



Onderzoek kavelgrootte veiling 3,5 GHz-vergunningen

In opdracht van:

Ministerie van Economische Zaken en
Klimaat

Project:

2019.170 v1.1.9

Datum:

Utrecht, 25 maart 2020

Auteurs:

ir. Tommy van der Vorst
ir. Jan van Rees
ir. Wazir Sahebali



Inhoudsopgave

1	Introductie	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Onderzoeksvragen	5
1.3	Methodologie	6
1.4	Onafhankelijkheid	7
1.5	Leeswijzer	7
2	Technische analyse	9
2.1	5G NR-standaard	9
2.2	Interferentie	15
2.3	Apparatuur	17
2.4	Harmonischen van 1.800 MHz	18
3	Economische analyse	21
3.1	Huidige situatie	21
3.2	De rol van de 3,5 GHz-band	22
3.3	Mogelijke impact op de marktverhoudingen	29
3.4	Directe waarde van 3,5 GHz-spectrum	31
3.5	Strategische waarde van 3,5 GHz-spectrum	33
4	Internationale vergelijking	36
4.1	Duitsland	37
4.2	België	37
4.3	Verenigd Koninkrijk	37
4.4	Frankrijk	38
4.5	Italië	38
4.6	Cyprus	38
4.7	Finland	38
4.8	Ierland	39
4.9	Zwitserland	39
4.10	Australië	39
5	Mogelijke kavelgroottes	45
5.1	Gelijke kavelgroottes	45
5.2	Ongelijke kavelgroottes	48
5.3	Overzicht	49
6	Conclusie	51
6.1	Beantwoording onderzoeksvragen	51
	Verwijzingen	53
	Bijlage 1. Overzicht interviewrespondenten	57

1 Introductie

Het ministerie van EZK is voornemens begin 2022 frequentieruimte in de 3,5 GHz-band te veilen voor gebruik door openbare mobiele communicatienetwerken. In aanloop naar deze veiling heeft het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) gevraagd om het voorliggende onderzoek uit te voeren naar de logische kavelgroottes voor de te veilen 300 MHz aan spectrum voor openbare netwerken.

1.1 Aanleiding

In totaal is EZK voornemens om 300 MHz binnen de 3,5 GHz-band te veilen voor openbare mobiele communicatienetwerken. Dit betreft de frequenties 3.450 MHz tot en met 3.750 MHz. Aan weerszijden van deze band komt in totaal nog eens 100 MHz¹ vrij ten behoeve van private mobiele netwerken. De volledige 300 MHz zal per 1 september 2022 vrij komen.

Mobiele operators hebben vermoedelijk grote interesse in spectrum in de 3,5 GHz-band, omdat zij daarin 5G kunnen inzetten. Ook in lagere banden (waaronder de frequenties die te verkrijgen zijn tijdens de aanstaande multibandveiling) kunnen zij 5G reeds inzetten. De 3,5 GHz-band is echter de eerste (en een van de weinige) banden die onder de 6 GHz ligt, en waarin relatief veel ruimte beschikbaar zal komen. De inzet van 5G in deze frequentieruimte kan de capaciteit van de netwerken van de mobiele operators aanzienlijk vergroten, in eerste instantie op basis van bestaande opstelpunten, waardoor deze operators in de groeiende vraag naar mobiele data kunnen voorzien. Naast de huidige landelijke mobiele operators (KPN, T-Mobile en Vodafone) is het ook mogelijk dat er interesse is vanuit andere partijen voor het verkrijgen van spectrum, om een eigen netwerk uit te rollen of om spectrum te delen tussen partijen.

Voordat de veiling kan plaatsvinden laat EZK onderzoeken uitvoeren naar de grootte van de te veilen kavels, de te hanteren reserveprijs (minimumprijs per kavel), , en het te hanteren veilingmodel. Het voorliggende onderzoek adresseert het eerste, en analyseert verschillende scenario's en afwegingen af om tot een logische grootte van de te veilen kavels te komen.

1.2 Onderzoeksvragen

De vraag die in dit onderzoek centraal staat, is de volgende:

Wat is de logische grootte van de te veilen kavels in de 3,5 GHz-band, opdat vergunninghouders op een zo efficiënt mogelijke wijze mobiele diensten kunnen gaan aanbieden?

In de beantwoording van de vraag wordt gekeken naar (ten minste) de volgende aspecten:

1. Technische mogelijkheden en beperkingen (o.a. guard bands en plaatsing binnen de band).
2. Economische waarde van de kavels en de invloed van schaalvoordelen en de minimale grootte die partijen zouden willen verwerven in de band.
3. De invloed van gebruikstoepassingen en de eventuele wens/noodzaak om te differentiëren in kavelgroottes.

¹ 50 MHz boven de band voor openbare mobiele communicatienetwerken en 50 MHz eronder.

4. De limiet ten aanzien van de maximumhoeveelheid spectrum die een partij per band kan verkrijgen ('spectrumcap' zoals bepaald in de Nota Mobiele Communicatie 2019).
5. Relevante Europese kaders, specifiek het Uitvoeringsbesluit (EU) 2019/235 van de Commissie van 24 januari 2019 tot wijziging van Beschikking 2008/411/EG wat betreft een actualisering van relevante technische voorwaarden voor de 3.400 – 3.800 MHz-frequentieband. (Europese Commissie, 2019) Daarin is aangegeven dat de frequentieruimte in veelvouden van 5 MHz wordt verdeeld.

1.3 Methodologie

In het onderzoek besteden we allereerst aandacht aan de relevante technische randvoorwaarden. Het ligt zeer voor de hand dat partijen die spectrum in de 3,5 GHz-band verkrijgen hierin gebruik zullen gaan maken van 5G NR ('new radio'). Deze standaard(familie) is de 5G-opvolger van de op dit moment veelgebruikte LTE-standaard voor 4G, en komt uit de koker van 3GPP. De 5G NR-standaard definieert onder andere specifieke banden, indelingen en carrier bandbreedte. Buiten de 5G NR-standaard onderzoeken we (op basis van literatuurstudie) eventuele andere technische randvoorwaarden die spelen, zoals synchronisatie, guard bands en eventuele verschillen *binnen* het te veilen spectrumdeel.

In dit technische deel van het onderzoek beroepen we ons met name op documenten uit de betreffende standaarden (3GPP 5G NR en LTE). Daarnaast spreken we met vendors om inzicht te krijgen in de roadmaps voor 5G-apparatuur (het spectrum zal immers pas over enkele jaren beschikbaar komen, en het is aannemelijk dat 5G-technologie dan verder zal zijn geëvolueerd). Technische randvoorwaarden worden getoetst in gesprekken met de vendors en operators.

Op basis van het technische fundament voeren we vervolgens een economische analyse uit. Allereerst schetsen we de huidige situatie in het Nederlandse landschap van mobiele communicatie op hoofdlijnen (aantal operators, hoeveelheid spectrum en verdeling daarvan over partijen). Vervolgens kijken we naar de *toepassingen* waarvoor het 3,5 GHz-spectrum mogelijk kan worden ingezet. Op basis van deze informatie maken we (kwantitatief en kwalitatief) een inschatting van de waarde die verschillende hoeveelheden spectrum heeft voor een operator, gelet op de eigen inzet. Daarbij kijken we onder andere naar de hoeveelheid capaciteit die met spectrum in de 3,5 GHz-band aanvullend kan worden gerealiseerd, en hoe dit zich verhoudt tot andere manieren om die capaciteit te realiseren (het bijplaatsen van sites en/of het gebruik van efficiëntere technologie). Vervolgens bepalen we een *strategische* waarde voor de operator: wat is het een operator waard om spectrum te verkrijgen ten faveure van een concurrerende operator?

In dit economische deel maken we gebruik van kwantitatieve analyse. Op basis van gegevens over de aan verschillende partijen toegewezen hoeveelheden spectrum en informatie over de plaatsing van antennes modelleren we de impact van het eventueel toegevoegde 3,5 GHz-spectrum. In gesprekken met de operators (en, secundair, de vendors) hebben we vervolgens deze argumenten getoetst en nieuwe argumenten opgehaald.

Zowel de technische analyse als economische analyse besluiten we met een overzicht van argumenten die een bepaalde (set van) kavelgrootte(s) onderbouwt.

In een laatste analyse kijken we naar de veiling van 3,5 GHz-spectrum in andere landen. We toetsen hier de argumenten die we eerder hebben gevonden. Uiteindelijk leiden de analyses tot een aanbeveling ten aanzien van de te hanteren kavelgrootte(s) en eventuele andere aspecten van de veiling.

In het onderzoek hebben we gesprekken gevoerd met de drie huidige mobiele operators in Nederland (KPN, T-Mobile en Vodafone) en de drie belangrijkste vendors (Ericsson, Nokia en Huawei). Een dergelijke inventarisatie is niet uitputtend. Partijen als nieuwkomers zullen wellicht bewust 'onder de radar' blijven tot de veiling is afgelopen. Daarom hebben we ons voor die groep met name moeten baseren op verwachte use cases voor nieuwkomers en modellering van een toetreder.

1.4 Onafhankelijkheid

Dialogic heeft geen belang bij de uitkomst van dit onderzoek. Dialogic voert tijdens de uitvoering van dit onderzoek, en tot de afronding van de 3,5 GHz-veiling, geen opdrachten uit voor telecomoperators of -vendors op het thema spectrumveiling of de 3,5 GHz-band.

Bijdragen vanuit de sector zijn door Dialogic steeds gewogen en waar mogelijk gecontroleerd. In enkele gevallen wordt verwezen naar rapporten die zijn opgesteld in opdracht van de telecomsector. Een dergelijke verwijzing betekent niet dat Dialogic de rapporten onderschrijft.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 gaan we allereerst in op de technische aspecten van de 3,5 GHz-band, zoals de 3GPP standaard, en hoe dit in relatie staat tot de kavelgrootte. Daarna volgt een economische analyse (hoofdstuk 3) waarbinnen de rol van de 3,5 GHz-band en de waarde van het spectrum voor marktpartijen wordt behandeld. Hoofdstuk 4 gaat in op de veiling van de band in andere landen en wat voor een rol de daar ingezette kavelgroottes hebben gespeeld. Dit wordt opgevolgd door een analyse van de mogelijke kavelgroottes in de Nederlandse veiling. Aan de hand van alle voorgaande hoofdstukken wordt er in hoofdstuk 6 een antwoord gegeven op de onderzoeksvragen.

2 Technische analyse

In dit hoofdstuk kijken we naar de verschillende technische aspecten die van invloed kunnen zijn op de kavelgrootte. We kijken hierbij vooral naar technische factoren die bepaalde hoeveelheden spectrum lastiger of niet volledig inzetbaar zouden maken voor een operator.

2.1 5G NR-standaard

Op dit moment maken de Nederlandse operators van publieke mobiele netwerken gebruik van de LTE-standaard om 4G aan te bieden. Hoewel het mogelijk is om LTE in te zetten in de 3,5 GHz-band ligt het voor de hand dat operators hiervoor 5G NR als radioprotocol gaan gebruiken. 5G NR is de door 3GPP gestandaardiseerde opvolger van het LTE-radioprotocol, en is noodzakelijk om 5G te kunnen bieden. De NR-standaard (TS Series 38 (3GPP, 2020)) maakt onder andere hogere capaciteit mogelijk (door ondersteuning van bredere carriers en hogere efficiëntie) en kan een lagere *latency* bieden.

Een 5G NR *carrier* kan door operators in eerste instantie worden toegevoegd aan de huidige set van 4G LTE-carriers om extra capaciteit te realiseren (*non-standalone*, vaak aangeduid als 'NSA'). 5G-handsets zullen deze extra carrier automatisch gebruiken waar en wanneer deze nodig en beschikbaar is. Een operator kan er later voor kiezen om ook de kern van het netwerk op te waarderen naar een 5G-kern, waarna sprake is van een *standalone*-opstelling (vaak aangeduid als '5G SA').

De 5G NR-standaard beschrijft een aantal randvoorwaarden waaraan moet worden voldaan om 5G NR te laten werken. Deze technische randvoorwaarden kunnen van invloed zijn op de keuze voor een bepaalde kavelgrootte in de 3,5 GHz-band en de strategie van operators in de veiling. In dit hoofdstuk gaan we in op deze randvoorwaarden.

2.1.1 Bandplannen

De 3GPP-standaard definieert een bandplan met banden die apparatuur aan netwerk- en gebruikerszijde kunnen ondersteunen. In Nederland is ervoor gekozen om het spectrum tussen 3.450 MHz en 3.750 MHz te veilen voor openbare mobiele communicatie. Deze band valt binnen 3GPP-bandplan n77 en n78 (Tabel 1 toont het relevante deel van de standaard).

Tabel 1. 3GPP 5G NR bandplan (3GPP, 2020)

Band-naam	Frequentiebereik uplink	Frequentiebereik downlink	Duplex mode
n77	3.300 MHz – 4.200 MHz	3.300 MHz – 4.200 MHz	TDD
n78	3.300 MHz – 3.800 MHz	3.300 MHz – 3.800 MHz	TDD

Ten aanzien van kavelgrootte heeft de geldende bandindeling nauwelijks consequenties. Zowel band n77 als n78 bedekken het volledige in Nederland geveilde bereik. Dat betekent dat apparatuur die één van beide banden ondersteunt altijd kan worden gebruikt op netwerken

in het Nederlandse 3,5 GHz-spectrum, ongeacht de precieze plaatsing van het netwerk in dat spectrum.²

Relevant is wel dat in deze banden uitsluitend gebruik kan worden gemaakt van TDD (*Time Division Duplex*). Hierbij wordt afwisselend door het netwerk en de gebruiker gezonden in hetzelfde deel van het spectrum. In 4G-netwerken in Nederland is FDD (*Frequency Division Multiplex*) gangbaar – daarbij zenden netwerk en gebruiker ieder in hun eigen deel van het spectrum. Het toepassen van TDD heeft enkele consequenties als het gaat om interferentie (zie verderop).³

2.1.2 Ondersteunde carrierbreedtes

In een mobiel netwerk wordt gecommuniceerd op basis van *carriers* – radiosignalen die een bepaalde hoeveelheid frequentieruimte in beslag nemen. Zo is een typische LTE-carrier in Nederland 10, 15 of 20 MHz breed. De mogelijke breedtes zijn gedefinieerd in de standaard. Bij het definiëren van de kavelgrootte ligt het voor de hand om hier rekening mee te houden, om te voorkomen dat operators die spectrum verwerven met een hoeveelheid eindigen die niet volledig te vullen is met carriers. Tabel 2 geeft een overzicht van de carrierbreedtes die gedefinieerd zijn in de meest recente 3GPP-standaard voor banden n77 en n78.

Tabel 2. Mogelijke carrierbreedtes in band n77 en n78 van de 5G NR-standaard, basisstation, Release 16 (3GPP, 2020)

NR-band	SCS ⁴ (kHz)	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	70 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
n77	15		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes					
	30		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	60		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
n78	15		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes					
	30		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	60		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

² Actieve antennesystemen gebruiken een (soms groot) aantal antenne-elementen. De onderlinge afstand tussen deze elementen is afgestemd op de golflengte. Doordat een dergelijke 'array' specifiek voor een bepaald frequentiebereik is ontworpen is er minder flexibiliteit ten aanzien van de gebruikte frequentie dan bij niet-actieve antennesystemen. Desondanks geven de vendors aan dat het bereik van de betreffende apparatuur de gehele of grote delen van de Nederlandse 3,5 GHz-band bedekt.

³ Er zijn verschillende redenen waarom in de 3,5 GHz-band gekozen is voor TDD. Allereerst speelt de bestaande/historische bestemming van de band een rol. Daarnaast maakt TDD het implementeren van hogere-orde MIMO-technologie (waarbij meerdere antennes worden gebruikt om met meerdere propagatiepaden tussen netwerk en gebruiker een hogere nettocapaciteit te verkrijgen).

⁴ SCS staat voor *Sub-Carrier Spacing* en is een door de operator te kiezen parameter die bepaalt hoe breed de tussenruimte is tussen sub-carriers in een OFDM-signaal (zoals een 5G NR-carrier). Een radiosignaal volgt (met name in omgevingen met veel obstakels, zoals gebouwen) vaak meerdere paden. Wanneer de ontvanger ten opzichte van de zender beweegt verschuift de frequentie zoals gezien door de ontvanger als gevolg van het Dopplereffect. Dit Dopplereffect kan verschillen in omvang tussen de verschillende paden die een signaal volgt. Als de *sub-carrier spacing* klein is, is de kans groter dat twee *sub-carriers* elkaar in een multipath-situatie storen als gevolg van het Dopplereffect. Bij een hogere *spacing* is die kans kleiner, maar gaat meer spectrum verloren aan tussenruimte.

De minimumgrootte voor een 5G NR-carrier is, ingevolge de geldende standaard, 10 MHz. Grotere carriers zijn mogelijk, in veelvoud van 10 MHz, met een maximum van 100 MHz. Gegeven deze groottes zou een kavelgrootte van 10 MHz voor de hand liggen. In aanvulling zijn echter ook 15 MHz en 25 MHz als geldige breedte gedefinieerd.⁵ Een kavelgrootte van 5 MHz (met een minimumhoeveelheid te verkrijgen spectrum van 10 MHz) zou dan ook een keuze kunnen zijn. Het economische argument hierbij is dat partijen de te verwerven hoeveelheid spectrum preciezer kunnen afstemmen met de eigen situatie (een partij met een iets groter aantal sites zou kunnen inzetten op 5 MHz minder spectrum, als de stap naar 10 MHz minder spectrum wellicht te groot is).

Merk op dat de meest recente versie van de 3GPP-standaard, waar bovenstaande uit afkomstig is (Release 16), nog niet formeel uitgebracht is. Dit zal naar verwachting halverwege 2020 gebeuren. (3GPP, 2020) In de al wel uitgebrachte Release 15 is de carrierbreedte 90 MHz als optioneel gedefinieerd, en is de breedte 70 MHz niet gedefinieerd. Operators die deze bandbreedtes wensen te gebruiken zullen dan ook moeten opwaarderen naar Release 16.

De maximumbreedte van een 5G NR-carrier in de 3,5 GHz-band is op dit moment 100 MHz. Een operator heeft desondanks enkele mogelijkheden om spectrum groter dan 100 MHz in te zetten:

- Carrieraggregatie van meerdere 5G NR-carriers;
- Het inzetten van een separate 5G NR of LTE-carrier, voor (bijvoorbeeld) een specifieke groep klanten.
- Het splitsen van het spectrum, waarbij een deel wordt gebruikt voor het macronetwerk en een deel voor small cells. Dit is vooral vanuit optiek van radioplanning 'prettig', maar lijkt niet te leiden tot efficiënte inzet van het spectrum.

Voor geen enkele band onder de 6 GHz (FR1) zijn op dit moment carriers breder dan 100 MHz gestandaardiseerd. In de mmWave-banden (FR2) zijn wél bredere carriers gedefinieerd, momenteel tot 400 MHz. Hoewel het mogelijk is verwachten we niet dat bredere carriers ook onder de 6 GHz gestandaardiseerd zullen worden, omdat daar (zie verderop) carrieraggregatie reeds gestandaardiseerd is (zowel binnen als tussen de banden), en een goede oplossing is in de meeste scenario's.

⁵ Waarom specifiek deze groottes wél gedefinieerd zijn en andere veelvoud van 5 niet, is niet bekend. Het ligt voor de hand dat er voldoende grote markten zijn waar een dergelijke hoeveelheid spectrum beschikbaar is gekomen in de 3,5 GHz-band.

Implicaties voor kavelgrootte

- De minimale carrier bandbreedte voor 5G NR op basis van de huidige standaarden is 10 MHz. Een uitkomst waarbij een operator slechts 5 MHz verkrijgt in de veiling is daarmee onwenselijk. Er zou in de veiling een minimum van 10 MHz verkregen spectrum kunnen worden gesteld.
- Alle 5G NR carrier bandbreedtes zijn een veelvoud van 10 MHz, behalve de breedtes 15 MHz en 25 MHz. Alleen als deze carrierbreedtes gevraagd worden door netwerkkoperators (al dan niet in aggregatie met een andere carrier) is het zinvol om een kavelgrootte van 5 MHz te hanteren.
- Een kavelgrootte hoger dan 10 MHz ligt niet voor de hand, omdat het de keuzevrijheid beperkt (bij 20 MHz zouden 30, 50, 70, 90 MHz niet mogelijk zijn). Wanneer een minimumhoeveelheid verkregen spectrum gewenst is zou dit eventueel expliciet kunnen worden gedefinieerd, en niet door middel van een hogere kavelgrootte.
- De maximale breedte van een 5G NR-carrier is 100 MHz. Een *kavelgrootte* van meer dan 100 MHz impliceert dat er meerdere carriers ingezet moeten worden op basis van carrieraggregatie. De spectrale efficiëntie van carriers kleiner dan 100 MHz ligt lager ten opzichte van die van 100 MHz.

2.1.3 Carrieraggregatie

Middels carrieraggregatie kunnen meerdere carriers gecombineerd worden. Dit kan van belang zijn als een operator kavels heeft verworven die niet naast elkaar liggen of als een operator een kavel heeft verworven die in grootte afwijkt van de in de standaard gedefinieerde carrierbreedtes (bijvoorbeeld een kavel groter dan de maximumcarrierbreedte van 100 MHz). Carrieraggregatie is in de standaard voor 5G NR reeds gedefinieerd binnen de relevante banden (3GPP, 2020), zowel binnen eenzelfde band ("intra-band band", zowel aansluitend als niet-aansluitend spectrum) als buiten de band ("interband"). Niet alle combinaties zijn echter op dit moment mogelijk volgens de standaard. Mogelijke combinaties zijn gegeven in onderstaande Tabel 3 (intra-band aaneengesloten), Tabel 4 (intra-band niet-aaneengesloten) en Tabel 5 (inter-band).

Tabel 3 Mogelijkheden voor carrieraggregatie volgens de 5G NR-standaard Release 16 (intra-band, aaneengesloten spectrum) (3GPP, 2020), uitsnede Dialogic.

Naam configuratie in 5G NR-standaard	Mogelijke combinaties van carriers	Maximale hoeveelheid geaggregeerd spectrum
CA_n77C	50 + (60, 80, 100) MHz	200 MHz
CA_n78C	60 + (60, 80, 100) MHz	
CA_n79C	80 + (80, 100) MHz	
	100 + 100 MHz	
CA_n78B	20 + 50 MHz	70 MHz

Tabel 4 Mogelijkheden voor carrieraggregatie volgens de 5G NR-standaard Release 16 (intra-band, niet-aaneengesloten spectrum) (3GPP, 2020), uitsnede Dialogic.

Naam configuratie in 5G NR-standaard	Mogelijke combinaties van carriers	Maximale hoeveelheid geaggregeerd spectrum
CA_n77(2A)	(20, 40, 80, 100) + (20, 40, 80, 100) MHz	200 MHz
CA_n78(2A) bandwidth combination set 0	(10, 20, 40, 50, 60, 80, 90, 100) + (10, 20, 40, 50, 60, 80, 90, 100) MHz	200 MHz
CA_n78(2A) bandwidth combination set 1	(10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 90, 100) + (10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 90, 100) MHz	200 MHz

Met de meeste gangbare hoeveelheden spectrum kan volgens de standaard (Release 16) tot maximaal 200 MHz aaneengesloten (intra band)-spectrum worden geaggregeerd. De 15 MHz-breedte kan in de huidige versie niet worden gebruikt voor aggregatie; de 25 MHz-breedte kan alleen in niet-aaneengesloten situaties worden geaggregeerd. Merk verder op dat voor intra-band aaneengesloten aggregatie weliswaar tot 110 of 120 MHz spectrum kan worden geaggregeerd, maar dat dit dan wel alleen kan met twee carriers van 50+60 MHz (110 MHz) en 2x60 MHz (120 MHz). Opvallend is tot slot dat de 70 MHz-bandbreedtevariant ontbreekt – mogelijk komt dit doordat de breedte pas onlangs in de standaard is verschenen, en wordt deze nog voor het vrijgeven van Release 16 toegevoegd.

Tabel 5 Mogelijkheden voor inter-band carrieraggregatie bij vier banden 5G NR, Release 16 (3GPP, 2020), uitsnede Dialogic.

Configuratienaam 5G NR	Combineerbare carrierbreedtes											
	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
CA_n1A-n3a-n8a-n78A ⁶	Ja	Ja	Ja	Ja			Ja	Ja	Ja	Ja	Ja ⁷	Ja
CA_n1A-n3A-n27A-n78A ⁸		Ja	Ja	Ja			Ja	Ja	Ja	Ja	Ja ⁹	Ja

⁶ Aggregatie met 60, 80, 90 en 100 MHz is alleen gedefinieerd bij een sub-carrierspacing van 30 of 60 kHz (en niet bij 15 kHz).

⁷ Optioneel in Release 16.

⁸ Aggregatie met 60, 80, 90 en 100 MHz is alleen gedefinieerd bij een sub-carrierspacing van 30 of 60 kHz (en niet bij 15 kHz).

⁹ Optioneel in Release 16.

Kijken we naar inter-band aggregatie (Tabel 5) dan zien we dat allerlei combinaties tussen 3,5 GHz-carriers en carriers in andere banden mogelijk is. Een operator kan in de regel 5, 10, 15 of 20 MHz in een andere band combineren met 40, 50, 60, 80, 90 of 100 MHz in de 3,5 GHz-band. Ook hier ontbreekt (naar verwachting voorlopig) de 70 MHz-breedte.

Hoewel we het aannemelijk achten dat in de toekomst nieuwe combinaties mogelijk zullen worden, zal het feit of een combinatie gedefinieerd is meespelen in de strategiebepaling van operators.

Implicaties voor kavelgrootte

- Hoewel carriers groter dan 100 MHz niet zijn gedefinieerd, kunnen operators in theorie 110 of 120 MHz spectrum inzetten door carriers van 50 of 60 MHz te aggregeren. De efficiëntie ligt bij aggregatie van twee of meer carriers iets lager ten opzichte van een enkele carrier.
- De carrierbreedtes 15 MHz en 25 MHz zijn zeer beperkt aggregaerbaar. Alleen als 15 MHz en 25 MHz op zichzelf gewenst zijn als mogelijke uitkomsten van de veiling zou een kavelgrootte van 5 MHz gehanteerd moeten worden; in alle andere gevallen ligt 10 MHz meer voor de hand.

2.1.4 Efficiëntie

Naast de beperkte mogelijkheden voor smallere bandbreedtes binnen de standaard leveren smallere kanalen ook minder op. Bredere kanalen hebben effectief meer *resource blocks* en daarmee in principe hogere capaciteit (Tabel 6). Zo heeft een 100 MHz-carrier met 30 kHz sub-carrier spacing 2,6% meer resource blocks beschikbaar dan twee 50 MHz-carriers. Dit loopt op tot 7,1% meer resource blocks in één 100 MHz-carrier dan in vijf 20 MHz-carriers. De relatie is niet lineair, omdat er in een carrier ook enige overhead speelt.

Tabel 6 Bandbreedte configuratie N_{RB} voor FR1 (3GPP, 2020)

SCS (kHz)	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	70 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}
15	25	52	79	106	133	160	216	270	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
30	11	24	38	51	65	78	106	133	162	189	217	245	273
60	N/A	11	18	24	31	38	51	65	79	93	107	121	135

De hoeveelheid resource blocks is direct van invloed op de maximale doorvoersnelheid die kan worden behaald. Dit betreft echter een ideaal scenario. In de praktijk kijken operators eerder naar de *gemiddelde doorvoersnelheid*: de doorvoersnelheid die kan worden behaald in situaties waarin zich meerdere eindgebruikers in de cel bevinden met een niet allemaal even goed signaal. De relatie tussen carrierbreedte en deze gemiddelde doorvoersnelheid is nog minder lineair: grotere carrier bandbreedtes kennen relatief veel hogere gemiddelde doorvoersnelheid.

Tabel 7 toont de resultaten van simulaties uit een rapport van GSA (telecomsector) die dit fenomeen tonen. De onderliggende analyse, data en aannames zijn niet verder gespecificeerd. Hoewel we de hier getoonde cijfers niet kunnen onderschrijven achten we het wel zeer aannemelijk dat er een niet-lineaire relatie geldt tussen de gemiddelde- en 5^{de}-percentielsnelheden en de kanaalbreedte.

Tabel 7 Theoretische snelheden bij verschillende carrierbreedtes (uit simulatie GSA) (GSA, 2020)

RF Channel Bandwidth	Peak data rates (single user in a cell)	Average data rates	5th percentile data rates
40 MHz	1.2 Gbps	0.1312 Gbps	9 Mbps
100 MHz	3 Gbps	0.78 Gbps	22.5 Mbps

Een ander effect waarmee rekening zou moeten worden gehouden is de afweging tussen latency en capaciteit en betrouwbaarheid en capaciteit. Om de latency te verkleinen kan er bijvoorbeeld voor worden gekozen om vaker datapakketten te 'bevestigen'. Dit verlaagt echter de totale capaciteit. Eenzelfde afweging speelt voor betrouwbaarheid: meer frequente hertransmissie van data betekent een lagere totale capaciteit. Bij een hogere carrierbreedte is het effect hiervan echter veel beperkter dan bij kleinere carrierbreedtes, zo beargumenteert GSA. (GSA, 2020)

Een laatste punt is dat, volgens de standaard, voor bepaalde carrier bandbreedtes geldt dat het in de standaard gestelde doel van 90% efficiënt spectrumgebruik niet kan worden gehaald; er is bij deze breedtes dus relatief veel overhead (in Release 16 geldt dit voor 10, 15, 20, 25 MHz (3GPP, 2020)). Deze overhead ontstaat uit zaken als signaleringskanalen en foutcorrectie.

Implicaties voor kavelgrootte

- Bredere carriers zijn efficiënter. De kavelgrootte zou hoge carrierbreedtes als uitkomst mogelijk moeten maken. Het spectrum dat een operator verkrijgt zou aaneengesloten moeten zijn om de hoogst mogelijke efficiëntie gegeven de verkregen hoeveelheid spectrum te behalen.

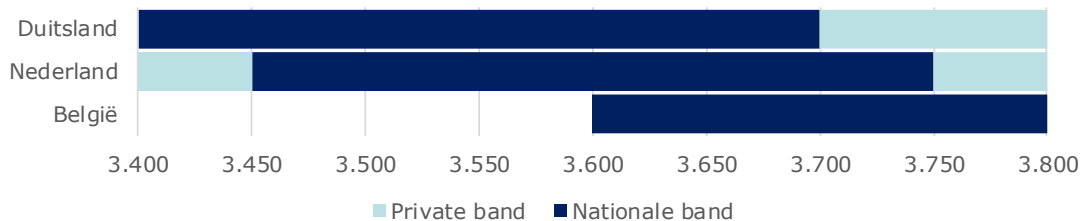
2.2 Interferentie

Als gevolg van fysische verschijnselen zal een radiozender, naast vermogen in de eigen frequentieband, ook altijd enig vermogen in naastgelegen spectrum uitzenden. Dergelijke signalen kunnen naastgelegen gebruikers storen. Voor radio-ontvangers geldt hetzelfde. Die zijn gedeeltelijk gevoelig voor signalen buiten de ingestelde bandbreedte. Wanneer door verschillende gebruikers spectrum wordt gebruikt dat (qua frequentie of locatie) 'naast' elkaar ligt, dient dan ook aandacht te worden besteed aan interferentie.

De 5G NR- (en overigens ook LTE-)standaard bepaalt dat 5G NR- en LTE-carriers in principe direct 'naast elkaar' geplaatst kunnen worden. Een carrier is bij beide technologieën opgebouwd uit een groot aantal subcarriers. Per carrier kan (dynamisch of statisch) een afweging worden gemaakt tussen doorvoercapaciteit en de gevoeligheid voor storing van buitenaf. In de praktijk zullen subcarriers aan de randen van een carrier zodanig worden ingeregeld dat zij bruikbaar zijn gegeven het geldende interferentieniveau. In feite bevat een 5G- en LTE-carrier op deze manier dus een eigen 'guard band'.

Omdat in de 3,5 GHz-band uitsluitend gebruik wordt gemaakt van TDD kan desondanks interferentie ontstaan wanneer (geografisch of in frequentieruimte) naastgelegen TDD-netwerken niet zijn gesynchroniseerd. Terwijl het ene netwerk bijvoorbeeld aan het 'luisteren' is naar een zwak signaal van een eindgebruiker zou dit signaal tegelijkertijd kunnen worden overstemd door dat van een ander netwerk, waarbij toevallig het basisstation op hoog vermogen aan het zenden is.

Eerder onderzoek van Dialogic in opdracht van Agentschap Telecom wees uit dat synchronisatie tussen de netwerken een effectieve en haalbare oplossing is. (Dialogic, 2019) Daarbij wordt aangetekend dat van belang is dat ook private netwerken in de naastgelegen blokken van 50 MHz synchroniseren met de landelijke netwerken. Daarnaast is synchronisatie in de grensgebieden met netwerken 'over de grens' ook wenselijk, maar complexer te realiseren. Daarbij kan een publiek netwerk aan de ene kant van de grens te maken krijgen met interferentie van een privaat netwerk aan de andere kant, en vice versa (zie Figuur 1). We bespreken de grensregio's separaat in paragraaf 4.1 (Duitsland) en 4.2 (België).



Figuur 1 Verdeling 3,5 GHz-band grensregio's

Grensgebied tussen Nederland en Duitsland

We verwachten dat publieke operators aan weerszijden van de Duitse grens in staat zijn om tot afspraken te komen die de problematiek minimaliseren (denk aan onderlinge synchronisatie, aanpassen van het netwerk, het toepassen van 'blanking', et cetera). Hierbij merken we op dat twee van de drie bestaande Nederlandse operators een evenknie hebben in Duitsland.

Het Duitse spectrum tussen 3.700 en 3.800 MHz is ingericht voor lokaal en privaat gebruik. Doordat de indeling van het 3,5 GHz-spectrum in Nederland en Duitsland niet op elkaar is uitgelijnd zullen private partijen uit beiden landen moeten coördineren met publieke netwerken over de grens. Gezien het lokale karakter van de private band zou het echter kunnen dat deze problematiek beperkt blijft.

Grensgebied tussen Nederland en België

Er is, als gevolg van de uitgestelde veiling, nog veel onzekerheid over de mate waarin er mogelijk problemen zullen ontstaan in de grensregio's. Duidelijk is wel dat de door Frankrijk en Duitsland gekozen framestructuren van elkaar afwijken. Als België kiest voor de framestructuur van Duitsland, dan zou Nederland (mits het daarin meegaat) eenvoudiger kunnen synchroniseren met beide buurlanden, dan wanneer België voor een framestructuur zou kiezen die afwijkt van Duitsland. In het laatste geval heeft België het echter weer eenvoudiger aan de Belgisch-Franse grens.

Implicaties voor kavelgrootte

- Bij de bepaling van de kavelgrootte hoeft *geen* rekening te worden gehouden met een guard band *tussen* kavels binnen het blok van 300 MHz, wanneer wordt uitgegaan van inzet van 5G NR en/of LTE, en de vergunninghouders onderling synchroniseren.
- Wanneer er geen synchronisatie-eis geldt voor private netwerken in de flankerende banden van 50 MHz ontstaat mogelijk een verschil in waarde van kavels aan de randen versus kavels in het midden van het spectrumdeel voor openbare mobiele netwerken. Bij een lage kavelgrootte kan dit leiden tot lagere totaalopbrengsten.

2.3 Apparatuur

De drie grootste leveranciers van apparatuur voor mobiele netwerken (Ericsson, Huawei en Nokia; hierna 'vendors') leveren op dit moment allen radioapparatuur op basis van de 5G NR-standaard en (delen van de) Nederlandse 3,5 GHz-band. Bij de keuze voor netwerkapparatuur door een operator voor gebruik in de 3,5 GHz-band zijn twee parameters van primair belang:

- Het *afstembereik* van de apparatuur. Binnen dit bereik ondersteunt de apparatuur een 5G NR-carrier; de plaatsing van de carrier binnen het bereik is te configureren en kan dus "in het veld" worden aangepast.
- De *ondersteunde carrier bandbreedte* binnen dit bereik. Deze bepaalt hoe breed een carrier binnen het bereik maximaal kan zijn. De beperking is ingegeven door (onder andere) het technisch maximaal haalbare vermogen. Het *aantal* carriers kan eveneens beperkt zijn.

2.3.1 Bereik

Apparatuur van de operators ondersteunt in de regel een bepaald bereik ("*tuning range*", bereik waarbinnen een carrier kan worden gebruikt) en een limiet aan de totale carrierbreedte. Apparatuur die geschikt is voor gebruik in een macronetwerk ondersteunt in de regel minimaal 100 MHz aan carrierbreedte. Apparatuur met ondersteuning voor 200 MHz is inmiddels ook beschikbaar en er wordt gewerkt aan apparatuur die tot 400 MHz ondersteunt.

Sommige vendors leveren al apparatuur voor de n77 en n78 5G-banden – deze ondersteunt een bereik van 400 MHz. Andere vendors leveren 5G-apparatuur met een beperkter bereik van 200 MHz, passend bij LTE-band 42 (3.400 – 3.600 MHz) of 43 (3.600 – 3.800 MHz) en waarschijnlijk ook de tussenvariant (3.500 – 3.700 MHz).

Aangezien zowel band n77 en n78 de volledige Nederlandse (te veilen) 3,5 GHz-band beslaat is apparatuur die voor deze banden is gemaakt zonder meer flexibel in te zetten door de operators. Anders is het voor apparatuur die slechts voor één van beide LTE-banden is gespecificeerd. Operators die dergelijke apparatuur willen kopen dienen vooraf te weten in welke 'helft' van de Nederlandse 3,5 GHz-band zij spectrum verwerven.

Implicaties voor kavelgrootte

- Operators die apparatuur van bepaalde vendors afnemen kunnen (zonder extra investering) maximaal 150 tot 200 MHz aaneengesloten spectrum voor publieke netwerken in de 3,5 GHz-band gebruiken. De kavelgrootte zou moeten uitlijnen op deze grenzen ($3.450 + N \times 50$ MHz).
- Kavels zijn bij voorkeur aaneengesloten per operator. De veiling wordt bij voorkeur zo ingericht dat de uiteindelijk verleende vergunningen aaneengesloten spectrum zullen betreffen (zo niet zou een hogere kavelgrootte nodig zijn).

2.3.2 Ondersteunde carrierbreedte

Alle vendors geven aan dat de reguliere versies (small cells daargelaten) van de 5G radio-apparatuur die zij aanbieden ondersteuning bieden voor ten minste één carrier van 100 MHz in het ondersteunde bereik. 100 MHz is daarmee tevens een 'technisch optimum': wanneer een operator minder dan deze hoeveelheid inzet, zo is de gedachte, wordt de investering in apparatuur niet ten volste benut. Hierboven is reeds beschreven dat het in gebruik nemen van spectrum boven de 100 MHz een extra carrier vereist en 'lastig' is; gezien het feit dat apparatuur is ontworpen voor 100 MHz zou het daar bovenop dus ook extra investering vragen.

Apparatuur die gelijktijdig twee (of meer) carriers van in totaal 200 MHz ondersteunt, komt naar verwachting beschikbaar voordat operators het Nederlandse 3,5 GHz-spectrum in gebruik zouden kunnen nemen. Vendors geven aan te werken aan apparatuur die tot 400 MHz ondersteunt. Dergelijke ontwikkelingen zijn gezien de maxima die het ACM stelt aan de hoeveelheid te verwerven spectrum per partij vooral relevant voor RAN-sharing.

Implicaties voor kavelgrootte

- Radioapparatuur voor 5G in de 3,5 GHz-band is geënt op 100 MHz ondersteund bezet spectrum. Het inzetten van kleine hoeveelheden extra spectrum boven 100 MHz is voor een operator dus waarschijnlijk niet interessant. Kavels groter dan 100 MHz liggen niet voor de hand. Combinaties die wél op groottes (vlak) boven de 100 MHz, maar niet precies op 100 MHz uitkomen, zijn minder aantrekkelijk.

2.4 Harmonischen van 1.800 MHz

Voor de frequenties tussen de 3.610 en 3.760 MHz kan er sprake zijn van verstoring door (met name) de tweede harmonische van het frequentiegebruik in de 1.800 MHz-band, welke nu wordt gebruikt voor 4G. Door naastgelegen zendende basisstations in de 1.800 MHz-band kan de uplink in de 3,5 GHz band worden beknelde, met verlaagde capaciteit tot gevolg. De kavels tussen de 3.610 en 3.760 MHz zouden daardoor eventueel minder gewild kunnen zijn in de veiling. Een operator zal daarom juist proberen te voorkomen dat de tweede harmonische van 1.800 MHz in de ontvanger van de 3,5 GHz valt. Met filters op stations in beiden banden is deze storing echter te verminderen. Aangezien de 1.800 MHz-band grotendeels ook door de mobiele operators wordt gebruikt zal dit niet een heel groot probleem worden. Synchronisatie is hier echter geen optie, aangezien er in de 1.800 MHz-band FDD wordt toegepast in plaats van TDD.

Ook andere harmonischen kunnen een rol spelen:

- De derde-orde intermodulatieproducten ($2 \times f_1 - 1 \times f_2$) van de 2.100 MHz (f_1) en 700 MHz (f_2) kunnen in de 3,5 GHz komen te vallen.
- De vierde harmonische van de 900 MHz-band ligt tussen de $4 \times 925 = 3.700$ en $4 \times 960 = 3840$ MHz. Deze is echter veel zwakker dan de tweede harmonische.
- De vijfde harmonische van 700 MHz ligt tussen de $5 \times 758 \text{ MHz} = 3.790 \text{ MHz}$ en $5 \times 788 \text{ MHz} = 3.940 \text{ MHz}$, en valt dus buiten de band voor publieke mobiele netwerken. Deze harmonische is veel zwakker dan de 3^e harmonische.

Implicaties voor kavelgrootte

- Een kleinere kavelgrootte leidt ertoe dat sommige kavels lager worden gewaardeerd dan anderen, vanwege een interferentierisico met de 1800 MHz-band. Bij kleinere kavelgroottes is er een grotere kans dat meerdere kavels volledig in dit gebied vallen, waardoor die gehele kavels minder aantrekkelijk worden.

3 Economische analyse

In dit hoofdstuk volgt een analyse vanuit een economisch oogpunt. We beschouwen eerst kort hoe de markt op dit moment in elkaar zit. Vervolgens kijken we naar wat de rol van de 3,5 GHz-band zou kunnen zijn. Op basis daarvan bekijken we wat de waarde is van verschillende hoeveelheden spectrum in de 3,5 GHz-band voor de operators en een eventuele nieuwkomer, vanuit verschillende perspectieven.

3.1 Huidige situatie

In Nederland zijn op dit moment drie operators van openbare mobiele netwerken actief (KPN, T-Mobile en Vodafone). Deze operators bezitten vergunningen voor het gebruik van in totaal 615 MHz aan spectrum voor openbare mobiele communicatie. Op moment van schrijven hebben alle operators zowel een 2G, 3G als 4G-netwerk operationeel. Vodafone is begonnen met het uitschakelen van haar 3G-netwerk (Vodafone Nederland, 2020) en andere operators hebben aangekondigd in de toekomst hun 2G en/of 3G-netwerken te willen uitschakelen.

De operators hebben in de afgelopen jaren een steeds groter deel van het voor het beschikbare spectrum ingezet voor 4G. Tabel 8 geeft een inschatting op basis van antennegegevens. In deze tabel is een onderscheid gemaakt tussen de netwerken van (voormalig) Tele2 en het T-Mobile van voor de fusie met Tele2. Het lijkt erop dat beide netwerken nog gescheiden opereren. Alle operators gebruiken de lage frequenties (800 en 900 MHz) op alle sites. Vanwege de lage frequentie is deze band ideaal om een basisdekking te realiseren. De operators voegen daar hogere frequenties bij ter vergroting van de capaciteit. Voor (voormalig) T-Mobile en Tele2 geldt dat alle frequenties (behalve TDD in de 2,6 GHz-band) overal aan staan. KPN en Vodafone hanteren een meer gedifferentieerd beleid waarbij hogere frequenties alleen op de drukker locaties wordt ingezet. Afgaand op de cijfers voor de allerhoogste frequenties lijkt dit te gaan om circa 30% van de sites.

Tabel 8 Gebruik van verschillende frequentiebanden per operator¹⁰

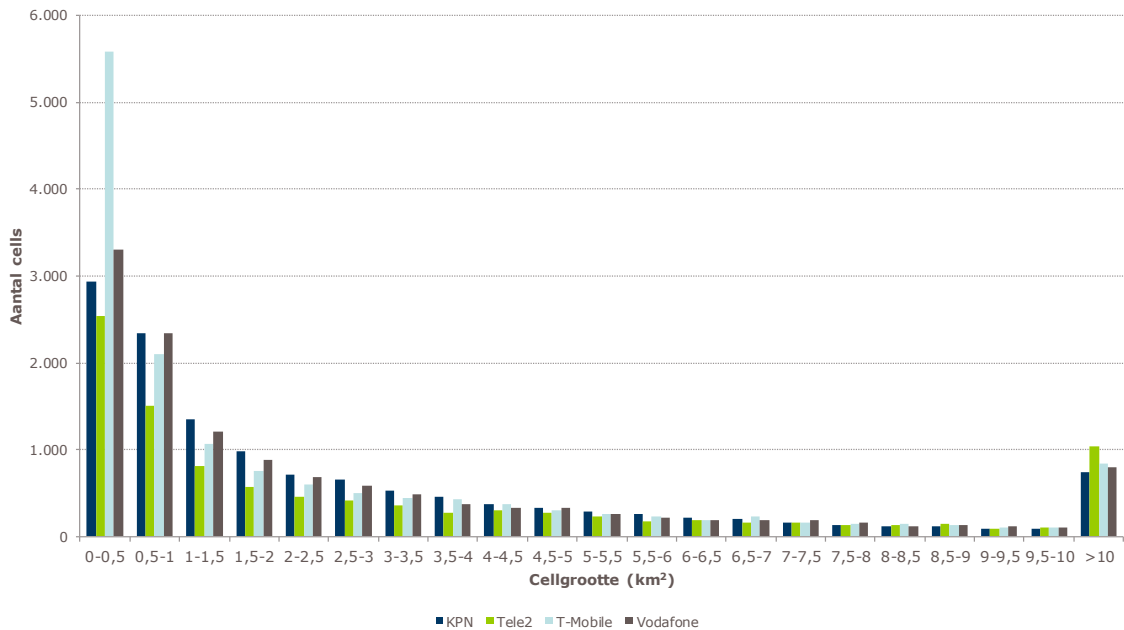
Band:	2G, 3G	LTE-1	LTE-3	LTE-7	LTE-8	LTE-20	LTE-41	Totaal
Bandnaam:		2100	1800	2600	900	800	TD 2600+	
Geschat aantal sites waarop een band is geactiveerd								
KPN		29%	84%	25%		97%	14%	4.561
T-Mobile		66%	66%	42%	65%	46%	25%	7.349
T-Mobile (voor fusie)		99%	100%	0%	97%		38%	4.875
Tele2				92%		100%		3.383
Vodafone		31%	63%	10%		83%		5.306

Operators verschillen ook in de inzet van sites. In Figuur 2 is de verdeling van celgroottes te zien per operator. Hier is het aantal cellen weergegeven dat een bepaald oppervlakte bedient.¹¹ In de verdeling valt op dat T-Mobile een fors hoger aantal cellen heeft met een oppervlakte kleiner dan 0,5 km². Een voordeel hiervan is dat het spectrum binnen een kleiner

¹⁰ Analyse Dialogic op basis van het Antenneregister [38]. Er is een modellering toegepast om locaties van individuele antennes te combineren tot één sites. De aantallen sites zijn daardoor niet exact, maar geven een goede indicatie.

¹¹ Modellering door Dialogic op basis van het Antenneregister. Voor de frequentie die de operator op de meeste sites in gebruik heeft is een celstructuur afgeleid (op basis van Voronoi-tesselatie en aannames rondom propagatie). De hier weergegeven celgroottes zijn dan ook bij benadering.

oppervlakte, en dus onder minder gebruikers verdeeld hoeft te worden. Kijken we naar de grotere cellen zijn de verschillen tussen de operators kleiner. Wel valt op dat er een substantieel aantal cellen resteert dat groter is dan 10 km².



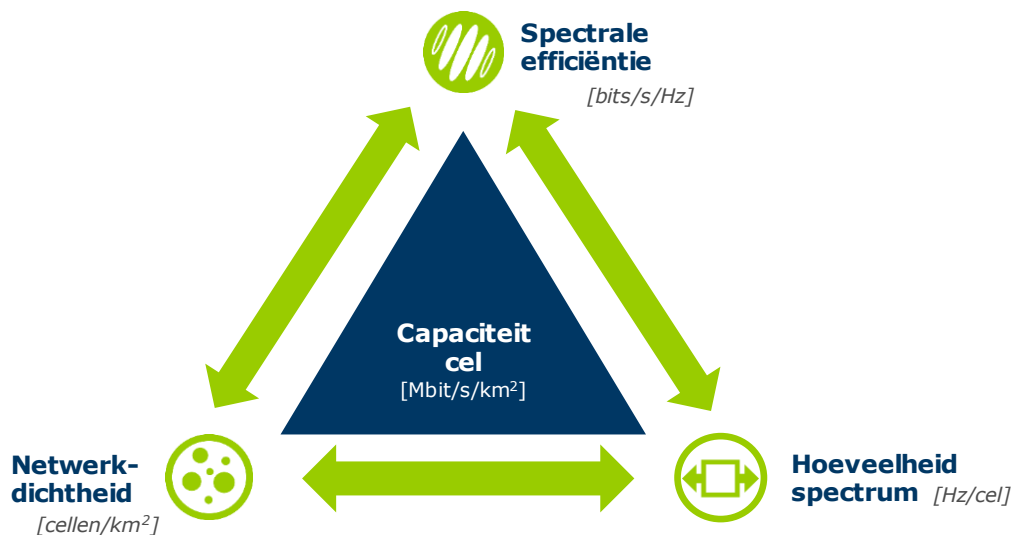
Figuur 2 Verdeling celgroottes per provider

3.2 De rol van de 3,5 GHz-band

Een operator wil in een mobiel netwerk dekking, capaciteit en kwaliteit bieden. De 3,5 GHz-band kan op al deze aspecten een rol spelen. Per aspect bekijken we de waarde van spectrum in de 3,5 GHz-band.

3.2.1 Capaciteit

Een operator heeft drie ingrediënten nodig om capaciteit te kunnen realiseren: een hoeveelheid spectrum, een aantal basisstations, en een technologie met een bepaalde spectrale efficiëntie (Figuur 3).



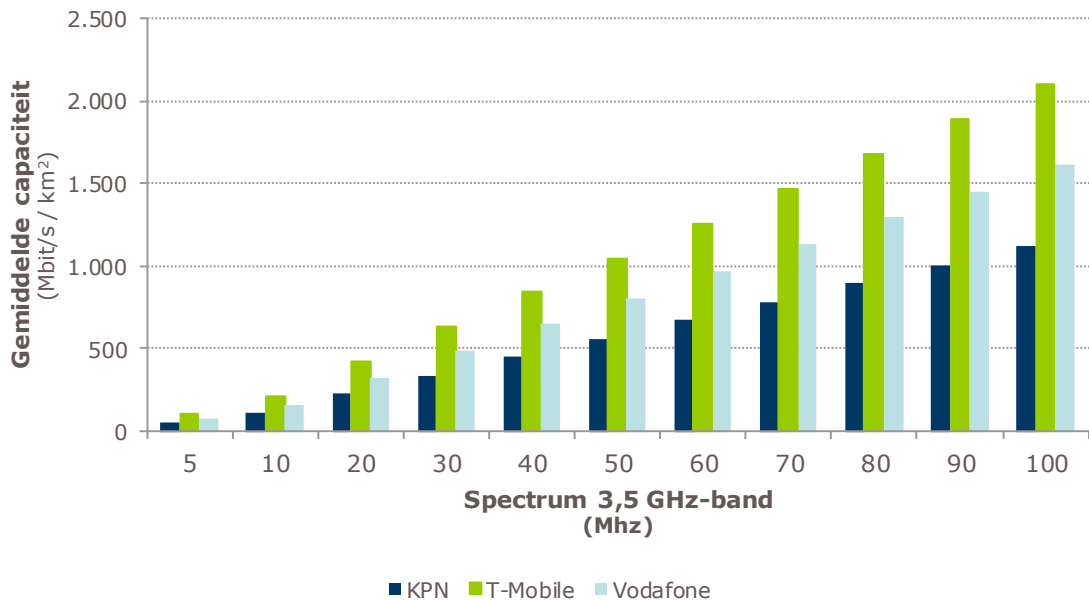
Figuur 3 Primaire parameters die bepalend zijn voor de capaciteit van een mobiel netwerk

Door een van deze parameters te verhogen, kan de capaciteit worden vergroot. Door de substantiële hoeveelheid spectrum die in de 3,5 GHz-band beschikbaar komt (ongeveer 45% meer dan het huidige totaal) kan met dit spectrum alleen al de capaciteit substantieel worden vergroot. Een tweede aspect is dat een operator in deze (nieuwe) band 5G-radiotechnologie kan inzetten, waarmee de efficiëntie omhoog gaat (nog meer capaciteit) en die ook andere wenselijke eigenschappen bezit (zoals lagere latency dan LTE).

Wanneer de operators het uiteindelijk te verwerven spectrum uit de 3,5 GHz-band (initieel) inzetten op hun bestaande sites, dan leidt dit bij gelijke hoeveelheden in te zetten spectrum niet tot dezelfde capaciteit bij de drie operators, omdat de parameter "netwerkdichtheid" bij de ene operator hoger is dan de andere. Bij een hogere netwerkdichtheid kan een operator hetzelfde spectrum vaker "hergebruiken" en is het aantal gebruikers dat (per cel) hetzelfde spectrum moet delen gemiddeld lager. Merk op dat een operator nog wel ruimte heeft om de efficiëntie te verhogen: met name in de drukere gebieden kan worden gedacht aan de inzet van massive MIMO-basisstations.

De uitgangssituatie van de operator is bepalend voor de hoeveelheid capaciteit die zij (gegeven een bepaalde hoeveelheid 3,5 GHz-spectrum) kunnen realiseren, en daarmee (deels) voor de waarde en (door de operator gewenste) kavelgrootte. Figuur 4 toont wat, *ceteris paribus*, de impact zou zijn van het verkrijgen van verschillende hoeveelheden 3,5 GHz-spectrum op de initieel te realiseren capaciteit per operator (Figuur 4). Hieruit volgt dat er tussen de verschillende operators een bandbreedte tot wel 20 MHz bestaat. Met andere woorden: sommige operators kunnen met wel 20 MHz minder spectrum toe zonder dat dit direct een lagere capaciteit ten opzichte van de andere operators oplevert. We achten het dan ook zeer aannemelijk dat, wanneer er een kleine kavelgrootte wordt gehanteerd, de operators op verschillende hoeveelheden zullen bieden.

Bij bovenstaande is van belang om op te merken dat geen van de operators mededelingen heeft gedaan omtrent haar biedstrategie noch voorkeuren heeft uitgesproken over de te verkrijgen hoeveelheden spectrum.



Figuur 4 Gemiddelde capaciteit per oppervlakte voor verschillende hoeveelheden 3,5 GHz-spectrum¹²

Op bovenstaande analyse is behoorlijk wat af te dingen. Allereerst speelt uiteraard de commerciële strategie een rol: een 'prijsvechter' zal met minder capaciteit wellicht genoeg kunnen nemen, en dat kan ook een reden zijn om minder spectrum te willen verkrijgen. Ook is de rol van het 3,5 GHz-spectrum afhankelijk van de use cases (zoals elders toegelicht) en de rol die het 'lagere' spectrum gaat spelen. Voor dit onderzoek voert het te ver om alle mogelijke strategieën door te rekenen. Ook dient te worden opgemerkt dat hier wordt gekeken naar *gemiddelde capaciteit* per km². In de Nota Mobiele Communicatie (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2019) worden eisen gesteld ten aanzien van (onder andere) de *minimale* snelheid en het is denkbaar dat dit ook gaat gelden voor 5G-frequenties (Rijksoverheid, 2019). Een dergelijke ondergrens legt de lat voor het netwerk hoger en vraagt dus meer spectrum, sites of efficiëntie.

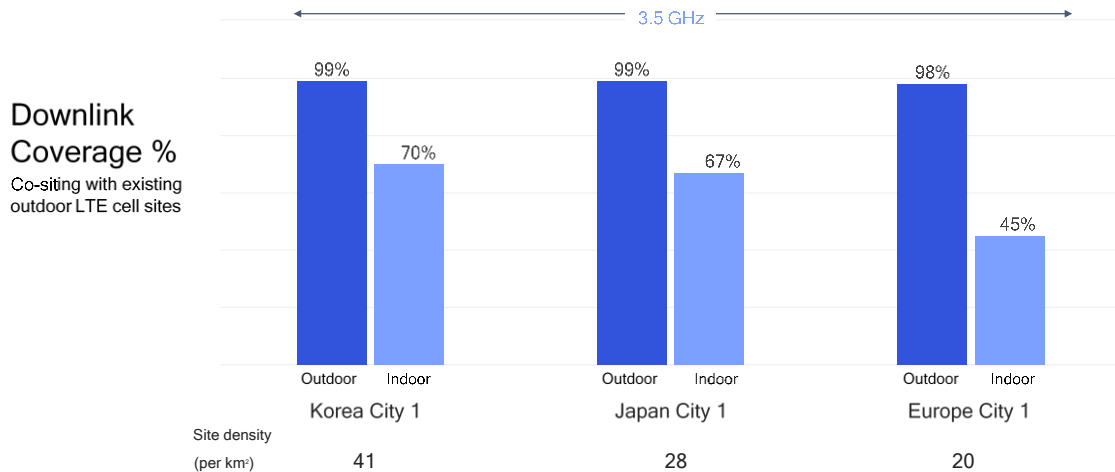
3.2.2 Dekking

Hoewel de Nederlandse operators over het algemeen op dit moment een uitstekende dekking hebben, is de 3,5 GHz-band voorlopig de laatste band onder de 6 GHz waar substantiële hoeveelheden spectrum (> 20 MHz) beschikbaar komen. De band is daarom essentieel voor een operator om goede dekking te bieden bij 5G(-capaciteit).

Op basis van 3,5 GHz-spectrum zijn operators naar verwachting in staat om, door het spectrum in te zetten als 'overlay' op bestaande sites, tot 99% dekking te realiseren buitenshuis (en tussen de 45%-70% binnenshuis); zie Figuur 5. (Qualcomm, 2018) Op papier betekent de 3,5 GHz-veiling voor operators dus een netto (bijna) capaciteitsverdubbeling zonder sites te hoeven bijplaatsen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de dekking in de uplinkrichting wellicht minder goed uitpakt dan in de simulatie van Qualcomm wordt weergegeven. Dit probleem zal echter deels worden ondervangen door het feit dat de operators in lagere banden uplinkcapaciteit hebben. Op consumentennetwerken is de vraag naar uplinkcapaciteit fors kleiner dan downlinkcapaciteit (voor 5G rekent men typisch met een verhouding van

¹² Er is hier gebruik gemaakt van de 5G spectrum efficiëntie eis van de ITU voor stedelijke gebieden (7,8 bit/s/Hz) en het buitengebied (3,3 bit/s/Hz) [40]

4:1). De bestaande operators hebben in lagere FDD-banden frequenties waarbij de uplink-capaciteit waarschijnlijk nog voldoende is. Voor een entrant kan uplinkdekking echter wel problematisch worden, en zijn meer sites of bijvoorbeeld een samenwerking met een bestaande operator nodig.



Figuur 5 Resultaten experiment dekking van 5G NR op 3,5 GHz op basis van co-siting met outdoor LTE-infrastructuur door Qualcomm (Qualcomm, 2018)

3.2.3 Kwaliteit

In de 3,5 GHz-band kan 5G NR-radiotechnologie worden ingezet. Deze technologie is op zichzelf (iets) efficiënter dan LTE, en nadert de theoretische limieten.

Een belangrijk voordeel ten opzichte van LTE is dat 5G NR daarnaast ook (MU-)MIMO mogelijk maakt. Bij MIMO worden, door aan beide kanten meerdere antennes te gebruiken, meerdere propagatiepaden gebruikt om de netto capaciteit te vergroten. Bij MU-MIMO kunnen, door het gebruiken van meerdere antennes, meerdere signalen op dezelfde frequentie gelijktijdig in een specifieke richting worden gestuurd. Daarmee kan hetzelfde frequentieblok dus voor meerdere verschillende gebruikers gelijktijdig worden ingezet, waarmee de efficiëntie toeneemt. De 3,5 GHz-band is bij uitstek geschikt voor toepassing van (MU-)MIMO, omdat TDD wordt toegepast.^{13,14}

¹³ Bij TDD kan voor het schatten van de juiste parameters voor een 'downlink' propagatiepad informatie worden gebruikt van de even daarvoor ontvangen 'uplink'-signalen (UL-SRS). Omdat dit signaal binnen dezelfde band wordt verzonden gelden zeer vergelijkbare propagatieparameters. [39]

¹⁴ Ook op de (veel) hogere millimetergolffrequenties (bijvoorbeeld 26 GHz) wordt (MU-)MIMO toegepast in 5G. De golflengte is daarbij echter veel kleiner vergeleken met de 3,5 GHz-frequenties, waardoor antenne-elementen dichter op elkaar moeten worden geplaatst. Dat maakt weliswaar dat er meer antenne-elementen kunnen worden gebruikt bij een basisstation (cq. een terminal) van dezelfde omvang, maar de mogelijkheden voor o.a. filtering zijn weer beperkter. Daarnaast is het bereik van de millimeterfrequenties veel beperkter dan de 3,5 GHz-frequenties, waardoor er relatief minder efficiëntie gehaald hoeft te worden uit het spectrum: het spectrum kan immers op een kortere afstand hergebruikt worden. Juist bij de 3,5 GHz-band is de hergebruikafstand relatief groot, en is de rol van (MU-)MIMO van belang om hoge capaciteit te behalen.

Het toepassen van 5G verhoogt ook op andere manieren mogelijk de kwaliteit van de dienstverlening. Zo kan een operator diensten aanbieden waarvoor een lagere latency noodzakelijk is.

Overige use cases

Mobiele communicatie is niet de enige toepassing waarin de 3,5 GHz-band kan voorzien. In Ierland wordt de band namelijk ook gebruikt voor vast-draadloos oplossingen (ComReg, 2017) en ook in de VS wordt hiernaar gekeken (Fosberg, 2019). Vanwege de eigenschappen als het bereik en de capaciteit van de band, biedt het een passende use case voor het ontsluiten van rurale gebieden. Met de huidige breedband dekking in het buitengebied van Nederland lijkt dit echter niet direct een oplossing die door operators aangeboden gaat worden hier.

3.2.4 5G Use cases

Wanneer wordt gesproken over 5G wordt vaak gewezen op het feit dat 5G nieuwe use cases mogelijk maakt. Deze use cases waren voorheen niet mogelijk omdat er hoge en specifieke eisen aan het netwerk worden gesteld, bijvoorbeeld op vlak van capaciteit en maximale latency. In de 5G-standaard worden drie 'pijlers' onderscheiden: (TNO, 2019)

- **eMMB: Enhanced Mobile Broadband.** Deze 'use case' betreft in feite het vergroten van de capaciteit voor het reguliere, generieke 'massa'-gebruik door consumenten en zakelijke afnemers. Het betreft het vergroten van de capaciteit per gebruiker en het vergroten van de capaciteit van cellen (bijvoorbeeld in drukke gebieden).
- **URLLC: Ultra-Reliable Low Latency Communication.** Deze pijler bedient toepassingen die een hoge mate van betrouwbaarheid en lage latency vragen. Het gaat bijvoorbeeld om aansturing van bedrijfs- of zelfs missiekritische toepassingen.
- **mMTC: Massive Machine-Type Communication.** In deze pijler worden use cases bediend waarbij een groot aantal apparaten communiceert (typische 'Internet of Things'-toepassingen). Vaak zijn de eisen omtrent capaciteit en latency laag, maar hoog als het gaat om energie-efficiëntie (het gaat bijvoorbeeld om sensoren die lang op een batterij moeten werken) en dekking (het gaat bijvoorbeeld om sensoren in een industriële omgeving met veel metaal).

Kijken we naar de 3,5 GHz-band, dan zien we in eerste instantie een rol weggelegd voor ondersteuning van eMMB. Dit is, niet voor niets, de eerste case die de operators oppakken en logisch in het verlengde ligt van wat zij reeds doen. De 3,5 GHz-band is een TDD-band, waardoor het mogelijk is om de asymmetrie van vraag naar downlink- en uplinkverkeer van consumenten efficiënt te accommoderen. Bij FDD zijn up- en downlinkcapaciteit vaak even groot, bij TDD is het configureerbaar (in landen waar de 3,5 GHz-band in gebruik is genomen zien we dat operators een verhouding van 4:1 configureren).

De rol van de 3,5 GHz-band voor professionele toepassingen is wat ons betreft in eerste instantie beperkt. In scenario's waar dekking een rol speelt is inzet van lagere frequenties logischer (eveneens omdat het in dergelijke scenario's vaak niet gaat om hoge capaciteit). Er kan ook gedacht worden aan combinaties van frequenties (lage frequenties met goede penetratie voor uplink, en de hoge voor hoge capaciteit downlink). Dat zou toepassingen als mobiele AR/VR mogelijk kunnen maken (lage latency maar ook hoge capaciteit nodig).

Kijkend naar kavelgrootte zien we vooral een link met de wijze waarop een operator het spectrum indeelt. Omdat de vraag voor URLLC/mMTC-toepassingen nu nog (in volume) beperkt is zal een operator deze dienstverlening altijd naast eMMB-aanbod uitbrengen. Er moet daarbij een afweging worden gemaakt tussen de hoeveelheid capaciteit die voor beiden wordt ingezet. De reden hiervoor ligt in de techniek: om lagere latency mogelijk te maken, moeten vaker 'acknowledgements' worden verstuurd over het radiokanaal. Dit leidt tot meer overhead en verlaagt daarmee de beschikbare nettocapaciteit. Iets soortgelijks geldt voor betrouwbaarheid: deze kan worden verhoogd door het niveau van foutcorrectie en aantal hertransmissies te verhogen, maar dat verlaagt eveneens de nettocapaciteit. Bij een hogere hoeveelheid spectrum heeft de operator relatief minder 'last' van deze concessies: procentueel gaat de capaciteit een stuk minder omlaag. (GSA, 2020)

Implicaties voor kavelgrootte

- Bestaande operators zullen in eerste instantie dimensioneren op eMMB-gebruik in de 3,5 GHz-band (en daarmee op grote hoeveelheden capaciteit, wat grote hoeveelheden spectrum vraagt). Er zou vanuit dat perspectief vooral behoefte zijn aan grotere kavels.
- Voor het bieden van uitsluitend mMTC- of URLLC-achtige diensten zou een kleine hoeveelheid spectrum (bijvoorbeeld 10 MHz) voor een operator volstaan. We achten modellen waarbij een operator (bestaande of entrant) *uitsluitend* mMTC-achtige diensten gaan aanbieden in de 3,5 GHz-band echter onwaarschijnlijk, vanwege de beperktere uplinkdekking. Kleinere kavels lijken vanuit dat perspectief dus niet wenselijk.
- Voor alle operators geldt dat grotere hoeveelheden spectrum het eenvoudiger maken om URLLC- en mMTC-toepassingen te ondersteunen: de impact op eMMB is relatief een stuk kleiner bij grotere hoeveelheden spectrum. Er zou vanuit dat perspectief vooral behoefte zijn aan grotere kavels.

3.2.5 Gewenste hoeveelheid te verkrijgen spectrum in de 3,5 GHz-band

Hoewel de Nederlandse operators geen mededelingen hebben gedaan over de bij voorkeur te verkrijgen hoeveelheid spectrum in de 3,5 GHz-band, wordt vanuit de sector wel een voorkeur voor grote blokken (tussen de 60-80 en 100 MHz) zichtbaar:

- GSA geeft aan dat blokken van 80 tot 100 MHz de voorkeur hebben, dat veiling bij voorkeur geschiedt op basis van kavels van 10 MHz, en dat overheden bij voorkeur geen beperkte set gewenste uitkomsten zouden moeten definiëren. (GSA, 2020)
- Vodafone Group geeft in een openbaar rapport aan dat minimaal 80 tot 100 MHz in de 3,5 GHz-band noodzakelijk zou zijn voor een MNO. Merk op dat dit niet noodzakelijkerwijs overeenkomt met het standpunt van VodafoneZiggo in Nederland. (Vodafone Group, 2019)
- In consultatierondes (o.a. de Franse) geven vendors Nokia en Huawei aan dat het van belang is om te komen tot spectrum allocaties van 80-100 MHz.
- Operator Iliad geeft in de Franse consultatieronde aan dat een totaal kavel minimaal 60 MHz groot zou moeten zijn en bij voorkeur groter.

Het Uitvoeringsbesluit 2019/235 (Europese Commissie, 2019) van de Europese Commissie stelt eveneens dat bij voorkeur blokken van 80 tot 100 MHz aaneengesloten spectrum worden ingezet voor mobiele communicatie.

3.3 Mogelijke impact op de marktverhoudingen

Operators bezitten in Nederland in totaal 615 MHz aan spectrum voor mobiele communicatie.¹⁵ Voorafgaand aan de veiling van het 3,5 GHz-spectrum vindt de multibandveiling plaats, waarbij spectrum in de 700, 1.400 en 2.100 MHz-band wordt geveild. Het spectrum in de 2.100 MHz band betreft het spectrum dat nu reeds in gebruik is door de operators. Hoewel er in totaal 220 MHz zal worden geveild komt er met de veiling netto 100 MHz extra spectrum beschikbaar voor openbare mobiele netwerken, en komt het totaal op 715 MHz. (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2019) In de 3,5 GHz-veiling zal 300 MHz beschikbaar komen. In totaal zal na deze veiling 960 MHz (bezien vanuit de capregeling) en bruto 1.015 MHz vergund zijn voor mobiele communicatie.

De 3,5 GHz-band verhoogt daarmee de totaal beschikbare hoeveelheid spectrum voor mobiele communicatie ten opzichte van de huidige situatie met 42%.¹⁶

Vanwege de grote invloed die de verdeling en het bezit van frequenties heeft op de marktordering heeft de ACM caps geadviseerd. Die zijn door het ministerie overgenomen en neergelegd in de zogeheten *capregeling*, die een maximum stelt aan de hoeveelheid spectrum die een marktpartij (inclusief van rechtswege gelieerde partijen) maximaal mag verkrijgen. ACM heeft de volgende 'caps' geadviseerd:¹⁷

1. Cap totaal te verkrijgen spectrum

Een partij¹⁸ mag maximaal 40% van de totaal beschikbare frequentieruimte verkrijgen.

Deze cap heeft (voor wat het de bestaande partijen betreft) geen invloed op de veiling van de 3,5 GHz-band, omdat zij na de multibandveiling maximaal 260 MHz hebben kunnen verkrijgen (Tabel 9).¹⁹ In de 3,5 GHz-veiling geldt de cap weliswaar nog steeds, maar is de totale (eindhoeveelheid) spectrum 960 MHz (660 MHz voor de veiling + 300 MHz), waarbij de 40%-grens op 384 MHz ligt. Aan dit maximum komen de partijen niet vanwege de eveneens geldende cap die de hoeveelheid 3,5 GHz-spectrum per partij maximeert op 120 MHz (260 MHz + 120 MHz < 384 MHz).²⁰

¹⁵ ACM rekent in haar ontwerp capregeling met een lager totaal van 560 MHz omdat spectrum in de 1.900 MHz-band en bepaalde delen van de 2,6 GHz-band niet worden meegeteld. Laat je het spectrum in de 2.100 MHz-band eveneens buiten beschouwing (dit wordt immers opnieuw geveild) dan is er in totaal 440 MHz aan spectrum vergund voor mobiele communicatie. [37]

¹⁶ 45% wanneer dezelfde criteria worden gehanteerd als in de capregeling.

¹⁷ Uiteraard geldt hierbij dat alle 'caps' gelijktijdig gelden, en dat de meest beperkende 'cap' bepalend is voor de hoeveelheid spectrum die een partij kan verkrijgen. Verder wordt geen onderscheid gemaakt tussen gepaard en ongepaard spectrum. Verder wordt spectrum in de 1900 MHz-band niet meegeteld. Ook de delen van het spectrum in de 2,6 GHz-band waarvoor beperkingen gelden (en die op een iets andere manier zijn toegekend aan de operators) worden niet meegeteld.

¹⁸ Steeds inclusief van rechtswege gelieerde partijen.

¹⁹ Exclusief 1900 MHz en bepaalde delen van de 2,6 GHz-band, zoals ook gehanteerd door ACM.

²⁰ In een hypothetisch scenario waarin twee operators na afloop van de multibandveiling, maar voorafgaand aan de 3,5 GHz-veiling zouden fuseren (en dit zou goedgekeurd worden!), zou deze gefuseerde entiteit een totale hoeveelheid spectrum van 520 MHz komen te bezitten, wat ruim boven de cap van 384 MHz is, en zichzelf daarmee de facto diskwalificeren voor de 3,5 GHz-veiling.

Tabel 9 Overzicht mogelijke uitkomsten multibandveiling²¹

Operator	Spectrum voorafgaand aan multibandveiling	Waarvan 2.100 MHz	Maximum te verkrijgen in multibandveiling (incl. 2.100 MHz)	Maximum spectrum na afloop van de multibandveiling
KPN	160 MHz	40 MHz	140 MHz	260 MHz
T-Mobile	220 MHz	40 MHz	80 MHz	260 MHz
Vodafone	180 MHz	40 MHz	120 MHz	260 MHz
Nieuwkomer	0 MHz	0 MHz	220 MHz	220 MHz

2. Cap hoeveelheid spectrum met lage frequenties

Een partij mag maximaal 40% van de totaal beschikbare frequentieruimte in de 700, 800 en 900 MHz-banden verkrijgen.

Deze cap heeft geen invloed op de uitkomsten van de 3,5 GHz-band.

3. Cap hoeveelheid spectrum in de 3,5 GHz band

Een partij mag maximaal 40% van de totaal beschikbare frequentieruimte in de 3,5 GHz-band verkrijgen. Dit zou neerkomen op een maximum van 120 MHz per partij. In de Nota Mobiele communicatie wordt gesteld dat deze cap ook gehanteerd gaat worden voor de specifieke 3,5 GHz-band (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2019). De gehanteerde kavelgrootte zou dan ook een deler van 120 moeten zijn om te voorkomen dat een operator spectrum verkrijgt dat deze (deels) niet mag inzetten. Zou de kavelgrootte bijvoorbeeld 25 MHz zijn, dan kan een operator 125 MHz verkrijgen, waarna deze de 5 MHz 'teveel' verkregen spectrum niet zou mogen verkrijgen (of, afhankelijk van hoe de regels precies worden gedefinieerd, het laatste kavel van 25 MHz niet eens mag verkrijgen, en dus de facto beperkt is tot maximaal 100 MHz).

Een ander argument is dat het door ACM gestelde maximum ook daadwerkelijk haalbaar zou moeten zijn in de veiling. In een situatie waarin bijvoorbeeld alleen de uitkomsten 100 MHz en 140 MHz haalbaar zijn, is de facto het maximum 100 MHz geworden.

²¹ Exclusief 1900 MHz en bepaalde delen van de 2,6 GHz-band, zoals ook gehanteerd door ACM.

Implicaties voor kavelgrootte

- De capregeling bepaalt (waarschijnlijk) dat een operator maximaal 120 MHz kan verkrijgen in de 3,5 GHz-band. De kavelgrootte zou (bij gelijke kavelgroottes) een deler van 120 moeten zijn om te voorkomen dat deze blijft zitten met overtollig spectrum (bij ongelijke kavelgroottes moeten combinaties mogelijk zijn die optellen tot precies 120 MHz).
- Het is te beargumenteren dat de maximale hoeveelheid 3,5 GHz-spectrum ingevolge de capregeling (cap van 40%) ook daadwerkelijk (in theorie) *haalbaar* moet zijn in de veiling. De kavelgrootte zou zodanig moeten worden gekozen (bij kavels van gelijke grootte: een deler van 120 MHz; bij ongelijke kavels moeten combinaties mogelijk zijn die optellen tot precies 120 MHz).

3.4 Directe waarde van 3,5 GHz-spectrum

3.4.1 Schaalvoordelen

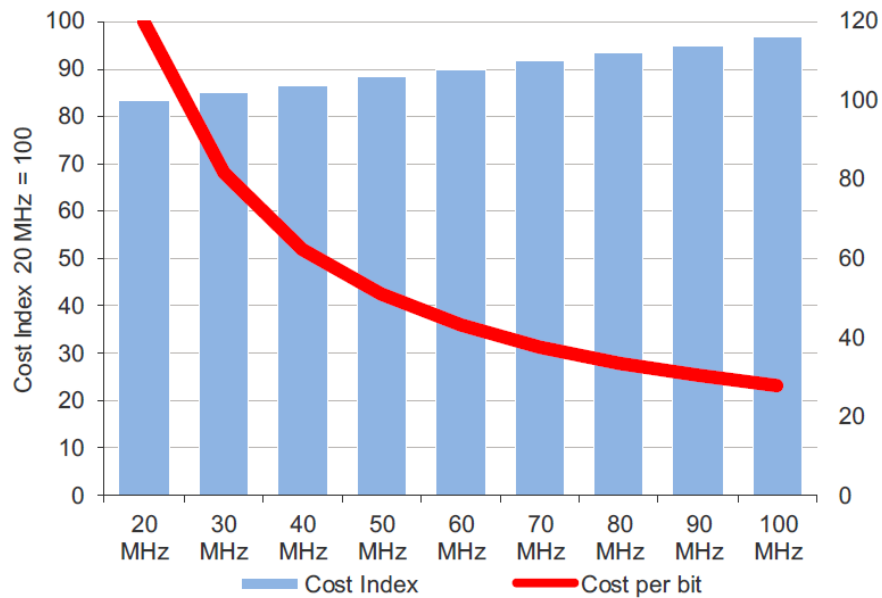
Met name voor de operators van publieke mobiele netwerken die aan de veiling deelnemen is het van groot belang dat ze een volledig 100 MHz kanaal kunnen benutten. De hardware investering in *Massive MIMO radioapparatuur* is min of meer hetzelfde voor 20 MHz als voor 100 MHz (maximum kanaal bandbreedte in de 3,5 GHz-band). Daarom is het voor een MNO erg belangrijk om, zo mogelijk, 100 MHz te verkrijgen en niet een kleiner kanaal. Het gebruik van 100 MHz kanalen biedt dus grote schaalvoordelen.

Er is 300 MHz beschikbaar voor publieke netwerken, dus een eindresultaat met drie operators met ieder een 100 MHz kanaal leidt potentieel tot een technisch efficiënte inzet van apparatuur en daarmee een lagere kostprijs per GB dan eindresultaten met kleinere kanalen.

Het daadwerkelijk realiseren van deze technische efficiëntie is mede afhankelijk van het aantal deelnemers aan de veiling en van de daadwerkelijke (en niet voorspelbare) biedingen in de veiling. Uitkomsten in diverse buitenlandse veilingen laten zien dat het geen gegeven is dat partijen zich schikken naar technisch efficiënte uitkomsten van vergunningen van 100 MHz. Ze laten zien dat er een maatschappelijke trade-off kan zijn tussen frequentietechnische efficiëntie en maatschappelijke efficiëntie in de vorm van extra concurrentie.

Het kwantificeren van de schaalvoordelen van grotere hoeveelheden spectrum is niet eenvoudig. Eerder is reeds een analyse getoond ten aanzien van het effect op capaciteit en pieksnelheid. Een door Coleago Consulting in opdracht van de telecomsector uitgevoerd onderzoek (Coleago Consulting, 2020) toont dat het verschil in kosten per bit tussen een hoeveelheid van 50 MHz en 20 MHz substantieel is, terwijl het verschil tussen 100 MHz en 60 MHz relatief kleiner is (Figuur 6). Hoewel de relatie tussen capaciteit en te realiseren piekcapaciteit grotendeels lineair is, is dat niet meer het geval wanneer wordt geredeneerd vanuit minimumcapaciteit (het "QoS target") per eindgebruiker. (Oughton, Frias, Gaast, & Berg, 2019) Omdat noch de analysemethode noch de onderliggende gegevens van de Coleago-analyse bekend zijn valt aan de absolute waarden geen zekerheid te ontleen. Wel concluderen we dat er zeer waarschijnlijk afnemende marginale kosten spelen.

Cost per bit depending on amount for 3.5 GHz spectrum



Figuur 6 Analyse van de kosten per bit als functie van de hoeveelheid 3,5 GHz-spectrum (Coleago Consulting, 2020)

Het kantelpunt rond 50-60 MHz is in diverse gesprekken bevestigd, en wordt ook genoemd in een rapport van ECC, waar het eveneens wordt gekwantificeerd: "In [a] dense urban scenario with 3-sector macro base stations, indoor CPEs, penetration loss 26dB, and down-link user edge rate 100 Mbit/s, an operator with a 60 MHz block would have to deploy 64% more [base stations] than an operator with a 100 MHz block" (ECC, 2018). Figuur 7 toont de cijfers uit de analyse van ECC.

	DL Coverage Distance/Site (km)	Coverage area/site (sqkm)	Number of sites /sqkm	Site Increase Rate (%)
100 MHz	0.19	0.070395	14	reference
60 MHz	0.15	0.043875	23	+64%

Figuur 7 Vergelijking van het aantal benodigde sites bij verschillende hoeveelheden spectrum en een QoS-doel van 100 Mbit/s (ECC, 2018)

3.4.2 RAN-sharing

De beperkingen die eventueel opgelegd worden door een incompatibiliteit tussen de uitkomst van de veiling en de technische randvoorwaarden kunnen gedeeltelijk worden overkomen door middel van het delen van spectrum of het delen van radioapparatuur middels RAN-sharing (Radio Access Network sharing). RAN-sharing van 5G netwerken lijkt internationaal momentum te hebben. Er zijn diverse vormen te onderscheiden:

- RAN sharing tussen twee operators om niet alleen de kosten van de passieve infrastructuur (masten, etc.) maar ook de kosten van de actieve infrastructuur (basisstations) te delen. Een model wat gezien wordt is "eigen" RAN in de stedelijke gebieden en "shared" RAN in de rurale gebieden (waar de capaciteit per cel vaak lager is).

- Neutral host networks. Dit zijn onafhankelijke netwerken die RAN aanbieden aan de operators. Dit kan zowel gaan om macrocel RAN als om small cell RAN. Een voorbeeld hiervan is Airspan Spectrum Holdings/Dense Air die in diverse markten reeds actief is (Portugal, Ierland en Australië in de 3,6 GHz-band; België en Nieuw-Zeeland in de 2,6 GHz-band).

Beide varianten zijn in principe ook in Nederland mogelijk. Verschillende vormen van RAN sharing, al dan niet in combinatie met spectrum sharing, kan de mogelijkheid bieden van meerdere operators die samen toch de kostenefficiëntie kunnen realiseren van een beperkt aantal fysieke netwerken die ieder veel spectrum (100 MHz of in de nabije toekomst ook 200 of 400 MHz) kunnen faciliteren. De consequentie hiervan is dat ook combinaties van spectrum kavels van verschillende operators samen tot een 100 MHz kanaal kunnen leiden wat maximaal efficiënt benut kan worden. De hierboven genoemde spectrumcap geldt echt ook voor gedeeld spectrum, dus daar moet bij het toepassen van RAN-sharing ook rekening mee worden gehouden.

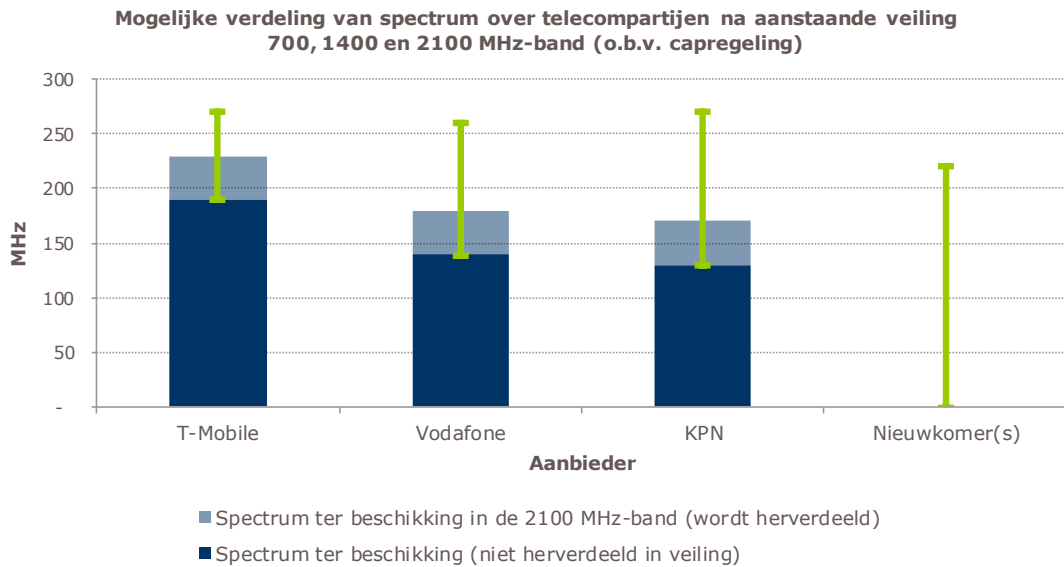
Implicaties voor kavelgrootte

- In RAN-sharingsscenario's kan (afhankelijk van de beschikbare apparatuur) de plaatsing in de band van belang zijn. Er lijkt niet direct een implicatie te zijn voor kavelgroottes.

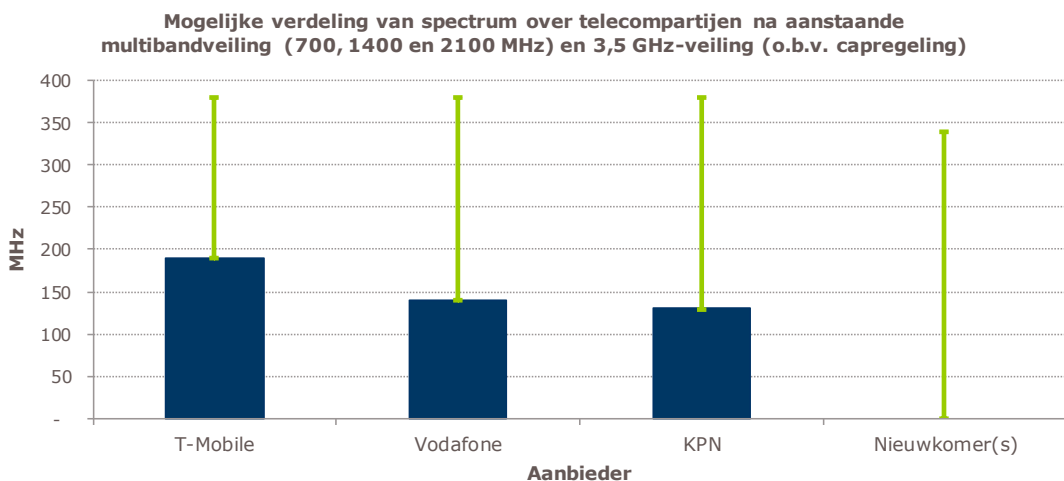
3.5 Strategische waarde van 3,5 GHz-spectrum

De komende veilingen hebben impact op de onderlinge verhoudingen tussen de telecompartijen. Dit betekent dat het verkrijgen van spectrum, los van de eigen business case, een strategische waarde kan hebben voor meedingende operators; in theorie is deze waarde zo groot als de meerwaarde die het spectrum voor de concurrent zou hebben.

De capregeling is bepalend voor de mogelijke marktverdelingen na afloop van beide veilingen. Figuur 8 en Figuur 9 tonen de mogelijke eindsituaties voor spectrumverdeling over verschillende partijen na respectievelijk de multibandveiling en de veiling van de 3,5 GHz-band. Een vergelijkbare analyse werd eerder door ACM gepresenteerd in haar advies multibandveiling 2019. (ACM, 2019)



Figuur 8 Mogelijke eindsituaties na de veiling van de 700-, 1.400- en 2.100 MHz-banden op basis van de capregeling en uitgangssituaties van de operators



Figuur 9 Mogelijke eindsituaties na de veiling van de 700-, 1.400- en 2.100 MHz-banden en het 3,5 GHz-spectrum, op basis van de capregeling en uitgangssituaties van de operators

Kijkend naar de mogelijke eindsituaties na de beide veilingen valt een aantal zaken op:

- Na de multibandveiling zouden de verschillen tussen de operators groter kunnen zijn dan voorafgaand – T-Mobile zou maximaal 300 MHz kunnen verkrijgen terwijl Vodafone en KPN tot onder de 150 MHz zouden kunnen uitkomen. Een nieuwkomer zou (door al het spectrum in de multibandveiling op te kopen) kunnen uitkomen boven KPN en Vodafone en (nipt) boven T-Mobile.
- Beide veilingen samen geven de operators en een eventuele nieuwkomer de kans om op hetzelfde maximum uit te komen. De uitgangssituatie van T-Mobile leidt ertoe dat zij zeker is van 215 MHz spectrum terwijl de andere partijen alleen zeker zijn van 135- en 145 MHz.

- De combinatie van de multibandveiling en 3,5 GHz-veiling kunnen grote invloed hebben op de relatieve verhoudingen van verdeling van spectrum tussen partijen. Daarbij speelt dat voor T-Mobile de multibandveiling minder (potentieel positieve of negatieve) impact heeft dan de 3,5 GHz-veiling. Voor de andere twee operators en voor nieuwkomers is (on)zekerheid over de randvoorwaarden van het 3,5 GHz-spectrum van grotere invloed.

De minimumhoeveelheid spectrum waarmee een toetreder een business case kan opzetten is lastig in te schatten. In het buitenland (Ierland, zie paragraaf 4.8) zien we fixed wireless-operators opereren met 60 MHz in ruraal gebied. Een toetreder met een small cell RAN-sharingmodel heeft 25 MHz in de rurale gebieden en 60 MHz in de steden verkregen. (ComReg, 2017) De hoeveelheid spectrum die nodig is voor een 'regulier' model is met name afhankelijk van de toegang tot ander spectrum (via terugval op bestaande operators). In Duitsland heeft operator 1&1 Drillisch 50 MHz verkregen (zie paragraaf 4.1), waarbij de operator in aanvulling gebruik kan maken van capaciteit op de netwerken van Vodafone en Telefónica in Duitsland.

Implicaties voor kavelgrootte

- Operators zullen er waarschijnlijk naar streven om ten minste 60-80 MHz te bemachtigen in de 3,5 GHz-band. Voor wat betreft schaalvoordelen en kosten bestaat er een kantelpunt rond 60 MHz. Om operators de mogelijkheid te geven zich te differentiëren zouden 60, 70, 80, 90 en 100 MHz in ieder geval mogelijk moeten zijn als uitkomst.
- Extra spectrum boven de 100 MHz in de 3,5 GHz-band heeft voor een operator primair strategische waarde: het betekent dat een andere concurrent onder 100 MHz uitkomt. Het zou gaan om de uitkomsten 110 en 120 MHz. Het spectrum kan echter prima worden ingezet.
- Een toetreder zal naar verwachting, afhankelijk van het bedrijfsmodel, minimaal 25 – 50 MHz spectrum nodig hebben. Modellen op basis van kleinere hoeveelheden zijn niet uitgesloten, maar liggen niet voor de hand.

4 Internationale vergelijking

In meerdere landen is de 3,5 GHz-band reeds geveild of is bekend hoe de veiling zal worden georganiseerd. In dit hoofdstuk gaan we een aantal van die landen af om te zien wat verschillende parameters rondom het te veilen spectrum en de kavels waren en hoe dit heeft uitgepakt in de uitkomst van de veiling. In Tabel 10 wordt een overzicht gegeven waarin de veilingen van een aantal van deze landen worden samengevat.

In Figuur 16 staat een overzicht van de verdeling van de 3,5 GHz-band in meerdere EU-landen en in Figuur 17 een overzicht van gevonden verdelingen in niet-EU-landen.

Tabel 10 Overzicht 5G veilingen in de 3,5 GHz-band

Land	Aantal operators	Geveild (MHz)	Kavelgroottes	Uitkomst in MHz per partij ²²
Duitsland (Bundesnetzagentur, 2020)	4	300	1 x 20 MHz 28 x 10 MHz	[50,70,90,90]
Verenigd Koninkrijk (Ofcom, 2018)	5	270	30 x 5 MHz voor de eerste veiling 24 x 5 MHz voor de resterende 120 MHz	[20,40,40,50,120]
Frankrijk	?	310	4 x 50 MHz 11 x 10 MHz Minimumcap: 40 MHz Maximumcap: 100 MHz	Onbekend
Italië	4	200	2 x 80 MHz 2 x 20 MHz Maximumcap: 100 MHz	[20,20,80,80]
Cyprus	3	300	3 x 100 MHz	[100,100,100]
Finland	3	390	3 x 130 MHz	[130,130,130]
Ierland	5	350	1 x 25 MHz 65 x 5 MHz Maximumcap: 150 MHz	Verschilt per regio
Zwitserland	3	200	15 x 20 MHz	[80,100,120]
Oostenrijk (RTR, 2018)	7	390	39 x 10 MHz	Verschilt per regio
Spanje	3	200	40 x 5 MHz Maximumcap: 120 MHz	[50,60,90]
Australië	4	125	350 x 5 MHz Maximumcap stedelijk: 60 MHz Maximumcap ruraal: 80 MHz	Verschilt per regio

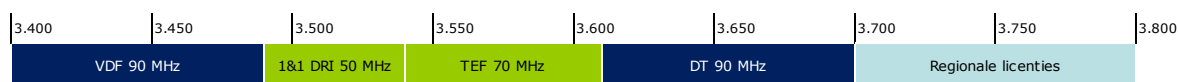
²² Lees als: [Aantal MHz voor partij 1, aantal MHz voor partij 2, aantal MHz voor partij3, ...]

4.1 Duitsland

In Duitsland heeft de veiling voor 5G spectrum in 2019 plaatsgevonden. De uitkomst hiervan staat in Figuur 10. Naast de 3,6 GHz-band werd ook de 2,1 GHz-band geveild. Bovenop de band van 3.400 tot 3.700 MHz, welke bedoeld is voor nationaal gebruik, heeft Duitsland ook een band van 100 MHz voor regionaal gebruik gereserveerd (Bundesnetzagentur, 2018). De kavels van de 3,6 GHz waren verdeeld in 27 (abstracte) blokken van 10 MHz, één concreet (specifiek) blok onderin de band van 20 MHz, en één concreet blok van 10 MHz bovenin de band, zonder specifieke guard bands.

De reden voor het concretiseren van het bovenste en onderste blok is hoogstwaarschijnlijk de risico's die er spelen rondom radar. (Bundesnetzagentur, 2018, p. 26) Volgens CEPT-rapport 67 zou extra filtering, en bij huidige technologie een guard band van 20 MHz, nodig zijn onderaan de band om impact op militaire radar onder 3.400 MHz te mitigeren. (ECC, 2018) Er is vervolgens besloten geen guard band aan te brengen, omdat naar verwachting lokaal een oplossing kan worden gevonden voor naastgelegen militaire radarsystemen. Dit maakt het kavel echter wel enigszins beperkt, wat het aannemelijk maakt dat het om die reden separaat behandeld is in de veiling.

Het resultaat van de veiling heeft vergunningen voor spectrum verleend aan vier nationale netwerkoperators in Duitsland. Met een uitkomst van 50, 70, 90 en nogmaals 90 MHz voor de respectievelijke operators komen de vergunde bandbreedtes overeen met de in de 3GPP standaard gedefinieerde breedtes voor 5G kanalen.



Figuur 10 Uitkomst veiling 3,6 GHz-band Duitsland (Bundesnetzagentur, 2019)

4.2 België

De veiling van de 3,5 GHz-band in België heeft vertraging opgelopen. Het BIPT heeft derhalve voorgesteld om voorlopige nationale licenties toe te kennen voor het spectrum tussen de 3.600 en 3.800 MHz (BIPT, 2020). Ook aan de grens met België krijgen zowel Nederlandse operators als private netwerkeigenaren met elkaar te maken. Een deel van het spectrum, tussen 3.430 en 3.600 MHz, is in België al eerder toegekend aan partijen, waaronder Broadband Belgium, Citymesh en Gridmax (BIPT, 2017). De laatste twee partijen hebben echter enkel nog lokale netwerken en een deel van die vergunningen loopt vóór de Nederlandse veiling al af.

4.3 Verenigd Koninkrijk

In het Verenigd Koninkrijk is de 3,5 GHz-band geveild in 2018. Bij deze veiling is het spectrum van 3.410-3.680 MHz toegewezen aan vijf landelijke operators (zie Figuur 11) (Ofcom, 2019). De laatste 120 MHz van deze band moet nog verdeeld worden. De veiling daarvan staat gepland voor 2020 (5G Observatory, 2020). Ofcom heeft een voorstel gedaan om dit in blokken van 5 MHz aan te bieden. Een opvallende uitkomst van deze veiling is dat de 120 MHz die aan UKB is toegekend gefragmenteerd is. Mede hierdoor en met het oog op de aankomende veiling van de resterende 120 MHz (3.680-3.800 MHz) is Ofcom een onderzoek gestart naar de mogelijkheden voor defragmentatie van de band. Een voorgestelde oplossing is om de operators vóór de volgende veiling onderling te laten onderhandelen voor het ruilen van spectrum.



Figuur 11 Uitkomst veiling 3,5 GHz-band Verenigd Koninkrijk (Ofcom, 2019)

4.4 Frankrijk

De veiling van de 3,5 GHz-band gaat in Frankrijk pas eind 2020 plaats vinden. In totaal wordt er 310 MHz aan spectrum (3.490-3.800 MHz) ter veiling aangeboden. Er zijn twee type kavels die in deze veiling worden geveild (Arcep, 2019):

- Vier kavels van 50 MHz
- Kavels van 10 MHz voor het resterende spectrum

Bij het verkrijgen van de 50 MHz-kavels is een operator verplicht te voldoen aan bepaalde voorwaarden omtrent de uitrol, dekking, throughput, latency en het internetprotocol (IPv6). De Franse operators zijn inmiddels ingegaan op het aanbod om deze 50 MHz-kavels tegen een vaste prijs te verkrijgen. (MobileWorldLive, 2020) De kavels van 10 MHz kunnen zowel door deze operators als door andere partijen worden verkregen in een veiling.

Frankrijk stelt een maximumhoeveelheid spectrum in de 3,5 GHz-band per MNO van 100 MHz, en een minimumhoeveelheid van 40 MHz om fragmentatie van het spectrum te voorkomen, en het spectrum efficiënt kan worden ingezet. In de consultatieronde benadrukken marktpartijen het belang van grote kavels om een efficiënte 5G dienst te kunnen leveren.

4.5 Italië



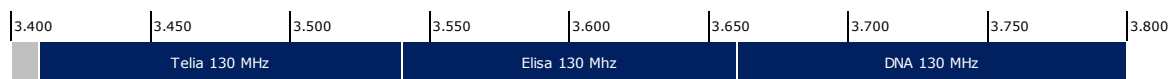
Figuur 12 Uitkomst veiling 3,5 GHz-band Italië

In Italië is de 3.4-3.8 GHz-band geveild in 2018. Het spectrum is verdeeld over vier operators met 2 blokken van 80 MHz (Telecom Italia en Vodafone) en twee blokken van 20 MHz (Wind en Iliad) (zie Figuur 12) (Petraçca, 2019). De veiling heeft relatief hoge opbrengsten gehad. De schaarste van het spectrum heeft hier waarschijnlijk een rol in gespeeld. In de uitkomst van de veiling komt duidelijk naar voren dat de grotere operators streven naar een groot blok aan spectrum. Daarnaast werd er ook een cap gesteld van maximaal 100 MHz per operator.

4.6 Cyprus

In Cyprus zijn er in 2019 testlicenties van elk 100 MHz uitgegeven in de 3,4-3,8 MHz-band. Deze licenties zijn toegekend aan ieder van de drie nationale operators en zijn bedoeld voor het testen van apparatuur en toepassingen (5G Observatory, 2020).

4.7 Finland

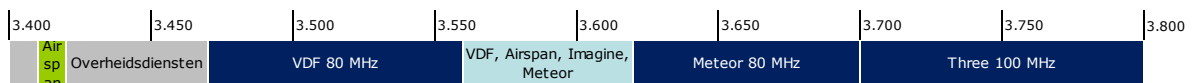


Figuur 13 Uitkomst verdeling 3,5 GHz-band Finland

In Finland is er in 2018 390 MHz aan spectrum (3.410-3.800 MHz) toegekend in de 3,5 GHz-band. Dit is gelijk verdeeld met een blok van 130 MHz voor elk van de drie operators in Finland (zie Figuur 13) (5G Observatory, 2020).

4.8 Ierland

In Ierland is het spectrum in de 3,6 GHz-band geveild in 2017. In deze veiling is er geveild op basis van regionale licenties voor stedelijke en rurale gebieden. Voor ieder gebied is één kavel van 25 MHz (3.410-3.435 MHz) geveild en zijn er 65 kavels van 5 MHz (3.475-3.800 MHz) geveild. Per operator werd er een maximumhoeveelheid in de 3,5 GHz-band gesteld van 150 MHz. De resultaten van de veiling zijn dat de drie operators blokken van 80-105 MHz hebben verworven in zowel stedelijke als rurale gebieden.



Figuur 14 Uitkomst veiling 3,6 GHz-band Ierland (ComReg, 2017)

Opvallend aan de uitkomst van de veiling is dat twee partijen die niet als standaard MNO te karakteriseren zijn, Airspan en Imagine, spectrum hebben verworven. Airspan Spectrum Holdings (gelieerd aan Dense Air) richt zich op een wholesale small cellmarkt en Imagine Communications richt zich op de rurale vast-draadloze breedbandmarkt. In de resultaten is dit ook terug te zien, aangezien het spectrum van Imagine enkel in de rurale gebieden valt en Airspan vergunningen voor smallere banden in de grotere steden heeft verworven.

4.9 Zwitserland



Figuur 15 Uitkomst veiling 3,5 GHz-band Zwitserland

BAKOM heeft in januari 2019 de 3,5 GHz-band in Zwitserland geveild (zie Figuur 15). Er was 300 MHz beschikbaar in 15 kavels van 20 MHz. Door onder andere de locatie van een satellietstation worden er geografische beperkingen gesteld aan een deel van de kavels (BAKOM, 2018). Naast de drie bestaande nationale operators in Zwitserland nam ook Dense Air deel aan de veiling. Deze laatste partij heeft uiteindelijk van aankoop afgezien, waardoor de 200 MHz nu verdeeld is over de drie operators Swisscom, Salt en Sunrise.

4.10 Australië

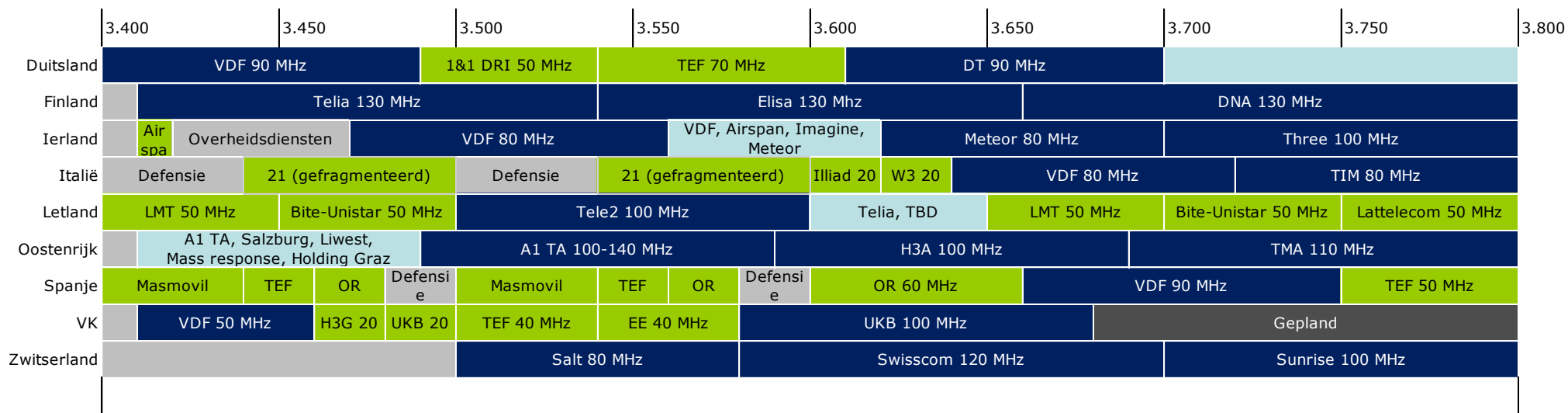
In Australië is in 2018 125 MHz (3.575-3.700 MHz) geveild. Net als in Ierland is het spectrum van de 3,6 GHz-band hier per regio geveild. In elk van de 14 regio's is het spectrum verkaveld in blokken van 5 MHz. Deze regio's zijn verdeeld in stedelijke gebieden en rurale gebieden, waarvoor er een cap gehanteerd werd van 60 MHz en 80 MHz, respectievelijk. Deze cap geldt voor de totale spectrum toewijzing in de 3,4-3,7 GHz-band, omdat gedeelten van het spectrum reeds waren toegewezen voor de veiling. Interessant is dat hier de winnaars ook niet alleen de operators zijn (zoals Telstra, Optus, JV en TPG) maar ook een neutral host als Dense Air. Deze partij is voornemens een small cell netwerk opzetten als een wholesale dienst in 6 grote steden in Australië.

Tabel 11 Uitkomst veiling 3,6 GHz-band Australië (ACMA, 2018)

Operator	Verkregen spectrum	Prijs
Dense Air Australia Pty Ltd	29 x 5 MHz	\$18,492,000
Mobile JV Pty Limited	131 x 5 MHz	\$263,283,800
Optus Mobile Pty Ltd	47 x 5 MHz	\$185,069,100
Telstra Corporation Limited	143 x 5 MHz	\$386,008,400

Implicaties voor kavelgrootte

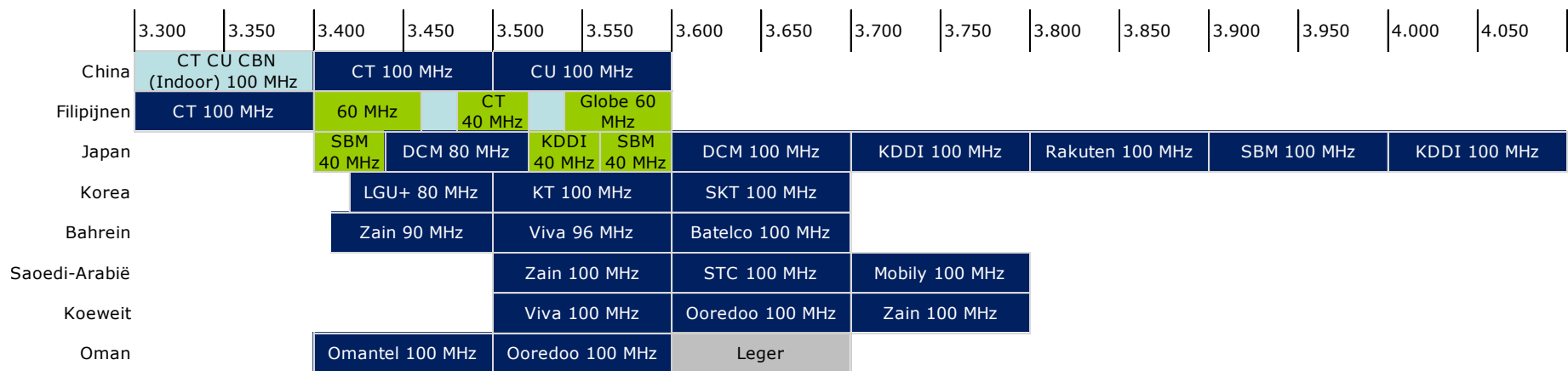
- Wat opvalt aan de veilingen in de landen hierboven is dat kleine kavels kunnen leiden tot veilinguitkomsten waarin sommige partijen een aanzienlijk kleiner stuk spectrum hebben verworven dan anderen, zoals in het Verenigd Koninkrijk. Dit is echter ook afhankelijk van het type veilingmodel en de vergunningsvoorwaarden.
- Landen als Cyprus en Ierland hebben met een gelijke kavelgrootte grote blokken kunnen uitdelen. Waardoor operators aanzienlijk spectrum hebben verworven.
- Sommige Europese landen stellen maximum- en zelfs minimumhoeveelheden ten aanzien van het spectrum in de 3,5 GHz-band.



Legenda

- >= 80MHz licenties
- < 80 MHz licenties
- Regionale licenties
- Gepland voor nationaal
- Niet beschikbaar

Figuur 16 Verdeling 3,5 GHz-band andere landen in Europa waarvan de uitkomst bekend is



Figuur 17 Frequentieverdeling in niet-EU-landen in en rond de 3,5 GHz-band

5 Mogelijke kavelgroottes

In de voorgaande tekst is steeds per onderdeel aangegeven welke implicaties er zijn ten aanzien van de te hanteren kavelgroottes. Op basis daarvan zien we een aantal mogelijkheden voor de te hanteren kavelgroottes.

Europees kader

Het uitvoeringsbesluit 2019/235 van de Europese Commissie (Europese Commissie, 2019) stelt enkele eisen aan de wijze waarop blokken worden toegewezen in de 3,5 GHz-band. Zo verplicht het besluit de toepassing van TDD en is de toegewezen omvang van blokken in veelvoud van 5 MHz (waarbij de ondergrens wordt uitgelijnd op veelvoud van 5 MHz). Deze verplichting sluit kavelgroottes kleiner dan 5 MHz uit, maar maakt het toepassen van grotere kavelgroottes niet onmogelijk (mits veelvoud van 5 MHz).

Het uitvoeringsbesluit stelt daarnaast dat voldoende *aaneengesloten* delen beschikbaar komen voor draadloze breedbanddiensten en elektronische communicatie.

In het uitvoeringsbesluit worden vervolgens diverse technische eisen behandeld. Deze betreffen met name vermogensgrenzen en de 'block edge mask' (de mate waarin een zender restvermogen mag uitstralen buiten het toegewezen blok). Hierbij wordt op sommige punten een onderscheid gemaakt tussen AAS en non-AAS (actieve antennesystemen; dit betreft specifiek de eerder genoemde Massive MIMO-antennes die in 5G op drukker locaties kunnen worden ingezet, waarbij beamforming wordt gebruikt). We zien in deze voorwaarden geen verdere nadere beperkingen ten aanzien van de grenswaarden.

5.1 Gelijke kavelgroottes

Allereerst kan worden gekozen voor een verkaveling waarin alle kavels even groot zijn. De grootte van de kavels bepaalt zowel het minimum (kleinste hoeveelheid te verkrijgen spectrum) als de mogelijk te verkrijgen hoeveelheden (veelvouden van de kleinste hoeveelheid).

5.1.1 Optie A: 60 kavels van 5 MHz

Bij kavels van 5 MHz is er maximale granulariteit in de hoeveelheden te verkrijgen spectrum. Alle uitkomsten die in 3GPP gestandaardiseerd zijn kunnen gerealiseerd worden. Hierbij moet met name aan de 15 MHz, en de zeer recent geïntroduceerde 25 MHz carrierbreedte gedacht worden.

Het nadeel is dat dit tot inefficiënte uitkomsten kan leiden. Boven de 25 MHz zijn er geen 'veelvouden van vijf' carrierbreedtes gestandaardiseerd. Een operator kan in die gevallen 5 MHz niet inzetten tenzij er carrieraggregatie wordt toegepast met een 15 MHz of 25 MHz-carrier. Wanneer één operator een veelvoud van 5 MHz (maar geen veelvoud van 10 MHz) bemachtigt betekent dit daarnaast dat er altijd *nóg* een operator is waarvoor hetzelfde geldt. Een voorbeeld van een ongunstige uitkomst is [85, 85, 65, 65] MHz – hierbij heeft iedere operator 5 MHz spectrum die niet effectief inzetbaar is in een enkelvoudig kanaal.

5.1.2 Optie B: 30 kavels van 10 MHz

Bij een kavelgrootte van 10 MHz zijn de minder efficiënte veelvoud van 5 MHz uitgesloten als uitkomst. Zoals eerder aangegeven betekent dit alleen dat de carrier bandbreedtes 15

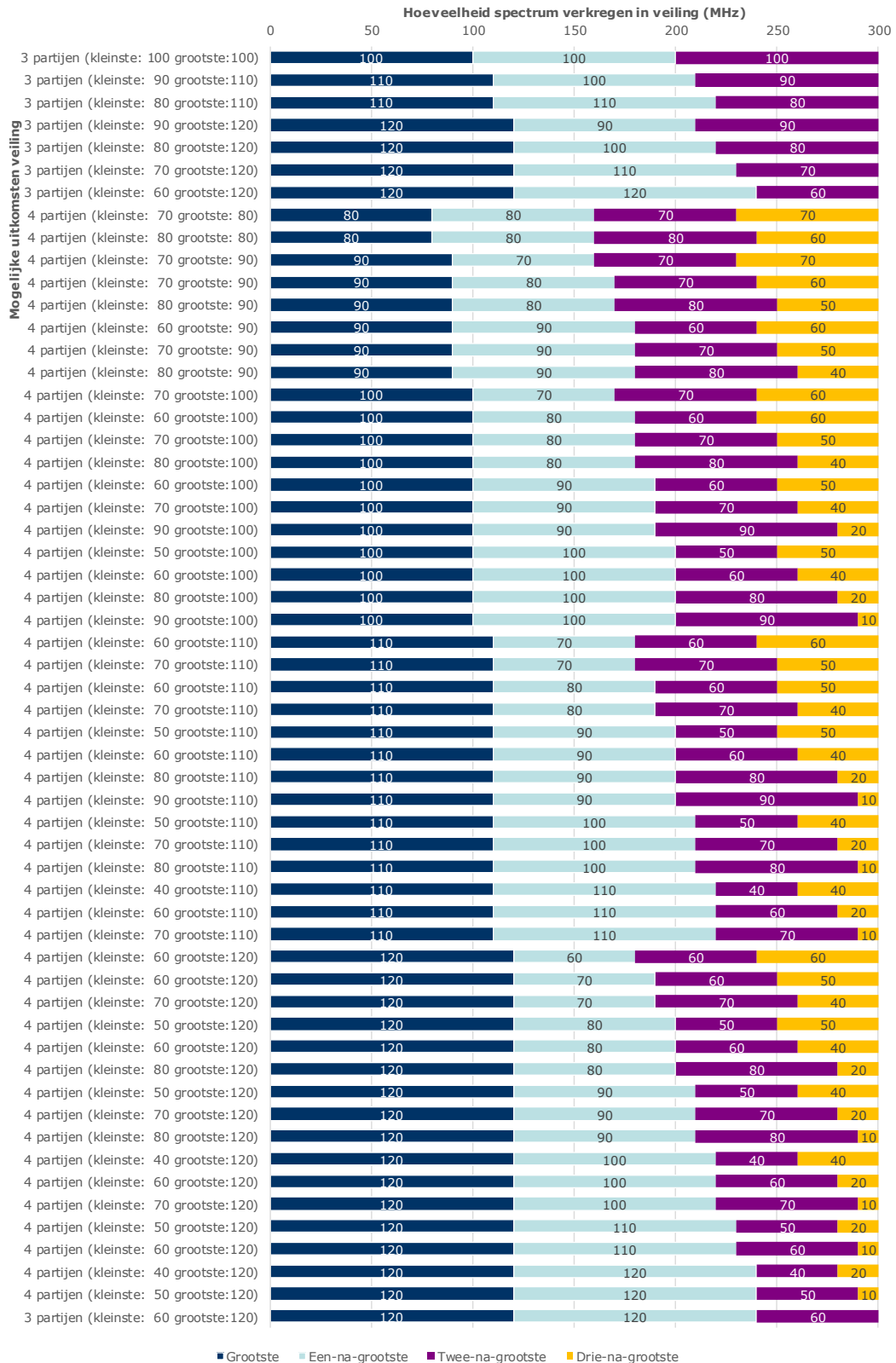
en 25 MHz en eventuele combinaties daarmee niet meer kunnen worden ingezet. Desondanks zijn diverse uitkomsten mogelijk in het bereik tussen 60-120 MHz, waarin we verwachten dat differentiatie mogelijk zal zijn tussen bestaande operators. Afhankelijk van een eventueel minimum is er ook ruimte voor nieuwkomers.

Figuur 18 geeft een overzicht van de mogelijke uitkomsten van de veiling bij 3 en 4 partijen die spectrum zouden verwerven. Het is uiteraard mogelijk dat er (veel) meer partijen meebieden en spectrum verkrijgen (theoretisch zouden 30 partijen elk 10 MHz kunnen verwerven). Mocht het zo zijn dat slechts drie partijen spectrum verwerven, dan zal geen van deze partijen minder dan 60 MHz verwerven als gevolg van de capregeling.

Bij vier partijen is de kleinste totale hoeveelheid die de grootste twee partijen verwerven 160 MHz (2x80 MHz) en halen de drie grootste partijen altijd minimaal 230 MHz binnen (80+80+70 MHz). In deze situatie zullen ten minste twee operators met minder dan 100 MHz spectrum genoeg moeten nemen. Een dergelijke uitkomst zagen we in de Duitse veiling (90 MHz, 90 MHz, 70 MHz en 50 MHz). Voor de operators betekent een dergelijke uitkomst dat zij radioapparatuur niet volledig kunnen benutten (er is zeker 10% minder capaciteit per sector mogelijk ten opzichte van wat maximaal mogelijk zou zijn bij 100 MHz, en mogelijk meer dan 10% wanneer een hoog minimumdoel wordt gesteld). Voor de initiële uitrol heeft dat weinig consequenties, maar zodra het netwerk echt belast wordt zullen er eerder extra opstelpunten nodig zijn. Bij een nieuwkomer met 40 MHz is een mogelijke uitkomst bijvoorbeeld [90, 90, 80, 40] MHz, een uitkomst die wat ons betreft binnen acceptabele grenzen ligt voor de bestaande operators.

Mocht er een groot aantal bidders zijn dan kan dat leiden tot een fragmentatie van het spectrum waarbij een groot aantal aanbieders ieder met een relatief klein kanaal eindigt. Een groot aantal operators met relatief kleine hoeveelheden spectrum leidt tot inefficiënte netwerken en een hogere kostprijs per gigabyte. Die hogere kostprijs werkt uiteindelijk door in de prijs die de eindgebruiker zal moeten betalen. Aan de andere kant bestaat daarbij nog steeds de mogelijkheid om kleinere kavels samen te voegen in een shared RAN om alsnog een kostenefficiënte RAN-uitrol te realiseren.

Mogelijke uitkomsten 3,5 GHz-veiling bij 10 MHz kavelgrootte, maximaal vier bidders die spectrum bemachtigen, en 3GPP--gestandaardiseerde bandbreedtes*



Figuur 18 Mogelijke uitkomsten bij een kavelgrootte van 10 MHz bij 3 en 4 verwerfers van spectrum

5.1.3 Optie C: 3 kavels van 100 MHz

Het hanteren van kavels van 100 MHz heeft (vanwege de capregeling) als consequentie dat er drie partijen 100 MHz spectrum verwerven. Bij 100 MHz spectrum kan een operator de maximale door 3GPP gestandaardiseerde kanaalbreedte te benutten: een optimale uitputting van de investering in radioapparatuur, en daarmee de laagste kostprijs per gigabyte voor de operator. Door concurrentie tussen de drie partijen zal die lagere kostprijs uiteindelijk moeten leiden tot lagere kosten voor de gebruiker.

Een kavelgrootte van 100 MHz beperkt de markt tot drie 5G-netwerken in de 3,5 GHz-band. Het is mogelijk dat het opnieuw de drie bestaande operators zal betreffen. Voor de drie operators is het verkrijgen van één van de drie kavels essentieel om snel en met redelijke dekking landelijk 5G te kunnen bieden. Strikt genomen kan een operator dit ook doen in ander (lager) spectrum, maar daarbij zijn niet de hoge capaciteiten haalbaar die met 100 MHz wel kunnen worden gerealiseerd.

Een nieuwe aanbieder kan alleen toetreden wanneer die bereid is meer te betalen in de veiling dan één van de bestaande operators. In dat scenario zal (ten minste) één van de bestaande operators geen spectrum in de 3,5 GHz-band verwerven, en daardoor een andere marktstrategie moeten ontwikkelen.

Bij een kavelgrootte van 100 MHz is het niet mogelijk om precies het door ACM gestelde maximum van 40% spectrum in de 3,5 GHz-band te verwerven (noch voor bestaande operators, noch voor toetreders).

5.2 Ongelijke kavelgroottes

Het is uiteraard ook mogelijk om een set kavels met verschillende groottes te hanteren. De voordelen hiervan lijken beperkt, maar het is een optie die bij een groter aantal bieders zeker stelt dat er minimaal drie relatief grote kavels uitgegeven worden die redelijke efficiënt inzetbaar zijn. Het voorkomt daarnaast een verdere fragmentatie in een groot aantal kleine kanalen. Bij ongelijke kavelgroottes liggen de volgende verdelingen voor de hand:

- *D. Drie kavels van 80 MHz en drie van 20 MHz.* Wanneer partijen vrij op alle kavels mogen bieden, binnen de capregeling) kunnen de drie hoogst biedende partijen reken op minimaal 80 MHz en eventueel 100 MHz wanneer ze ook genoeg bieden voor de laatste 20 MHz. Ook 60, 40 en 120 MHz (het verwachte maximum krachtens de capregeling) zijn mogelijke uitkomsten. Een minder biedende partij (maar hoger biedend dan een bestaande operator) kan eventueel met een 20 MHz-kanaal een dienst realiseren.
- *E. Drie kavels van 70 MHz en drie van 30 MHz.* Deze variant is enigszins vergelijkbaar met bovenstaande variant, maar kent een iets andere set uitkomsten. Het belangrijkste voordeel is dat de minimumhoeveelheid spectrum waarmee een partij de veiling verlaat 30 MHz is, waarbij de kans op fragmentatie kleiner is dan bij 20 MHz. Een nieuwkomer zal andersom hoger moeten bieden omdat het grotere 30 MHz kavel ook voor bestaande operators meer waard zal zijn.
- *F. Drie kavels van 60 MHz en drie van 40 MHz.* Voor wat betreft argumentatie gelijk aan bovenstaande.

Naast bovenstaande zijn verdelingen (G,H en I) denkbaar waarbij drie 'grote' blokken (80, 70 of 60 MHz) beschikbaar zijn en daarnaast kavels van 10 MHz. Daarbij wordt het minimum per partij (de facto voor een entrant) losgelaten, maar blijft een minimum gelden voor (de

facto) de zittende partijen. Deze varianten garanderen daarmee enige mate van efficiënt spectrumgebruik door de zittende partijen, maar laten de mogelijkheid voor een groot aantal toetreders met kleine hoeveelheden spectrum. Wel hebben de grotere operators de mogelijkheid om zich ten opzichte van elkaar te differentiëren.

5.3 Overzicht

Onderstaande Tabel 12 toont de belangrijkste kenmerken van de verschillende besproken verkavelingsopties.

Tabel 12 Overzicht verkavelingsopties

Verdeling in kavels	Minimumhoeveelheid spectrum te verkrijgen	120 MHz (cap) haalbaar?	Te verkrijgen carrierbreedtes (5G NR-gedefinieerde, inclusief aggregaerbaar, ≤120 MHz).
A. 60x5 MHz	5 MHz	Ja	10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 MHz
B. 30x10 MHz	10 MHz	Ja	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 MHz
C. 3x100 MHz	100 MHz	Nee	100 MHz
D. 3x80 + 3x20 MHz	20 MHz	Ja	20, 40, 60, 80, 100, 120 MHz
E. 3x70 + 3x30 MHz	30 MHz	Nee	30, 60, 70, 90, 100 MHz
F. 3x60 + 3x40 MHz	40 MHz	Ja	40, 60, 80, 100, 120 MHz
G. 3x80 + 6x10 MHz	10 MHz	Ja	10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 90, 100, 110, 120 MHz
H. 3x70 + 9x10 MHz	10 MHz	Ja	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 MHz
I. 3x60 + 12x10 MHz	10 MHz	Ja	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 MHz

6 Conclusie

6.1 Beantwoording onderzoeksvragen

Wat is de logische grootte van de te veilen kavels in de 3,5 GHz-band, opdat vergunninghouders op een zo efficiënt mogelijke wijze mobiele diensten kunnen gaan aanbieden?

De kavelgrootte is bepalend voor een aantal factoren:

- De granulariteit van de uitkomsten, en daarmee de efficiëntie (eenieder kan bij kleinere kavels preciezer aansluiten bij de eigen economische waardering van het spectrum).
- Het aantal operators dat spectrum kan verwerven in de 3,5 GHz-band. Een hoger aantal operators is gewenst vanuit perspectief van concurrentie (niet voor niets leidt de capregeling tot een minimumaantal van drie operators). Een hoger aantal operators betekent echter ook dat spectrum frequentietechnisch minder efficiënt kan worden ingezet.
- De prijs die zal worden geboden voor de kavels. Deze zal hoger zijn wanneer er concurrentie kan zijn tussen bestaande operators onderling (deze dus verschillende hoeveelheden spectrum zouden kunnen verkrijgen) en bij de aanwezigheid van (dreiging van een) toetreders.

Een eerste vraag is de kleinste gemene deler van de kavelgroottes. Geredeneerd vanuit de 3GPP-standaard voor 5G NR ligt een deler kleiner dan 5 MHz niet voor de hand. Een deler van 5 MHz leidt tot beperkt extra mogelijkheden maar vooral ook tot een groter aantal mogelijke suboptimale uitkomsten. Een deler van 10 MHz heeft dan ook de voorkeur.

Bij een deler van 10 MHz zijn alsnog verschillende verkavelingen mogelijk. We maken onderscheid tussen gelijke verkavelingen (alle kavels even groot) en ongelijke verkavelingen (meerdere verschillende kavelgroottes).

Bij gelijke kavelgroottes liggen 100 MHz (3 kavels) en 10 MHz (30 kavels) het meest voor de hand. Bij 3x100 MHz is geen ruimte voor het verkrijgen van het maximum (120 MHz) en geen ruimte voor differentiatie tussen de operators. Wel zou daarmee mogelijk strategische verkrijging van spectrum worden voorkomen. Een keuze voor 3x100 MHz leidt echter ook (altijd) tot een uitkomst met drie partijen, waarbij alleen ruimte is voor een (kapitaalkrachtige) entrant ten koste van één van de bestaande operators.

Bij een verkaveling in gelijke kavels van 10 MHz is er meer flexibiliteit – er is zowel ruimte voor toetreders als differentiatie tussen de operators. Er is echter een groter risico op fragmentatie wanneer niet ook een minimum wordt gesteld aan de hoeveelheid spectrum waarmee een partij de veiling mag verlaten.

Bij een ongelijke verdeling ligt een verkaveling in 3x80 + 3x20 MHz, 3x70 + 3x30 MHz of 3x60 + 3x20 MHz het meest voor de hand. Daarmee kunnen de drie hoogst biedende partijen rekenen op minimaal respectievelijk 80, 70 en 60 MHz en eventueel 100 MHz wanneer ze ook genoeg bieden voor de laatste 20, 30 en 40 MHz. Ook 120 MHz (het verwachte maximum krachtens de capregeling) en diverse tussenliggende hoeveelheden zijn mogelijke uitkomsten. Een minder biedende partij (maar hoger biedend dan een bestaande operator) kan

eventueel met een 20, 40 of 60 MHz-kanaal een dienst realiseren. Een variant waarin drie grotere kavels (van 80, 70 of 60 MHz) en daarnaast kavels van 10 MHz beschikbaar zijn, is ook denkbaar. Daarbij wordt aan de zittende partijen de facto een minimum gesteld (ter grootte van de grootste kavelgrootte) en geldt de facto een beperkt minimum van 10 MHz voor toetreders. Een dergelijke verdeling lijkt nauwelijks meerwaarde te hebben boven een verkaveling in uitsluitend blokken van 10 MHz vanuit het oogpunt van voorkomen van fragmentatie en faciliteren van differentiatie tussen operators.

Uit bovenstaande volgt dat met name de gewenste minimum kavelgrootte een belangrijke (beleids)parameter is op basis waarvan de verkaveling kan worden gekozen. Een hoger minimum leidt tot hogere zekerheid dat er hoogwaardige 5G-netwerken in de 3,5 GHz-band kunnen worden uitgerold, maar werkt beperkend ten aanzien van differentiatie en toetreding.

Wanneer in de veiling een expliciet minimum kan worden gesteld aan de hoeveelheid spectrum die een partij verkrijgt, ligt veiling van gelijke kavels van 10 MHz het meest voor de hand. Het veilen op basis van kavels met ongelijke grootte ligt alleen voor de hand wanneer het daaruit voortvloeiende impliciete minimum gewenst is.

Verwijzingen

- 3GPP. (2020). Releases. Opgehaald van <https://www.3gpp.org/specifications/67-releases>
- 3GPP. (2020). *TS 38.101-1 V16.2.0 (2020-01-13)*. 3GPP. Opgehaald van http://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/38_series/38.101-1/38101-1-g20.zip
- 3GPP. (2020). *TS 38.104 V16.2.0 (2020-01-13)*. 3GPP. Opgehaald van http://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/38_series/38.104/38104-g20.zip
- 5G Observatory. (2020). *National 5G spectrum assignment*. Opgehaald van <https://5gobservatory.eu/5g-spectrum/national-5g-spectrum-assignment>
- ACM. (2019). Advies multibandveiling 2019. Den Haag. Opgehaald van <https://www.acm.nl/sites/default/files/documents/frequentieveiling-advies-2019.pdf>
- ACM. (2019). *Ontwerp regeling tot vaststelling van de maximale hoeveelheid frequentieruimte voor mobiele communicatie (Capregeling mobiele communicatie 2020)*. Den Haag. Opgehaald van <https://www.internetconsultatie.nl/multibandveiling/document/5195>
- ACMA. (2018). *Auction summary - 3.6 GHz band*. Opgehaald van <https://www.acma.gov.au/auction-summary-36-ghz-band-2018>
- Agentschap Telecom. (2020). *Antenneregister*. Opgehaald van <https://www.antenneregister.nl/###>
- Arcep. (2019). *Décision n°2019-1386de l'Autorité de régulation des communications électroniques*. Opgehaald van https://www.arcep.fr/uploads/tx_gsavis/19-1386.pdf
- BAKOM. (2018). *Mobile radio frequencies for 5G awarded in Switzerland*. Opgehaald van <https://www.bakom.admin.ch/bakom/en/homepage/frequencies-and-antennas/award-of-mobile-telephony-frequencies/starting-signal-for-new-award-of-mobile-radio-frequencies.html>
- BIPT. (2017). *De verlenging van de gebruiksrechten van Broadband Belgium*. Opgehaald van https://www.bipt.be/public/files/nl/22112/Besluit_Verlenging_BBB.pdf
- BIPT. (2020). *Mededeling van de Raad van het BIPT van 28 januari 2020 betreffende toekenning van voorlopigegebruiksrechten voor het opzetten en exploiteren van een zendinstallatie in de band 3600-3800 MHz*. Opgehaald van https://www.bipt.be/public/files/nl/23052/Mededeling_toekenning_voorlopige_gebruiksrechten_band_3600-3800_MHz.pdf
- Bundesnetzagentur . (2019). *Mobile Broadband - Project 2018*. Opgehaald van <https://www.bundesnetzagentur.de/EN/Areas/Telecommunications/Companies/FrequencyManagement/ElectronicCommunicationsServices/MobileBroadbandProject2018/Project2018.html;jsessionid=BCFE95BE38B31BA212FF53E0B6BE292F?nn=324044>
- Bundesnetzagentur . (2020). *Mobile/Fixed communication Network from 700 MHz to 3.8 GHz*. Opgehaald van <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/EN/Areas/Telecommunications/Companies/TelecomRegulation/FrequencyManagement/ElectronicCommu>

nicationsServices/FrequencyAward2018/20200128_SpectrumDiagram_pdf.pdf;jsessionid=79227B10AAFD9F88EAA484DA9C31B

- Bundesnetzagentur. (2018). *President's Chamber decision of 14 May 2018 on the order for and choice of proceedings for the award of spectrum in the 2 GHz and 3.6 GHz bands for mobile/fixed communication networks*. Opgehaald van https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/EN/Areas/Telecommunications/Companies/TelecomRegulation/FrequencyManagement/ElectronicCommunicationsServices/FrequencyAward2018/20180613_Decision_I_II.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Coleago Consulting. (2020). The business case for 5G: lowering the cost per bit. *The 4th Annual European 5G Conference, 29-30 januari 2020*. Brussels.
- ComReg. (2017). *Five Winning Bidders in ComReg's 3.6 GHz Band*. Opgehaald van <https://www.comreg.ie/publication-download/media-release-results-3-6-ghz-band-spectrum-award>
- ComReg. (2017). *Results of the 3.6 GHz Band Spectrum Award*. Opgehaald van https://www.comreg.ie/media/dlm_uploads/2017/05/ComReg-1738.pdf
- Derham, T. (2011). Chapter 9. LTE and LTE-Advanced. In *MIMO. From Theory to Implementation* (pp. 243-265). Opgehaald van <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123821942000095>
- Dialogic. (2019). *Technisch onderzoek synchronisatie 5G in de 3.400 – 3.800 MHz-band*.
- ECC. (2018). *CEPT Report 67. Review of the harmonised technical conditions applicable to the 3.4-3.8 GHz ('3.6 GHz') frequency band*. ECC. Opgehaald van <https://www.ecodocdb.dk/download/561367fd-1ac6/CEPT%20Report%2067.pdf>
- ECC. (2018). *ECC Report 287: Guidance on defragmentation of the frequency band 3400-3800 MHz*. Opgehaald van <https://www.ecodocdb.dk/download/3a143dbe-7cbc/ECCRep287.pdf>
- Europese Commissie. (2019). *Uitvoeringsbesluit (EU) 2019/235 van de Commissie tot wijziging van Beschikking 2008/411/EG wat betreft een actualisering van relevante technische voorwaarden voor de 3 400-3 800 MHz-frequentieband*. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019D0235&from=NL>
- Fosberg, D. (2019). *How AT&T Uses OnGo to Enable Next-Generation Fixed Wireless Services*. CBRS alliance. Opgehaald van <https://www.cbrsalliance.org/how-att-uses-ongo-to-enable-next-generation-fixed-wireless-services/>
- GSA. (2020). 3300-4200 MHz: a key frequency band for 5G. How administrations can exploit its potential.
- ITU. (2017). *Minimum requirements related to*. ITU-R. Opgehaald van https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2410-2017-PDF-E.pdf
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2019). *Nota mobiele communicatie*. Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/beleidsnotas/2019/06/11/nota-mobiele-communicatie-2019/nota-mobiele-communicatie-2019.pdf>

- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2019). *Ontwerp regeling tot vaststelling van de aanvraag- en veilingprocedure voor vergunningen voor frequentieruimte in de 700, 1400 en 2100 MHz-band ten behoeve van mobiele communicatie (Regeling aanvraag- en veilingprocedure vergunningen 700, 1400 en 2100 MHz*. Opgehaald van <https://www.internetconsultatie.nl/multibandveiling/document/5194>
- MobileWorldLive. (2020). *French operators apply for fixed-price 5G blocks*. Opgehaald van https://www.mobileworldlive.com/featured-content/top-three/french-operators-apply-for-fixed-price-5g-blocks/?ID=a6g1r000000yxPZAAAY&JobID=387751&utm_source=sfmc&utm_medium=email&utm_campaign=MWL_20200226&utm_content=https%3a%2f%2fwww.mobileworldlive.com%2f
- Ofcom. (2018). *A guide to the forthcoming spectrum auction*. Opgehaald van <https://www.ofcom.org.uk/about-ofcom/latest/features-and-news/spectrum-auction-guide>
- Ofcom. (2019). *Defragmentation of spectrum holdings in the 3.4-3.8 GHz band*. Opgehaald van https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0011/152102/consultation-defragmentation-spectrum-holdings.pdf
- Ofcom. (2019). *Variation of Spectrum Access licences in the 3400 to 3680 MHz band*. Opgehaald van https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0025/144880/notice-proposal-vary-3.4-ghz-radio-spectrum-licences.pdf
- Oughton, E. J., Frias, Z., Gaast, S. v., & Berg, R. v. (2019). Assessing the capacity, coverage and cost of 5G infrastructure strategies: Analysis of the Netherlands. *Telematics and Informatics*(37), 50-69.
- Petracca, M. (2019). *The Agcom's regulation for the award and the use of the 700 MHz, 3.6-3.8 GHz and 26.5-27.5 GHz bands to foster the transition to 5G technology*. AGCOM. Opgehaald van http://www.emergonline.org/wp-content/uploads/2018/12/EMERG-BEREC-workshop-on-5G_Marco-Petracca.pdf
- Qualcomm. (2018). *How do we plan for 5G NR deployments?* Opgehaald van <https://www.qualcomm.com/news/onq/2018/11/27/how-do-we-plan-5g-nr-deployments>
- Rijksoverheid. (2019). *Onderzoek EZK: 'Voer minimale snelheidseisen in voor mobiel internet'*. Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2019/02/15/onderzoek-ezk-%E2%80%98voer-minimale-snelheidseisen-in-voor-mobiel-internet%E2%80%99>
- RTR. (2018). *5G frequency award 3.4 - 3.8 GHz - outcome of auction*. Opgehaald van <https://www.rtr.at/en/tk/5G-Auction-Outcome>
- TNO. (2019). *Monitor Draadloze Technologie, najaar 2019*. Opgehaald van https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKewjcs8Tt_PvnAhVBDuWkHQ2KC3sQFjACegQIARAB&url=http%3A%2F%2Fpublications.tno.nl%2Fpublication%2F34635031%2FQIs0sA%2FTNO-2019-R11692.pdf&usg=AOvVaw2HRlyYWqfkuHJFi3-zLIwd
- Vodafone Group. (2019). *An Industrial 5G Spectrum Policy for Europe*. Opgehaald van https://www.vodafone.com/perspectives/blog/an_industrial_5g_spectrum_policy_for_europe

Vodafone Nederland. (2020). *Groei mee naar 4G*. Opgehaald van <https://groeimeenaar4g.vodafone.nl/>

Bijlage 1. Overzicht interviewrespondenten

Organisatie	Naam	Functie
Ericsson	Patrick Blankers	Manager strategy & regulatory affairs
	Simon Biemond	Strategic network evolution manager
Huawei	Alessandro Casagni	Director wireless regulatory policy EMEA
	Jurjen Veldhuizen	Solution director
KPN	Eric Smeitink	Manager technology & innovation
	Gerard de Groot	Senior network architect
	Marloes van Caspel	Senior regulatory officer
Nokia	Anne van Otterlo	Account CTO
	Jeroen Thijsen	Business development manager
T-Mobile	Han van Bussel	Netwerkarchitect
	Jasper Rothuizen	Strategy manager to the management board
	Miriam van Deursen	Manager public & regulatory affairs
VodafoneZiggo	Ruud Koeyvoets	Manager access engineering, planning & optimization
	Walter Kroeze	Manager regulatory affairs



Organisatie:

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

