dialogic

Onderzoek voor *onderbouwd* beleid.

Rapport

Effecten van het gebruik van de volledige 28 GHz-band door satellietgrondstations in Nederland

Auteurs

Ir. Tommy van der Vorst

Ir. ing. Reg Brennenraedts MBA

Ir. Vincent Mosmuller

Ir. Jan van Rees

Rapport

Effecten van het gebruik van de volledige 28 GHz-band door satel-lietgrondstations in Nederland

Auteurs

Ir. Tommy van der Vorst
Ir. ing. Reg Brennenraedts MBA
Ir. Vincent Mosmuller
Ir. Jan van Rees

Opdrachtgever

Ministerie van Economische Zaken

Publicatienummer

2024.057-2431

Datum

10 december 2024

Beeld omslag

Freepik

Inhoud

Woordenlijst 4

1 Inleiding 5

1.1 Achtergrond 5
1.2 Onderzoeksaanpak 6

2 Invullingen van de 28 GHz-band 7

2.1 Huidige indeling van de 28 GHz-band 7
2.2 Mogelijke toepassingen en gebruikers voor de 28 GHz-band 10
2.3 Scenario's en beleidsopties 26

3 Argumenten en effecten 27

3.1 Argumenten 27
3.2 Overzicht 36

4 Conclusie 38

4.1 Beantwoording onderzoeksvraag 38

Verwijzingen 40

Bijlage 1. Huidige indeling 28 GHz-band 43

Bijlage 2. Bestemming 28 GHz-band in andere landen 45

Bijlage 3. Overzicht interviewrespondenten 46

Woordenlijst

Woord	Betekenis
5G NR	*5G New Radio.* Het radioprotocol van de 5G-standaard van 3GPP.
CEPT	*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations.* Vereniging van 46 landen die onderling diverse aspecten coördineren en standaardiseren op het gebied van telecommunicatie en post.
ECC	*European Communications Committee.* Onderdeel van het CEPT dat zich bezighoudt met het uitwerken van (niet-bindend) geharmoniseerd spectrumbeleid voor lidstaten in Europa ter bevordering van efficiënt gebruik van het spectrum.
ESOMP	*Earth Station on Moving Platforms*. Een beweegbaar 'platform' zoals een voertuig, boot of luchtvaartuig, die zijn voorzien van een radiozender.
FRMCS	*Future Railway Mobile Communication System.* Een internationale standard voor mobiele communicatie in de spoorwegsector. FRMCS maakt ten opzichte van het huidige GSM-R onder andere gebruik van modernere 5G-radiotechnologie.
FS	*Fixed Service*. Communicatie tussen twee of meer vaste punten.
FSS	*Fixed Satellite Service*. Communicatie tussen een satelliet en een vaste locatie op aarde.
FSS_ES	*Fixed Satellite Service.* Communicatie tussen een satelliet en een vaste locatie op aarde, specifiek in de richting aarde-naar-ruimte.
GEO	*Geostationary Earth Orbit.* Een baan waarin geostationaire satellieten zich bewegen rond de aarde. Geostationaire satellieten lijken zich voor een waarnemer op het aardoppervlak niet te bewegen.
IMT	*International Mobile Telecommunications*. Verwijst naar mobiele netwerken die aan een aantal criteria voldoen, waaronder met name het feit dat ze breedbandig zijn.
ITU	*International Telecommunications Union.* Een supranationaal orgaan en onderdeel van de Verenigde Naties, dat zich (onder andere) bezighoudt met mondiaal beleid op het gebied van draadloze communicatie en spectrumgebruik.
LEO	*Low Earth Orbit*. Een relatief lage baan waarin satellieten zich kunnen bewegen rond de aarde.
MEO	*Medium Earth Orbit.* Een baan waarin niet-geostationaire satellieten zich bevinden, hoger dan LEO.
NGSO	*Non-Geostationary Orbit.* Alle banen om de aarde waarin niet-geostationaire satellieten zich kunnen bevinden.

1 Inleiding

Dit onderzoek draait om de bestemming van de 28 GHz-band, die loopt van 27,5 GHz tot 30 GHz. De volgende onderzoeksvraag staat centraal:

Wat zijn de effecten van het wijzigen van de bestemming van de 28 GHz-band in Nederland, zodat de gehele band primair kan worden gebruikt voor satellietgrondstations ten behoeve van vaste aarde-naar-ruimtecommunicatie?

Het onderzoek laat gebruik door defensie en argumenten die te maken hebben met inlichtingen en veiligheid buiten beschouwing.

Leeswijzer

In **hoofdstuk 2** gaan we allereerst in op de invulling van de 28 GHz-band: wat is de huidige invulling, wat zijn mogelijke invullingen, en wat zijn daaruit voortvloeiende beleidsopties en scenario's? In **hoofdstuk 3** gaan we in op de argumenten en effecten die spelen bij de keuze tussen de beleidsopties. In **hoofdstuk 4** beantwoorden we tot slot de onderzoeksvragen.

Ter achtergrond is in **Bijlage 1** een overzicht opgenomen van de huidige indeling van de 28 GHz-band volgens het NFP. **Bijlage 2** toont een overzicht van de bestemming van de 28 GHz-band in andere relevante landen. In **Bijlage 3** geven we tot slot een overzicht van de betrokken interviewrespondenten.

1.1 Achtergrond

De 28 GHz-band is in Nederland bestemd voor gebruik door vaste verbindingen (FS) en voor vaste satellietverbindingen (FSS). [1] In Bijlage 1 wordt een gedetailleerd overzicht hiervan getoond. Deze indeling is op hoofdlijnen in overeenstemming met de op mondiaal en Europees niveau vastgestelde bestemming.

Exploitanten van satellietgrondstations sturen er in diverse landen, bijvoorbeeld via openbare consultaties, op aan dat de gehele band (primair) beschikbaar wordt gesteld voor satellietcommunicatie. Het Ministerie van Economische Zaken (EZ) signaleert een dergelijke behoefte ook in Nederland. In het algemeen kan gesteld worden dat de satellietsector (wereldwijd) de afgelopen jaren een opleving doormaakt. Naast hernieuwde interesse in GEO-satellietsystemen speelt de opkomst van *low earth orbit*-satellieten (LEO).

Naast deze ontwikkelingen speelt dat de 28 GHz-band, in afwijking van wat ITU voorschrijft, in een aantal grote en toonaangevende landen (zoals de VS, Japan en Zuid-Korea) gebruikt mag worden voor IMT (mobiele netwerken). Ondersteuning voor de band is gestandaardiseerd voor het 5G-radioprotocol (5G NR). ITU benoemt IMT als de primaire gebruiker van de 26 GHz-band. [2] Een vraag is in hoeverre de adoptie van (een van) deze banden zich de komende jaren zal ontwikkelen, en in hoeverre het realistisch is dat ook de 28 GHz-band in Europa en Nederland voor IMT beschikbaar zou moeten komen in de toekomst.

Tot slot blijven ook vaste verbindingen in Nederland, ondanks vergaande verglazing, een belangrijke rol spelen. Een vraag die speelt bij het invullen van de 28 GHz-band is dan ook in hoeverre dit gebruik de komende jaren zich zal ontwikkelen.

1.2 Onderzoeksaanpak

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden is gestart met literatuuronderzoek, waarbij de relevante regelgeving rondom de 28 GHz-band, de rapporten van ECC en een analyse van RDI over co-existentie centraal stonden. Vervolgens is een landenstudie uitgevoerd (zie Bijlage 2) waarbij is uitgezocht hoe verschillende landen de 28 GHz-band hebben ingedeeld. Ook is gekeken naar eventuele consultatierondes en (openbare) reacties van verschillende partijen daarin. Tot slot is gesproken met belanghebbenden, waaronder exploitanten van satellietsystemen (GEO en LEO), mobiele netwerkaanbieders met eigen infrastructuur in Nederland, kenners van het ruimtevaartecosysteem in Nederland, en experts van RDI. Een overzicht van interviewrespondenten is gegeven in **Bijlage 3**. Merk hierbij op dat niet alle benaderde personen en organisaties zijn ingegaan op onze uitnodiging deel te nemen aan het onderzoek.

2 Invullingen van de 28 GHz-band

In dit onderzoek kijken we naar de frequentieband die loopt van 27,5 tot 30 GHz, en noemen we deze *de 28 GHz-band*. In dit hoofdstuk bespreken we allereerst de huidige indeling van deze band. Daarna gaan we in op *mogelijke* vormen van (andere) inzet van de band. We sluiten af met een overzicht van daaruit volgende logische beleidsopties.

2.1 Huidige indeling van de 28 GHz-band

De bestemming van de 28 GHz-band is in Nederland geregeld in het Nationaal Frequentieplan (NFP). [1] De band is opgedeeld in verschillende blokken. Hierin zijn in Nederland grofweg twee vormen van gebruik toegestaan:

- **Vaste verbindingen** (FS). Hiermee wordt radiocommunicatie tussen vaste (niet-bewegende) punten op aarde bedoeld. Wanneer het gaat om communicatie tussen *twee* vaste punten spreken we ook wel van een *straalverbinding*. Bij meerdere vaste punten is sprake van *punt-multipuntcommunicatie*. Voor het gebruik van het spectrum is een vergunning vereist.
- **Vaste satellietcommunicatie (aarde-naar-ruimte)** (FSS_ES). Hiermee wordt communicatie bedoeld vanaf satellietgrondstations of -terminals naar een satelliet. De band is (in zeer beperkte mate) ook bestemd voor het *ontvangen* van signalen, zoals bakensignalen. Dit laatste aspect laten we in dit onderzoek buiten beschouwing.

  Ongestoord gebruik van het spectrum kan alleen worden geclaimd door satellietgrondstations waarvoor een vergunning is aangevraagd, en waarbij wordt gecoördineerd met andere spectrumgebruikers. Daarnaast kan ook *ongecoördineerd* (en zonder vergunning) gebruik worden gemaakt van het spectrum, bijvoorbeeld door eindgebruikersterminals (zolang deze onder controle staan van het satellietnetwerk).

Het NFP implementeert (doorgaans) de radiorichtlijnen van ITU, die op mondiaal niveau bepalen hoe bepaalde frequentiebanden mogen worden gebruikt. Beslissingen hierover worden genomen tijdens de vierjaarlijkse World Radio Conference (WRC). [3] Op Europees niveau ontwikkelt het European Communications Committee (ECC) niet-bindend spectrumbeleid voor 46 aangesloten landen. Het ECC publiceert *rapporten* (technische onderzoeken), *beslissingen* en *aanbevelingen*. Rapporten, aanbevelingen en beslissingen van het ECC zijn niet-bindend, maar worden doorgaans breed geadopteerd door de lidstaten. Op basis van (een deel van) de ECC-publicaties worden door de Europese Commissie (EC) daarnaast bindende beslissingen genomen. [4]

De radiorichtlijnen van ITU definiëren de volgende mondiale bestemmingen rondom de 28 GHz-band:

- **27,5 – 29,5 GHz:** primair voor vaste verbindingen, vaste satellietdiensten (aarde-naar-ruimte), en mobiele diensten.
- **29,5 – 30,0 GHz**: primair voor vaste satellietdiensten (aarde-naar-ruimte).

Ten aanzien van de 28 GHz-band zijn ook de volgende (niet-bindende) ECC-beslissingen op supranationaal niveau relevant:

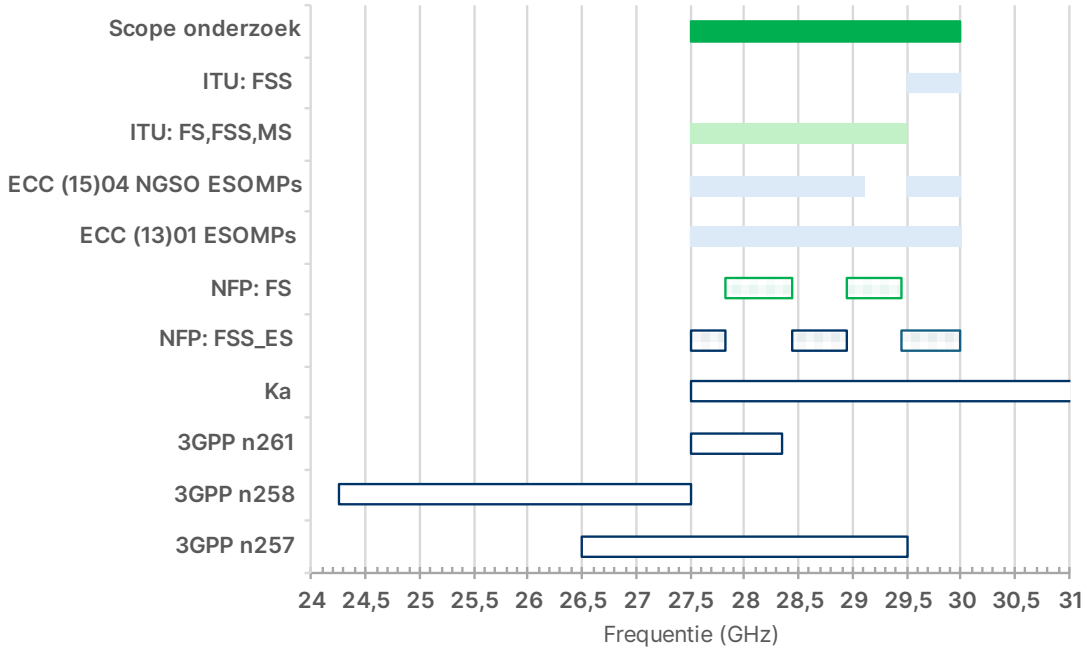
- **ECC Decision (05)01**, over het gebruik van de band 27,5 – 29,5 GHz voor vaste verbindingen en ongecoördineerde grondstations voor vaste satellietdiensten (aarde-naar-ruimte). Deze beslissing wijst de banddelen 27,5 – 27,8285 GHz, 28,4445 – 28,8365 GHz, 28,8365 – 28,9485 GHz (met lichte beperkingen) en 29,4525 – 29,5 GHz toe aan de grondstations. Aan vaste verbindingen worden de banddelen 27,8285 – 28,4445 GHz en 28,9485 – 29,4525 GHz toegewezen. Het huidige NFP komt met deze indeling overeen.

  De beslissing bepaalt ook dat landen geen (nieuwe) vaste verbindingen zullen toelaten in een deel dat wordt toegewezen aan ongecoördineerde satellietgrondstations, noch dat nieuwe vaste grondstations worden toegelaten in het deel dat voor vaste verbindingen is bestemd, tenzij (tot uiterlijk 2020) deze stations onderdeel vormen van een bestaand netwerk. Daarnaast is bepaald dat ongecoördineerde grondstations niet worden toegelaten in de banddelen die beschikbaar zijn voor vaste verbindingen. [5]
- **ECC Decision (05)08** over het gebruik van HDFSS (*High Density Fixed Satellite Services*) in (onder andere) 29,5 –30,0 GHz. Met HDFSS wordt verwezen naar grote aantallen gebruikersterminals voor satellietdiensten (typisch om een internetverbinding te realiseren). De beslissing bepaalt (onder andere) dat deze terminals het banddeel 29,5 – 30,0 GHz ongecoördineerd mogen gebruiken voor aarde-naar-ruimtecommunicatie. [6]
- **ECC Decision (06)02**, die bepaalt dat (eindgebruikers)terminals voor satellietdiensten in (onder andere) 29,5 – 30,0 GHz met een laag zendvermogen (≤ 34 dBW EIRP) vergunningsvrij gebruikt mogen worden. [7]
- **ECC Decision (06)03**, die bepaalt dat (eindgebruikers)terminals voor satellietdiensten in (onder andere) 29,5 – 30,0 GHz en met een vermogen tussen de 34 -60 dBW (EIRP) zonder individuele vergunning mogen worden gebruikt. [8]
- **ECC Decision (13)01** over het gebruik van ESOMP's (*Earth Stations on Mobile Platforms*) in (onder andere) 27,5 – 30,0 GHz. Met ESOMP's wordt verwezen naar 'bewegende platforms' zoals boten, voertuigen en luchtvaartuigen, die zijn voorzien van een satellietzender. Deze wordt veelal gebruikt om een breedband internetverbinding te realiseren. De beslissing bepaalt dat ook deze

zenders gebruik mogen maken van het deel van de 28 GHz-band dat bestemd is voor (ongecoördineerde) satellietgrondstations. Op land is het zendvermogen van ESOMP's binnen een luchthavengebied beperkt tot 52,4 dBW. De terminals moeten de zogenoemde *off-axis* emissies in de (lokaal relevante) banden voor vaste verbindingen beperken (tot -35 dBW/MHz). Daarnaast mag op zee en in de lucht het gehele banddeel 27,5 – 30,0 GHz worden gebruikt. [9]

- **ECC Decision (15)04** wijst onder andere het banddeel 29,5 – 30,0 GHz en 27,5 – 29,1 GHz toe aan (vergunningsvrij) gebruik door ESOMP's ter land, ter zee en in de lucht voor communicatie met niet-geostationaire satellieten (aarde-naar-ruimte). De ESOMP's moeten het storen van andere satellietsystemen en vaste verbindingen voorkomen, en moeten voldoen aan een aantal andere eisen (zoals dat deze onder controle van een netwerk moeten staan). [10]

Onderstaande Figuur 1 toont de relevante banden en op hoofdlijnen[1] de huidige indeling van de 28 GHz-band in Nederland volgens de ITU-radiorichtlijnen, de diverse ECC-beslissingen, en het Nationaal Frequentieplan (NFP).



Figuur 1 Overzicht van de 28 GHz-band en gerelateerde banden, en huidige invulling (afbeelding: Dialogic, bron: NFP [1])

[1] Het NFP definieert een aantal banddelen met verschillende beperkingen. Een uitgebreide tabel is te vinden in Bijlage 1.

Vanuit technisch perspectief is de 28 GHz-band door verschillende standaardisatieorganisaties gedefinieerd. De 28 GHz-band overlapt met de door IEEE gedefinieerd Ka-band, die loopt van 26,5 GHz tot 40 GHz. 3GPP heeft daarnaast *delen* van de 28 GHz-band in de 5G NR-standaard benoemd als banden n257, n258 en n261. Deze banddefinities worden relevant bij de analyse van mogelijke invullingen van de 28 GHz-band. Deze banden worden daarom eveneens in Figuur 1 getoond.

2.2 Mogelijke toepassingen en gebruikers voor de 28 GHz-band

De 28 GHz-band kan voor verschillende toepassingen en door verschillende gebruikers worden ingezet. We onderscheiden hierbij (1) satellietgrondstations, (2) vaste verbindingen en (3) mobiele netwerken. Hieronder lichten we deze invullingen nader toe.

2.2.1 Satellietgrondstations

Satellietgrondstations kunnen spectrum in de 28 GHz-band gebruiken om signalen te verzenden naar satellieten.[2] Het is hierbij zinvol om twee vormen te onderscheiden: *geostationaire* satellietsystemen (GEO) en *niet-geostationaire* satellietsystemen (NGSO).

Geostationaire (GEO-)satellietsystemen

Een geostationaire satelliet bevindt zich in een zodanige baan rond de aarde, dat deze zich vanaf de aarde steeds op dezelfde plaats aan de hemel bevindt. Geostationaire satellieten kunnen voor verschillende doeleinden worden gebruikt, waaronder communicatie (telefonie, videoverbindingen, telemetrie en internet) en televisiedistributie. Onder andere Viasat, Eutelsat en SES beschikken over geostationaire satellieten die gebruik maken van de Ka-band voor communicatie van aarde naar satelliet. In het kader van dit onderzoek is het relevant om onderscheid te maken tussen *traditionele* GEO-systemen en GEO-systemen *met hoge capaciteit*, omdat de werking van de communicatie van aarde naar satelliet en bijgevolg het *aantal* grondstations dat nodig is tussen beide verschilt.

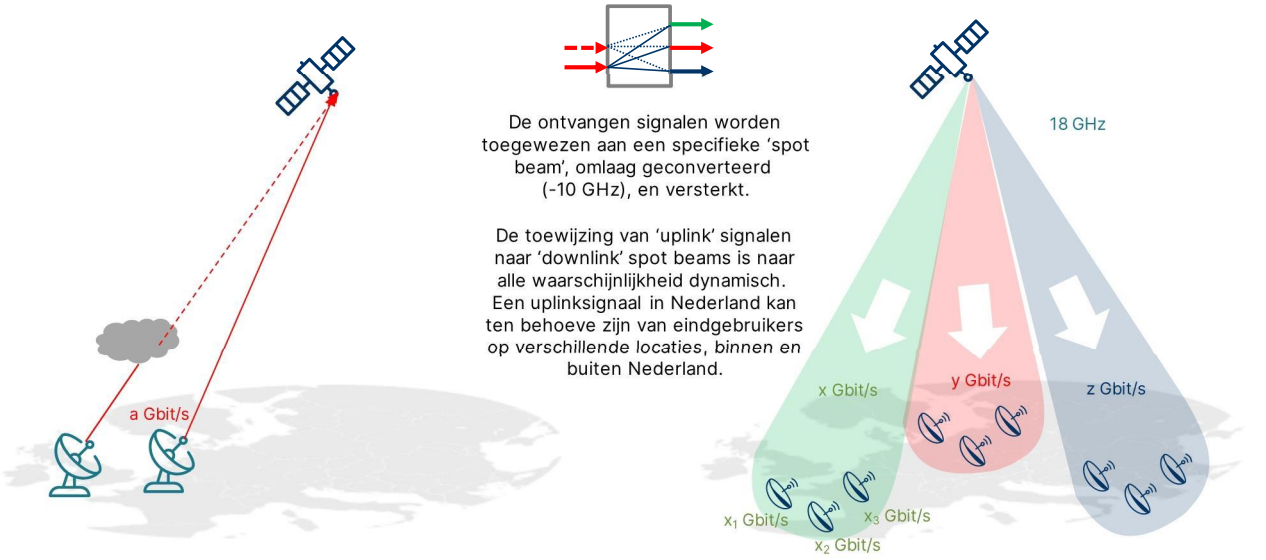
Traditionele GEO-systemen (enkel grondstation)

In traditionele GEO-systemen die uitsluitend bedoeld zijn voor televisie- of internetdistributie straalt een enkel grondstation de satelliet aan. Omwille van redundantie (onder andere tegen weersinvloeden, die een grote invloed hebben op radiosignalen in de Ka-

[2] Er wordt daarnaast in de bestemming rekening gehouden met *beacon transmissions* voor uplink power control (ruimte naar aarde; voetnoot 5.538 [2]). Dit betreft een smal deel van de frequentieband aan de randen. De satelliet zendt een signaal uit richting de aarde, waarvan de sterkte kan worden gemeten door het grondstation, dat zo (beter) kan bepalen met hoeveel vermogen het richting de satelliet moet zenden.

band) kunnen meerdere grondstations worden ingezet, maar dit vergroot niet de totale capaciteit van de satelliet. Veel GEO-systemen hebben tegenwoordig een groter aantal grondstations, omdat de transpondercapaciteit op de satelliet veelal wordt verdeeld en verhuurd aan meerdere partijen (resellers) die elk hun eigen grondstations gebruiken.

Het ontvangen signaal wordt door de satelliet gedistribueerd over een aantal *spot beams* die ieder een bepaald geografisch gebied bereiken. Een *spot beam* is een radiosignaal dat door de satelliet in een specifieke richting wordt gezonden, zodanig dat dit in een bepaald geografisch gebied op aarde te ontvangen is. De toewijzing van een datastroom aan een spot beam kan dynamisch plaatsvinden. Figuur 2 toont dit schematisch.



Verschillende geografisch verspreide grondstations zenden richting satelliet. Middels een *phased array*-antenne kan de satelliet de signalen van elkaar onderscheiden omdat ze voldoende verschillende invalshoeken hebben.

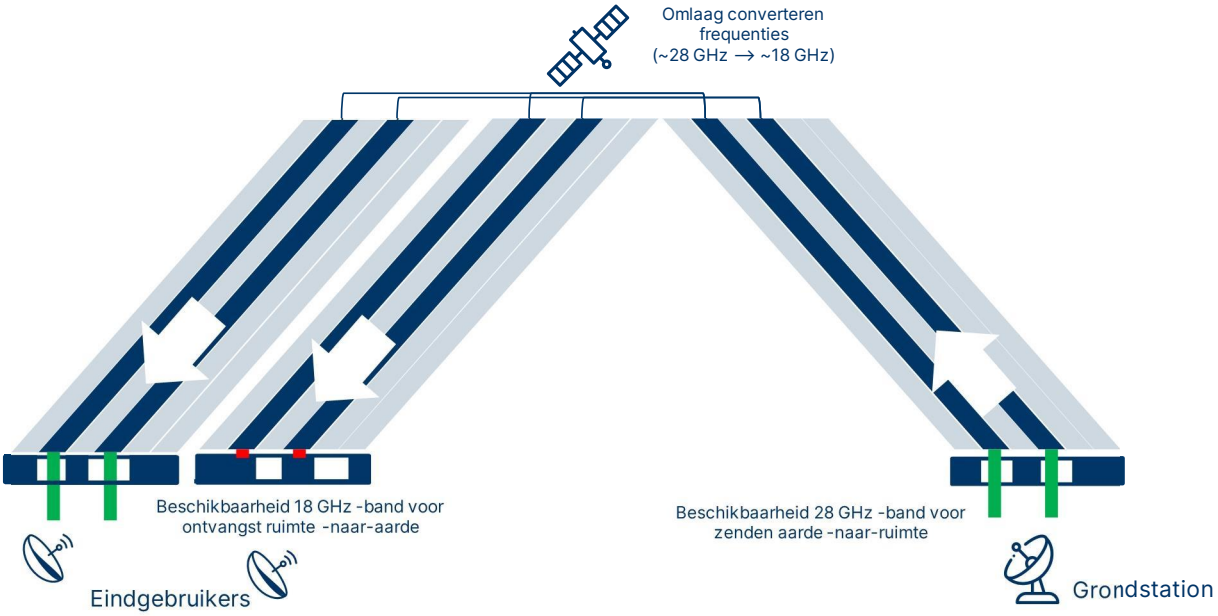
Middels een *phased array*-antenne zendt de satelliet een aantal *spot beams* richting de aarde (18 GHz). De spot beams kunnen in tijd flexibel worden 'gericht' (vanuit perspectief van de eindgebruiker is dit time-divisioning: de spot beam is een bepaalde tijd op hem gericht).

Figuur 2 De rol van satellietgrondstations bij een traditioneel GEO-satellietsysteem (Illustratie: Dialogic; afbeelding kaart Europa: Wikipedia Commons, publiek domein)

De capaciteit van een enkele 'spot beam' is beperkt door fysische grenzen en de hoeveelheid beschikbaar spectrum. Omdat GEO-satellieten zich ongeveer 35.800 kilometer van de aarde bevinden, heeft een radiosignaal dat wordt verzonden vanaf de satelliet te maken met een hoge mate van demping. Dit beperkt de hoeveelheid gegevens die kan worden overgebracht per hoeveelheid spectrum en gegeven een bepaald zendvermogen.

Voor wat betreft spectrum kan gebruik worden gemaakt van (delen van) de 28 GHz-band voor verkeer van aarde naar ruimte (uplink) en (delen van) de 18 GHz-band voor verkeer van ruimte naar aarde (downlink). De beschikbaarheid van de band wisselt per regio en locatie. Er moet daarom gebruik worden gemaakt van verschillende

kanalen/carriers binnen de band. Figuur 3 toont dit schematisch. Vanuit perspectief van de eindgebruiker van een satellietdienst is beschikbaarheid van de 18 GHz-band belangrijker dan die van de 28 GHz-band. De ontvangst van de relatief zwakke signalen van de satelliet in de 18 GHz-band is uitdagend, terwijl in de 28 GHz-band met relatief hoog vermogen gericht gezonden kan worden naar de satelliet. Onder de aanname dat er zich in Nederland relatief weinig satellietgebruikers bevinden, is echter vooral de beschikbaarheid van de 28 GHz-band onder de aandacht.



Figuur 3 Communicatie van grondstation naar satelliet (28 GHz) en van satelliet naar gebruiker (18 GHz) (illustratie: Dialogic)

Vanaf de satelliet kunnen meerdere *spot beams* van radiosignalen worden verzonden naar de aarde, die door gebruikers verspreid over het dekkingsgebied kunnen worden ontvangen. Dezelfde frequenties worden dus hergebruikt door verschillende *spot beams* (*space divisioning*). De spot beams zijn met geavanceerde antennes op de satelliet dynamisch te richten; hoe meer capaciteit er in een bepaald gebied gevraagd is, hoe langer een spot beam (ook) op die locatie gericht zal zijn. Spot beams kunnen elkaar in principe niet (geheel) overlappen.[3]

Voor de communicatie van de aarde richting satelliet zijn eveneens meerdere (geografisch verspreide) grondstations nodig. Alle signalen die de satelliet uitzendt, moeten immers eerst ook naar de satelliet worden gezonden. De koppeling tussen grondstation en eindgebruiker is niet statisch: een signaal bestemd voor een gebruiker in Nederland hoeft niet per definitie naar de satelliet te worden gezonden door een

[3] Er kan wel worden gewerkt met polarisatie. Aan de randen overlappen spot beams elkaar om doorlopende dekking te realiseren.

grondstation in (de buurt van) Nederland. Welk grondstation een signaal voor een gebruiker richting de satelliet stuurt hangt vooral af van de vraag waar de betreffende inhoud vandaan komt. Ter illustratie: een eindgebruiker in Nederland die een signaal uit het Midden-Oosten wil ontvangen, heeft (gelet op de totale signaallooptijd[4]) het meeste baat bij een satellietgrondstation in het Midden-Oosten.

GEO-systemen met hoge capaciteit (tientallen grondstations)

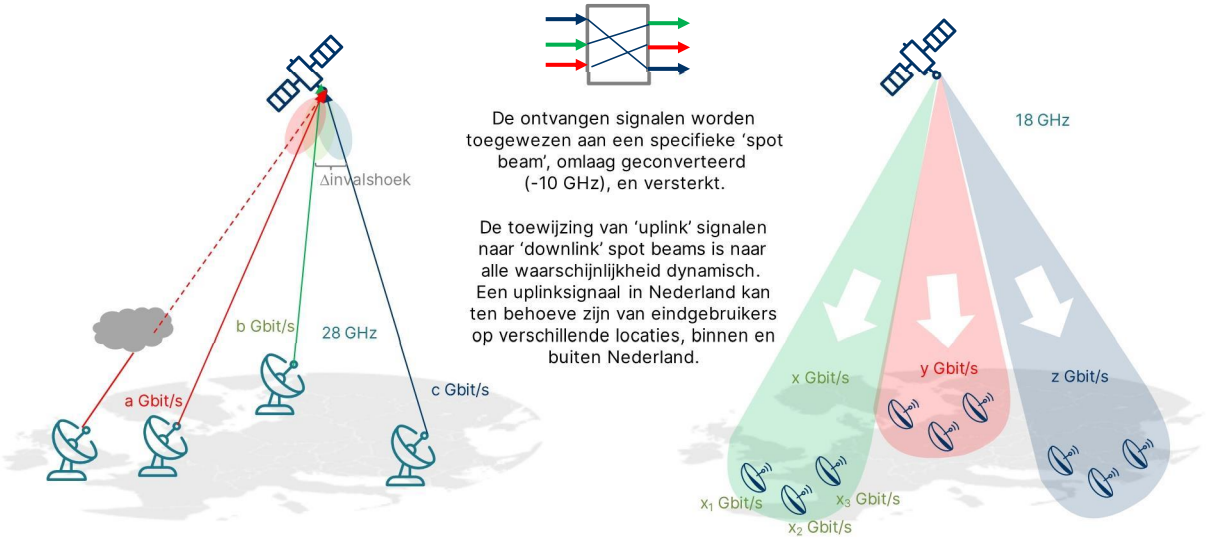
Moderne geostationaire satellieten zijn uitgerust met transponders die niet alleen meerdere ruimtelijk gescheiden signalen (zgn. *spot beams*) kunnen zenden richting aarde, maar ook meerdere ruimtelijk gescheiden signalen vanaf de aarde kunnen *ontvangen*. Dit betekent dat door meerdere grondstations te gebruiken, de totale capaciteit van de satelliet kan worden vergroot. De toewijzing van uplink- naar downlinksignaal is (net als bij moderne traditionele GEO-systemen) bij moderne satellieten niet statisch, maar kan dynamisch naar behoefte wijzigen. Onderstaande Figuur 4 toont de werking.

Een voorbeeld van een GEO-satellietsysteem met hoge capaciteit, dat bestaat uit meerdere geostationaire satellieten, is Viasat-3. Een enkele satelliet 'bedient' een gebied ter grootte van meerdere continenten. De Viasat-3 EMEA, die naar verwachting begin 2025 wordt gelanceerd, bedient bijvoorbeeld Europa, het Midden-Oosten en Afrika). [11]

Aangenomen mag worden dat de Viasat-3 EMEA-satelliet een totale doorgiftecapaciteit van (ordegrootte) 1 Tbit/s kan behalen (de satelliet kan dus in totaal maximaal 1 Tbit/s van grondstations op aarde ontvangen, en die data terugzenden naar de aarde). Zoals eerder toegelicht wordt voor de communicatie van en naar de aarde meerdere *spot beams* tegelijkertijd gebruikt. De capaciteit van een enkele spot beam is veel lager dan de totale doorgiftecapaciteit van de satelliet. Bij een aangenomen

[4] Een geostationaire satelliet bevindt zich op ongeveer 36.000 kilometer hoogte. De te overbruggen afstand tussen een gebruiker/grondstation en de satelliet is in de praktijk echter groter omdat die zich meestal niet op de evenaar en niet recht onder de satelliet bevindt. Vanuit Nederland is de afstand tot een geostationaire satelliet tussen de 39.000 – 40.000 kilometer. Licht heeft 0,267 seconde nodig om die afstand te overbruggen. De signaallooptijd tussen grondstation en eindgebruiker is dus vanwege fysische grenzen nooit minder dan 267 milliseconde. Voor een *round trip* (uitwisseling van zender naar ontvanger en terug) is de signaallooptijd in totaal 533 milliseconde. In de praktijk zijn *round trip*tijden van 600 ms niet ongebruikelijk. De looptijd is bij geostationaire satellieten dus inherent relatief hoog vergeleken met een gemiddelde internetaansluiting. Alleen door het optimaliseren van de verbinding tussen grondstation en eindpunt van de communicatie (bijv. een datacenter) kan de looptijd (iets) worden verlaagd (met als doel zo dicht mogelijk bij de fysische grens te komen). Staat het grondstation bijvoorbeeld in Groningen, dan is er nog minstens 2 milliseconde nodig om per glasvezel een datacenter in Amsterdam te bereiken. Er zou dus 4 ms *round-trip time* gewonnen kunnen worden (minder dan 1% van het totaal) met een grondstation dat in Amsterdam staat.

efficiëntie (voor de communicatie van aarde-naar-satelliet) van 4 bit/s/Hz[5] en het gebruik van 2,4 GHz bandbreedte in de 28 GHz-band kan met een enkele spot beam (aarde-naar-ruimte) ongeveer 10 Gbit/s worden gerealiseerd. De totale doorgiftecapaciteit van de satelliet kan onder deze aanname dus pas worden benut als er ten minste 100 spot beams, en dus 100 satellietgrondstations verspreid over het dekkingsgebied zijn. Het aantal grondstations is in de praktijk hoger omdat ook redundantie nodig is (t.o.v. weersinvloeden, uitval van grondstations, et cetera zijn niet alle signalen van alle grondstations altijd te ontvangen door de satelliet). Een totaal van ongeveer 200 grondstations verspreid over Europa voor een satelliet als Viasat-3 EMEA lijkt in dit kader dus een realistisch aantal.



Verschillende geografisch verspreide grondstations zenden richting satelliet. Middels een *phased array*-antenne kan de satelliet de signalen van elkaar onderscheiden omdat ze voldoende verschillende invalshoeken hebben.

Middels een *phased array*-antenne zendt de satelliet een aantal *spot beams* richting de aarde (18 GHz). De spot beams kunnen in tijd flexibel worden 'gericht' (vanuit perspectief van de eindgebruiker is dit time -divisioning: de spot beam is een bepaalde tijd op hem gericht).

Figuur 4 De rol van satellietgrondstations bij een GEO-satellietsysteem met hoge capaciteit (Illustratie: Dialogic; afbeelding kaart Europa: Wikipedia Commons, publiek domein)

De meerwaarde van extra spectrum in de 28 GHz-band voor GEO-grondstations

Satellietgrondstations in GEO-systemen hebben in Nederland op dit moment (primair) de beschikking over 1,33 GHz in de 28 GHz-band. Het beschikbaar maken van de gehele band voor dit doeleinde (en als primaire gebruiker) heeft hoofdzakelijk de volgende vormen van meerwaarde voor de satellietsystemen:

[5] Hoewel 4 bit/s/Hz uit eigen ervaring een in de praktijk realistische en haalbare waarde is, worden ook hogere efficiëntiecijfers geclaimd. In [46] wordt bijvoorbeeld een satellietontvanger beschreven die 8,1 Gbit/s zou kunnen halen bij 1,5 GHz spectrum, omgerekend 5,4 bit/s/Hz. Bij hogere efficiëntie zijn er (iets) minder spot beams nodig om de totale capaciteit van de satelliet te kunnen invullen.

- Er kan meer capaciteit worden gerealiseerd van aarde-naar-satelliet vanaf een enkel grondstation. Dit betekent dat de totaal gerealiseerde capaciteit van de satelliet hoger wordt, of dat om dezelfde capaciteit te realiseren minder grondstations nodig zijn. Bij GEO-systemen met hoge capaciteit is de totale capaciteit als gevolg van het extra beschikbare spectrum nog hoger, omdat het extra spectrum op ieder grondstation (waar het spectrum beschikbaar is) kan worden ingezet om extra capaciteit te realiseren.

  Het betekent echter niet dat er in de richting satelliet-naar-aarde ook meer capaciteit kan worden gerealiseerd: de capaciteit van een individuele *spot beam* is immers beperkt, waardoor boven een bepaalde grens geen extra capaciteit meer kan worden gerealiseerd. Daarbij is de geografische spreiding van eindgebruikers een belangrijke factor. Deze staat los van de plaatsing van de grondstations. Met andere woorden: een grondstation meer of minder in Nederland betekent nog niet direct een substantiële impact op de capaciteit in de downlinkrichting van de satelliet.

  Merk hierbij op dat de gehanteerde kanaalindeling en -breedte die wordt gehanteerd door een satellietsysteem ertoe kan leiden dat niet de volledige beschikbare hoeveelheid spectrum kan worden benut. Hoewel er weinig openbare informatie beschikbaar is over de gehanteerde kanaalgroottes, is het aannemelijk dat wordt gewerkt met breedtes als 250 MHz en 500 MHz. [12] [13] Wanneer kanalen van 500 MHz worden gebruikt en deze moeten zijn uitgelijnd op 500 MHz (dus 27,5 GHz – 28,0 GHz, 28,0 GHz – 28,5 GHz, etc.), dan zou van de nu beschikbare 1,33 GHz slechts maximaal 500 MHz kunnen worden ingezet. Het beschikbaar maken van de gehele band kan hierdoor in de praktijk méér *bruikbaar* spectrum opleveren dan er daadwerkelijk aanvullend beschikbaar komt.
- In de Ka-band kan regen het signaal sterk dempen. Wanneer meer frequentieruimte beschikbaar is, zou deze impact (zeer beperkt) kunnen worden gemitigeerd door (binnen de Ka-band) middels *frequency diversity*.
- Er is meer bewegingsruimte voor coördinatie *tussen* nabije satellietgrondstations. Er is meer frequentieruimte, dus meer mogelijkheden om het gebruik ervan af te stemmen (grondstations die niet de hele frequentieruimte gebruiken kunnen met andere grondstations een verdeling in frequentie en/of tijd afspreken).

NGSO (Satellieten in niet-geostationaire baan)

Niet-geostationaire satellieten bewegen zich in een baan om de aarde met een andere snelheid dan de aarde draait. Hierdoor hebben deze satellieten vanuit het perspectief op de grond geen vaste positie aan de hemel. Afhankelijk van de hoogte van de baan om de aarde onderscheiden we *Low Earth Orbit* (LEO) en *Medium Earth Orbit* (MEO).

In MEO bevinden zich satellieten voor diverse toepassingen, waarvan de bekendste ongetwijfeld GPS is. In dezelfde categorie vinden we ook andere wereldwijde positiesystemen (GNSS) zoals Galileo en BeiDou. Daarnaast zijn er in MEO communicatiesatellieten (onder andere van SES).

In LEO vinden we satellietsystemen die typisch bestaan uit meerdere (tot duizenden) satellieten die zich in een relatief lage baan rond de aarde begeven. Een formele afbakening is er niet, maar in algemene zin gaat het om satellieten die zich tussen de 160 km en 1500 km hoog [14] [15] rond de aarde begeven. Net als het ISS cirkelt een LEO-satelliet ongeveer 16 keer per dag rond de aarde. Dat betekent dat een individuele satelliet vanuit perspectief van de eindgebruiker en grondstations slechts een korte tijd zichtbaar is aan de hemel. In een LEO-systeem wisselt een eindgebruiker en grondstation dan ook voortdurend signalen met een andere satelliet uit.

LEO-satellietsystemen worden gebruikt om wereldwijd communicatie- en internetdiensten te leveren. Aanbieders hiervan zijn onder andere Iridium, Globalstar en Orbcom. Recente toetreders zijn OneWeb (Eutelsat, 2021), Starlink (SpaceX, 2019) en Geespace (2024). Starlink heeft op moment van schrijven ongeveer 6.000 satellieten in gebruik [16] [17] en ook het Chinese Geespace beoogt een constellatie van 6.000 satellieten. [18] Binnenkort wordt ook Project Kuiper (Amazon) operationeel. [19] Er zijn daarnaast partijen die rechtstreekse 5G-connectiviteit aanbieden naar eindgebruikersapparaten zoals smartphones. Voorbeelden hiervan zijn AST SpaceMobile [20], Lynk [21] en Starlink [22] [23]. Tot slot zijn er diverse LEO-satellieten in gebruik voor onderzoeksdoeleinden en door radiozendamateurs.

Omdat de satellieten zich relatief dicht op het aardoppervlakte bevinden kan er een veel lagere signaallooptijd worden gehaald. De fysische bovengrens hiervan zou ongeveer 13 ms zijn voor een *round trip*.[6] Via LEO-satellieten worden dan ook internetaansluitingen gerealiseerd die qua eigenschappen kunnen concurreren met vaste aansluitingen. Het reduceren van de signaallooptijd vanaf de grondstations heeft hier, ten opzichte van de signaallooptijd naar de satelliet, een relatief groot effect.

Een LEO-satelliet wordt 'aangestraald' door minimaal één en soms twee grondstations.[7] Hoe lager de baan van de satelliet, hoe kleiner het aardoppervlak van waaruit de

[6] Met de snelheid van het licht heeft een signaal vanaf de grond ongeveer 3,3 milliseconde nodig om een satelliet op 1000 km hoogte te bereiken. Er is dus minimaal ongeveer 6,6 milliseconde nodig om van grond naar satelliet naar grond te komen. De *round trip* van zender naar ontvanger naar zender op de grond is het dubbele daarvan: minimaal ongeveer 13 ms. Daarnaast kan extra vertraging worden veroorzaakt door de actieve apparatuur bij de zender en ontvanger.

[7] LEO-satellieten die zich niet binnen het bereik van een grondstation bevinden, kunnen wel met andere satellieten onderling verbinden met radio- of laserlinks (*inter satellite laser*). Op deze manier kunnen satellieten ook op bijvoorbeeld de Atlantische Oceaan internetconnectiviteit aanbieden. De signaallooptijd

satelliet zichtbaar is. LEO-satellietsystemen hebben om deze reden in principe meer grondstations nodig dan *traditionele* GEO-systemen: een grondstation verdwijnt immers sneller buiten het bereik van de satelliet. Ter illustratie van het aantal grondstations bij de LEO-systemen: Starlink heeft wereldwijd ongeveer 150 grondstations. [24] [25]

Een LEO-grondstation straalt doorgaans meerdere satellieten tegelijk aan. Hiervoor beschikt het grondstation over minimaal twee antennes/schotels die de satellieten kunnen 'volgen', doordat ze mechanisch of door middel van *phased array*-technologie worden gericht. Omdat het om relatief kleine antennes gaat is het opschalen van de capaciteit per grondstation eenvoudiger dan bij GEO-systemen (er wordt gebruik gemaakt van antennes en er kunnen eenvoudiger meerdere antennes op dezelfde locatie worden geplaatst). De verwachting is dan ook dat er per aanbieder één tot maximaal een handvol grondstations nodig zijn in Nederland. Deze grondstations worden bij voorkeur zo dicht mogelijk bij een internetknooppunt of datacenterclusters geplaatst (zoals de AMS-IX c.q. Amsterdam).

In vergelijking met GEO-grondstations zijn LEO-grondstations uitdagender vanuit coexistentieperspectief. Zoals hierboven toegelicht is de zendrichting zeer dynamisch. Daarnaast speelt dat LEO-satellieten zich ook (tijdelijk) laag aan de horizon kunnen bevinden, terwijl de GEO-grondstations veelal zo zijn gepositioneerd dat ze relatief ver boven de horizon omhoog zenden. In Nederland is de *elevatie* (verticale kantelhoek) voor GEO-satellieten over het algemeen tussen de 28 á 30 graden. [26] Later in dit hoofdstuk gaan we hier nader op in.

De meerwaarde van extra spectrum in de 28 GHz-band voor NGSO-grondstations

Satellietgrondstations van NGSO-systemen hebben in Nederland op dit moment de beschikking over dezelfde 1,33 GHz in de 28 GHz-band als de eerder beschreven GEO-systemen. Het beschikbaar maken van de gehele band voor doeleinde satellietcommunicatie als primaire gebruiker heeft hoofdzakelijk de volgende vormen van meerwaarde voor de satellietsystemen:

- Er kan meer capaciteit worden gerealiseerd van aarde-naar-satelliet vanaf een enkel grondstation. Dit betekent dat de totaal realiseerbare capaciteit (richting de eindgebruiker) per satelliet en (alleen bij NGSO en het sterkst bij LEO) *in het gebied rondom het grondstation* hoger wordt.

wordt hierdoor hoger, maar is zeker gezien het feit dat er op de betreffende locaties geen vaste infrastructuur is, heel acceptabel.

- Er kan meer capaciteit worden gerealiseerd in de uplinkrichting (vanaf de eindgebruiker) voor een individuele eindgebruiker.
- Er is meer bewegingsruimte voor coördinatie *tussen* nabije satellietgrondstations. Er is meer frequentieruimte, dus meer mogelijkheden om het gebruik ervan af te stemmen.

2.2.2 Vaste verbindingen

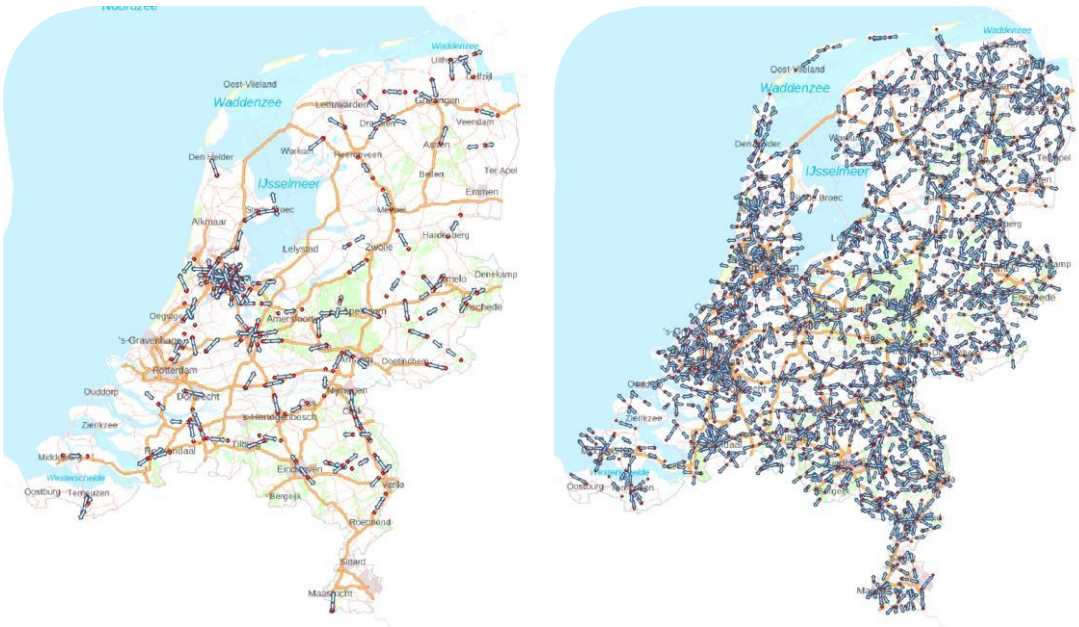
De 28 GHz-band wordt in lijn met het NFP gebruikt voor vaste verbindingen. Dit zijn radioverbindingen waarbij de zender c.q. ontvanger zich op vaste locaties bevinden. De ontvangers bewegen in principe niet, maar vaste verbindingen worden wel met enige regelmaat 'ad-hoc' opgezet. Bij communicatie tussen twee vaste punten (meestal in beide richtingen) spreken we van een *straalverbinding* en wanneer er vanuit een vast basisstation wordt gecommuniceerd met meerdere vaste eindgebruikers van *punt-multipunt*. In Nederland komen vaste verbindingen in de volgende situaties het meest voor:

- Het connecteren van een **basisstation** van een mobiel netwerk (hetzij omdat dit niet kosteneffectief met glasvezel te realiseren is, hetzij uit oogpunt van redundantie – een straalverbinding heeft geen last van graafschade).
- Het connecteren van een **(afgelegen) bedrijfslocatie**. Op de voormalige zendtorens van KPN zijn dergelijke straalverbindingen te vinden, die zijn gericht op panden rondom de toren. Redenen om deze verbindingen te gebruiken zijn wederom redundantie en de kosten van glasvezelaansluiting in het buitengebied.
- **Cameranetwerken**. In binnensteden en bijvoorbeeld op stations wordt gebruik gemaakt van de 28 GHz-band om camera's verspreid over de stad te laten communiceren met een vast centraal basisstation.
- **Fixed Wireless Access (FWA).** Hierbij wordt via een vast basisstation internetconnectiviteit gerealiseerd voor afnemers die zich op vaste locaties bevinden, veelal in het buitengebied. Hoewel FWA wordt toegepast in Nederland (o.a. in delen van Zeeland en Limburg) wordt hierbij (voor zover ons bekend) geen gebruik gemaakt van de 28 GHz-band. In het buitenland is hier echter wel sprake van. Met de toenemende capaciteitsvraag en beperkt beschikbaar spectrum (de netwerken zijn bijvoorbeeld onlangs moeten migreren uit delen van de 3,5 GHz-band) kan de band echter in de toekomst interessant worden.

Straalverbindingen

Een straalzender c.q. ontvanger is meestal een relatief kleine antenne met een schotel. De zender is sterk gericht op de ontvanger en vice versa, waardoor er relatief weinig hinder wordt ondervonden van andere radiosignalen. Desondanks kan verstoring optreden wanneer een (sterke) radiozender uitzendt in de openingshoek van de ontvanger (en vice versa). Bij straalverbindingen zijn er relatief veel vrijheidsgraden waarin een oplossing kan worden gezocht (door de zender of ontvanger anders te richten, deze op een iets andere hoogte te plaatsen, een ander kanaal te gebruiken, et cetera).

In de 28 GHz-band vinden we in Nederland op dit moment een relatief beperkt aantal straalverbindingen (zie Figuur 5 links). De belangrijkste gebruiker ervan is ProRail, die de verbindingen inzet om basisstations van het GSM-R-netwerk te connecteren. [27] Het GSM-R-netwerk is kritisch voor het goed functioneren van de spoorwegen. De basisstations bevinden zich langs het spoor, maar de draadloze verbindingen kunnen daar echter enigszins van afwijken. ProRail voorziet in de toekomst een migratie naar een FRMCS-netwerk. FRMCS is een opvolger van GSM-R en maakt gebruik van modernere 5G-radiotechniek. De verwachting is dat de start van de uitrol hiervan nog enkele jaren op zich al laten wachten. Dat gezegd hebbende is het aantal vaste verbindingen zeer stabiel.



Figuur 5 Vaste verbindingen in Nederland: 28 GHz (linksboven), 18 GHz (rechtsboven) en 26 GHz (onder). (Bron: Antenneregister, kaart ondergrond: Kadaster, BRT Achtergrondkaart onder CC-BY-4.0, bewerking Dialogic)

In de 18 GHz-band (zie Figuur 5 rechts) vinden we veel meer vaste verbindingen in Nederland. Ondanks de afbakening van deze studie op 28 GHz noemen we deze band omdat deze wordt gebruikt voor satellietcommunicatie (ruimte-naar-aarde) als tegenhanger van de 28 GHz-band (aarde-naar-ruimte). Aanpassingen in de 28 GHz-band hebben in principe geen gevolgen voor de 18 GHz-band, en het ligt niet in de lijn der verwachting dat het aantal satellietgebruikers en daarmee ontvangers in de 18 GHz-band de komende jaren sterk zal stijgen. Dit te meer omdat Nederland al is voorzien van zeer goede vaste en mobiele infrastructuur.

Ook relevant voor dit onderzoek zijn de straalverbindingen die op dit moment in de 26 GHz-band zitten. De 26 GHz-band zal naar alle waarschijnlijkheid uitgegeven worden voor mobiele communicatie, gezien de Europese aanwijzing van deze band voor 5G [28], en de vergunningen voor vaste verbindingen lopen af aan het einde van 2027. [1] We zien dat een aantal gebruikers van straalverbindingen daarom preventief naar de 28 GHz-band zijn verhuisd om ruimte te maken voor deze mobiele uitrol, zoals het geval is bij ProRail. Een verhuizing van de 26 GHz-band naar de 28 GHz-band ligt voor de hand omdat de aangrenzende banden vergelijkbare propagatie-eigenschappen hebben. Dit kan op de korte termijn voor additionele vraag voor vaste verbindingen zorgen in de blokken van de 28 GHz-band nu bestemd voor FS.

Punt-multipuntnetwerken

28 GHz-spectrum kan worden ingezet voor vaste punt-multipuntnetwerken. Kenmerkend hiervoor is dat er, in tegenstelling tot bij straalverbindingen, wordt gewerkt met antennes met grote openingshoek op het basisstation. Hierdoor is binnen een bepaald

gebied een voor punt-multipunt gebruikte frequentie niet te hergebruiken door andere gebruikers.

In Nederland worden punt-multipuntnetwerken met name ingezet voor het realiseren van internetconnectiviteit in het buitengebied (FWA) en voor toepassingen in de sfeer van openbare orde en veiligheid (voornamelijk cameratoezicht).

FWA (Vast-draadloze internettoegang)

In het buitenland wordt de 28 GHz-band ingezet voor vast-draadloze internettoegang (FWA). Een voorbeeld zijn de netwerken van Fastweb en EOLO in Italië, die gebruik maken van de 26 GHz en 28 GHz-banden. [29] [30] Deze aanbieders gebruiken hiervoor 5G-radiotechnologie. Hoewel de 28 GHz-band in Europa dus niet voor mobiele 5G-netwerken wordt ingezet (c.q. mag worden ingezet) is de inzet van 5G-technologie in de band voor FWA dus wel aan de orde.

FWA-netwerken in Nederland maken op dit moment geen gebruik van de 28 GHz-band. In Zeeland bieden DELTA en Greenet (samen) FWA aan, en in Limburg heeft Greenet een enkele locatie (Figuur 6). Deze netwerken maken op dit moment gebruik van frequentieruimte in de 3,5 GHz-band. Vanaf de herindeling van de 3,5 GHz-band in 2024 is FWA daarin niet meer toegestaan. De huidige vergunningen voor FWA lopen tot september 2026. Daarna zullen de FWA-aanbieders moeten migreren naar andere frequenties. De 26 GHz-band en 28 GHz-band komen hier technisch gezien voor in aanmerking. Omdat de eindgebruikers in FWA-netwerken zich echter over het algemeen op grotere afstand van het basisstation bevinden dan wat haalbaar is in millimetergolfspectrum, zou daarvoor wel een substantieel aantal extra basisstations nodig zijn. [31]

Figuur 6 Vast-draadloze netwerken, tot september 2026 in de 3,5 GHz-band (bron: RDI [32], kaart ondergrond: Kadaster, BRT Achtergrondkaart onder CC-BY-4.0, bewerking Dialogic)

Een andere reden voor FWA om additioneel of ander spectrum te vragen is de groeiende capaciteitsvraag. Hoewel het aantal FWA-aansluitingen stabiel is of zelfs afneemt vanwege steeds verder gaande verglazing, neemt de hoeveelheid datavolume per internetaansluiting nog altijd toe.

Punt-multipunt voor openbare orde en veiligheid (o.a. cameranetwerken)

In de grotere steden is behoefte aan (onder andere) cameratoezicht, met zowel permanent als tijdelijk (vast) geplaatste camera's. In het verleden werd gebruik gemaakt van de 3,5 GHz-band, tot de herbestemming van die band en uiteindelijk de veiling aan mobiele netwerkaanbieders in 2024. Daarnaast werd en wordt gebruik gemaakt van de 28 GHz-band. Het gaat hier om twee banden in duplex die exclusief zijn aangewezen voor vaste verbindingen ten dienste van veiligheid en openbare orde in gemeenten: 27,9405 – 28,0525 GHz en 28,9485 – 29,0605 GHz.

Een relevant kenmerk van deze invulling is dat deze met name uplinkcapaciteit nodig heeft (om beelden van de camera richting het basisstation te kunnen zenden), waardoor andere oplossingen (bijvoorbeeld op basis van mobiele netwerken) minder aantrekkelijk zijn. Het gebruik van punt-multipuntnetwerken voor deze toepassing biedt ook flexibiliteit in de inzet van deze toepassing. Voor glasvezelverbindingen gelden vaak hoge installatiekosten en een lage mate van flexibiliteit, vooral voor tijdelijke cameralocaties. Punt-multipunt verbindingen kunnen daarentegen sneller worden uitgerold en aangepast aan veranderende netwerkvereisten, waardoor ze geschikter zijn voor dynamische omgevingen.

2.2.3 Mobiele netwerken

Hedendaagse mobiele netwerken werken op basis van de 4G LTE- of 5G NR-standaard van 3GPP. Deze standaard definieert het radioprotocol waarmee eindgebruikersapparaten communiceren met het netwerk en vice versa, en de banden waarin dit mogelijk is. Mobiele netwerken maakten initieel gebruik van spectrum onder de 1 GHz, onder andere vanwege het feit dat daarmee met relatief weinig basisstations relatief grote dekking kan worden gerealiseerd. Al in de tijd van GSM werd daar de eerste band boven de 1 GHz (1.800 MHz) aan toegevoegd. Sindsdien wordt een steeds grotere hoeveelheid spectrum *boven* de 1 GHz ingezet, zoals de 2.100 MHz- en sinds kort de 3,5 GHz-banden.

Er wordt daarnaast al enige tijd gekeken naar de inzet van millimetergolfspectrum, waarmee (weliswaar over kortere afstanden) veel capaciteit kan worden gerealiseerd.[8] Nadeel van deze frequenties is dat signalen snel uitdoven, wat de inzet beperkt tot

[8] In de banden is 3 GHz spectrum beschikbaar. Met 1 GHz kan (bij 23 bit/Hz/s) 23 Gbit/s worden gerealiseerd. Ter vergelijking: in de 3,5 GHz-band zijn onlangs vergunningen verstrekt voor in totaal 300 MHz (~7 Gbit/s onder dezelfde aangenomen efficiëntie).

'hot spots' (zoals indoor en op 'hot spots' waar zich veel mensen bevinden). Landelijke dekkende uitrol is dus niet aan de orde.

In de 5G NR-standaard zijn de belangrijkste gedefinieerde millimetergolfbanden de volgende:

- **n258 ("26 GHz"):** 24,250 – 27,500 GHz, met carriers van 50, 100, 200 of 400 MHz. Deze band kan worden gebruikt in o.a. Europa en China.
- **n257 ("28 GHz"):** 26,5 – 29,5 GHz. Deze band kan worden gebruikt in Japan, Noord-Amerika en Zuid-Korea. In Noord-Amerika wordt de subband n261 ingezet (27,5 – 28,35 GHz).

Het ondersteunen van millimetergolfbanden in eindgebruikersapparatuur is relatief kostbaar, omdat er voor de millimetergolfbanden relatief veel specifieke radiohardware moet worden toegevoegd. [33] Om deze reden worden de banden slechts in een beperkt aantal modellen ondersteund. Daarnaast zien we dat fabrikanten regiovarianten uitbrengen, waarbij hetzelfde model smartphone alleen over ondersteuning beschikt in markten waar millimetergolfspectrum al is uitgerold door operators. De modellen van Apple's iPhone die in de Verenigde Staten worden verkocht beschikken bijvoorbeeld over de ondersteuning, maar de modellen die in Europa worden verkocht niet. In Japan is wel sprake van uitrol van mobiele netwerken in de 28 GHz-band, maar de verkochte iPhone ondersteunt de band daar niet. Een toestel dat ondersteuning biedt voor millimetergolf 5G ondersteunt overigens vrijwel altijd zowel de 26- als 28 GHz-banden.

Terwijl de 26 GHz-band in Europa is benoemd een van de *pioneer bands* voor mobiel 5G, en er een verplichting bestaat voor EU-lidstaten om deze band beschikbaar te maken voor mobiele netwerken[9], wordt de inzet van de 28 GHz-band voor mobiele netwerken in Europa niet breed gesteund. Volgens GSMA werd (in 2018) alleen in Spanje, het Verenigd Koninkrijk en Italië getest met inzet van de 28 GHz-band. [34] Voor zover bekend zijn er geen Europese landen waarin de 28 GHz-band wordt ingezet voor mobiele netwerken. [35]

In Nederland ligt inzet van de 28 GHz-band voor mobiele netwerken op dit moment niet in de lijn der verwachting. Hoewel het denkbaar is dat ook de 28 GHz in beeld komt wanneer dit ecosysteem sterk groeit, zijn er geen aanwijzingen dat dit laatste zal gebeuren. Daarnaast ondersteunt apparatuur veelal beide banden, waardoor het ecosysteemvoordeel initieel beperkt is: er is geen reden om voor de 28 GHz-band te

[9] Onder voorwaarden, zoals dat er marktvraag moet zijn. Tot nu toe is die marktvraag er niet of nauwelijks geweest. Een nieuwe verkenning zal hier duidelijkheid in moeten brengen.

kiezen boven de 26 GHz-band vanwege beschikbaarheid van apparatuur.[10] Het feit dat apparatuur beide banden ondersteunt maakt het gebruiken van *beide* banden uiteraard wel aantrekkelijker. Een toekomstig nadeel van het *niet* inzetten van de 28 GHz-band is dan ook dat er minder capaciteit beschikbaar is (c.q. minder verschillende aanbieders tegelijkertijd kunnen worden geaccommodeerd).

Op moment van schrijven lijkt de interesse van Nederlandse operators zich vooral te richten op inzet van 6 GHz-frequenties. Pas in een veel later stadium willen de operators inzetten op millimetergolf. De reden hiervoor is primair dat millimetergolfspectrum veel meer basisstations nodig heeft. Bij de inzet van 6 GHz-spectrum kan daarentegen in principe gebruik worden gemaakt van de bestaande opstelpunten.

2.2.4 Co-existentie

Het (huidige en verwachte) aantal satellietgrondstations in Nederland is enkele tientallen, en de reikwijdte van co-existentieproblemen is beperkt tot maximaal enkele kilometers rond het grondstation. Daarbij is te verwachten dat de grondstations zich op andere locaties vestigen dan basisstations voor vaste verbindingen en mobiele netwerken. Dit betekent dat het aantal situaties waarin co-existentieproblematiek zich kan voordoen bij voorgenomen nieuwe vergunningaanvragen naar verwachting klein is. Dit is in lijn met de statistische analyse van RDI. [36]

Waar satellietgrondstations zich desondanks in de buurt bevinden van straalzenders, straalontvangers of 5G-basisstations (voor mobiele netwerken en/of punt-multipunt-netwerken), geeft Tabel 1 een overzicht van de mogelijke co-existentieproblemen die zouden kunnen optreden.[11]

[10] Merk op dat de 26 GHz- en 28 GHz 5G NR-banden voor 1 GHz overlappen (26,5 – 27,5 GHz). Wanneer er wel een verschil zou zijn in ondersteuning van eindgebruikersapparatuur tussen beide banden, is dit banddeel het enige dat door beide varianten zou worden ondersteund.

[11] Hierbij moet tegelijkertijd worden opgemerkt dat de frequentieruimte voor alle vaste toepassingen, d.w.z. de straalverbindingen, het cameratoezicht in bepaalde gemeenten én grondstations, gecoördineerd wordt uitgegeven met een vergunning. Interferentie zou onder die conditie niet mogen optreden. Het kan wel zo zijn dat er vanwege eerder uitgegeven vergunningen op bepaalde locaties geen ruimte meer is voor nieuw frequentiegebruik. Een nieuwe vergunningaanvraag wordt in zo'n geval afgewezen en de aanvrager moet op zoek naar een alternatief, zoals bijvoorbeeld een andere frequentieband of locatie.

Tabel 1 Co-existentie in de 28 GHz-band: ondervindt een bepaald soort ontvanger hinder van een ander soort zender?

storingsbron → / storingsontvanger ↓	**Straalverbindingen (28 GHz)**	**Straalverbindingen (18 GHz)**	**Satellietcommunicatie aarde-naar-ruimte (28 GHz)**	**Satellietcommunicatie ruimte-naar-aarde (18GHz)**	**5G (mobiel en punt - multipunt; 28GHz)**
Straalverbindingen (28 GHz)	Ja. Eenvoudig te voorkomen via geografische scheiding en andere banddelen	Nee (andere frequentieband)	Ja, in beperkt aantal gevallen, zie RDI-rapport	Nee, alleen in uitzonderlijke gevallen en dan beperkt	Hoog, met name een probleem als straalontvanger gericht is op basisstation
Straalverbindingen (18 GHz)	Nee (andere frequentieband)	Ja. Eenvoudig te voorkomen via geografische scheiding en andere banddelen	Nee (andere frequentieband)	Ja, in theorie, alleen in uitzonderlijke gevallen	Nee (andere frequentieband)
Satellietcommunicatie aarde-naar-ruimte (28 GHz)	Nee (vast reikt niet tot satelliet)	Nee (andere frequentieband)	Nee, zolang de satelliet zich niet binnen de openingshoek van beide grondstations bevindt	Nee (andere frequentieband)	Nee (vast reikt niet tot satelliet)
Satellietcommunicatie ruimte-naar-aarde (18 GHz)	Nee (andere frequentieband)	Sterk. Sat-com ontvangers zijn zeer gevoelig, maar kijken wel omhoog. Geografische scheiding of shielding nodig.	Nee (andere frequentieband)	Ja, maar eenvoudig te voorkomen met smallere ontvangsthoek	Nee (andere frequentieband)
5G (mobiel en punt - multipunt; 28 GHz)	Sterk wanneer straalzender is gericht op 5G-basisstation. Daarbuiten beperkt (middels interference suppression)	Nee (andere frequentieband)	Ja, in theorie sterk. In de praktijk: beperkt vanwege zeer beperkt aantal locaties, die gericht zenden en afgeschermd kunnen worden.	Nee (andere frequentieband)	Ja, maar wordt voorkomen door eigenschappen 5G (TDD, banddelen)

Op hoofdlijnen is het beeld vanuit perspectief van storingsontvanger daarbij als volgt:

- **Satellietgrondstations** (*uplink*) zenden met relatief hoog vermogen in de 28 GHz-band, en hebben zelf geen last van de andere gebruikers op de grond.[12]
- **Straalontvangers** kunnen mogelijk worden gestoord door de signalen van satellietgrondstations, als zo'n grondstation zich binnen een bepaalde afstand en in de openingshoek van de straalontvanger bevindt. We verwachten dat dit niet vaak voorkomt, omdat de grondstations zich op een locatie zullen bevinden waar goede glasvezelconnectiviteit beschikbaar is. Daarnaast kan de straalontvanger in deze specifieke gevallen gebruik maken van andere frequenties of wellicht anders worden gericht. Afscherming van het

[12] De ontvangst van beacon-signalen voor power control is mogelijk een aandachtspunt. Wanneer de ontvangst hiervan wordt gestuurd werkt dit (het adaptief instellen van het zendvermogen van het grondstation aan de omstandigheden) mogelijk niet goed meer. We hebben niet kunnen vaststellen in hoeverre dit daadwerkelijk wordt gebruikt en of deze impact inderdaad realistisch is. Omdat het een relatief smal banddeel betreft kan er op het grondstation wellicht worden gewerkt met zeer smalle en steile filters om eventuele storing te mitigeren.

satellietgrondstation, bijvoorbeeld met een muurtje, kan eveneens een oplossing zijn.

- **5G-basisstations** zullen eveneens hinder ondervinden van de signalen van satellietgrondstations. Het effect is hier groter dan voor de straalontvangers, omdat de openingshoek van de antenne over het algemeen zeer groot is. Daarbij worden de relatief zwakke signalen van eindgebruikersapparaten al snel overstemd. We verwachten echter niet dat er veel overlap zal zijn in locaties waar beide elkaar treffen: de uitrol van millimetergolf 5G voorzien we vooral in drukke stadskernen, evenementenlocaties, en op bedrijfs- en industrieterreinen, terwijl de satellietgrondstations zich even buiten de stad zullen bevinden.

  Omdat deze netwerken moderne 5G- en MIMO-technologie gebruiken beschikken deze over mogelijkheden om interferentie uit bepaalde richtingen te beperken (*interference cancellation*). Hiermee kan eventuele interferentie van satellietgrondstations en straalzenders teniet worden gedaan, voor zover een eindgebruiker zich niet (vanuit perspectief van het basisstation) precies in de richting van een satellietgrondstation c.q. straalzender bevindt. [37] De vraag is daarnaast in hoeverre het werkgebied van een punt-multipuntnetwerk (bijvoorbeeld voor cameratoezicht: een stadscentrum) samenvalt met locaties waar zich satellietgrondstations bevinden.

2.3 Scenario's en beleidsopties

Op basis van bovenstaande komen we tot een viertal logische scenario's voor toekomstige invulling van de 28 GHz-band. Deze hebben betrekking op de banddelen in de 28 GHz waar vaste verbindingen de primaire gebruiker zijn: 27,8285 GHz - 28,4445 GHz en 28,9485 GHz - 29,4525 GHz. De scenario's maken onderscheid tussen korte termijn (2025) en lange termijn (~2035). De beleidsopties en daaruit voortvloeiende scenario's zijn de volgende:

A. **Geen verandering**. Deze banddelen behouden op korte en lange termijn de bestemming primair voor straalverbindingen, zoals nu in het NFP. Dit scenario is het *nulscenario* waar we de andere scenario's mee gaan vergelijken.
B. **Focus op satelliet.** Deze banddelen krijgen op korte en lange termijn de bestemming co-primair voor straalverbindingen (FS) en satelliet (FSS).
C. **Optiewaarde 6G.** Deze banddelen behouden op korte termijn de huidige bestemming. Op lange termijn wordt de bestemming *uitsluitend* mobiel internet (IMT).
D. **Co-existentie.** Deze banddelen krijgen op korte termijn de bestemming co-primair voor straalverbindingen en satelliet. Op lange termijn wordt de bestemming co-primair voor straalverbindingen, satelliet en mobiel internet (IMT).

3 Argumenten en effecten

In dit hoofdstuk gaan we in op de verschillende argumenten en effecten die spelen bij de verschillende scenario's.

3.1 Argumenten

3.1.1 Effect en reputatie digitale hub

Nederland profileert zich als een digitale hub. [38] Dit betekent dat in Nederland veel digitale infrastructuren (geconcentreerd) aanwezig zijn, en dit economische waarde genereert.

Meerdere landen in Europa, waaronder Duitsland, Frankrijk en het VK, hebben de 28 GHz-band grotendeels (co)primair toegewezen aan satelliet. Nederland wijkt hier op dit moment van af. Dit zou afbreuk kunnen doen aan onze reputatie als digitale hub. Het begrip 'reputatie' is subjectief en lastig meetbaar. Gelet op de huidige uitstekende reputatie van Nederland op dit vlak, en het feit dat de actoren die gebruikmaken van de digitale infrastructuur over het algemeen bedrijven en daarmee 'rationele beslissers' zijn, lijkt dit argument niet bijzonder sterk. Een sterker argument is het economische perspectief: hoe aantrekkelijk is, blijft of wordt Nederland als vestigingsplaats voor satellietgrondstations, en andere gebruikers van digitale infrastructuur?

Meer specifiek spreken we van *economies of scope* wanneer de aanwezigheid van het ene type digitale infrastructuur een ander type digitale infrastructuur aantrekt. Een voorbeeld is de beschikbaarheid van *dark fiber* glasvezelverbindingen – deze zijn randvoorwaardelijk voor datacenters. [38]

In de discussie rondom de 28 GHz-band speelt vooral de vraag of er sprake is van *economies of scope* ten aanzien van satellietgrondstations. We kunnen hier twee richtingen in redeneren: (1) de infrastructuur en randvoorwaarden in Nederland maken Nederland aantrekkelijk als vestigingsplaats voor een satellietgrondstation, en (2) de aanwezigheid van satellietgrondstations maakt Nederland aantrekkelijk als vestigingsplaats voor andere digitale infrastructuur.

Aantrekkelijkheid Nederland als vestigingslocatie voor satellietgrondstations

Er zijn verschillende redenen waarom satellietgrondstations ook andere digitale infrastructuur en digitale diensten in de omgeving kunnen aantrekken. Voor sommige *use cases* van satellietcommunicatie kan een zo laag mogelijke signaallooptijd wenselijk zijn. Hoe dichter de faciliteiten op de grond zich bij het grondstation bevinden, hoe lager deze looptijd. In de praktijk is de situatie echter eerder omgekeerd: bij de keuze

voor de plaatsing van een satellietgrondstation wordt (onder andere) gekeken naar waar de benodigde infrastructuur al aanwezig is.

Het is hierbij relevant, hoewel de conclusie voor beiden gelijk is, onderscheid te maken tussen grondstations voor 'traditionele' GEO-systemen, GEO-systemen met hoge capaciteit, en NGSO-systemen. In aantal zijn er meer grondstations bij hoge capaciteit GEO-systemen, die daarnaast tot op zekere hoogte redundant worden ingericht. Hoewel er gestreefd wordt naar een gelijkmatige plaatsing van de grondstations door heel Europa komt de exacte plaatsing niet vreselijk nauw. In de eerste plaats moet het GEO-grondstation vrij zicht op de hemel hebben in een specifieke richting (azimut) met een verticale hoek die nodig is voor de betreffende satelliet (in Nederland meestal tussen de 38 en 30 graden). Voor NGSO-grondstations is in de eerste plaats van belang dat er vrij 'zicht' is naar de hemel met een verticale hoek van tussen de 15 en 25 graden in zo mogelijk alle richtingen – de plaatsing hiervan komt dus (veel) nauwer). Voor traditionele GEO- en voor NGSO-grondstations zijn vervolgens de condities op een specifieke plaats belangrijk, zoals de aanwezigheid van redundante stroomvoorziening en een internetknooppunt op korte afstand. Het zoekgebied voor GEO-systemen is groter dan voor NGSO - een grondstation dat satellieten aanstraalt die zich boven Nederland bevinden, kan over het algemeen ook in het Verenigd Koninkrijk of Duitsland staan.

Tot slot stellen we vast dat er in Nederland ten minste één grondstation voor een LEO-systeem staat, en naar alle waarschijnlijkheid tussen de 10 en 20 grondstations ten behoeve van een GEO-systeem. We achten het onwaarschijnlijk dat deze locaties in de toekomst worden opgeheven als gevolg van beleidswijzigingen ten aanzien van de 28 GHz-band (zolang die het gebruik van de band niet verder inperken ten opzichte van de huidige situatie), noch verwachten we een groot aantal nieuwe grondstations in de toekomst.

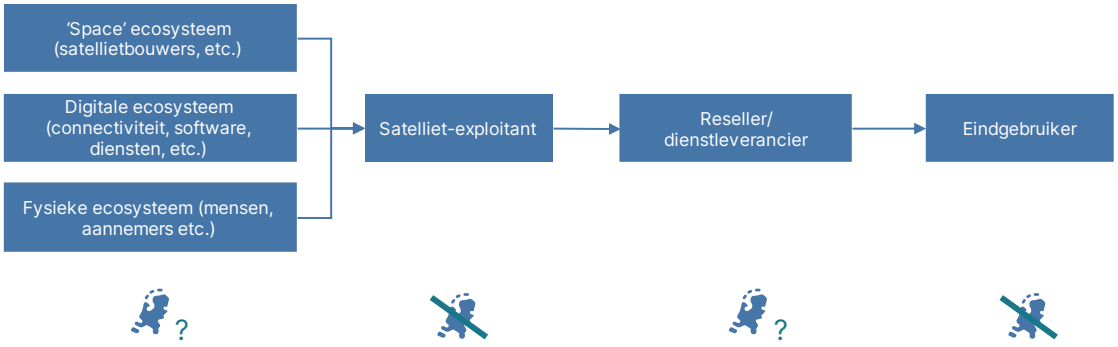
Aantrekkelijkheid Nederland vanwege gevestigde satellietgrondstations

De aanwezigheid van satellietgrondstations in Nederland is zoals hierboven beschreven in technische zin 'prettig' voor gebruikers die een toepassing hebben met lage signaallooptijd. Andere gebruikers hebben hooguit te maken met een langer 'pad' naar een grondstation in een van de buurlanden, en mogelijk is zo'n langere verbinding iets foutgevoeliger en/of kostbaarder.

Een tweede argument kan zijn dat de nabijheid van een satellietgrondstations, en specifiek dat het zich binnen Nederland bevindt, om geopolitieke reden waardevol is. Satellietverbindingen worden onder andere gebruikt voor redundantie in geval van (grootschalige) calamiteiten. Dat er bij een calamiteit geen gebruik hoeft te worden gemaakt van (grond)infrastructuur van andere landen of op ander grondgebied, kan voor sommige gebruikers (bijvoorbeeld in de defensiesfeer) zinvol zijn.

3.1.2 Economische uitstralingseffecten in het satellietecosysteem

Het accommoderen van satellietgrondstations in Nederland kan als gevolg hebben dat ook elders in de waardeketen rondom satellietsystemen economische (positieve) effecten optreden. Figuur 7 toont deze waardeketen schematisch.



Figuur 7 Waardeketen rondom satellietgrondstations in Nederland

De waarde die een individueel satellietgrondstation bijdraagt aan Nederland c.q. een regio, is naar alle waarschijnlijkheid zeer beperkt. Eens gebouwd levert een grondstation weinig economische activiteit in de omgeving op. De bouw en het (beperkte) onderhoud leveren in zeer beperkte mate werkgelegenheid op. De dynamiek op dit vlak kent parallellen met die voor datacentra. [39]

Omdat het aantal gebruikers van satellietconnectiviteit (geografisch) binnen Nederland ten opzichte van andere landen beperkt is, zien we met name economische effecten *upstream*, dat wil zeggen, in de toeleveringsketen voor de satellietexploitanten. Nederland heeft rondom ESA in Noordwijk, Leiden en Delft een ecosysteem van bedrijven in de ruimtevaartindustrie. [40] Dergelijke bedrijven kunnen belangrijke toeleveranciers zijn voor de activiteiten in de markt voor communicatiediensten via satelliet.

Nederland bokst daarnaast boven haar gewicht als het gaat om wetenschappelijk onderzoek in de gebieden astronomie/astrofysica en aardobservatie. [41] Deze onderwerpen zijn relatief fundamenteel en staan relatief ver verwijderd van communicatiedienstverlening via satellieten. Een onderwerp dat nauwer raakt aan de communicatiediensten is *laser-datacommunicatie* met satellieten. Het onderzoek van Dialogic uit 2021 concludeert dat er raakvlakken zijn met de andere meer fundamentele onderzoeksclusters. [41, p. 26] Het is denkbaar dat, vanwege de aanwezigheid van grondstations voor satellietcommunicatie in Nederland, het laagdrempeliger is om dergelijke technologieën te testen en sneller te kunnen innoveren.

De rol van Viasat in Nederland

Viasat voert in Nederland R&D uit op het gebied van ruimtevaart. Viasat heeft in Nederland een Europees georiënteerd *engineering center of excellence* en een logistiek centrum gevestigd. Een substantieel deel van de toeleveringsketen voor de grondinfrastructuur voor Viasat-3 bevindt zich in Nederland. Viasat werkt daarnaast met onder andere KLM om haar vliegtuigen te voorzien van in-flight connectiviteit. [42]

Als redenen voor de keuze voor Nederland geeft Viasat onder andere de beschikbaarheid van goede digitale infrastructuur, zoals nabijheid van het internetknooppunt AMS-IX, en de nabijheid van partners in het ruimtevaartecosysteem (o.a. ESA, NSO, NLR, TNO, Lionix, Peekstok). Viasat vervult op het gebied van R&D een rol als *mee-ontwikkelende klant*. Zelf geeft Viasat aan onder andere nieuwe technologie van de TU Delft en NLR te testen, bijvoorbeeld op het gebied van antennes. Daarnaast is Viasat in samenwerking met Nederlandse onderzoeksorganisaties en de ruimtevaartindustrie actief op het gebied van optische (laser) satellietcommunicatie.

Het is lastig te bepalen wat de invloed is op deze rol op het gebied van R&D als gevolg van het al dan niet beschikbaar komen van aanvullend spectrum in de 28 GHz-band voor satellietcommunicatie. Viasat heeft op dit moment een aanwezigheid in Nederland, zowel op het gebied van R&D als op het gebied van grondinfrastructuur. Zoals eerder opgemerkt is invloed op het aantal of de omvang van deze grondinfrastructuur afhankelijk van de beleidskeuze rondom de 28 GHz-band niet te verwachten. Daar komt bij dat Viasat zelf hele andere argumenten dan beschikbaarheid van spectrum opvoert, wanneer gevraagd naar de redenen achter haar keuze voor Nederland. [42]

3.1.3 Investeringen in realisatie van infrastructuur

Het ligt niet in de lijn der verwachting dat satellietpartijen die grondstations bouwen, daarvan afzien, of minder grondstation zullen bouwen, als niet de gehele 28 GHz-band primair beschikbaar is. Sterker, technisch gezien is het argument eerder andersom: er zijn (voor GEO-systemen) méér grondstations nodig om dezelfde capaciteit te realiseren wanneer er minder spectrum beschikbaar is. In de praktijk zijn GEO-systemen ontworpen voor een bepaalde maximumcapaciteit en bijbehorend aantal grondstations – afwijken van dat aantal betekent in de praktijk dat het systeem minder efficiënt zal werken dan voorzien.

Daarnaast speelt dat het bij GEO-systemen met hoge capaciteit weliswaar om tientallen grondstations kan gaan, maar dat deze grondstations van zeer beperkte omvang zijn. Een grondstation van een traditioneel GEO-systeem heeft een oppervlakte van

ongeveer 2.000 m^2. Een *Satellite Access Node* van Viasat-3 heeft slechts een oppervlakte van ongeveer 28 m^2. [43]

Het is aannemelijk dat het wel of niet volledig beschikbaar stellen van de 28 GHz-band voor satelliet dan ook geen noemenswaardig effect heeft op (inkomsten, werkgelegenheid uit, milieueffecten van, ruimtegebruik door) het bouwen van grondstations.

3.1.4 Kosten voor gebruikers vaste verbindingen

Straalverbindingen

Zoals eerder toegelicht verwachten we (*ceteris paribus*) geen substantiële wijzigingen in het gebruik van en het aantal straalverbindingen, in het algemeen en in de 28 GHz-band. De belangrijkste ontwikkeling is hierbij de verdergaande verglazing van basisstations van mobiele netwerken. Deze basisstations zijn daardoor steeds minder afhankelijk van straalverbindingen. Desondanks blijven straalverbindingen relevant voor redundantie en het realiseren van tijdelijke verbindingen.

Het niet meer (primair) kunnen gebruiken van delen van de band voor straalverbindingen kan leiden tot kosten voor de huidige gebruikers. Deze moeten de verbindingen dan immers in sommige gevallen aanpassen (bijvoorbeeld anders richten) of migreren naar een andere frequentieband. Een dergelijke situatie zou ontstaan wanneer een satellietgrondstation zich in de 28 GHz-band binnen de openingshoek van een straalontvanger gaat bevinden. Zowel ECC als RDI hebben geanalyseerd wat de kans is dat een dergelijke situatie zich voordoet, en in hoeverre dit tot problemen zou leiden.

In het ECC-rapport wordt geconcludeerd dat alleen in gebieden met hoge dichtheid van vaste verbindingen er mogelijk degradatie optreedt door interferentie van satellietgrondstations. De mate van degradatie is afhankelijk van parameters zoals het zendvermogen en de relatieve positie van het satellietgrondstation in het horizontale vlak (*azimut*) en verticale vlak ten opzichte van de openingshoek van de straalontvanger. ECC concludeert dat wanneer een satellietgrondstation tussen de 5° en 55° uit het lood staat in het horizontale vlak, de minimale scheidingsafstand respectievelijk tussen de 4,9 km en 0,3 km bedraagt. Wanneer het grondstation zich horizontaal gezien precies in lijn bevindt met de openingshoek van de straalontvanger, is de afstand tussen de 60 km en 0,4 km (afhankelijk van de verticale kantelhoek). [44] Merk hierbij op dat de verticale kantelhoek voor GEO-grondstations in Nederland over het algemeen tussen de 28 en 30 graden is, en voor NGSO-grondstations tussen de 15 en 25 graden.

RDI heeft in aanvulling op de analyse van ECC een statistische analyse uitgevoerd om te bepalen wat de kans is dat een nieuw straalpad precies over een satellietgrondstation zou lopen. Voor deze analyse maakt RDI een aantal aannames ten aanzien van onder andere de lengte van het straalpad, azimut en afstanden, en het aantal

satellietgrondstations. Voor willekeurige plaatsing ligt de gevonden kans tussen de 2 op 1000 en 4 op 1000. [36]

RDI merkt op dat geen rekening is gehouden met concentratie van straalverbindingen en grondstations. Op deze locaties is de kans op een overlap substantieel hoger (maar niet door RDI gekwantificeerd). [36] Het is zeer de vraag op wat voor locaties een concentratie van zowel straalverbindingen als satellietgrondstations zich zou voordoen. Straalverbindingen concentreren zich (zie Figuur 5) met name in steden als Amsterdam en Utrecht en langs de spoorwegen. Zoals eerder toegelicht verwachten we grondstations van GEO-systemen juist búiten (maar in de buurt van) stedelijke gebieden, op locaties waar hoogwaardige glasvezelconnectiviteit beschikbaar is. Een satellietgrondstation in de buurt van het spoor zou problematisch kunnen zijn voor ProRail. Grondstations voor NGSO-systemen verwachten we dichter bij de stad, maar niet te dicht bij vanwege het benodigde vrije zicht op de hemel in alle richtingen. Het aantal hiervan is daarnaast substantieel lager, waardoor een eventueel probleem ook eenvoudiger op te lossen zal zijn (bijvoorbeeld met fysieke afscherming van het NGSO-grondstation).

Punt-multipuntnetwerken

De vraag naar punt-multipuntnetwerken, zoals die gebruikt worden voor cameranetwerken, lijkt de komende jaren te groeien. Vooral in stedelijke gebieden waar toezicht en beveiliging een grote rol spelen, kan dit type netwerk in de 28 GHz-band steeds belangrijker worden. Echter, met de mogelijke openstelling van de 28 GHz-band voor FSS ES, bestaat het risico dat de groei van punt-multipuntnetwerken wordt beperkt. We gaan hieronder dieper in op de aard van dit potentiële probleem en de verschillende scenario's waar beperkingen optreden voor punt-multipuntnetwerken.

Op locaties waar punt-multipuntnetwerken al actief zijn (zoals in Amsterdam) zal dit invloed hebben op de verlening van nieuwe vergunningen voor spectrumgebruik. Wanneer een grondstation zich in de buurt wil vestigen, kan hiervoor alleen een vergunning worden verleend door RDI wanneer de mate van interferentie acceptabel is. De aanwezigheid van een bestaand punt-multipunt netwerk kan in het uiterste geval (als mitigaties geen uitkomst bieden) de vestiging van een nieuw grondstation dat opereert in hetzelfde spectrum in de omgeving van een bestaand punt-multipuntnetwerk verhinderen.

Een groter knelpunt ontstaat echter wanneer gekeken wordt naar potentiële groei van punt-multipuntnetwerken. Als het aantal satellietgrondstations in Nederland toeneemt, kan dit de flexibiliteit verminderen om nieuwe cameranetwerken in de 28 GHz-band uit te rollen of om bestaande netwerken uit te breiden. De impact van deze interferentie hangt echter af van het type satellietgrondstation.

- Voor GEO-satellietsystemen is het interferentieprobleem waarschijnlijk beperkt. Zoals eerder toegelicht, hebben de GEO-grondstation een smalle openingshoek. Dit betekent dat de geografische footprint van een GEO-grondstation beperkt is, waardoor er waarschijnlijk nog voldoende mogelijkheden zijn om punt-multipuntnetwerken uit te rollen. Daarbij komt ook kijken dat GEO-grondstations niet gebonden zijn aan stedelijke gebieden, de gebieden waar punt-multipuntnetwerken het meest relevant zijn. Bovendien is op deze locaties glasvezelinfrastructuur aanwezig die mogelijk ook voor cameranetwerken gebruikt kan worden.
- Daarentegen leiden NGSO-satellietsystemen tot meer beperkingen ten aanzien van toekomstige vergunningverlening aan andere gebruikers. Grondstations van NGSO-systemen hebben meerdere schotels op een locatie die continue hun positie aanpassen om passerende satellieten te volgen. Hierdoor ontstaat een veel bredere openingshoek, wat de kans op interferentie met punt-multipuntnetwerken vergroot. Bovendien is de locatie van deze grondstations belangrijk voor het bedrijfsmodel van NGSO-partijen. Het bedrijfsmodel draait om lage signaallooptijden en om deze doorlooptijden te beperken worden grondstations bij voorkeur in de buurt van internetknooppunten of datacentra geplaatst.

  Het aantal NGSO-grondstations blijft echter relatief beperkt, nu en in de toekomst. Waar GEO-satellietsystemen met hoge capaciteit doorgaans tientallen grondstations verspreid over het land vereisen, kunnen NGSO-satellietsystemen volstaan met één grondstation per regio (ter grootte van het dekkingsgebied van een satelliet) die meerdere schotels bevat. Dit betekent dat de totale geografische footprint van een NGSO-systeem relatief beperkt blijft. Voor punt-multipuntnetwerken betekent dit dat het co-primair maken van de band maar voor minimale impact heeft op de groei van deze toepassing in de 28 GHz-band.

Het ligt niet voor de hand om, bij het openstellen van de hele band 28 GHz-band voor satellietgrondstations, de banddelen 27,9405 – 28,0525 GHz en 28,9485 – 29,0605 GHz uit te sluiten. Dit zou (zoals eerder toegelicht) in de praktijk namelijk betekenen dat satellietgrondstations grote delen van het spectrum alsnog niet kunnen gebruiken, omdat wordt gewerkt met relatief brede kanalen van 250 MHz tot 500 MHz, en de kanalen die het uitgesloten deel overlappen mogelijk geheel niet kunnen worden gebruikt.

3.1.5 Optiewaarde van 28 GHz in de toekomst

Wanneer de 28 GHz-band wordt ingezet voor satellietgrondstations, sluit dit (mogelijk) andere inzet in de toekomst uit. Een argument om de band niet (volledig) voor satelliet te bestemmen kan deze *optiewaarde* zijn. In ons onderzoek is alleen de mogelijke toekomstige inzet van de 28 GHz-band voor mobiele netwerken naar voren gekomen.

Levensduur van satellieten

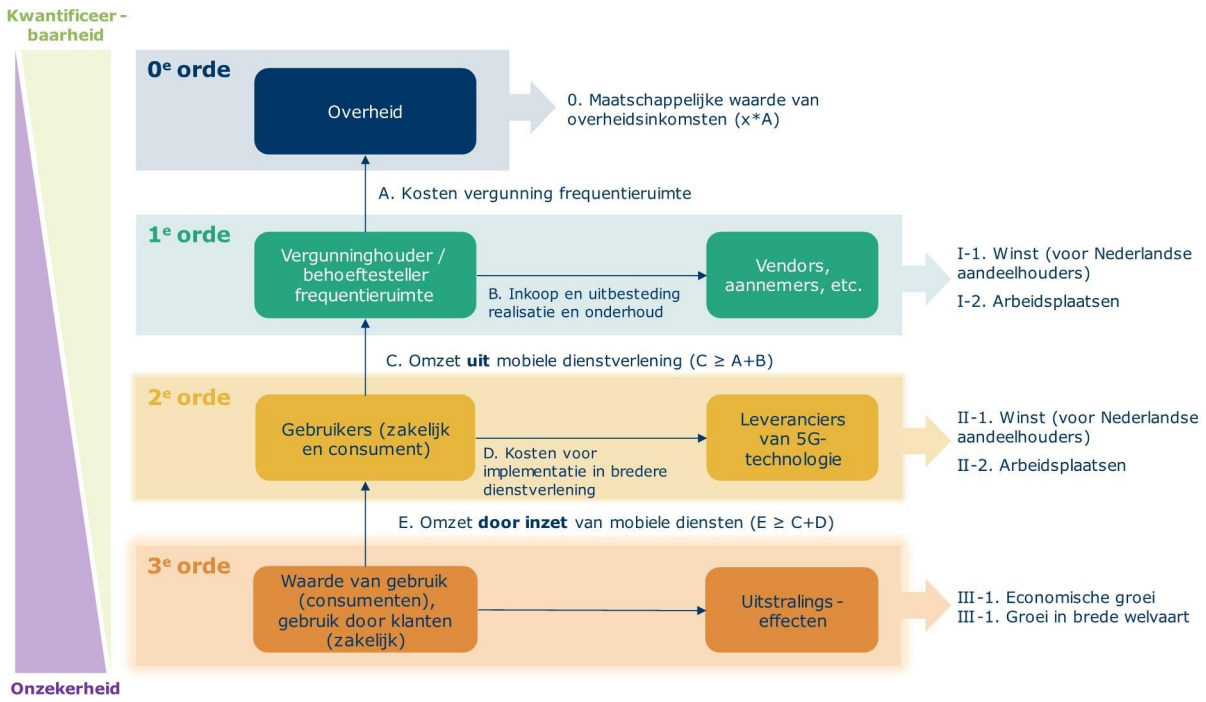
Een GEO-satelliet heeft een levensduur van tussen de 15 á 20 jaar, en een LEO-satelliet een van tussen de 5 á 10 jaar afhankelijk van de hoogte. De levensduur van een satellietgrondstation is idealiter minimaal zo lang als die van de bijbehorende satelliet(en). De levensduur in de praktijk is voor wat betreft de apparatuur op het grondstation afhankelijk van (veranderingen in) de beschikbaarheid van spectrum. Het is niet ondenkbaar dat er tijdens deze levensduur nieuwe frequentiebehoefte ontstaat in de gebruikte banden, als gevolg van nu niet te voorziene toepassingen (*unknown unknowns*). De *locatie* van het grondstation kan uiteraard wel voor langere tijd relevant blijven (voor ten minste de levensduur van de GEO-satelliet c.q. het LEO-systeem, en daarmee tot 20 á 30 jaar).

Inzet voor mobiele netwerken

De inzet van 28 GHz voor mobiele netwerken ligt zoals eerder toegelicht niet voor de hand in Europa, noch in Nederland. Hoewel een aantal grote landen (waaronder de V.S., Japan en Zuid-Korea) de band inzetten voor mobiele communicatie, verwachten we niet dat dit invloed heeft op de behoefte aan (c.q. momentum voor) inzet van de band in Europa. Omdat eindgebruikersapparaten met millimetergolfondersteuning veelal zowel de 26 GHz- als 28 GHz-band ondersteunen, is er geen reden om aan te nemen dat het op korte termijn kiezen voor de 28 GHz-band een voordeel zou hebben boven de 26 GHz-band. Hooguit zal de adoptie (of het gebrek daaraan) van de 28 GHz-band in deze landen de adoptie van de 26 GHz-band in Europa (positief of negatief) beïnvloeden. Daarnaast is er naast de genoemde (weliswaar grote) landen een aanzienlijk deel van de wereld waar juist wordt ingezet op uitrol van de 26 GHz-band.

Op de langere termijn kan inzet van beide banden voor mobiele netwerken (mede vanwege de ondersteuning van beide banden door eindgebruikersapparatuur) wenselijk worden. In dat geval kan de niet-beschikbaarheid van de 28 GHz-band een nadeel vormen. Dit uit zich in minder realiseerbare totale capaciteit en/of een kleiner aantal aanbieders).

Desondanks is de mobiele business case er wel één met in potentie grote economische effecten. Hoe meer spectrum er voor mobiel internet beschikbaar is, hoe lager de kosten voor aanbieders voor het aanbieden ervan: er hoeven immers minder opstelpunten te worden gebouwd. [45] Dit leidt tot een betere prijs-kwaliteitverhouding voor afnemers van mobiel internet, en heeft grote (positieve) economische impact (zie onder andere [46]). De concrete (maatschappelijke) waarde van een hoeveelheid spectrum die wordt ingezet voor mobiele netwerken, kan worden afgeleid uit de bedragen die operators bereid zijn hiervoor te betalen bij een veiling van vergunningen ervoor. Onderstaande Figuur 8 geeft schematisch weer hoe deze maatschappelijke waarde ontstaat.



Figuur 8 Maatschappelijke effecten en waarde van spectrum voor mobiele netwerken (bron: Dialogic [47])

3.1.6 Overige argumenten

Uitdagingen in de 18 GHz-band

De satellietsystemen die in dit onderzoek centraal staan maken gebruik van de 28 GHz-band voor communicatie van aarde naar de ruimte, en van (onder andere) de 18 GHz-band voor communicatie van ruimte naar aarde. Zoals uit Figuur 5 blijkt wordt de 18 GHz-band veel meer ingezet voor straalverbindingen dan de 28 GHz-band. Daarnaast is de ontvangst van (zeer zwakke) signalen van satellieten op de grond gevoelig voor verstoring. In de 18 GHz-band is deze ontvangst niet beschermd. Dit roept de vraag op in hoeverre de keuzes in de 28 GHz gevolgen zouden kunnen hebben voor de situatie 18 GHz.

Voor zover door ons te overzien is, is er vanuit wet- en regelgeving geen noodzakelijke 'koppeling' tussen de indeling van beide banden: de indeling in de 18 GHz-band kan ongewijzigd blijven wanneer satelliet volledige toegang tot de 28 GHz-band wordt gegeven. Vanuit technisch perspectief stellen we vast dat de satellietsystemen de capaciteit in de uplink- en downlinkrichting flexibel kunnen 'koppelen'. Het is dus niet zo dat het gebruik van een specifiek banddeel in de 18 GHz gekoppeld is aan beschikbaarheid van een specifiek blok in de 28 GHz-band. Beperkingen in de 18 GHz-band zijn er wereldwijd, en hebben alleen gevolgen voor de lokale (totaal realiseerbare) downlinkcapaciteit.

Bij RDI zijn geen directe vragen voor extra frequentieruimte in de 18 GHz bekend. In andere Europese landen waar satelliet volledig co-primair is in de 28 GHz-band, zien we geen additionele ruimte in de 18 GHz-band toegewezen aan satellietcommunicatie van ruimte-naar-aarde (FSS SE).

3.2 Overzicht

Onderstaande Tabel 2 geeft een overzicht van de in dit hoofdstuk besproken argumenten en de relatie met de eerder genoemde beleidsopties/scenario's.

Ongeacht de gekozen beleidsoptie lijkt er geen negatief effect te zijn op het aantal satellietgrondstations dat zich in Nederland zal vestigen in de komende jaren:

- Vanwege de hoge investeringskosten is er een beperkt aantal partijen dat satellietgrondstations in deze band exploiteert.
- Van de huidige partijen die LEO-systemen exploiteren is er één met een grondstation in Nederland. Er zijn geen signalen dat dit aantal de komende tijd wijzigt. De beleidskeuze zou mogelijk, maar beperkt, van invloed kunnen zijn bij de keuze voor Nederland als vestigingsplaats voor een LEO-grondstation.
- Van de exploitanten van GEO-systemen heeft Viasat in Europa een groot aantal grondstations geplaatst (tussen de 200 en 300). [48] Hiervan staan er inmiddels naar schatting 10 à 20 in Nederland. Hoewel de gekozen beleidsoptie invloed heeft op de hoeveelheid spectrum die vanaf deze grondstations kan worden gebruikt, is het onwaarschijnlijk dat de grondstations zouden verdwijnen of worden verplaatst wanneer de huidige indeling blijft staan.

Consequentie van bovenstaande is dat ook veel andere argumenten gerelateerd aan satellietgrondstations (zoals ten aanzien van schaars grond- of energiegebruik) geen rol spelen in de keuze tussen de beleidsopties.

Tabel 2 Overzicht argumenten en relatie tot beleidsopties/scenario's

	Effect en reputatie	Economische uitstralingseffecten in het satellietecosysteem	Investeringen in realisatie van infrastructuur	Kosten voor gebruikers vaste verbindingen	Optiewaarde van 28 GHz in de toekomst
A. Niets verandert	(=)(–)	(–)	(–)	(=)	(=)
B. Focus satelliet	(+)	(+)	(+)	(–)	(–)
C. Optie-waarde 6G	(=) Korte termijn (?) Lange termijn	(–)	(–)	(=) Korte termijn (–) Lange termijn	(+)
D. Co-existentie	(=) Korte termijn (?) Lange termijn	(+)	(+)	(=)	(–)
(verwachting effect: (+) positief, (–) negatief, (=) marginaal/gelijk, (?) niet goed te bepalen/onbekend)					

4 Conclusie

4.1 Beantwoording onderzoeksvraag

Wat zijn de effecten van het wijzigen van de bestemming van de 28 GHz-band in Nederland, zodat de gehele band primair kan worden gebruikt voor satellietgrondstations ten behoeve van vaste aarde-naar-ruimtecommunicatie?
De effecten van het wel of niet maken van een dergelijke toewijzing zijn marginaal.

Hoewel de toewijzing de satellietoperators in staat stelt om meer capaciteit te realiseren (uplink aarde-naar-ruimte), is de meerwaarde hiervan marginaal. Het levert de satellietpartijen wel iets meer vrijheidsgraden op voor coördinatie met andere gebruikers. Het is andersom niet te verwachten dat satellietpartijen zich niet of in mindere mate in Nederland zullen vestigen als niet de gehele band beschikbaar komt.

De gevolgen voor straalverbindingen zijn eveneens beperkt, met name omdat straalverbindingen in de 28 GHz-band relatief weinig voorkomen, de locaties waarschijnlijk niet (vaak) zullen samenvallen met die van satellietgrondstations, en er diverse oplossingsrichtingen zijn in gevallen waar desondanks sprake is van interferentie.

Voor mobiele netwerken ligt de inzet van millimetergolfspectrum in Nederland nog minstens enkele jaren in de toekomst. De operators zetten vooralsnog in op inzet van ander spectrum (zoals de upper-6 GHz), omdat dit eenvoudiger in te passen is in de bestaande netwerktopologie. Áls er uitrol van millimetergolfspectrum plaatsvindt, dan zal dit in Nederland initieel in de 26 GHz-band zijn. In die band lijkt voor de mobiele netwerken ook voorlopig voldoende spectrum beschikbaar te komen. Er zijn daarnaast geen ecosysteemvoordelen te verwachten van het feit dat enkele grote landen buiten Europa hiervoor initieel juist de 28 GHz-band inzetten. Van een *optiewaarde* van het reserveren van de 28 GHz-band voor mogelijke inzet voor mobiele netwerken kan dan op dit moment ook niet worden gesproken. Op de lange termijn zou behoefte aan inzet van beide banden voor mobiele netwerken aan de orde kunnen komen, en dan is het niet beschikbaar zijn van de band hiervoor een nadeel. Het gaat dan echter om een beperkt aantal locaties (naar verwachting maximaal enkele tientallen) waar een vraag naar hoge capaciteit voor mobiele netwerken ook nog eens onwaarschijnlijk is.

We stellen vast dat het aantal gebruikers van satellietdiensten in Nederland beperkt is in vergelijking met anderen landen, met name omdat Nederland beschikt over uitstekende hoogwaardige vaste en mobiele digitale connectiviteit. Er zijn dan ook geen noemenswaardige effecten te verwachten voor *gebruikers van satellietdiensten in Nederland* afhankelijk van de keuze voor invulling van de 28 GHz-band. De satellietdiensten blijven in alle scenario's beschikbaar.

We verwachten daarnaast geen grote aantallen (nieuwe) satellietgrondstations in Nederland in de nabije toekomst. Voor een traditioneel geostationair (GEO-)systeem zijn hooguit twee á drie grondstations per continent nodig. Voor een GEO-systeem met hoge capaciteit zijn ongeveer 20 grondstations in Nederland nodig. Voor een *medium* of *low-earth orbit* (MEO-/LEO-)systeem zijn hooguit één of twéé grondstations in Nederland nodig. Voor de meeste bekende huidige exploitanten van deze systemen zijn dergelijke grondstations al in Nederland aanwezig. De plaatsing van de grondstations komt bij GEO-systemen met hoge capaciteit minder nauw dan die voor traditionele GEO- en MEO/LEO-grondstations. We verwachten dat de uiteindelijke keuze voor indeling van de 28 GHz-band het aantal grondstations in Nederland niet of nauwelijks zal beïnvloeden. Omdat MEO/LEO-grondstations zich dynamisch richten op bewegende satellieten, en die zich ook periodiek laag aan de horizon kunnen bevinden, leveren deze grondstations op gebied van co-existentie meer complexiteit op dan GEO-grondstations (die op één vast punt gericht zijn, veelal hoog aan de hemel).

Tot slot kan het argument worden gemaakt dat het feit dat Nederland, in tegenstelling tot een aantal andere landen, *niet* de gehele 28 GHz-band (co)primair beschikbaar heeft voor satelliet, leidt tot een relatief slechtere reputatie als 'digitale hub'. We vinden echter weinig aanwijzingen voor *economies of scope,* waarbij aanwezigheid van satellietgrondstations zou leiden tot het aantrekken van andere activiteit. Desondanks heeft Nederland een omvangrijke ruimtevaartsector (waaronder toeleveranciers voor GEO- en MEO/LEO-satellietsystemen) en staat Nederland hoog aangeschreven als het gaat om onderzoek en ontwikkeling op een aantal thema's. De aanwezigheid van satellietpartijen in Nederland (als 'mee-ontwikkelende klant') heeft hier een positief effect op, al is de vraag of de beschikbaarheid van de volledige 28 GHz-band hierop invloed heeft.

Gelet op de bevindingen zou een mogelijke beleidsinvulling kunnen zijn om FSS (satelliet) in ieder geval voor de korte termijn (minimaal de komende 5 jaar) een (co)primaire status te geven (met bescherming van het bestaande gebruik). Wanneer in de toekomst aannemelijk zou worden dat er vanuit mobiele netwerken en/of vaste verbindingen toch een substantiële behoefte ontstaat, zou de beleidsmaker de (co)primaire bandbreedte voor FSS indien nodig (en gelet op de dan actuele harmonisatiebesluiten en regelgeving) kunnen verkleinen.

Verwijzingen

[1] Minister van Economische Zaken (2019). ***Nationaal frequentieplan 2014 (NFP2014)*** [wetten.overheid.nl] Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

[2] ECC (2023). ***The European table of frequency allocations and applications in the frequency range 8.3 kHz to 3000 GHz (ECA table)*** [docdb.cept.org]

[3] ITU (2020). ***Radio Regulations*** [www.itu.int] Geneva: ITU.

[4] Europese Commissie (2024). ***Radio Spectrum Decisions*** [digital-strategy.ec.europa.eu]

[5] ECC (2013). ***ECC Decision (05)01. The use of the band 27.5-29.5 GHz by the Fixed Service and uncoordinated Earth stations of the Fixed-Satellite Service (Earth-to-space)*** [docdb.cept.org]

[6] ECC (2022). ***Decision 05(08). The availability of frequency bands for high density applications in the Fixed-Satellite Service (space-to-Earth and Earth-to-space)*** [docdb.cept.org]

[7] ECC (2006). ***Decision 06(02). on Exemption from Individual Licensing of low e.i.r.p. satellite terminals (LEST) operating within the frequency bands 10.70 - 12.75 GHz or 19.70 - 20.20 GHz Space-to-Earth and 14.00 - 14.25 GHz or 29.50 - 30.00 GHz Earth-to-Space*** [docdb.cept.org]

[8] ECC (2019). ***Decision 06(03). Exemption from Individual Licensing of high e.i.r.p. satellite terminals (HEST) operating within the frequency bands 10.70-12.75 GHz or 19.70-20.20 GHz space-to-Earth and 14.00-14.25 GHz or 29.50-30.00 GHz Earth-to-pace*** [docdb.cept.org]

[9] ECC (2021). ***Decision 13(01). The harmonised use, free circulation and exemption from individual licensing of Earth Stations On Mobile Platforms (ESOMPs) within the frequency bands 17.3-20.2 GHz and 27.5-30.0 GHz*** [docdb.cept.org]

[10] ECC (2020). ***Decision 15(04). The harmonised use, free circulation and exemption from individual licensing of Land, Maritime and Aeronautical Earth Stations On Mobile Platforms (ESOMPs) operating with NGSO FSS satellite systems in the [...] and 29.5-30.0 GHz*** [docdb.cept.org]

[11] Viasat (2024). ***Shareholder letter Q3 FY24*** [investors.viasat.com]

[12] Magow, V. (2020). ***Next Generation Satellites Demand Advanced Ground Systems*** [apscc.or.kr] Asia-Pacific Satellite Communications Council.

[13] Viasat (2013). ***Attachment A. Technical Information to Supplement Schedule S*** [fcc.report] FCC.

[14] ESA (2020). ***Low Earth orbit*** [www.esa.int]

[15] ITU (2022). ***WRS-22: Regulation of satellites in Earth's orbit*** [www.itu.int] Geneve,

[16] Starlink.sx (2024). [starlink.sx]

[17] Pultarova, T., en Howell, E. (2024). ***Starlink satellites: Facts, tracking and impact on astronomy*** [www.space.com]

[18] Reuters (2024). ***China's Geespace launches 10 low-orbit satellites, eyeing Starlink*** [www.reuters.com]

[19] Amazon (2024). ***Project Kuiper*** [www.aboutamazon.com]

[20] AST SpaceMobile (2024). ***SpaceMobile network. Our Technology*** [ast-science.com]

[21] Lynk (2024). ***How we do it*** [lynk.world]

[22] Starlink (2024). ***Starlink direct to cell*** [www.starlink.com]

[23] Dano, M. (2024). ***SpaceX says T-Mobile's direct-to-cell service launching commercially this fall*** [www.lightreading.com]

[24] Starlink Installation Pros (2024). ***Starlink Ground Station: Backbone of Satellite Internet*** [starlinkinstallationpros.com]

[25] Spring-Turner, C., en Rajan, R.T. (2022). ***Performance Bounds for Cooperative Localisation in the Starlink Network*** [www.researchgate.net] TU Delft.

[26] Ground Control (2024). ***Look angle calculator*** [www.groundcontrol.com]

[27] Antennekaart.nl (2024). ***Straalverbindingen. ProRail*** [antennekaart.nl]

[28] Kennisplatform Elektromagnetische Velden & Gezondheid. ***Welke frequenties gaat 5G gebruiken?*** [www.kennisplatform.nl]

[29] EOLO (2024). ***Who is EOLO*** [wholesale.eolo.it]

[30] Fastweb (2024). ***Fastweb and EOLO: strategic partnership to accelerate coverage of digital divide areas with the most extensive FWA 5G millimeter-wave network in the country*** [www.fastweb.it]

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

[32] RDI (2024). ***Overzicht lokale netwerken tot 1 september 2026*** [www.rdi.nl]

[33] Balteanu, F. (2019). ***RF Front End Module Architectures for 5G*** [www.skyworksinc.com] Skyworks; IEEE.

[34] GSMA (2018). ***5G spectrum - 26 GHz and 28 GHz*** [www.gsma.com]

[35] Ericsson (2024). ***Leveraging the potential of 5G mmWave***

[36] RDI (2022). ***Adviesdocument 28 GHz***

[37] Kim, S., Visotsky, E., Moorut, P., Bechta, K., Ghosh, A., en Dietrich, C. (2017). ***Coexistence of 5G With the Incumbents in the 28 and 70 GHz Bands*** [ieeexplore.ieee.org] vol. 35, IEEE.

[38] Dialogic, Driesse, M., Brennenraedts, R., Boiten, M., en Crielaard, J. (2023). ***Het belang van digitale infrastructuur voor de Nederlandse digitale knooppuntrol*** [dialogic.nl] Utrecht: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

[39] Pb7, D.&., Vermeulen, P., Driesse, M., en de Moor, G. (2022). ***De waarde van datacenters in regionaal perspectief. Een economische impactstudie naar datacenters in Flevoland.*** [dialogic.nl] Lelystad: Provincie Flevoland.

[40] Simons, W. (2022). ***'Space Valley' Noordwijk-Leiden-Delft blijkt koploper in internationale ruimtevaart*** [www.leidschdagblad.nl] Leiden,

[41] Dialogic, te Velde, R., Smeitink, A., Grond, A., Kemman, M., Sahebali, W., Verhagen, P., en den Hertog, P. (2021). ***Beschrijving en evaluatie ruimtevaartonderzoek in Nederland*** [dialogic.nl] Den Haag: Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap.

[42] NFIA (2021). ***Global communications company taps into Dutch aerospace ecosystem*** [investinholland.com]

[43] Viasat (2023). ***Connecting ViaSat-3's Invisible Link to Earth*** [news.viasat.com]

[44] ECC (2019). ***Report 304. Advanced technologies for fixed GSO FSS Earth Stations in the 27.5-29.5 GHz band*** [docdb.cept.org]

[45] Dialogic, van der Vorst, T., van Rees, J., Sahebali, W., Driesse, M., Brennenraedts, R., en Bekkers, R. (2021). ***De ontwikkeling van het aantal antenne-opstelpunten voor mobiele netwerken in Nederland in de komende tien jaar*** [dialogic.nl] Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

[46] Edquist, H. (2022). ***The economic impact of mobile broadband speed*** [www.sciencedirect.com] vol. 46,

[47] Dialogic, Driesse, M., van der Vorst, T., Brennenraedts, R., Mosmuller, V., en van Rees, J. (2024). ***Frequentiebehoefte en maatschappelijke waarde van de 3,8-4,2 en 26 GHz frequentiebanden (lopend)***Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

[48] Dahl, S. (2024). ***Viasat and Deutsche Telekom boost EAN coverage in Mediterranean Sea*** [www.inflight-online.com]

[49] Ofcom (2023). ***Consultation: Expanding spectrum access for satellite gateways in the 28 GHz band*** [www.ofcom.org.uk]

[50] Viasat (2022). ***High-Rate Receiver 3200*** [www.viasat.com]

Bijlage 1. Huidige indeling 28 GHz-band

Tabel 3. Indeling van de 28 GHz-band volgens het Nationaal Frequentieplan [1]

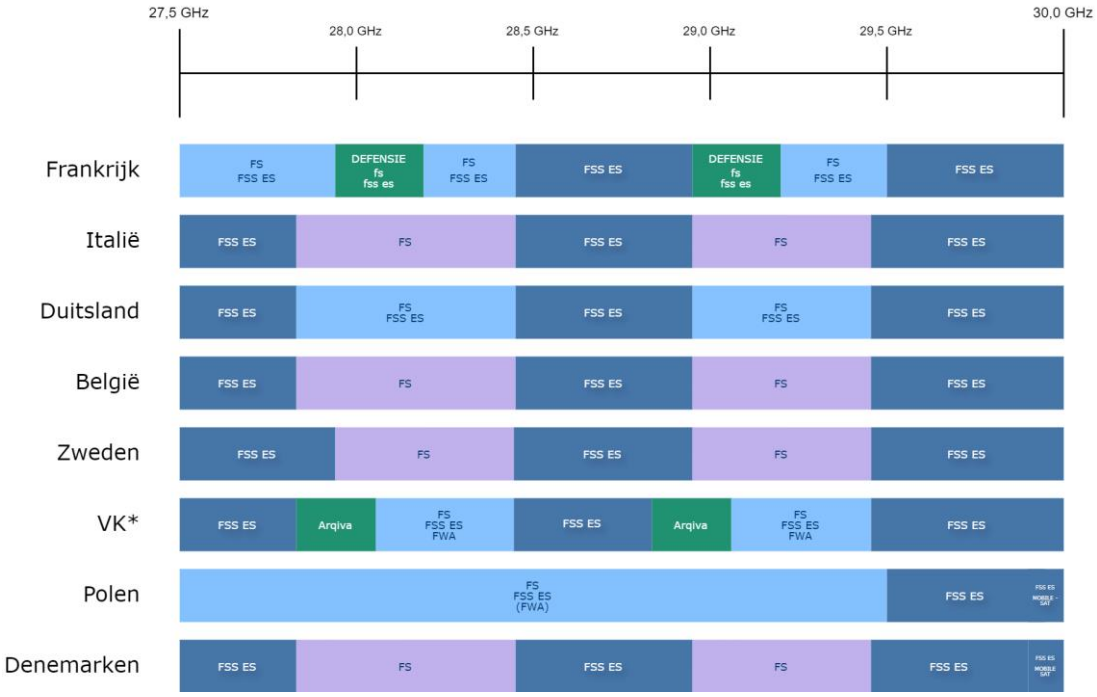
Bandgrens Breedte en aandeel	ITU-dienst	Bestemming in Nederland	Verdeelmechanisme in Nederland
27,5000 GHz			
328,5 MHz (13%)	FSS_ES	Vaste satellietverbindingen (aarde naar ruimte). Niet gecoördineerde satellietgrondstations[13] 5.484A 5.516B 5.538 5.539 5.540	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag. Niet gecoördineerde satellietgrondstations zonder vergunning, onder voorwaarden.
27,8285 GHz			
112,0 MHz (4%)	FS	Vaste verbindingen Daarnaast voor FSS_ES beacon transmissions voor up-link power control primair (5.538) en secundair (5.540)	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag.
27,9405 GHz			
112,0 MHz (4%)	FS	Vaste verbindingen, ten dienste van veiligheid en openbare orde in gemeenten. Duplex met 28.9485 – 29.0605 GHz Daarnaast voor FSS_ES beacon transmissions voor up-link power control primair (5.538) en secundair (5.540)	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag.
28,0525 GHz			
392,0 MHz (16%)	FS	Vaste verbindingen. Duplex met 29.0605 - 29.4525 GHz Daarnaast voor FSS_ES beacon transmissions voor 29,1000 GHz en secundair (5.540)	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag.
28,4445 GHz			
55,5 MHz (2%)	FSS_ES	Vaste satellietverbindingen (aarde naar ruimte). Niet gecoördineerde satellietgrondstations (aarde naar ruimte) 5.484A 5.516B 5.538 5.539 5.540[14]	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag. Niet gecoördineerde satellietgrondstations zonder vergunning, onder voorwaarden.
28,5000 GHz			
448,5 MHz (18%)	FSS _ES	Vaste satellietverbindingen (aarde naar ruimte). Niet gecoördineerde satellietgrondstations (aarde naar ruimte). Eindapparaten	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag. Niet gecoördineerde satellietgrondstations zonder vergunning, onder voorwaarden.

[13] *"Voor niet-gecoördineerde satellietgrondstations geldt dat het gebruik van frequentieruimte niet internationaal is afgestemd door toepassing van de coördinatie procedure van artikel 9 van de Radio Regulations. De gebruiker kan om die reden geen ongestoord frequentiegebruik claimen. Ook geldt voor deze grondstations dat zij geen verstoring mogen veroorzaken aan andere primaire gebruikers in de band of aan satellietgrondstations waarvoor wèl de internationale coördinatieprocedure (art. 9 RR) is doorlopen. Niet-gecoördineerde grondstations staan onder controle van een satellietnetwerk. Voorbeelden van niet-gecoördineerde satellietgrondstations zijn VSAT terminals, Low en High e.i.r.p. Satellite terminals (LEST & HEST) en satellietgrondstations op mobiele platforms (bijvoorbeeld aan boord van schepen en vliegtuigen, ESOMPs)"* Bron: [wetten.overheid.nl]

[14] Voor de volledigheid zijn de ITU-voetnoten toegevoegd in deze tabel. Omdat het in dit onderzoek uitsluitend draait om de delen van de 28 GHz-band die (ook) voor vaste verbindingen (FS) worden gebruikt, werken wij bij de delen van het spectrum van deze band die uitsluitend voor satelliet (FSS_ES) worden gebruikt de voetnoten *niet* uit.

Bandgrens Breedte en aandeel	ITU-dienst	Bestemming in Nederland	Verdeelmechanisme in Nederland
		5.484A 5.516B 5.539 5.540	Eindapparaten zonder vergunning.
28,9485 GHz			
112,0 MHz (4%)	FS	Vaste verbindingen, ten dienste van veiligheid en openbare orde in gemeenten. Duplex met 27.9405 – 28.0525 GHz Daarnaast voor FSS_ES beacon transmissions voor up-link power control secundair (5.540)	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag.
29,0605 GHz			
39,5 MHz (2%)	FS	Vaste verbindingen. Duplex met 28,0525-28,4445 GHz. Daarnaast voor: FSS_ES: - high-density applications (5.516B) - feeder links for the broadcasting-satellite service (5.539) - beacon transmissions voor up-link power control secundair (5.540) Met voorbehouden 5.541A en 5.535A	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag.
29,1000 GHz			
352,5 MHz (14%)	FS	Vaste verbindingen. Duplex met 28,0525-28,4445 GHz Daarnaast voor: FSS_ES: - beacon transmissions voor up-link power control secundair (5.540)	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag.
29,4525 GHz			
47,5 MHz (2%)	FSS_ES	Vaste satellietverbindingen (aarde naar ruimte). Niet gecoördineerde satellietgrondstations (aarde naar ruimte). Eindapparaten 5.516B 5.535A 5.539 5.541A	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag. Niet gecoördineerde satellietgrondstations zonder vergunning, onder voorwaarden. Eindapparaten zonder vergunning.
29,5000 GHz			
400,0 MHz (16%)	FSS_ES	Vaste satellietverbindingen (aarde naar ruimte). Niet gecoördineerde satellietgrondstations (aarde naar ruimte) 5.484A 5.484B 5.516B 5.527A 5.539 5.540	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag. Niet gecoördineerde satellietgrondstations zonder vergunning, onder voorwaarden.
29,9000 GHz			
100,0 MHz (4%)	FSS_ES	Vaste satellietverbindingen (aarde naar ruimte). Niet gecoördineerde satellietgrondstations (aarde naar ruimte) 5.484A 5.484B 5.516B 5.525 5.527A 5.538 5.539 5.540	Vergunningverlening op volgorde van binnenkomst van de aanvraag. Niet gecoördineerde satellietgrondstations zonder vergunning, onder voorwaarden.

Bijlage 2. Bestemming 28 GHz-band in andere landen



Figuur 9 Huidige allocatie van de 28 GHz-band van verschillende Europese landen[15]

* Voor het VK geldt dat Arqiva heeft aangegeven geen behoefte meer te hebben aan landelijk gebruik van de spectrumblokken in de 28 GHz-band. Momenteel loopt er een consultatie over de mogelijkheid om deze spectrumblokken primair toe te wijzen aan vaste satellietstations (FSS Earth Stations). [49]

** Polen heeft gekozen voor een grotendeels coprimaire bandindeling. We hebben geen verdere documentatie kunnen vinden over de specifieke redenen waarom Polen heeft gekozen voor deze afwijkende bandindeling.

[15] Bronnen: Frankrijk [www.anfr.fr]; Italië [atc.mise.gov.it]; Duitsland [data.bundesnetzagentur.de]; België [www.bipt.be]; Zweden [www.pts.se]; VK [ofcom.org.uk]; Polen [isap.sejm.gov.pl]; Denemarken [www.retsinformation.dk]

Bijlage 3. Overzicht interviewrespondenten

Organisatie	Rol
Ericsson	Presales Lead Radio in Europe and LATAM
Ericsson Netherlands	CTO
Ericsson Netherlands	Head of Regulatory Affairs
Gemeente Amsterdam	Adviseur cameratoezicht
Gemeente Amsterdam	Contract- en Projectmanager cameratoezicht
KPN	Senior Regulatory Officer
Ministerie van EZ	Adviseur ruimtevaart
Ministerie van IenW	Adviseur
Odido	Head of Public & Regulatory Affairs
Odido	Technology Strategist
ProRail	Solution Architect Radio Netwerk/ICT Architect
RDI	Adviseur
RDI	Technisch specialist
RDI	Technisch specialist satellietcommunicatie en ruimtevaart
SpaceX	Director of Spectrum Policy
VCS Observation	Commercieel verantwoordelijke
Viasat	Managing Director Commercial Networks Europe
Viasat	Sr. Director Global Operations Evolution & Programming
Viasat	Vice President European Government and Regulatory Affairs
VodafoneZiggo	Director Regulatory, Policy & Public Affairs (schriftelijk)
(NGSO-operator)	-

dialogic

Onderzoek voor *onderbouwd* beleid.

Dialogic innovatie & interactie
Hooghiemstraplein 33
3514 AX Utrecht
030-2150580
www.dialogic.nl