basisstation).

1 Introductie

1.1 Achtergrond

In 2022 is het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) voornemens 300 MHz spectrum beschikbaar te stellen voor landelijke mobiele communicatie (3.450 – 3.750 MHz) en 2x50 MHz voor lokale netwerken (3.400 – 3.450 MHz en 3.750 – 3.800 MHz).

Op dit moment zijn er vergunninghouders die frequentieruimte tussen 3.410 – 3.800 MHz gebruiken. De einddatum van de looptijd van sommige van deze vergunningen ligt voorbij de veiling. Het is daarom nodig dat deze gebruikers migreren.

Voor migratie bestaan verschillende mogelijkheden; op hoofdlijnen:

- Migratie naar een van de subbanden in de 3,5 GHz-band die vanaf 2022 beschikbaar komen voor lokale netwerken:
 - 3,5-laag: 3.400 – 3.450 MHz. Dit banddeel overlapt met LTE-band 42.
 - 3,5-hoog: 3.750 – 3.800 MHz. Dit banddeel overlapt met LTE-band 43.
- Migratie naar andere banden. Gedacht kan worden aan:
 - De 26 GHz-band
 - De 3.800 – 4.200 MHz-band
 - Een sub-6 GHz-band specifiek toegankelijk gemaakt voor cameratoezicht (alleen voor OOV).
- Migratie naar een dienst van een MNO (bijvoorbeeld geleverd in de 3,5 GHz-band; de eindgebruiker kan de dienst rechtstreeks afnemen, via een reseller, of via een MVNO/slice)
- Migratie naar vaste infrastructuur (koper, coax of glasvezel).

1.2 Onderzoeksvragen

In dit onderzoek staat de volgende vraag centraal:

Wat zijn de migratiekosten voor de huidige vergunninghouders in de 3,5 GHz-band die dienen te migreren, uitgewerkt per migratie-optie?

De inschatting betreft een interval (ondergrens en bovengrens) en is zo nauwkeurig en compleet als mogelijk gegeven de beschikbare informatie (onder andere te verkrijgen van de vergunninghouders).

1.3 Aanpak

In het onderzoek werken we verschillende oplossingsrichtingen technisch uit per vergunninghouder (hoofdstuk 2). Een deel van de oplossingsrichtingen is gegeven door de opdrachtgever. Daaraan is door Dialogic (op basis van desk study, met name naar bandplannen en de situatie in andere landen) een aantal oplossingsrichtingen toegevoegd.

Per oplossingsrichting bepalen we eerst welke voorwaarden bepalen of een oplossingsrichting voor een vergunninghouder mogelijk is of niet. Vervolgens bekijken we welke parameters bepalend zijn voor de (directe migratie)kosten. Per vergunninghouder bekijken we vervolgens wat de situatie is en hoe de oplossing specifiek wordt gerealiseerd. Per migratieoplossing sluiten we af met een conclusie. Aan het einde van hoofdstuk 2 geven we het overzicht over de vergunninghouders en migratieoplossingen.

Merk op dat ten aanzien van alternatieve banden de beschikbaarheid van spectrum voor nieuw gebruik, mede in relatie tot bestaand gebruik, nog moet worden onderzocht, en buiten de scope van dit onderzoek valt. Het is denkbaar dat specifieke voorwaarden die aan nieuw gebruik worden gesteld (ongeacht band) effect hebben op de geschiktheid van de migratie-oplossing.

1.4 Analyse kader directe kosten

Bij een migratie gaat het, vanuit *technisch perspectief*, om het maken van aanpassingen aan de apparatuur om (in bijvoorbeeld een andere band, met andere technologie, of met andere randvoorwaarden) de dienst te kunnen blijven leveren. De kwaliteit van de dienst, en daarmee de *business case* van de vergunninghouder, wordt bij voorkeur niet of zo min mogelijk aangetast.

Dit onderzoek betreft de directe migratiekosten vanuit technisch perspectief. Deze bestaan uit de handelingen en apparatuur die nodig zijn voor de migratie naar een functioneel gelijkwaardig alternatief. Merk hierbij op dat er onderlinge afhankelijkheden zijn, waardoor wellicht niet alle vergunninghouders via de meest passende of goedkoopste route kunnen worden gemigreerd.

Vergunninghouders maken gebruik van hun vergunning in de 3,5 GHz-band ten behoeve een draadloos netwerk waarmee zij diensten leveren of voornemens zijn te leveren. De vergunninghouders hebben bij hun investeringen rekening gehouden met de voorwaarden van deze vergunningen (primair de einddatum in 2026). Vanuit een *economisch perspectief* zijn kosten van een migratie (ook) te beschouwen vanuit deze waarde. Het gaat om de volgende factoren:

- Gederfde of juist extra inkomsten doordat de dienst een ander karakter krijgt (bijvoorbeeld een kleinere of grotere dekking, lagere capaciteit);
- Kosten van afschrijving (en de restwaarde) van de huidige apparatuur;
- Restwaarde van de nieuw te plaatsen apparatuur voorbij 2026;
- Projectkosten voor het plannen van de migratie;
- Kosten van niet-beschikbaarheid van het netwerk/de dienst gedurende migratie;
- Opportuïteitskosten van het wachten met investeren (totdat bijvoorbeeld apparatuur goedkoper is geworden);
- Investeringen die de vergunninghouder al had moeten doen (bijvoorbeeld om capaciteitsgroei op te vangen);
- Strategisch gedrag (anticiperen op migratie door investeringen uit te stellen).

Een aandachtspunt bij de kosten voor vervanging is de investeringstermijn. Een investering in nieuwe technologie zou in principe betrekking hebben op de periode tussen het migratiemoment en het aflopen van de huidige vergunning; immers, na 2026 had de vergunninghouder nog geen garantie ten aanzien van het kunnen blijven gebruiken van de frequentieruimte. Investeringen in telecom worden immers voor langere tijd gedaan: een basisstation gaat al gauw 10 jaar mee. CPE's staan typisch voor 5 jaar in de boeken, maar kennen in de praktijk een langere levensduur (10+ jaar is niet ongebruikelijk). Nadat de in dit onderzoek besproken kosten zijn gemaakt, blijft de vergunninghouder in sommige gevallen achter met een systeem dat langer kan worden gebruikt (en dus waarschijnlijk meer waarde vertegenwoordigd) dan zonder de migratie.

Meetmoment

Een belangrijke vraag is welk meetmoment er gehanteerd moet worden voor het bepalen van de kosten. Dit moment heeft invloed op de prijzen van apparatuur. Wanneer naar

economische waarde wordt gekeken, en afschrijving en strategisch gedrag worden meegenomen, kan het meetmoment een veel grotere invloed hebben.

Op basis van de nu beschikbare informatie is het wat ons betreft goed mogelijk om, prijsontwikkelingen daargelaten, de kosten te bepalen zoals deze ten tijde van de migratie zullen zijn. Voor het bepalen van de *economische waarde* en de impact van migratie daarop komt de keuze voor het meetmoment nauwer. We adviseren om hiervoor het daadwerkelijke moment van migratie te nemen.

2 Oplossingsrichtingen

In dit hoofdstuk bespreken we de verschillende technische oplossingsrichtingen die er zijn voor migratie van de houders van vergunningen in de 3,5 GHz-band geldig tot en met 2026. We gaan allereerst in op het analysekader (welke technische overwegingen spelen er?). Vervolgens bespreken we de onderzochte oplossingsrichtingen en gaan we per vergunninghouder in op de toepasselijkheid ervan.

2.1 Huidige situatie

Op dit moment zijn vergunningen regionaal uitgegeven aan diverse partijen voor het gebruik van frequentieruimte tussen 3.400 – 3.800 MHz. De frequentieruimte wordt ingezet voor private toepassingen (besloten netwerken) en 'vast-draadloos'-dienstverlening (openbare netwerken).

In 2022 is EZK voornemens de frequentieruimte tussen 3.450 – 3.750 MHz te veilen aan operators ten behoeve van openbare mobiele netwerken. Naar verwachting worden hierbij in beginsel dezelfde of vergelijkbare randvoorwaarden gehanteerd als bij eerdere veilingen, zoals de Multibandveiling in 2020. Dat zou onder andere betekenen dat de vergunningen technologie-neutraal zullen worden uitgegeven, dat er een maximum te verkrijgen hoeveelheid per operator geldt ('capregeling') en dat er sprake zal zijn van ingebruikname- en dekkingsverplichtingen.

In aanvulling ligt het voor de hand om synchronisatie te vereisen. De 3,5 GHz-band is een TDD-band, wat betekent dat op dezelfde frequenties afwisselend gezonden en ontvangen wordt. In de meeste gevallen bepaalt het basisstation binnen het netwerk door wie er hoe lang gezonden en ontvangen wordt. Wanneer twee TDD-netwerken die gebruik maken van naastgelegen frequentieruimte ("adjacent channel") niet gesynchroniseerd zijn, kan het zijn dat in een van beide netwerken wordt gezonden terwijl in de andere wordt ontvangen door een apparaat. Dit kan een probleem opleveren wanneer een relatief sterke zender (een basisstation) zendt terwijl het andere netwerk een zwak signaal (bijvoorbeeld van een terminal) wil ontvangen. Wanneer frequenties (regionaal) worden hergebruikt kunnen er ook problemen ontstaan tussen twee ("co-channel") netwerken. Dialogic concludeerde in eerder onderzoek in opdracht van AT dat synchronisatie noodzakelijk is om interferentie te voorkomen, omdat anders vergaande beperkingen (afstand tussen gebruikers, zendvermogen, mate van hergebruik) noodzakelijk zijn. In dit onderzoek gaan we er vooralsnog vanuit dat synchronisatie vereist zal zijn. Daarbij zijn overigens nog een aantal parameters te kiezen (met name de framestructuur).

2.2 A. Gesynchroniseerd LTE in 3.400 - 3.450 / 3.750 - 3.800 MHz

Een voor de hand liggende migratieroute voor vergunninghouders met LTE-apparatuur is om met de huidige apparatuur gebruik te gaan maken van een van de twee blokken van 50 MHz in de nieuwe 3,5 GHz-band.

2.2.1 Voorwaarden

Deze migratie is mogelijk voor vergunninghouders voor wie het volgende geldt:

1. De apparatuur van de vergunninghouder is af te stemmen naar 3.400 - 3.450 MHz (de apparatuur ondersteunt band LTE-band 42: 3.400 – 3.600 MHz) en/of

3.750 - 3.800 MHz (LTE-band 43). Vrijwel alle LTE-apparatuur die op dit moment wordt gebruikt in de 3,5 GHz-band⁵ ondersteunt ten minste één van beide banden.

2. De apparatuur van de vergunninghouder kan synchroniseren met de LTE (of eventueel 5G NR-)netwerken van de MNO's en andere private gebruikers in de 3,5 GHz-band.
3. Er is genoeg ruimte in de 3.400 - 3.450 MHz / 3.750 - 3.800 MHz-blokken: de vergunninghouders zijn geografisch zo verdeeld dat hergebruik van de blokken mogelijk is.
4. De vergunninghouder heeft in de nieuwe situatie (minstens) even veel spectrum ter beschikking als in de huidige situatie (of de hoeveelheid spectrum is lager, maar bij het geldende verkeersniveau, de spectrale efficiëntie, en netwerkdichtheid nog steeds toereikend).

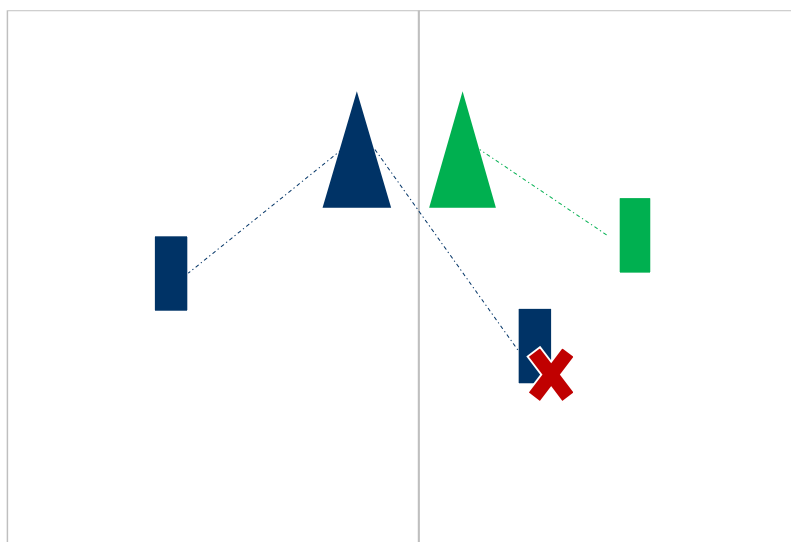
Synchronisatie

Uit het eerdere onderzoek van Dialogic naar synchronisatie voor de 3,5 GHz-band volgde dat synchronisatie tussen *alle* gebruikers van de 3,5 GHz-band in de praktijk een vereiste is om de band efficiënt in te zetten: [1]

- Zonder synchronisatie zijn zeer grote onderlinge afstanden nodig tussen de verschillende netwerken, zowel bij *adjacent channel*gebruik (10+ km tussen private netwerken en de MNO-netwerken onderling) als *co-channel*gebruik (60 km tussen private netwerken).⁶
- De totale hoeveelheid spectrum voor private netwerken is in de nieuwe situatie kleiner dan in de huidige situatie (van 300 MHz naar 2x50 MHz). Om alle private netwerken te kunnen accommoderen (niet alleen de hier besproken netwerken) moet het spectrum dus vaker worden hergebruikt. Synchronisatie maakt het vaker hergebruiken van frequenties mogelijk, mits de gebruikers zich relatief dicht bij het eigen basisstation bevinden en de werkgebieden van twee netwerken op dezelfde frequentie niet overlappen (in dat geval zijn het "aangrenzende cellen"). Figuur 1 toont dit schematisch.

⁵ In de VS is apparatuur die specifiek de CBRS-band (3.550 – 3.700 MHz) met LTE ondersteunt wel gangbaar.

⁶ Voor lokale netwerken (onderling) zou een kleinere afstand kunnen worden gehanteerd wanneer sprake is van een lager zendvermogen en (met name) lagere antennehoogte. Hoewel veel private netwerken lage opstelpunten hebben, zijn onder de hier bestudeerde vergunninghouders opstelpunten op hoogtes tussen de 85 – 120 meter in gebruik.



Figuur 1 Geografische overlap van netwerken

De MNO's gaan (wanneer zij een landelijke vergunning kunnen verkrijgen) zeer waarschijnlijk landelijk uitrollen. In dat geval moet landelijk gesynchroniseerd worden, tussen MNO's onderling en tussen MNO's en private netwerken in de 3,5 GHz.

MNO's zullen naar verwachting (en internationaal voorbeeld) onderling tot afspraken kunnen komen over synchronisatie (wanneer de regulator dit niet dwingend voorschrijft). In veel landen geeft de regulator een 'default' en mogen de MNO's onderling nadere afspraken maken.

Synchronisatie speelt ook in grensgebieden: daar moet eigenlijk worden gesynchroniseerd met de buurlanden om beperkingen in het gebruik te voorkomen (dan moeten beide landen het echter wel eens zijn over de synchronisatievorm). Bijkomende problematiek is dat de Nederlandse bandindeling niet precies overeenkomt met die van de buurlanden.

Synchronisatievorm

Voor synchronisatie moet een keuze voor een bepaalde framestructuur worden gemaakt. De keuze voor een framestructuur is bepalend voor twee zaken:

- *De verhouding tussen uplink- en downlink 'zendtijd' en daarmee doorvoersnelheid.* Er zijn verschillende verhoudingen denkbaar. De verhouding kan daarnaast (deels) worden vrijgelaten en/of (in theorie) 'slim' dynamisch worden gekozen.⁷ In ons eerdere onderzoek raadden we dit overigens af vanwege de mogelijke interferentieproblematiek die dit alsnog oplevert. Daarbij plaatsten we de

⁷ Het is de onderzoekers niet bekend of dergelijke technieken voor LTE geïmplementeerd zijn. We zien wel dat Dynamic Spectrum Sharing tussen 5G NR en LTE in de praktijk wordt toegepast, wat een vergelijkbaar principe betreft. Er is op zichzelf geen technische reden die dynamisch TDD voor LTE in de weg staat.

kanttekening dat verdere evolutie van de apparatuur dit in de toekomst mogelijk wel werkbaar maakt.⁸ [1]

- *Hoe vaak er wordt gewisseld tussen downlink- en uplink 'zendtijd'. Deze parameter is bepalend voor de latency. Wordt er weinig gewisseld, dan duurt het gemiddeld langer voordat zenden (of juist ontvangen) 'aan de beurt' is. Tegelijkertijd levert het wisselen tussen beide richtingen inefficiëntie op, waardoor minder vaak wisselen een hogere maximale doorvoersnelheid kent.*

Op hoofdlijnen bestaat de keuze uit 5G NR-frames of LTE-compatibele frames, met een op downlink gerichte verhouding (1:3 of 1:4 UL:DL). We verwachten dat er initieel gebruik zal worden gemaakt van LTE-frames. Desondanks bestaat er in de markt mogelijk een voorkeur voor 5G NR-frames en is een overstap op termijn denkbaar. We werken dit nader uit in Bijlage 2.

Anders bekeken kan de migratie worden gezien als een *kans* om 5G NR-frames eerder te kunnen inzetten; de operators zullen daar wellicht waarde aan toekennen.

Heroverwegen van de plaatsingsmogelijkheden

Op locaties waar hergebruik van dezelfde frequentieruimte problematisch is zou kunnen worden overwogen de antennes anders te plaatsen. Wanneer bijvoorbeeld twee 'buurnetwerken' vanaf hetzelfde opstelpunt ieder aan een sector genoeg zouden hebben, dan is dit een mogelijkheid. Onder de netwerken waar in dit onderzoek naar is gekeken zien we hiertoe echter slechts zeer beperkt mogelijkheden.

2.2.2 Beschikbaarheid van apparatuur

LTE-apparatuur voor professionele gesloten netwerken en FWA is op dit moment goed beschikbaar. De verwachting is dat dit ten minste de komende tien jaar zo zal blijven.

2.2.3 Kosten

De prijzen die verschillende vergunninghouders betalen aan de vendors voor de apparatuur lopen sterk uiteen: de vendors differentiëren sterk naar volume. Daarnaast is er een groot verschil tussen "operator grade" apparatuur van Huawei, Nokia en Ericsson, en goedkopere apparatuur (met minder functionaliteiten) van kleinere leveranciers. In de toekomst verwachten we dat de beschikbaarheid van goedkope apparatuur op basis van (zoveel mogelijk) 'commodity' hardware toeneemt.

Slechts een klein deel van de vergunninghouders beschikt over actuele prijsinformatie (offertes). Hoewel we inzicht hebben in de prijsniveaus die de vendors hanteren zien we ook dat de prijzen tussen afnemers fors kunnen verschillen. We zullen dan ook aannames moeten maken ten aanzien van de prijzen die de vergunninghouders kunnen bedingen.

⁸ We verwachten dat LTE qua functionaliteit de komende jaren mee-evolueert, doordat functies die voor 5G NR bedoeld zijn backwards compatible worden gemaakt ('gebackport') naar LTE. Andere functionaliteiten, zoals Massive MIMO, zijn nu al beschikbaar voor LTE en in sommige gevallen zelfs eerder dan voor 5G NR. De verwachting is wel dat het gebruik door MNO's van de 3.5 GHz-band gericht is op 5G NR. De vergunning zal waarschijnlijk technologie-neutraal worden uitgegeven, dus inzet van LTE of gemengde inzet met DSS zou ook mogelijk zijn. Dat zou dan met name spelen in de eerste jaren van de inzet, waarin nog niet alle toestellen 5G ondersteunen, maar wellicht wel LTE-banden 42 en 43.

De kosten voor een basisstation (3,5 GHz, 1 W zendvermogen, LTE) bedragen circa € 4.000 per sector. [2] Gecombineerd met de installatie van een dergelijk basisstation begroten we dit op circa €10.000,- per sector.

Core

Vergunninghouders die op dit moment geen LTE gebruiken, zullen ook een mobile core moeten aanschaffen. Een mobile core is een relatief complexe en uitgebreide verzameling van componenten die het mobiele netwerk aansturen. Naast enkele essentiële onderdelen zijn er, bij mobiele netwerken, vaak aanvullende componenten aanwezig rondom facturering, spraakverkeer, roaming, et cetera. Private punt-multipuntnetwerken met beperkte mobiliteit kunnen vaak uit de voeten met een core die alleen de echt essentiële onderdelen bevat.

De markt voor dergelijke kleine, eenvoudigere en goedkopere mobile cores is heel beperkt en een specifieke niche. Ieder component in een mobile core kost al gauw enkele tonnen voor een instapversie. Op termijn verwachten we dat de prijzen dalen, met name doordat er steeds meer aandacht is voor open sourceoplossingen (o.a. OpenEPC) en doordat er een grotere markt lijkt te ontstaan voor op 3GPP-gebaseerde FWA.

Een volwaardige LTE-core, met genoeg functionaliteit voor een klein FWA-netwerk met beperkte mobiliteit, kost ten minste €100.000,-. [3] Er is een aanbieder die een nog lichtere "enterprise"-core aanbiedt voor \$ 20.000,- (uitsluitend een EPC + HSS). Daarnaast zien we steeds meer aanbod op basis van software op 'commodity hardware', en zelfs mobile cores 'as a service'. [4]

Projectkosten

De kosten voor het herconfigureren van een netwerk zijn beperkt. In de regel moeten de volgende stappen worden doorlopen:

- Voorbereiden van het nieuwe frequentieplan.
- Voorbereiden en controleren van het wijzigingsscript dat de retuning uitvoert. De controlestep is uitgebreider naarmate het netwerk uit grotere aantallen sites bestaat.
- Start netwerk 'freeze' (geen wijzigingen in het radionetwerk gedurende een bepaalde periode).
- Bepalen van de uitrolwijze en het 'rollbackscenario' (separaat script om de wijziging weer terug te draaien). Bij industriële gebruikers is deze stap uitgebreider en worden diverse (fout)scenario's getest of zelfs geoefend.
- Daadwerkelijke retuning; dit gebeurt vaak 's nachts gedurende een onderhoudsvenster. Daarna vindt directe verificatie plaats (geen 'alarmen', reguliere verkeerspatronen) en bij onverwachte problemen direct een 'rollback'. Voor industriële gebruikers spelen meer en uitgebreidere controles.
- Verificatie van het volledig voortgezet zijn van de dienstverlening (volgende dag). Vaak omvat dit een 'drive test' en dekkingsverificatie.
- Doorlopende monitoring van het netwerk over een bepaalde periode (circa 1 week voor kleinschalige netwerk) om performanceproblemen te kunnen identificeren.

Industriële gebruikers met 'dubbele dekking' kunnen (en zullen) bovenstaande procedure in twee delen uitvoeren en daardoor twee keer doorlopen, zodat de dienstverlening niet hoeft te worden onderbroken.

Voor een middelgroot mobiel netwerk (\pm 100 sites) zien we in de praktijk doorlooptijden van 4-5 weken. Voor de kleinere netwerken die hier aan de orde zijn is de doorlooptijd korter, maar zijn de te doorlopen stappen (en kosten) grotendeels gelijk. In de meeste gevallen zijn één radioplanner, een testteam en enkele personen voor kwaliteitscontrole en management betrokken (al dan niet vanuit de vendor).

We begroten deze werkzaamheden op € 20.000,- voor vergunninghouders die al beschikken over een LTE-netwerk. Voor FWA-aanbieders, die over meerdere sites beschikken, gaan we uit van € 25.000,-. Voor de industriële gebruikers begroten we € 100.000,- (kosten van tijdelijke niet-beschikbaarheid, complexere planning en fasering). Dit bedrag kent een grotere onzekerheidsmarge.

2.2.4 Situatie per vergunninghouder

Zie Bijlage 1.

2.2.5 Conclusie

Een aantal vergunninghouders gebruikt LTE (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Deze apparatuur kan (met aanpassingen) synchroniseren met LTE-compatibele framestructuren. Het retunen van bestaande LTE-apparatuur en het realiseren van synchronisatie kent relatief beperkte kosten (circa €20.000,- per vergunninghouder). De projectkosten zijn in dit geval beperkt.

De meeste andere vergunninghouders, met fabrikant-specifieke apparatuur, kunnen weliswaar mogelijk retunen naar een of beide banden, maar niet synchroniseren met LTE-netwerken. In al deze gevallen moet het basisstation vervangen worden (waarbij bestaande randinfrastructuur, zoals de mast, backhaul, en bij dezelfde frequentieband de bestaande antennes, kunnen worden hergebruikt). Ook de CPE's moeten in die gevallen worden vervangen. De kosten voor een basisstation zijn ongeveer €10.000,- per sector. Omdat de complexiteit iets hoger ligt dan een retuning zullen de projectkosten iets hoger uitvallen dan dit scenario, maar niet substantieel hoger.

Een aantal vergunninghouders gebruikt toepassingen (met name camera's) die grote hoeveelheden uplinkverkeer veroorzaken (verhouding 9:1). Daarbij wordt de capaciteit die er op de huidige netwerken is bijna volledig gebruikt. Wanneer er een andere up-downverhouding wordt gehanteerd (1:3 of 1:4 in plaats van 9:1), neemt (*bij gelijkblijvende hoeveelheid spectrum, spectrale efficiëntie en netwerkdichtheid*) de netto uplinkcapaciteit af. Dit leidt ertoe dat de capaciteit op deze netwerken mogelijk niet meer toereikend zal zijn. Een oplossing is (binnen een migratie naar LTE) het verder verdichten van het netwerk, het verhogen van de spectrale efficiëntie (met technieken als MIMO) en het inzetten van efficiëntere videocompressie.

2.3 B. 5G NR in 3.800 – 4.200 MHz

Een technisch mogelijke migratieroute is een oplossing op basis van spectrum in de 3.800 – 4.200 MHz-band, op basis van 5G NR (band n77), behoudens beschikbaarheid. De beschikbaarheid van dit spectrum valt buiten de scope van deze studie.

2.3.1 Voorwaarden

De apparatuur van de vergunninghouder (terminals en basisstations) ondersteunt 5G NR-band n77. 5G NR-band n77 loopt van 3.300 – 4.200 MHz en is dus een superset van de 5G NR-band n78, die loopt van 3.300 – 3.800 MHz.

Band n77 is een TDD-band; er zal in deze band dus gesynchroniseerd moeten worden (op basis van 5G NR-frames). Omdat er in deze band geen MNO's actief zijn, kan daarbij wel worden gekozen voor een meer op uplink georiënteerde verhouding.

2.3.2 Beschikbaarheid van apparatuur

We verwachten dat ondersteuning voor de betreffende 5G NR-band n77 vanaf 2024-2026 gemeengoed is. Een migratie voor september 2022 is in dat opzicht aan de vroege kant: er zal beperkt apparatuur beschikbaar zijn, en vergunninghouders die graag 'proven' apparatuur gebruiken, zullen terughoudend zijn. Het is wel te verwachten dat de benodigde RAN- en CPE-apparatuur vanaf volgend jaar relatief goedkoop verkrijgbaar zal zijn.

2.3.3 Kosten

Ondersteuning van het banddeel 3.800 – 4.200 MHz vereist voor 5G-apparatuur het ondersteunen van 5G NR-band n77. In principe zijn de kosten voor 5G NR-apparatuur die band n77 (3.300 – 4.200 MHz TDD) ondersteunt op de langere termijn (2024-2026) identiek aan (op dit moment meer gangbare) 5G NR-apparatuur die band n78 (3.300 – 3.800 MHz, een subset van n77) ondersteunt. We verwachten dat de prijzen zullen dalen zodra de aanstaande veiling van het spectrum in de VS heeft plaatsgevonden: de afzetmarkt wordt dan groter. Rond 2024-2026 zou de apparatuur breed beschikbaar moeten zijn.

Apparatuur en prijsinformatie zijn nu nog beperkt beschikbaar, enkele datapunten voor de prijzen:

- Een fixed wireless CPE met ondersteuning voor 5G NR-band n78 (3.300 – 3.800 MHz TDD) kost circa € 450,- (exclusief BTW). [5]
- Een fixed wireless CPE met ondersteuning voor band n77 kost tussen de \$ 239 [6] en (outdoormodel van [5] met ondersteuning voor 5G NR-band n78: 3.300 – 3.800 MHz TDD) € 450,-.

Een fixed-wireless CPE voor LTE kost nu circa \$ 220 (en minder bij hogere volumes). [7] Dit zijn de prijzen waar 5G CPE's naartoe zullen convergeren. Huawei geeft aan dat wordt verwacht dat er een grote diversiteit zal ontstaan aan 5G CPE's, wat zal leiden tot prijzen rond de \$ 150 tegen het einde van 2020. [8] Gegeven de huidige marktcondities zal dat wellicht iets vertraging oplopen, maar de verwachting dat betaalbare CPE's volgend jaar op de markt zullen komen, lijkt realistisch.

Core

Voor het gebruik van 5G is een mobile core noodzakelijk. MNO's kunnen daarbij tijdelijk gebruik blijven maken van de bestaande LTE-core in een zogenaamde 'non-standalone' (5G NSA)-opstelling. Daarbij wordt het signaleringsverkeer over LTE afgehandeld (MNO's hebben LTE-carriers in andere frequentiebanden) en zijn extra 5G-carriers alleen in gebruik als datadrager. Voor private gebruikers is een NSA-opstelling geen optie, omdat zij niet beschikken over de extra benodigde LTE-carrier voor signalering. De private gebruikers zijn dan ook aangewezen op een 'standalone' (SA)-core.

SA-cores zijn nog beperkt beschikbaar. De 'grote drie' vendors (Ericsson, Huawei, Nokia) hebben uiteraard aanbod – de prijzen daarvan zijn echter aanzienlijk (ordegrootte € 1 miljoen voor een basisversie). De kleinere aanbieders (waarvan we in paragraaf 2.2.3 al aangaven dat ze 'enterprise' LTE-cores aanbieden) hebben nog geen aanbod. We verwachten echter wel dat er tegen het einde van 2021 'enterprise' 5G-cores beschikbaar zullen zijn rond de €200.000,-. We zien daarnaast (sneller dan bij LTE) gevirtualiseerd en 'as a service'-

aanbod opkomen. [4] De mobiele (op operator gerichte) 5G-cores blijven de komende tijd echter aanzienlijk prijziger dan wat in het veel kleinschaligere 'WISP'-segment⁹ gangbaar is.

Projectkosten

De projectkosten voor het aanleggen van een nieuw 5G-netwerk hangen samen met de complexiteit van de omgeving en het netwerk (het aantal terminals doet er bij de hier besproken professionele toepassingen minder toe). Exacte cijfers zijn lastig te geven. Voor de cameranetwerken begroten we €25.000,-; voor FWA-partijen €2.500,- per locatie. Voor de industriële gebruikers begroten we €250.000,-.

2.3.4 Situatie per vergunninghouder

Zie Bijlage 1.

2.3.5 Conclusie

Gebruik van 5G NR in het banddeel 3.800 – 4.200 MHz is technisch gezien een geschikte oplossing, wanneer de juiste hoeveelheid spectrum zou kunnen worden vrijgemaakt. Beschikbaarheid van de band valt buiten de scope van dit onderzoek. Mocht de band voor deze toepassing worden ingezet, dan zijn ook andere randvoorwaarden (zoals het al dan niet moeten synchroniseren) van invloed.

Apparatuur voor deze band is nog erg beperkt beschikbaar. Migratie voor of rond september 2022 is om die reden aan de vroege kant: er is beperkt 'proven' apparatuur beschikbaar, en de apparatuur die er is, is nog kostbaar. Het is wel te verwachten dat de benodigde RAN- en CPE-apparatuur vanaf volgend jaar relatief goedkoop verkrijgbaar zal zijn.

De migratieroute is vergeleken met andere routes een heel kostbare: alle CPE's en alle basisstations moeten worden vervangen, en de vergunninghouder moet een (nu nog) kostbare 5G SA-core aanschaffen. Kijkend naar de totale kosten van deze oplossing in vergelijking met alternatieven ligt deze het meest voor de hand voor gebruikers met een klein aantal basisstations en CPE's, maar wel een grote behoefte aan uplinkverkeer en de behoefte om op langere termijn naar 5G over te stappen.

2.4 C. 5G NR in 26 GHz (TDD)

In de 26 GHz-band (een zogenaamde "millimetergolf" of mmWave-band) kan technisch gezien gebruik worden gemaakt van 5G NR TDD en daarmee grote hoeveelheden capaciteit worden gerealiseerd.

Het is de onderzoekers niet bekend of deze band (tijdig) beschikbaar komt: beschikbaarheid van spectrum valt buiten de scope van dit onderzoek. Europees is de 26 GHz-band onlangs geharmoniseerd voor mobiele netwerken. [9] Het is niet duidelijk hoe Nederland de band zal gaan inzetten, en of er ook in de toekomst ruimte zal zijn voor private gebruikers, wat beperkend is ten aanzien van investeringszekerheid.

Millimetergolffrequenties zijn bij uitstek geschikt voor private toepassingen welke een grote hoeveelheid capaciteit vragen. [10]. Signalen in de 26 GHz-band doven vanwege de hoge frequentie eerder uit dan in de 3,5 GHz-band, en kennen dus een beperkter bereik. Een belangrijke aanvullende beperking is dat millimetergolven substantieel sterker worden gedempt door lucht en water(damp) dan sub-6-GHz frequenties. [11] Hoewel

⁹ Wireless Internet Service Provider. Hier wordt de categorie kleine vast-draadloze en zakelijke punt-multipuntnetwerken bedoeld die (nu) door vendors als Radwin, Ubiquiti en Mimosa wordt bediend.

straalverbindingen over meer dan 20 kilometer (in 24 GHz) haalbaar zijn, vallen deze uit bij regenval. Bij punt-multipuntverbindingen staat het afstandsrecord op 3,8 kilometer onder goede omstandigheden. [12].

Bij een afstand van 2 kilometer zou ongeveer 6 dB demping als maximum werkbaar moeten zijn (punt-multipunt). Een dergelijke verbinding zou bij een lichte bui (10 mm/uur) blijven werken – bij zwaardere buien (25 mm/uur) zal deze af en toe verbreken (8 dB verlies) en bij zeer zware buien helemaal uitvallen. Een bijkomend probleem (waarvoor hier niet is gecorrigeerd) is het ontstaan van een waterfilm op de antennes, waardoor het verlies hoger kan uitpakken. [13]

Een beperkende factor is dat het signaal bij 26 GHz ten opzichte van lagere frequenties veel sterker wordt gedempt bij reflectie. Een line-of-sight is daarom in vrijwel alle praktische toepassingen over afstanden groter dan enkele tientallen meters een absolute must.

2.4.1 Voorwaarden

We concluderen dat de maximale afstand voor werkbare punt-multipuntverbindingen op basis van 26 GHz circa 2 kilometer bedraagt in Nederland. [14] Voor punt-puntverbindingen (straalverbindingen) is de maximaal haalbare afstand groter (tot wel 20 kilometer), maar is eveneens sprake van uitval bij zwaardere buien. De inzet van 26 GHz is dus een oplossing voor gebruikers met alle terminals binnen een bereik van 2 kilometer, of binnen 20 kilometer wanneer uitval bij regen geen probleem is. Daarnaast dient er sprake te zijn van een (bijna) line-of-sight.

2.4.2 Beschikbaarheid van apparatuur

Net als voor 5G-apparatuur in band n77 speelt ook hier een beperkte beschikbaarheid van apparatuur. Anders dan voor band n77 is er wel brede ondersteuning voor mobiele apparatuur (de band wordt in de VS immers al ingezet) maar is er nog geen sterk aanbod voor FWA- en andere punt-multipuntoepassingen. Apparatuur voor punt-punt (straalverbindingen) is overigens wel goed beschikbaar.

2.4.3 Kosten

Aangezien geen van de vergunninghouders gebruik maakt van apparatuur die de 26 GHz-band ondersteunt, worden de kosten in alle gevallen bepaald door volledige vervanging van zowel de basisstations als de terminals (inclusief antennes) en mogelijk een core.

De kosten bedragen zo'n €10.000,- per sector (aanschaf apparatuur, vervanging). Eenmalig begroten we €200.000,- voor het upgraden/vervangen van de core (zie ook paragraaf 2.3.3). De kosten per CPE bedragen zo'n €500,- inclusief installatie (€1.500,- wanneer een mast dient te worden aangepast/gerealiseerd).

Vanwege het beperkte bereik zullen vergunninghouders die CPE's willen bereiken die verder dan 2 kilometer van het basisstation staan, opstelpunten moeten bijbouwen of moeten terugvallen op alternatieven.¹⁰ De beperkingen maken het gebruik van 26 GHz voor een aantal vergunninghouders zeer onpraktisch.

¹⁰ Een mogelijke oplossing is het 'daisy-chainen' van de verbinding tussen terminals. Hierbij heeft een terminal een line of sight naar het basisstation en een line-of-sight (of andersoortige verbinding) naar een andere terminal. Een nadeel is dat de latency hoger wordt, wat nadelig is voor industrieel gebruik en camerabesturing.

Punt-puntverbindingen

Sommige vergunninghouders zouden wellicht (deels) gebruik kunnen maken van punt-puntverbindingen. Een 1 Gbit/s link is te realiseren met apparatuur van circa €1.400-€1.700,- in de 24 GHz. [15] Aangenomen wordt dat prijzen voor 26 GHz-apparatuur dat niveau uiteindelijk zullen bereiken. Apparatuur voor de (vergunningvrije) 5 GHz-band bestaat overigens ook en is substantieel goedkoper. [16]

Technisch gezien speelt dat voor de 26 GHz-band niet bekend is welke vermogenslimieten en andere randvoorwaarden er gaan gelden. Bij vergunningvrij gebruik geldt (in de 24 GHz-band) een limiet van 100 mW, en is de haalbare afstand van deze links beperkt tot circa 2-3 kilometer (waar 13 kilometer met deze apparatuur haalbaar zou zijn zonder limiet).

Projectkosten

In de basis zijn de kosten gelijk aan die genoemd in paragraaf 2.3.3 (voor 5G NR in de 3.800 – 4.200 MHz-band).

Zoals hierboven is geïllustreerd is de dekking van 26 GHz substantieel lager dan die van sub-6 GHz-frequenties. Dat betekent dat in de praktijk sites dienen te worden bijgeplaatst. Om hoeveel sites het gaat is sterk afhankelijk van de omgeving. Een volwaardige macrosite kost (greenfield) al gauw een ton. Een upgrade van een bestaande locatie zou mogelijk moeten zijn voor circa €7.500,- per sector.

Voor de 26 GHz-band komt in de toekomst mogelijk wel meer (goedkopere) small cellapparatuur op de markt. Mobiele netwerkoperators gaan bij vervanging van een macrosite voor een small cell uit van 8-10 small cells per macrosite. De kosten voor een 26 GHz-site zijn in theorie lager als er inderdaad gebruik wordt gemaakt van small cellapparatuur (zodra deze beschikbaar is). In de praktijk worden de kosten echter sterk gedreven door die van de backhaul en plaatsing.

2.4.4 Situatie per vergunninghouder

Zie Bijlage 1.

2.4.5 Conclusie

Een oplossing in 26 GHz is voor vrijwel alle vergunninghouders geen *volwaardige* migratieoplossing.

Inzet van de 26 GHz is een mogelijkheid voor cameranetwerken (voor zover line-of-sight kan worden behaald) en van specifieke relevantie voor een vergunninghouder waarvoor een sub-6- GHz-propositie voor OOV-cameratoezicht niet van toepassing zal zijn.

Voor FWA-aanbieders is de 26 GHz-band van beperkt nut aangezien klanten zich in Nederland vaak verder dan 2 kilometer van het basisstation bevinden. Desondanks zou de band kunnen worden ingezet ter ontlasting van andere banden (een klein deel van de klanten kan dan worden overgezet, namelijk de klanten die zich binnen 2 kilometer van een basisstation bevinden).

2.5 D en E. Sub-6 GHz-band voor OOV-cameratoezicht

In de bespreking hierboven blijkt dat cameranetwerken door hun grote behoefte aan uplinkverkeer lastig(er) te accommoderen zijn in een (met MNO's en andere gebruikers) gesynchroniseerde omgeving. Een oplossing voor hen is het inzetten van een specifieke

band. Daarbij is voor de kosten een belangrijke factor of deze band zich dan binnen of buiten het afstembereik van de op dit moment geïnstalleerde apparatuur bevindt.

Onder OOV-camera's verstaan we de camera's die in opdracht van het bevoegd gezag worden gebruikt in het kader van de bewaking van de Openbare Orde en Veiligheid.

D. Sub-6 GHz-band voor OOV-cameratoezicht buiten het huidige afstembereik

Buiten het afstembereik van de huidige apparatuur zien we de volgende kandidaten (behoudens beschikbaarheid):

- De 4,9 GHz-band. Het banddeel 4.940 – 4.990 MHz is Europees (optioneel) bestemd voor "BBDR within the PPDR uses". Verder wordt de band aangewezen voor militair gebruik en PMSE. [17]. Het voordeel van deze band is dat er veel apparatuur beschikbaar is: apparatuur voor de vergunningvrije 5 GHz-band is vaak ook geschikt (of verkrijgbaar in een variant) voor de 4,9 GHz-band. Onlangs werd bekend dat de band in de VS toegankelijk(er) wordt voor privaat gebruik, waar deze eerder uitsluitend voor overheden in *public safety* beschikbaar was. [18]
- De 2,3 GHz-band. Dit is een LTE TDD-band (en ook gedefinieerd voor 5G NR), en er is internationaal redelijk wat apparatuur beschikbaar.
- De 5,8 GHz-band. Het betreft een band die in veel landen vergunningvrij is. Dat betekent enerzijds dat er veel betaalbare apparatuur beschikbaar is voor de band. Anderzijds is er (ook in Nederland) waarschijnlijk sprake van niet-toegestaan gebruik van de band, wat voor de professionele gebruikers meestal onwenselijk is.

E. Sub-6 GHz-band voor OOV-cameratoezicht binnen het huidige afstembereik

Binnen het afstembereik is de frequentieruimte tussen 3,3 – 3,4 GHz een kandidaat (behoudens beschikbaarheid). Het voordeel van deze band is dat veel huidige (ook fabrikant-specifieke) apparatuur afstembaar is naar dit bereik. De band wordt over het algemeen gebruikt voor kustradar – het is de vraag of toepassing in bijvoorbeeld Amsterdam mogelijk is.

Bij de onderzoekers is niet bekend of (een van) de genoemde banden in Nederland in gebruik of vrij te maken is, en/of welke andere banden er mogelijk in aanmerking komen. Beschikbaarheid van spectrum valt buiten de scope van het onderzoek.

2.5.1 Voorwaarden

De randvoorwaarden voor het inzetten van deze oplossing zijn de volgende:

1. (D+E) De vergunninghouder heeft een cameratoepassing voor openbare orde en veiligheid (OOV).
2. (E) De apparatuur (camera's en basisstations) ondersteunt de te gebruiken band.

Cameratoepassing voor OOV

De oplossing kan (gezien de set vergunninghouders) alleen in combinatie worden ingezet met andere oplossingen. Daarnaast zijn er vergunninghouders die zowel OOV-camera's connecten als andere toepassingen over het netwerk draaien.

2.5.2 Beschikbaarheid van apparatuur

Voor de eerdergenoemde 4,9 GHz-band is ruim apparatuur beschikbaar: de 4,9 GHz-band wordt in Amerika ingezet voor OOV-toepassingen. Daarnaast wordt veel apparatuur voor de

vergunningvrije 5 GHz-band geproduceerd, en is van die apparatuur vaak ook een 4,9 GHz-variant verkrijgbaar. Ook voor de 2,3 GHz-band is LTE-apparatuur goed verkrijgbaar.

Voor de 3,3 – 3,4 GHz-band geldt dat dit veelal binnen het afstembereik van de bestaande 3,5 GHz-apparatuur valt.

Voor andere banden ligt de situatie anders. Enerzijds zou een camerapartij het liefst gebruik willen maken van generieke (4G/5G)-apparatuur, omdat dit op termijn de laagste prijzen oplevert. Anderzijds is deze apparatuur juist alleen beschikbaar voor de banden die (op termijn) typisch worden toegewezen aan mobiele netwerken.

2.5.3 Situatie per vergunninghouder

Zie Bijlage 1.

2.5.4 Kosten

Wanneer er geretuned kan worden zijn de kosten vrijwel identiek aan die voor migratieoplossing A.

Wanneer niet geretuned kan worden bestaan de kosten in deze oplossing hoofdzakelijk uit de aanschaf en vervanging van basisstations, CPE's (camera's) en overige (project)kosten.

In de meeste gevallen is het aantal sites beperkt. Daarnaast hoeft er geen gebruik te worden gemaakt van LTE/5G NR. We gaan ervan uit dat het ombouwen van een bestaande site naar een nieuwe op basis van sub-6 GHz fabrikant-specifieke technologie circa € 7.500,- kost per sector. Als de frequentie niet te sterk afwijkt van de huidige 3,5 GHz-frequentie, dan hoeven er geen of een zeer beperkt aantal sites te worden bijgeplaatst.

Een nieuwe camera kost (opgaaf vergunninghouders) circa € 2.000,- in aanschaf en minstens € 2.000,- voor installatie. We merken hierbij op dat het dan wel gaat om volledige vervanging – mogelijk hoeft alleen een modem(module) te worden vervangen.

Een factor die een rol speelt bij de cameranetwerken is dat er op de momenten dat de camera's niet beschikbaar zijn, op specifieke locaties een andere vorm van surveillance moet worden ingezet. De vergunninghouders hebben niet aangegeven om hoeveel locaties dit zou gaan en wat de kosten hiervan zouden zijn.

2.5.5 Conclusie

Een sub-6 GHz-oplossing is (afhankelijk van welke band het precies betreft) een geschikt alternatief voor cameranetwerken in de 3,5 GHz-band. Een voor de hand liggende keuze is de 4,9 GHz-band. De vergunninghouders geven aan daarbij behoefte te hebben aan zekerheid over de beschikbaarheid daarvan voor een langere termijn.

2.6 F. Niet-gesynchroniseerd in 3.400-3.450 / 3.750-3.800 MHz

Gebruik van de toekomstige 'zijbanden' in de 3,5 GHz-band is ook niet-gesynchroniseerd mogelijk wanneer het gebruik is beperkt tot 20 MHz en er voldoende afstand is tot andere netwerken. [1] De resterende 30 MHz in de band kan dan namelijk dienen als 'guard band' waardoor interferentie tussen naastgelegen kanalen (in dit geval met de MNO die het naastgelegen blok gebruikt) sterk wordt gereduceerd. In combinatie met lagere zendvermogens, het goed richten van de basisstations, en filtering in beide netwerken (op locaties waar de netwerken dicht bij elkaar komen) kan de wederzijdse interferentie tot een werkbaar niveau worden beperkt.

Een nadeel van deze oplossing (naast de noodzaak voor filtering en andere specifieke aanpassingen) is dat er binnen een relatief grote straal rond het niet-gesynchroniseerd gebruik (vergelijkbaar met de huidige hergebruiksafstand voor een blok) geen ander gebruik mogelijk is.

2.6.1 Voorwaarden

- De MNO's in de buurt gebruiken geen actieve antennesystemen (of er is softwarematig een oplossing om met capaciteitsverlies de actieve antenne te kunnen gebruiken). Filtering is namelijk niet (goed) toe te passen bij actieve antennesystemen. [1]

2.6.2 Beschikbaarheid van apparatuur

Niet van toepassing: in dit scenario wordt de bestaande apparatuur gebruikt zonder aanpassing. De benodigde filters zijn goed beschikbaar.

2.6.3 Kosten

De kosten van deze oplossing bestaan uit de kosten voor retuning (herconfiguratie) en het plaatsen van filters in de netwerken van de vergunninghouder en de MNO's met opstelpunten in de buurt.

We schatten de prijs van een filter (tussen de 1 en 4 filters nodig per antenne¹¹) op € 1.000,- en rekenen € 250,- voor installatie daarvan. MNO's hanteren typisch drie sectoren op een opstelpunt. Er zijn in Nederland (op dit moment) drie MNO's. Omdat de private netwerken veelal met lage vermogens zenden, zal de filtering binnen een beperkte straal moeten worden toegepast. Onder de aanname dat er zich per MNO drie opstelpunten binnen het bereik bevinden (waarvan één colocated met het private netwerk) betreft het 27 tot 108 filters, plus een filter per antenne in het private netwerk. Het is aannemelijk dat de operators minimaal 4x4 MIMO zullen inzetten – we rekenen dan ook met 4x4 MIMO.

Merk op dat de kosten voor de filters bij de MNO neerslaan – de hier berekende kosten betreffen dan ook de totale migratiekosten. In de praktijk is het denkbaar dat de filtering wordt verplicht in de vergunning voor het gebruik van de frequentie. De kosten voor de vergunninghouder zijn dan beperkt tot de herconfiguratie en het plaatsen van een filter per antenne.

2.6.4 Situatie per vergunninghouder

Zie Bijlage 1.

2.6.5 Conclusie

Niet-gesynchroniseerd gebruik lijkt vooral een kortetermijnoplossing voor één vergunninghouder. De (totale) kosten bedragen daar circa €145.000 waarvan circa €6.250,- neer zou slaan bij de vergunninghouder. Vervanging van de apparatuur door LTE is goedkoper, maar komt volledig voor rekening van de vergunninghouder. De oplossing leidt tot beperkte herbruikbaarheid van de frequentie in de omgeving (vergelijkbaar met de huidige situatie).

¹¹ Bij een MIMO-antenne is per antenne een filter nodig. Bij een 2x2 MIMO-site zijn er twee antennes, en dus twee filters nodig (bij 4x4 vier filters). Als de MNO een actief antennesysteem (AAS) gebruikt (bij hogere orde MIMO), dan is het plaatsen van filters zeer waarschijnlijk niet mogelijk.

Voor de andere vergunninghouders is deze oplossing niet aan de orde.

2.7 G: Migratie naar een (MNO-)dienst of vaste infrastructuur

Voor sommige vergunninghouders ligt een migratie naar een dienst (van een MNO) voor de hand. In andere gevallen ligt een overstap naar vaste infrastructuur voor de hand.

2.7.1 Voorwaarden

Mobiele dienst

De randvoorwaarde voor deze oplossing is dat (1) een MNO een dienst levert met de gewenste technische parameters. Parameters die voor de vergunninghouders relevant zijn, zijn (2) capaciteit (up- en downlink), (3) dekking, (4) betrouwbaarheid en (5) latency.

In de praktijk zien we dat hier in veel gevallen niet aan wordt voldaan:

1. De MNO wil de dienst niet leveren, bijvoorbeeld omdat deze een verkeerspatroon heeft dat sterk afwijkt van het reguliere patroon (bijvoorbeeld veel uplinkverkeer).¹²
2. Sommige use cases hebben een sterk afwijkend verkeerspatroon (zakelijke toepassingen vragen over het algemeen meer uplinkcapaciteit; cameranetwerken vragen vrijwel alleen uplinkverkeer).
3. De dekking is ontoereikend. Private netwerken worden zo ingericht dat ze precies het benodigde gebied afdekken (een industrieterrein, containerterminal, et cetera). Industriële toepassingen hebben daarbij te maken met 'lastige' radio-omgevingen (veel metaal). Op de Maasvlakte zien we dat op de containerterreinen een groot aantal sites geplaatst is, en de netwerken van de operators één of twee sites hebben.
4. Betrouwbaarheid. Sommige vergunninghouders hebben hun netwerken redundant ingericht (bijvoorbeeld met twee carriers van 20 MHz en een *single frequency network*, zodat uitval van één site kan worden opgevangen door andere). Zaken als noodstroomvoorziening (van de site, en achterliggende infrastructuur) en security zijn in een afgescheiden netwerk eenvoudiger te realiseren en te garanderen.
5. De latency van verkeer over een openbaar netwerk is hoger, omdat het verkeer via de core van de MNO moet lopen. Bij een privaat netwerk 'verlaat' dataverkeer het eigen terrein niet.

Vaste dienst

Voor het afnemen van vaste diensten bestaan grofweg de volgende opties:

- Een zakelijke glasvezelaansluiting afnemen bij een zakelijke aanbieder (zoals bijvoorbeeld Eurofiber). Deze partijen rekenen over het algemeen de aanlegkosten door aan de klant indien deze hoger zijn dan een bepaald bedrag.

¹² Merk hierbij op dat regels rondom netneutraliteit het exploiteren van dit soort diensten niet in de weg zouden staan. Netneutraliteit verbiedt de operator te differentiëren tussen gelijksoortige diensten (bijvoorbeeld twee videostreamingdiensten mogen niet ten opzichte van elkaar worden bevoordeeld), maar verbiedt de operator niet om een private zakelijke dienst aan te bieden waarbinnen verkeer wordt gedifferentieerd.

- Een zakelijke glasvezelaansluiting afnemen van aanbieders in verglaasd gebied. Steeds meer gebieden (woonwijken, maar ook industrie- en bedrijventerreinen) worden verglaasd door partijen als KPN en T-Mobile en lokale initiatiefnemers.
- Een zakelijke aansluiting via het kabelnetwerk van VodafoneZiggo. Deze is over het algemeen beschikbaar in bevolkingskernen. De maximaal verkrijgbare snelheden zijn lager dan die van (zakelijke) glasvezelaanbieders, met name de uploadsnelheid. De doorvoersnelheden van gebruikers in de 3,5 GHz-band zijn vaak in de ordegrrootte van 100-200 Mbit/s.
- Een zakelijke aansluiting via het kopernetwerk van KPN. Voor afgelegen adressen is de doorvoersnelheid vaak (en stabiliteit soms) een beperking.

2.7.2 Beschikbaarheid van apparatuur

De apparatuur die nodig is om te verbinden met een openbaar mobiel netwerk is haast per definitie goed beschikbaar, omdat altijd wordt meegelift op de 'massamarkt'. Tegelijkertijd ligt het tempo van vervanging wellicht hoger. Garanties ten aanzien van de ondersteuningstermijn van 'legacy'-technologieën worden over het algemeen niet afgegeven. Hoewel 2G en 3G nog vrij lange tijd na de introductie van 4G ondersteund worden, is het voor vergunninghouders geen prettig idee om niet te weten of en hoe lang apparatuur die vandaag wordt aangeschaft zal blijven werken.

2.7.3 Kosten

De kosten per GB aan dataverkeer (bulk) bedragen zo'n €0,75/GB. De verwachting is dat deze kosten dalen bij grotere volumes en naarmate de capaciteit op mobiele netwerken toeneemt.

2.7.4 Situatie per vergunninghouder

Zie Bijlage 1.

2.7.5 Conclusie

Voor de kleinere netwerken, met name de kleine FWA-aanbieders, ligt overstap naar een MNO-dienst voor de hand. De FWA-dienst is vaak al een tussenoplossing (omdat vaste infrastructuur niet beschikbaar is) en geen 'core business'.

Voor cameranetwerken geldt dat een MNO-dienst veelal duur is (er wordt veel data verstuurd over netwerken waarop ook commerciële tarieven gelden) en is soms contractueel niet toegestaan om openbare netwerken te gebruiken. Daarnaast speelt er onzekerheid over de beschikbaarheid van de MNO-dienst bij calamiteiten (bij welke de camera's uiteraard beschikbaar moeten blijven).

2.8 Conclusie

Tabel 1 geeft een overzicht van de geschatte kosten per categorie vergunninghouder, per oplossingsrichting. Het gaat hier om de directe kosten. Bij een economische waardering van de impact zou nog moeten worden gecorrigeerd voor (onder andere) afschrijving en restwaarde van huidige apparatuur en de toegevoegde waarde van de nieuwe investering, waardoor het bedrag anders kan uitvallen.

Tabel 1 Overzicht geschatte migratiekosten per netwerk en migratieoplossing

Netwerk	Toepassing	Bestaande LTE-apparatuur (synced) herbruikbaar in 3,5 GHz?	A (retune+sync 3,5 LTE)	B (3,8-4,2GHz 5G NR)	C (26 GHz 5G NR) - minimaal	D (vervanging sub-6-GHz OOV)	E (retune sub-6-GHz OOV)	F (retune+un synced 3,5 GHz)	Goedkoopste oplossingsrichting
1	Camera's (OOV)	Nee	€ 860.000	€ 1.035.000	€ 1.135.000	€ 782.500	€ 20.000		E (retune sub-6-GHz OOV)
2	Camera's (OOV)	Nee	€ 662.000	€ 857.000	€ 887.000	€ 652.000	€ 20.000		E (retune sub-6-GHz OOV)
3	Privaat	Ja	€ 220.000	€ 1.915.000					A (retune+sync 3,5 LTE)
4	Privaat	Ja	€ 120.000	€ 2.475.000					A (retune+sync 3,5 LTE)
5	FWA	Nee	€ 215.000	€ 525.000					A (retune+sync 3,5 LTE)
6	FWA, camera's (OOV)	Nee	€ 105.000	€ 272.500	€ 272.500	€ 60.000	€ 20.000		E (retune sub-6-GHz OOV)
7	Camera's (OOV)	Nee	€ 97.000	€ 264.500	€ 264.500	€ 59.500	€ 20.000		E (retune sub-6-GHz OOV)
8	Camera's (niet-OOV)	Nee	€ 112.500	€ 276.250	€ 276.250			€ 145.000	A (retune+sync 3,5 LTE)
9	FWA	Ja	€ 25.000	€ 5.502.500					A (retune+sync 3,5 LTE)
10	FWA	Ja	€ 10.000	€ 677.500					A (retune+sync 3,5 LTE)
11	FWA	Ja	€ 10.000	€ 470.000					A (retune+sync 3,5 LTE)
12	FWA	Ja	€ 10.000	€ 470.000					A (retune+sync 3,5 LTE)
13	FWA	Ja	€ 10.000	€ 470.000					A (retune+sync 3,5 LTE)
14	FWA	Ja	€ 3.500	€ 137.500	€ 137.500				A (retune+sync 3,5 LTE)
15	FWA	Ja	€ 3.500	€ 137.500	€ 137.500				A (retune+sync 3,5 LTE)
16	FWA	Ja	€ 3.500	€ 137.500	€ 137.500				A (retune+sync 3,5 LTE)
17	FWA	Ja	€ 3.500	€ 137.500	€ 137.500				A (retune+sync 3,5 LTE)
18	FWA	Ja	€ 3.500	€ 137.500	€ 137.500				A (retune+sync 3,5 LTE)
19	FWA	Ja	€ 3.500	€ 137.500	€ 137.500				A (retune+sync 3,5 LTE)
20	FWA	Ja	€ 3.500	€ 137.500	€ 137.500				A (retune+sync 3,5 LTE)
21	FWA	Ja	€ 3.500	€ 137.500	€ 137.500				A (retune+sync 3,5 LTE)

In bovenstaande tabel zijn in groen en lichtgeel de meest voor de hand liggende migratieoplossingen gemarkeerd. De groen gemarkeerde bedragen zijn steeds de goedkoopste migratieoplossing. Deze geven opgeteld de ondergrens voor de directe migratiekosten. De lichtgele cellen zijn de bedragen die worden gehanteerd voor de bovengrens van het voorkeursscenario. De oranje cellen duiden de duurste oplossingen aan, en geven een bovengrens voor de directe migratiekosten.

3 Conclusie

3.1 Beantwoording onderzoeksvraag

Wat zijn de totale kosten voor de huidige vergunninghouders in de 3,5 GHz band die dienen te migreren, uitgewerkt per migratie-optie?

Indien voor alle vergunninghouders de meest passende¹³ migratieoplossing mogelijk is, bedragen de directe migratiekosten (dat wil zeggen, zonder rekening te houden met andere kosten, zoals een verschil in economische waarde van het netwerk voor en na migratie) naar schatting tussen de € 0,9 miljoen en € 2,4 miljoen. Dit vereist wel dat voor OOV-cameranetwerken sub-6-GHz-spectrum (bij voorkeur de 4,9 GHz of 5,8 GHz-band) beschikbaar komt, en dat alle overige vergunninghouders in de 'nieuwe' 3,5 GHz-band kunnen worden geacommodeerd.¹⁴

Maatwerk per vergunninghouder is nodig (en mogelijk) om de kosten beheersbaar te houden. De directe migratiekosten zijn *maximaal* circa € 16,4 miljoen. Dit betreft het scenario waarin *alle* vergunninghouders moeten migreren naar een andere band en/of technologie op technisch meest ongunstige wijze. Dit speelt met name wanneer er geen sub-6 GHz-spectrum beschikbaar komt voor OOV-cameranetwerken en wanneer FWA-netwerken (met veel klantapparatuur) naar een andere band moeten migreren.

De kosten zouden in een periode van minimaal de (resterende) vergunningstermijn, en los daarvan in 10-15 jaar kunnen worden afgeschreven. De huidige apparatuur wordt maximaal vier jaar eerder afgeschreven. Bij een economische waardering van de impact zou nog moeten worden gecorrigeerd voor (onder andere) afschrijving en restwaarde van huidige apparatuur en de toegevoegde waarde van de nieuwe investering, waardoor het bedrag anders kan uitvallen.

Bij het maken van deze schattingen zijn aannames gemaakt. De belangrijkste onzekerheden zijn (1) ontwikkeling van de kosten van (5G-)apparatuur (met name de mobiele core) en projectkosten. De beschikbaarheid van apparatuur is mede bepalend voor het slagen van migratiescenario's naar 26 GHz en een sub-6 GHz-band.

Tabel 1 geeft een overzicht van de directe migratiekosten per vergunninghouder per migratieoplossing. De volgende oplossingsrichtingen zijn, gezien de migratiekosten, het meest voor de hand liggend (op volgorde van voorkeur):

- **A: Gesynchroniseerd LTE in 3.400 – 3.450 MHz en/of 3.750 – 3.800 MHz.** Voor partijen die al een LTE-netwerk gebruiken betreft het een relatief eenvoudige retuning. Voor anderen is vervanging van het huidige netwerk (op basis van fabrikant-specifieke technologie die niet kan synchroniseren met LTE/5G NR) door LTE of 5G NR noodzakelijk. Deze oplossing is veruit het goedkoopst voor partijen die actuele LTE-apparatuur hebben; hieronder vallen de FWA-aanbieders en de industriële gebruikers. LTE is daarbij op dit moment substantieel goedkoper dan 5G NR – over één a twee jaar kan dit echter veranderd zijn. LTE en 5G NR zijn echter nog substantieel duurder dan de eenvoudigere fabrikant-specifieke 'WISP'-oplossingen die nu veel

¹³ De oplossing met de kleinste impact op de netwerken (in de meeste gevallen tevens de goedkoopste)

¹⁴ Dit vereist een nadere radiotechnische analyse door Agentschap Telecom.

worden gebruikt. Andere opties zijn er voor deze partijen niet, buiten een overstap naar een MNO of vaste infrastructuur.

Een belangrijke aanname bij de *ondergrens* voor de kosten is dat de benodigde ruimte in de 'nieuwe' 3,5 GHz-band er is voor deze vergunninghouders om deze oplossingsrichting (A) te kunnen uitvoeren. Mocht de ruimte er niet zijn, dan kan dat betekenen dat een andere (vaak duurdere) oplossingsrichting moet worden gekozen.

- **D/E: Het gebruik van een sub-6- GHz-frequentie specifiek voor OOV-camera's.**¹⁵ Dit is voor cameranetwerken een aantrekkelijke oplossing, omdat (bij de juiste frequentie) gebruik kan worden gemaakt van relatief goedkope, fabrikant-specifieke apparatuur. Het betreft desondanks een vervanging van het gehele netwerk. Bij voorkeur wordt een band ingezet waarvoor apparatuur goed beschikbaar is: de 4,9 GHz- en 5,8 GHz-band hebben deze eigenschap, vanwege 'naastgelegen' vergunningvrije banden en het feit dat ze in andere landen worden ingezet voor cameratoepassingen. Niet-OOV-cameratoepassingen zijn (binnen deze groep vergunninghouders) kleinschalig en zijn te migreren op een van de andere genoemde manieren.
- **F: Niet-gesynchroniseerd in 3.400 – 3.450 MHz en/of 3.750 – 3.800 MHz.** Dit is een relatief goedkope (maar in onze ogen ook korte-termijn)oplossing voor netwerken die ver weg liggen van andere private gebruikers. Retuning en het plaatsen van filters (in de MNO-netwerken) is noodzakelijk. Deze oplossing lijkt bij slechts één vergunninghouder mogelijk.

Naast bovenstaande oplossingsrichtingen is gekeken naar migratie op basis van 5G NR in de 3,8 -4,2 GHz-band (B) of de 26 GHz-band (C). Alle oplossingen op basis van 5G kampen met zeer hoge kosten voor het realiseren van de mobile core die waarschijnlijk beperkt dalen voor 2022. Op langere termijn (voorbij 2022) is aansluiten bij het 5G-ecosysteem echter voor alle vergunninghouders waarschijnlijk aantrekkelijk.

De oplossing op basis van 26 GHz heeft te kampen met een beperkt bereik (het vereist in de praktijk line-of-sight tussen basisstation en terminal). Daar komt bij dat apparatuur nog beperkt beschikbaar is en er onzekerheid is over de toekomst van de band.

Een volledige overstap naar een dienst van een MNO ligt tot slot voor geen van de vergunninghouders voor de hand. De argumenten verschillen per groep:

- FWA-aanbieders: de totale gevraagde capaciteit is te groot, de MNO-dienst is gezien de volumes waarschijnlijk te duur, en de aanbieders bieden aan op gebieden waar de MNO's geen hoge capaciteiten aanbieden.
- Industriële gebruikers: betrouwbaarheid en beschikbaarheid van het netwerk in een 'lastige' radio-omgeving is onvoldoende bij een MNO-dienst.
- Cameranetwerken: camera's veroorzaken zeer veel uplinkverkeer; de MNO-netwerken bieden hiervoor onvoldoende capaciteit (zeker in de 3,5 GHz-band, waar naar verwachting een verhouding van 1:3 of 1:4 wordt gehanteerd). De kosten zijn daarnaast hoog gezien de datavolumes. Ook speelt onafhankelijkheid van publieke

¹⁵ Beschikbaarheid van deze banden is niet gegeven.

(gedeelde) infrastructuur een rol bij OOV-camera's (contracten verbieden het gebruik van MNO-netwerken).

Voor alle vergunninghouders geldt wel dat vervanging van enkele klanten/aansluitingen door een MNO-oplossing mogelijk is (zeker wanneer het alternatief zeer kostbaar zou zijn – het moeten bijbouwen van een site, bijvoorbeeld).

4 Verwijzingen

- [1] Dialogic, van der Vorst, T., en van Rees, J. (2019). *Technisch onderzoek synchronisatie 5G in de 3.400 – 3.800 MHz-band* Groningen: Agentschap Telecom.
- [2] DoubleRadius. <https://www.doubleradius.com/baicells-nova-233-gen-2-enodeb-outdoor-base-station> [www.doubleradius.com]
- [3] Telrad (2016). *New Concepts for BWA Networks* [www.telrad.com]
- [4] NEC (2019). *NEC develops mobile core solution for operating on Amazon Web Services* [www.nec.com] Tokyo,
- [5] Capestone (2020). *HUAWEI 5G CPE Pro H112-370 | 5G Router | WiFi 6* [www.capestone.nl]
- [6] Router-Switch.com (2020). *Huawei 5G CPE Pro H112-372* [www.router-switch.com]
- [7] Doubleradius (2020). *Baicells Atom OD06 3.5GHz 11dBi Outdoor CPE* [www.doubleradius.com]
- [8] Mobile World Live (2020). *5G FWA: Game Changer for Fixed Broadband* [www.mobileworldlive.com]
- [9] Europese Commissie (2019). *Commission Implementing Decision (EU) 2019/784 of 14 May 2019 on harmonisation of the 24,25-27,5 GHz frequency band for terrestrial systems capable of providing wireless broadband electronic communications services in the Union* [eur-lex.europa.eu] Brussels: Europese Commissie.
- [10] Dialogic, van der Vorst, T., Lelie, T., Veldman, J., Brennenraedts, R., en Smulders, P. (2018). *De behoefte aan spectrum voor specifieke, professionele breedbandige toepassingen* [www.dialogic.nl] Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- [11] Ubiquiti Networks (2020). *airFiber - Rain Fade Effects on AF24/24HD Links* [help.ui.com]
- [12] Shi, W. (2020). *Qualcomm and Ericsson claim 5G mmWave range record* [telecoms.com]
- [13] Shayea, I., Rahman, T.A., Azmi, M.H., en Islan, R. (2018). *Real Measurement Study for Rain Rate and Rain Attenuation Conducted Over 26 GHz Microwave 5G Link System in Malaysia* [eprints.utm.my]
- [14] KNMI. *Uitleg over regenintensiteit* [www.knmi.nl]
- [15] Wifishop.nl (2020). *Ubiquiti AirFiber AF-24 Duopack* [www.wifishop.nl]
- [16] Wifishop.nl (2020). *Mimosa B5-Lite* [www.wifishop.nl]
- [17] ECC/ERC (2019). *ERC Report 25. The European table of frequency allocations and applications in the frequency range 8.3 kHz to 3000 GHz (ECA table)* [docdb.cept.org]

- [18]Fierce Wireless (2020). *FCC votes to free up 4.9 GHz band for states despite public safety opposition* [www.fiercewireless.com]
- [19]CEPT (2019). *Report 296. National synchronization regulatory framework options in 3400-3800 MHz: a toolbox for coexistence of MFCNs in synchronised, unsynchronised and semi-synchronised operation in 3400-3800 MHz* [www.ecodocdb.dk] CEPT.
- [20]Buishand, A., en Wijngaard, J. (2008). *Statistiek van extreme neerslag voor het stedelijk waterbeheer* [edepot.wur.nl] de Bilt: KNMI.
- [21]Gemeente Amsterdam (2020). *Cameragebieden* [maps.amsterdam.nl]
- [22]Gemeente Amsterdam (2020). *Register slimme apparaten* [acc.slimmeapparaten.amsterdam.nl]
- [23]Ubiquiti. *airMax Sector. 2x2 MIMO BaseStation Sector Antenna*
- [24]Radwin. *RADWIN HPMP HBS 5B00 Series. Sector Base Station - Data Sheet (RW5000/HBS/5B00/F35/ETSI/JET/INT)*
- [25]Ceragon (2016). *FibeAir HPMP HBS 5B00. Sector Base Station - Data Sheet*

Voor de geografische analyses en kaarten is gebruik gemaakt van [luchtfoto's](#) en het [Actueel Hoogtebestand Nederland \(AHN3\)](#), onder CC-BY-licentie.

Bijlage 1. Situatie per vergunninghouder (bedrijfsvertrouwelijk)

Bijlage 2. Interviewrespondenten

Bijlage 3. Framestructuren

In een TDD-band zendt het netwerk en een terminal afwisselend in tijd in dezelfde frequentieruimte. Een framestructuur bepaalt hoe lang en wanneer beiden mogen zenden en wanneer de richting wisselt. Gesynchroniseerde netwerken doen dit op hetzelfde moment en hanteren daarom noodzakelijkerwijs ieder dezelfde of compatibele framestructuren.

Een framestructuur kent een bepaalde tijdsduur (uitgedrukt in milliseconden) en wordt continu herhaald. Binnen de tijdsduur van één frame zijn tijdsduren aangegeven voor *downlink* (netwerk-naar-terminal; "D"), *uplink* (terminal-naar-netwerk; "U") en *special* (vaak een in te stellen verhouding tussen up- en downlink, "S") aangegeven. Daartoe is het frame meestal opgedeeld in gelijke stukken. Met de genoemde letters kan de samenstelling van het frame vervolgens worden aangeduid. Frames zijn compatibel als zij op hetzelfde moment dezelfde richting voorschrijven. Een hypothetisch frame "DDU" is dus compatibel met een ander frame "DUDS" wanneer de lengte van beide gelijk is en de tweede structuur wordt gehanteerd met een faseverschil (vertraging) van een halve framelengte.

Niet alle framestructuren worden door alle technologieën ondersteund. Fabrikant-specifieke apparatuur kan vaak alleen met de eigen technologie (of slechts heel basaal met andere klokken) synchroniseren. 5G NR kent enkele framestructuren die compatibel zijn met LTE-framestructuren. De LTE-compatibele structuren kennen langere frames (dus hogere latency). De 5G-specifieke framestructuren zijn nodig om diensten met lage latency ('URLLC') te bieden. Tabel 2 geeft een overzicht van de verschillende framestructuren.

Tabel 2 Overzicht framestructuren voor synchronisatie

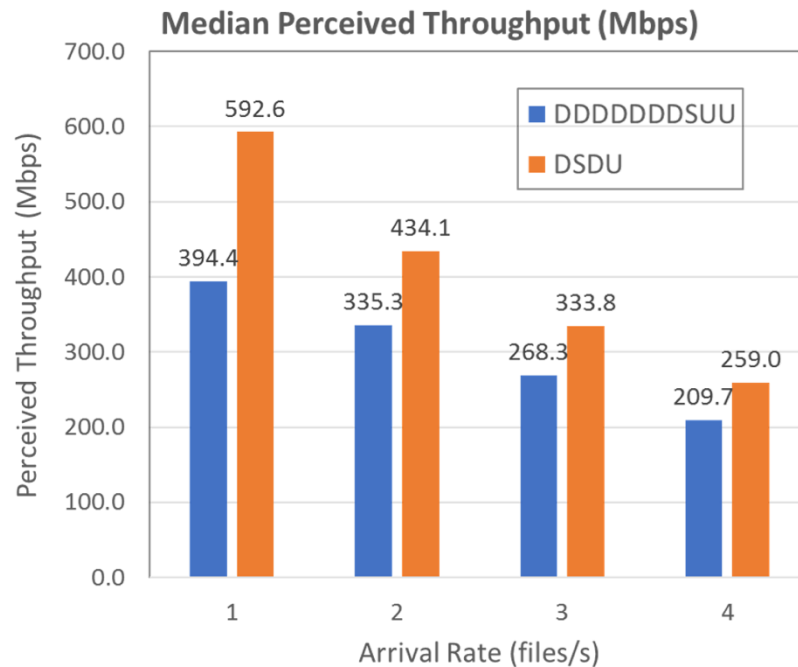
Frame-type	UL:DL	Latency	Compatible met
5G NR: DDDSU	~1:4	Laag	
5G NR: DDDDDDSUU	~1:4	Hoog	LTE: DSUDDDSUDD (=DDDSUDDDSU)
5G NR: DSDU	~1:3	Laagst	
LTE: DSUDDDSUDD (=DDDSUDDDSU)	~1:4	Hoog	5G NR: DDDDDDSUU

Een overzicht van de impact van de keuze van framestructuur op de latency bij 5G wordt gegeven in Tabel 3 hieronder.

Tabel 3 Invloed van framestructuur op latency bij 5G NR [19]

Slot / non-slot based scheduling	Latency		Frame structure (GP: 2 OFDM symbols)		
			DDDSU	DDDDDDDSUU	DSDU
2OS non-slot based scheduling	User plane latency (ms)	p=0	0.53	0.57	0.52
		p=0.1	0.71	0.88	0.63
	RTT (ms)		1.77	3.02	1.12
Slot-based scheduling	User plane latency (ms)	p=0	0.87	0.93	0.90
		p=0.1	1.07	1.25	1.04
	RTT (ms)		1.98	3.24	1.42

De keuze voor framestructuur heeft ook invloed op de gemiddelde doorvoersnelheid bij 5G NR. Het kiezen van een 5G-framestructuur biedt daarbij aanzienlijk hogere snelheden. Figuur 2 toont de verwachte verschillen.



Figuur 2 Invloed van framestructuurkeuze op de doorvoersnelheid. In blauw de LTE-compatibele framestructuur; in oranje de 5G NR-framestructuur [19]

Bij grotere cellen (bijvoorbeeld in rurale gebieden) is de afstand die het radiosignaal moet overbruggen groter. Daarom kan het tot slot nodig zijn meer tijd te nemen voor het wisselen tussen uplink en downlink (een hogere "guard time").

MNO's en lokale netwerken moeten met elkaar synchroniseren (ze maken immers gebruik van naastgelegen frequentieblokken) en zullen dus dezelfde framestructuur moeten hantieren. De voorkeur ten aanzien van de framestructuur die wordt gehanteerd verschilt tussen MNO's en lokale netwerken:

- We verwachten dat MNO's graag 5G NR-frames willen hanteren, vanwege de lagere latency, hogere efficiëntie, en het kunnen aanbieden van URLLC-diensten. Daarbij verwachten we dat de Nederlandse operators net als in het buitenland zullen gaan voor een op downlinkverkeer gerichte verhouding (1:3 of 1:4 UL:DL is gangbaar).

De MNO's zullen tot slot geen voorkeur hebben voor dynamische of gedeeltelijke synchronisatie totdat bewezen is dat de apparatuur dit goed ondersteunt.

- We verwachten dat private gebruikers die nu al een LTE-netwerk hebben een voorkeur zullen hebben voor LTE-compatibele synchronisatie. De bestaande LTE-apparatuur kan dan meestal worden hergebruikt. Er is echter geen LTE-compatibele 5G NR-framestructuur met een op uplinkverkeer gerichte verhouding, wat nodig kan zijn voor gebruikers die veel uplinkcapaciteit vragen (bijvoorbeeld cameranetwerken). Juist de private gebruikers zouden op de langere termijn (zodra 5G NR-apparatuur gemeengoed is geworden, een volwaardig alternatief vormt voor de huidige apparatuur, en het huidige netwerk/de huidige apparatuur aan vervanging toe is) kunnen profiteren van de hogere efficiëntie en lagere latency van 5G NR-frames.

Een mogelijkheid is dat de MNO's en lokale netwerken tot en met 2026 LTE-frames hanteren, en daarna overschakelen naar 5G NR-frames (voor nieuwe vergunningen wordt compatibiliteit met 5G-synchronisatie dan een verplichting). Als verderop blijkt dat veel vergunninghouders nu al nieuwe apparatuur zullen moeten aanschaffen, dan zou dit een reden kunnen zijn om direct te starten met 5G-frames.



Contact:

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

