

Bandplannen voor Straalverbindingen

Toelichting op de criteria en procedures voor de
toewijzing van frequentieruimte voor straalverbindingen

Versie 1.7

Datum : Februari 2008

Copyright : Agentschap Telecom ©2008

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Inleiding | 2 |
| 1.1 | Wat is een bandplan? | 2 |
| 1.2 | Overzicht van het bandplan | 2 |
| 2 | Regelgeving en procedures | 2 |
| 2.1 | R&TTE richtlijn | 2 |
| 2.2 | Nationaal Frequentie Plan en Register | 2 |
| 2.3 | Geharmoniseerde normen | 2 |
| 2.4 | Aanvraagprocedure | 2 |
| 2.5 | Aanvraagformulier | 2 |
| 2.6 | Coördinatie | 2 |
| 3 | Randvoorwaarden frequentietoewijzing | 2 |
| 3.1 | Line of Sight | 2 |
| 3.2 | Afstand en frequentie | 2 |
| 3.3 | Capaciteit en kanaalkeuze | 2 |
| 3.4 | Aantal verbindingen per traject | 2 |
| 3.5 | Beschikbaarheid, kwaliteit van verbindingen | 2 |
| 3.6 | Diversity | 2 |
| 3.7 | Antennes | 2 |
| 3.8 | Procedure beoordeling aanvraag | 2 |
| 4 | Interferentie-analyse | 2 |
| 4.1 | Interferentieberekening | 2 |
| 4.1.1 | Eigenschappen van de apparatuur | 2 |
| 4.1.2 | Antenneontkoppeling | 2 |
| 4.1.3 | Frequentieontkoppeling | 2 |
| 4.2 | Interferentieanalyse | 2 |
| 4.3 | Hoog-laag conflict | 2 |
| 5 | De bandprofielen | 2 |
| | Bijlage 1, frequentieplanning | 2 |
| | Bijlage 2, interferentieberekening | 2 |
| | Bijlage 3, minimum link afstand | 2 |

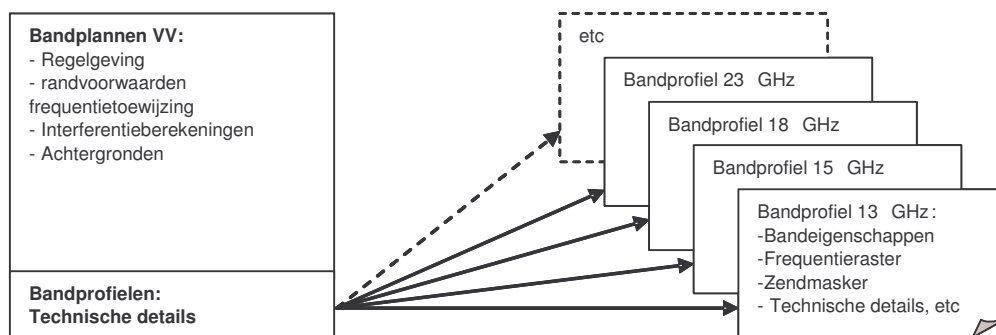
1 Inleiding

Een straalverbinding is een communicatieverbinding die gebruik maakt van radiogolven. Deze verbinding wordt altijd opgezet tussen twee vaste punten: een zend- en ontvangstantenne die bevestigd zijn aan een mast of op een gebouw. De verbinding kan gebruikt worden voor allerlei toepassingen zoals bijvoorbeeld het uitwisselen van data in de vorm van beeld, geluid, internet en multimedia. De maximale afstand tussen zender en ontvanger is - vanwege de kromming van de aarde - ongeveer 45 kilometer.

Dit document bevat het *bandplan* voor straalverbindingen en geeft aan welke verschillende uitgangspunten en regels er gelden bij de toewijzing van straalverbindingen. De specifieke radiotechnische details worden in de zogenaamde *bandprofielen* beschreven.

1.1 Wat is een bandplan?

Dit bandplan wordt door medewerkers van Agentschap Telecom, werkend op de afdeling Frequentieplanning en Coördinatie, als handleiding gehanteerd voor interferentieberekeningen aan straalverbindingen. Het bandplan geeft voor radiospecialisten de kaders en richtlijnen, waaraan gerefereerd kan worden. In dit bandplan worden de algemene randvoorwaarden besproken. Per frequentieband zijn ook specifieke technische parameters aan de orde voor bijvoorbeeld de interferentie-analyse, zoals de gehanteerde eigenschappen van apparatuur. Deze specifieke details kunnen per frequentieband verschillen. Daarom zijn tevens per frequentieband de zogenaamde “bandprofielen” beschikbaar. In dit bandplan zal daarom per band verwezen worden naar deze bandprofielen, voor de naslag van exacte systeemparemeters. In Figuur 1 staat dit schematisch weergegeven.



Figuur 1, schematische weergave van de bandplannen

1.2 Overzicht van het bandplan

In hoofdstuk 2 wordt aangegeven welke regelgeving van toepassing is op het vergunningenregime voor straalverbindingen. Tevens wordt ingegaan op de aanvraagprocedure voor straalverbindingen. Daarna wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de randvoorwaarden waarmee een aanvrager rekening dient te houden als hij zijn verbindingen plant. Hoofdstuk 4 gaat in op de aspecten van de interferentieberekening die bij Agentschap Telecom wordt uitgevoerd bij een aanvraag voor een straalverbinding. In hoofdstuk 5 wordt kort de opbouw van de bandprofielen besproken.

2 Regelgeving en procedures

2.1 R&TTE richtlijn

Met ingang van 8 april 2000 is binnen de Europese Economische Ruimte (EER) de werking van de R&TTE¹ richtlijn 1999/5/EG van toepassing betreffende radioapparatuur en randapparatuur. Deze richtlijn heeft de tot dan toe geldende filosofie voor het toelaten van radio- en randapparatuur veranderd. In tegenstelling tot de typetoelating die voorheen gold, zijn nu de essentiële vereisten leidend, waaronder de eis dat het radiospectrum efficiënt moet worden gebruikt. Radioapparatuur voldoet automatisch aan deze eis wanneer ze voldoet aan Europese geharmoniseerde normen. Het staat de fabrikanten echter vrij om andere normen te gebruiken. Om het op de markt te brengen moeten ze hiervoor een bepaalde procedure doorlopen, die in de richtlijn beschreven staat.

2.2 Nationaal Frequentie Plan en Register

Het Nationaal Frequentieplan (NFP) is een plan waarin de overheid haar algemene beleid en frequentiebeheer formuleert. Dit plan bevat tevens in tabelvorm een overzicht waarin is aangegeven voor welk type gebruik deze band bestemd is en welk beleid er wordt gevoerd bij de verdeling van de frequenties. In het Nationaal Frequentieregister (NFR) van Agentschap Telecom is een overzicht te vinden van de radioprofielen die gelden voor de verschillende toepassingen. Deze radioprofielen bevatten aanvullende informatie, maar deze zijn niet zo gedetailleerd als de bij dit bandplan behorende *bandprofielen*. Het is daarom aan te raden om voor een frequentieaanvraag uit te gaan van de in dit bandplan beschreven bandprofielen.

2.3 Geharmoniseerde normen

Normen voor apparatuur voor straalverbindingen worden opgesteld door ETSI (European Telecommunications Standards Institute). De algemene geharmoniseerde norm voor straalverbindingen is de EN 301 751: "Generic harmonized standard for Point to Point digital fixed radio systems". Systemen die aan deze norm voldoen hebben het vermoeden van overeenstemming met de essentiële vereisten met betrekking tot spectrumefficiëntie zoals genoemd in de R&TTE richtlijn. De algemene geharmoniseerde norm verwijst naar Europese normen (productnormen) voor de verschillende banden. Als een apparaat voldoet aan de productnorm die geldt voor dat apparaat in de desbetreffende band, dan voldoet dit apparaat tevens aan de geharmoniseerde norm. Agentschap Telecom maakt gebruik van de veel toegepaste productnormen bij het maken van interferentieberekeningen door uit de norm technische parameters af te leiden. In Tabel 1 staat weergegeven welke normen door het agentschap worden gebruikt als referentie voor de verschillende frequentiebanden zoals genoemd in paragraaf 2.2. Het kan voorkomen dat een operator besluit om apparatuur in te zetten die niet aan deze normen voldoet maar wel in overeenstemming is met de R&TTE richtlijn. In dit geval zal Agentschap Telecom van de aanvrager voor die apparatuur technische gegevens² nodig hebben om interferentieberekeningen te kunnen uitvoeren.

¹ Radio and Telecommunications Terminal Equipment

² Of een vergelijkbare referentienorm

| ETSI Referentie nummer | Versie | Titel | Frequentieband |
|------------------------|---------|--|---|
| EN 300 197 | V1.6.x | Parameters for radio systems for the transmission of digital signals operating at 32 GHz and 38 GHz | 32 GHz and 38 GHz |
| EN 300 198 | V1.5.x | Parameters for radio systems for the transmission of digital signals operating at 23 GHz | 23 GHz |
| EN 300 234 | V1.3.x | High capacity digital radio systems carrying 1 x STM-1 signals and operating in frequency bands with about 30 MHz channel spacing and alternated arrangements | any from 4 GHz to 15 GHz |
| EN 300 430 | V1.4.x | Parameters for radio systems for the transmission of STM-1 digital signals operating in the 18 GHz frequency band with channel spacing of 55 MHz and 27,5 MHz | 18 GHz |
| EN 300 431 | V1.4.x | Parameters for radio system for the transmission of digital signals operating in the frequency range 24,5 GHz to 29,5 GHz | 26 GHz and 28 GHz |
| EN 300 639 | V1.3.x | Sub STM-1 digital radio systems operating in the 13 GHz, 15 GHz and 18 GHz frequency bands with about 28 MHz co-polar and 14 MHz cross-polar channel spacing | 13 GHz, 15 GHz and 18 GHz |
| EN 300 786 | V1.3.x | Sub STM-1 digital radio systems in the 13 GHz, 15 GHz and 18 GHz frequency bands with about 14 MHz co-polar channel spacing | 13 GHz, 15 GHz and 18 GHz |
| EN 300 833 | V1.4.x | Antennas for point-to-point fixed radio systems operating in the frequency band 3 GHz to 60 GHz | any from 3 GHz to 60 GHz |
| EN 301 127 | V1.3.x | High capacity digital radio systems carrying SDH signals (2 x STM-1) in frequency bands with about 30 MHz channel spacing and using Co-Channel Dual-Polarized (CCDP) operation | any from 4 GHz to 15 GHz |
| EN 301 128 | V1.2.x | PDH low and medium capacity digital radio systems operating in the 13 GHz, 15 GHz and 18 GHz frequency bands | 13 GHz, 15 GHz and 18 GHz |
| EN 301 216 | V1.2.x | PDH low and medium capacity and STM-0 digital radio systems operating in the frequency bands in the range 3 GHz to 11 GHz | any from 3 GHz to 11 GHz |
| EN 301 277 | V1.2.x | High capacity digital radio systems transmitting STM-4 or 4 x STM-1 in a 40 MHz radio frequency channel using Co-Channel Dual Polarized (CCDP) operation | any from 4 GHz to 11 GHz |
| EN 301 387 | V1.2.x | PDH low and medium capacity digital radio systems operating in the frequency band 48,5GHz to 50,2 GHz | 50 GHz |
| EN 301 461 | V1.3.x | High capacity fixed radio systems carrying SDH signals (2 x STM-1) in frequency bands with 40 MHz channel spacing and using Co-Channel Dual-Polarized (CCDP) operation | any from 4 GHz to 11 GHz |
| EN 301 669 | V1.2.x | High capacity digital radio systems carrying STM-4 in two 40 MHz channels or 2 x STM-1 in a 40 MHz channel with alternate channel arrangement | any from 4 GHz to 11 GHz |
| EN 301 785 | V1.2.x | Parameters for packet data radio systems for transmission of digital signals operating in the frequency range 7, 8, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 32, 38, 52 to 55 GHz | 7 GHz to 55 GHz |
| EN 301 787 | V1.1.x | Parameters for radio systems for the transmission of Sub-STM-0 digital signals operating in the 18 GHz frequency band | 18 GHz |
| EN 302 062 | V.1.1.x | High capacity digital radio systems carrying 2 x STM-1, 4 x STM-1 or STM-4 signals in frequency bands with 55/56 MHz channel spacing | 15 GHz, 18 GHz, 23 GHz, 26 GHz, 32 GHz and 38 GHz |

Tabel 1, overzicht Europese normen voor straalverbindingen

Inmiddels is ETSI bezig om alle normen om te schrijven naar een nieuwe zogenaamde multipart standard. Technisch gezien zullen deze normen niet afwijken van de huidige normen. ETSI streeft er vooral naar om de normen een stuk overzichtelijker te maken. Aangezien de technische parameters vrijwel niet wijzigen heeft dit geen invloed op de technische parameters die worden gebruikt bij interferentieberekeningen. De multipart standard EN 302 217 bestaat uit de in Tabel 2 opgenomen onderdelen.

| Multipart standard ETSI EN 302 217 | |
|---|--|
| Part 1 | "Overview and system-independent common characteristics"; |
| Part 2-1 | "System-dependent requirements for digital systems operating in frequency bands where frequency co-ordination is applied"; |
| Part 2-2 | "Harmonized EN covering essential requirements of Article 3.2 of R&TTE Directive for digital systems operating in frequency bands where frequency co-ordination is applied"; |
| Part 3 | "Harmonized EN covering essential requirements of Article 3.2 of R&TTE Directive for equipment operating in frequency bands where no frequency co-ordination is applied"; |
| Part 4-1 | "System-dependent requirements for antennas"; |
| Part 4-2 | "Harmonized EN covering essential requirements of Article 3.2 of R&TTE Directive for antennas". |

Tabel 2, Overzicht multipart standard EN 302 217

2.4 Aanvraagprocedure

Een aanvraag voor een straalverbinding kan op twee manieren worden ingediend. Het kan schriftelijk via een formulier dat op de website van het agentschap te vinden is. Het is ook mogelijk om via een elektronisch systeem de aanvraag in te dienen. Het elektronische systeem is geschikt voor operators of aanvragers die veel aanvragen doen voor zichzelf of een specifieke klant. De aanmeldprocedure voor het elektronische systeem, alsmede het formulier om schriftelijk aanvragen te doen is te vinden op de website van Agentschap Telecom (www.agentschap-telecom.nl).

De frequentieaanvragen worden behandeld volgens het principe "first come first served". Dit houdt in dat de aanvragen op volgorde van binnenkomst behandeld worden. Nadat een aanvraag door het agentschap is ontvangen en controle op de volledigheid van de gegevens heeft plaatsgevonden gaat de afdeling Vergunningen de aanvraag verwerken in het administratieve systeem.

Bij een elektronische aanvraag wordt de administratieve controle en verwerking elektronisch volbracht. Hierna volgt een interferentieberekening die wordt gedaan om te bepalen of de aangevraagde straalverbinding storing geeft op overige verbindingen of storing ondervindt van andere verbindingen. Zodra geen storingen worden geconstateerd reserveert Agentschap Telecom de frequentie definitief. Nadat deze interferentieberekening succesvol is uitgevoerd wordt de vergunning verleend. Indien er geen coördinatie met het buitenland is vereist zal het doorlopen van deze procedure maximaal acht weken in beslag nemen. Voor details over coördinatie zie paragraaf 2.6.

2.5 Aanvraagformulier

Een aanvraagformulier bestaat uit twee delen. Als eerste dient het algemene aanvraagformulier, "de aanvraag/wijziging van de vergunning", te worden ingevuld. Daarnaast is het formulier "inlegvel aanvraag vergunning gebruik frequentieruimte, marktsegment vaste verbindingen" noodzakelijk. Hierop kunnen de technische parameters ingevuld worden die betrekking hebben op de aangevraagde verbinding.

2.6 Coördinatie

Met de buurlanden is coördinatie noodzakelijk om onderlinge interferentie met buitenlandse stations te voorkomen. Dit hoeft alleen te gebeuren voor stations die zich binnen een bepaalde afstand van de grens bevinden. Deze coördinatiezone is afhankelijk van de frequentie, omdat lage frequenties een grotere kans op interferentie geven dan hoge frequenties. De coördinatieafspraken tussen Nederland en de buurlanden zijn vastgelegd in de Berlijn overeenkomst uit 2003, tegenwoordig getiteld HCM-overeenkomst. In dat kader zijn afspraken gemaakt over het elektronisch uitwisselen van coördinatieverzoeken. Om interpretatieverschillen tussen buurlanden te voorkomen is in Annex 11 van de overeenkomst de zogenaamde Harmonized Calculation Method opgenomen. Volgens deze methodiek worden interferentieberekeningen gemaakt. Op basis hiervan wordt een coördinatieverzoek toegekend of afgewezen. In de overeenkomst zijn ook de afstanden voor de coördinatiezone per frequentieband opgenomen zoals aangegeven in Tabel 3.

| Frequentie (GHz) | Coördinatiezone (in km vanaf de grens) |
|---------------------|---|
| 1 - 12 | 100 |
| 12 - 20 | 80 |
| 20 - 24,5 | 60 |
| 24,5 - 30 | 40 |
| 30 - 39,5 | 30 |

Tabel 3, coördinatieafstanden

De coördinatie afhandeling met het buitenland kan tot 45 dagen in beslag nemen. Gedurende de coördinatieperiode kan Agentschap Telecom voor de betreffende straalverbinding een tijdelijke vergunning op 'Non Interference Basis' (NIB) verlenen. Wijst het betreffende buurland in verband met storing het coördinatieverzoek af, dan trekt het agentschap de (tijdelijke) vergunning in en vangt het planningsproces opnieuw aan. Indien de coördinatie is geslaagd, vervalt de NIB clause uit de vergunning. Het uitwisselen van coördinatieverzoeken tussen buurlanden vindt op elektronische, gestandaardiseerde wijze plaats..

3 Randvoorwaarden frequentietoewijzing

De planning van een straalverbinding wordt gedaan door de aanvrager. Door middel van deze planning bepaalt de aanvrager de parameters die hij gebruikt voor de aanvraag. Deze planning is afhankelijk van bijvoorbeeld de capaciteit die men op een bepaalde plek wenst, het ontwerp van zijn netwerk, of andere omgevingsfactoren, zoals de mogelijkheid tot gebruik van een opstelpunt. Vaak zal een aanvrager zijn verbinding plannen op een bepaalde gewenste beschikbaarheid. Deze beschikbaarheid is van veel factoren afhankelijk waaronder o.a. locaties, eigenschappen apparatuur en uitgestraald vermogen.

De operator is altijd zelf verantwoordelijk voor het maken van een goede planning. Agentschap Telecom voert ter controle een extra planning uit op de straalverbinding met de door de aanvrager aangeleverde gegevens. Deze planning wordt gebruikt om te kunnen controleren of de gegevens die de aanvrager aanlevert in overeenstemming zijn met een aantal algemeen geldende planningsvoorwaarden. Verder is de planning noodzakelijk voor het kunnen analyseren van interferentieproblemen (zoals beschreven in hoofdstuk 4). Agentschap Telecom doet geen planning om de parameters voor een verbinding van de aanvrager te berekenen; dit is de verantwoordelijkheid van de operator zelf.

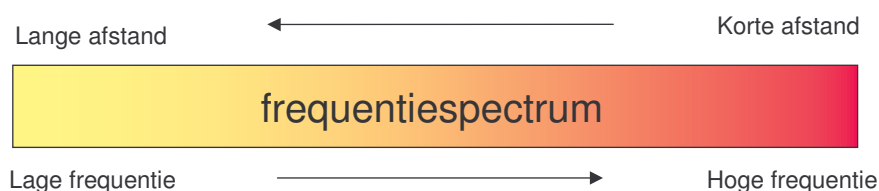
De algemene planningsvoorwaarden voor een operator zijn in dit hoofdstuk beschreven.

3.1 Line of Sight

Een straalverbinding zal te allen tijde worden gerealiseerd onder Line-of-sight condities (LOS). De LOS condities worden ook wel vrij-zicht-condities genoemd. Bij de planning wordt een eenvoudige controle gedaan op LOS, om vreemde uitkomsten in de beoordeling te voorkomen. De bepaling van LOS blijft altijd de verantwoordelijkheid van de operator, en in het planningsproces wordt altijd gerekend met een vrije propagatie van tenminste 60% van de eerste Fresnell-zone.

3.2 Afstand en frequentie

Zeer korte verbindingen kunnen theoretisch in alle banden worden gerealiseerd. Hoe langer de verbinding wordt, hoe lager de frequentie moet zijn om de verbinding te kunnen realiseren. Dit is het gevolg van propagatieverliezen die groter worden naarmate de frequentie hoger is (Figuur 2). Om te voorkomen dat de lage frequenties worden opgebruikt door korte verbindingen, zou een verbinding altijd in een zo "hoog" mogelijk frequentieband moeten worden geplaatst. Op die manier wordt ruimte gelaten in lagere banden voor langere verbindingen.

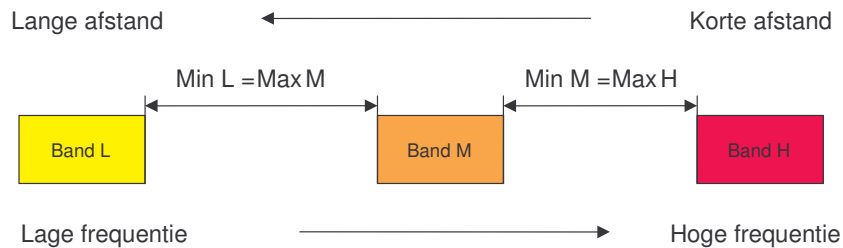


Figuur 2, de te overbruggen afstand is afhankelijk van de zendfrequentie

Om verbindingen in de toekomst te kunnen waarborgen voor alle afstanden, zal er dus een ordening in het spectrum moeten plaatsvinden. De frequentieruimte is voor straalverbindingen opgesplitst in een aantal banddelen. Om nu te voorkomen dat een banddeel volloopt met verbindingen die eveneens in een hoger banddeel hadden kunnen worden ondergebracht, is de volgende basisregel van toepassing:

In elke band geldt een minimum link lengte. Deze minimum link lengte is gelijk aan het maximum dat kan worden overbrugd in een hogere band. Op die manier wordt een verbinding niet onnodig ondergebracht in een lagere band.

Dit is schematisch weergegeven in Figuur 3, waarbij de maximaal te overbruggen afstand in een hogere band geldt als minimum in een lagere band.



Figuur 3, schematische weergave minimum link lengte

Het maximum dat per band is afgeleid moet natuurlijk wel een realistisch maximum zijn. Dit houdt in dat de verbinding onder verschillende omstandigheden en met behulp van allerlei apparatuur van verschillende fabrikanten realiseerbaar moet zijn. Daarom heeft Agentschap Telecom dit maximum afgeleid onder 'ongunstige' omstandigheden. Hiervoor is gebruik gemaakt van specificaties van bestaande apparatuur om zo uit te rekenen welke afstand onder ongunstige omstandigheden toch nog kan worden overbrugt. Dit maximum is vervolgens gesteld als minimum voor de band eronder met een lagere frequentie. In bijlage 5 staat de methodiek en afleiding van deze afstanden uitgewerkt.

Bij de planning van een straalverbinding zal een aanvrager rekening moeten houden met tabel 4 waarin per frequentieband staat aangegeven welke afstanden gelden. Agentschap Telecom gebruikt de gegevens van tabel 4 om de aanvraag te toetsen.

| Frequentieband (GHz) | minimum link lengte ≥140 Mbit/s (kilometer) | minimum link lengte <140 Mbit/s (kilometer) |
|-------------------------|--|--|
| 6/7 GHz | 10 | 19 |
| 13 GHz | 7 | 13,5 |
| 15 GHz | 7 | 13,5 |
| 18 GHz | 3 | 5 |
| 23 GHz | 3 | 5 |
| 26 GHz | 2,5 | 4,5 |
| 28 GHz | 2,5 | 4 |
| 32 GHz | 0 | 2,5 |
| 38 GHz | 0 | 0 |

Tabel 4, minimum link lengte

3.3 Capaciteit en kanaalkeuze

De European Communication Committee (ECC) stelt samen met de verschillende Europese landen aanbevelingen op voor kanaalbreedtes en kanaalrasters. Deze aanbevolen rasters bevorderen in Europa de mogelijkheden om in verschillende landen dezelfde apparatuur in te zetten. Daarom worden door Agentschap Telecom deze rasters waar mogelijk gevolgd. Echter door omstandigheden die vanuit de historie per land verschillen kunnen de daadwerkelijk gebruikte rasters afwijken doordat er bijvoorbeeld minder kanalen beschikbaar zijn of bepaalde bandbreedtes niet geaccepteerd worden vanuit overwegingen ten behoeve van frequentie-efficiëntie. In Tabel 5 staat per frequentieband aangegeven welke kanaalbreedtes alsmede de bijbehorende transmissiecapaciteiten van toepassing zijn. In de tabel staat tevens welke kanaalplannen als uitgangspunt worden gebruikt. Alle CEPT recommendations zijn te vinden op de website van de European Radiocommunications Office (ERO) (www.ero.dk).

| CEPT Band | CEPT kanaalplan | Transmissie capaciteit | Kanalen | | Opmerkingen implementatie |
|--|-----------------------------------|---------------------------|----------------------|------------------|---|
| | | | Band-breedte | Aantal | |
| Lower 6 GHz 5925-6425 MHz | REC 14-01 | STM-1, nxSTM-1 | 29.65 MHz | 8 | |
| Upper 6 GHz 6425-7125 MHz | REC 14-02 | STM-1, nxSTM-1 | 40 MHz | 8 | |
| | | STM-0 | 20 MHz | 16 | |
| Lower 7 GHz 7125-7425 ¹⁾ MHz | REC 02-06 | STM-1, nxSTM-1 | 28 MHz | 5 | 1) Nauwelijks aanvragen mogelijk: 7250-7300 MHz niet beschikbaar voor straalverbindingen. |
| Upper 7 GHz 7425- 7725 ³⁾ MHz | REC 02-06 | nxSTM-1 | 56 MHz | 4 | 2) 7300-7725 MHz coördinatie met satellietgrondstations van Defensie. |
| | | STM-1, nxSTM-1 | 28 MHz | 5 | |
| 8 GHz 7900-8500 ³⁾ MHz | REC 02-06 | 34 Mb/s, 2x34 Mb/s, STM-0 | 14 MHz | 10/16 | 3) Nauwelijks aanvragen mogelijk: 7900-8200 MHz toegewezen aan defensie, 8200-8400 MHz tevens gebruik satellietgrondstations door Defensie |
| | | 8x2 Mb/s, 4x2 Mb/s | 7 MHz | 20/32 | |
| 13 GHz 12.75-13.25 GHz | REC 12-02 | nxSTM-1 | 56 MHz | 7 | |
| | | STM-1, nxSTM-1, 34 Mb/s | 28 MHz | 8 | |
| | | 8x2 Mb/s, 34 Mb/s, STM-0 | 14 MHz | 16 | |
| | | 8x2 Mb/s, 4x2 Mb/s | 7 MHz | 32 | |
| | | 4x2 Mb/s, 2x2 Mb/s | 3.5 MHz | 64 | |
| 15 GHz onderband ⁴⁾ 14.5-14.62 GHz bovenband ⁴⁾ 15.23-15.35 GHz | REC 12-07 | 2xSTM-1 | 56 MHz ⁵⁾ | 2 | 4) Duplexgap (14.62-15.23 MHz) is toegewezen aan Defensie 5) Geen 56 MHz kanalen beschikbaar Voor smalle kanalen worden zo veel mogelijk de hoogste kanalen toegewezen |
| | | STM-1, nxSTM-1, 34 Mb/s | 28 MHz | 4 | |
| | | 8x2 Mb/s, 34 Mb/s, STM-0 | 14 MHz | 8 | |
| | | 8x2 Mb/s, 4x2 Mb/s | 7 MHz | 16 | |
| | | 4x2 Mb/s, 2x2 Mb/s | 3.5 MHz | 32 | |
| 18 GHz 17.7-19.7 GHz | REC 12-03 ITU F.595 Annex 5 | STM-1, nxSTM-1 | 55 MHz | 17 | |
| | | STM-1, 2x34 Mb/s, 34 Mb/s | 27.5 MHz | 35 | |
| | | 8x2 Mb/s, 34 Mb/s, STM-0 | 13.75 MHz | 70 | |
| | | 8x2 Mb/s, 4x2 Mb/s | 7 MHz | 136 | |
| | | 4x2 Mb/s, 2x2 Mb/s | 3.5 MHz | 272 | |
| 23 GHz⁶⁾ onderband 22.0-22.6 GHz bovenband 23.0-23.6 GHz | T/R 13-02 Annex A | 2xSTM-1, STM-1 | 56 MHz | 10 | 6) Per oktober 2007 aanvragen mogelijk |
| | | STM-1, STM-0, 34 Mb/s | 28 MHz | 20 | |
| | | 8x2 Mb/s, 34 Mb/s, STM-0 | 14 MHz | 41 | |
| | | 8x2 Mb/s, 4x2 Mb/s | 7 MHz | 83 | |
| | | 4x2 Mb/s, 2x2 Mb/s | 3.5 MHz | 168 | |
| 26 GHz 24.5-26.5 ⁷⁾ GHz | T/R 13-02 Annex B | 2xSTM-1, STM-1 | 56 MHz | 16 | 7) 24.549 - 25.025 GHz en 25.5 – 26,033 GHz toegewezen aan WLL. Zie bandprofiel voor beschikbare kanalen. |
| | | STM-1, STM-0, 34 Mb/s | 28 MHz | 32 | |
| | | 8x2 Mb/s, 34 Mb/s, STM-0 | 14 MHz | 64 | |
| | | 8x2 Mb/s, 4x2 Mb/s | 7 MHz | 128 | |
| | | 4x2 Mb/s, 2x2 Mb/s | 3.5 MHz | 256 | |
| 28 GHz 27.5-29.5 ⁸⁾ GHz | T/R 13-02 Annex C | 2xSTM-1, STM-1 | 56 MHz | 16 ⁹⁾ | 8) Sharing met satelliet; beschikbaar kanalen tussen: (28.0525 – 28.4445) met (29.0605 – 29.4525) GHz: 9) 56 MHz: 7 kanalen 10) 28 MHz: 14 kanalen Lage kanalen zoveel mogelijk gereserveerd voor breedbandige systemen. |
| | | STM-1, STM-0, 34 Mb/s | 28 MHz | 32 ⁹⁾ | |
| | | 8x2 Mb/s, 34 Mb/s, STM-0 | 14 MHz | 64 | |
| | | 8x2 Mb/s, 4x2 Mb/s | 7 MHz | 128 | |
| | | 4x2 Mb/s, 2x2 Mb/s | 3,5 MHz | 256 | |
| 31 GHz 31,0-31,3 GHz | REC 01-02 | | | | Geen aanvragen mogelijk |
| 32 GHz 31,8-33,4 GHz | REC 02-02 | 4x2 Mb/s, 2x2 Mb/s | 3.5 MHz | 216 | Lage kanalen worden zo veel mogelijk gereserveerd voor breedbandige systemen |
| | | 8x2 Mb/s, 4x2 Mb/s | 7 MHz | 108 | |
| | | 8x2 Mb/s, 34 Mb/s, STM-0 | 14 MHz | 54 | |
| | | STM-1, STM-0, 34 Mb/s | 28 MHz | 27 | |
| | | 2xSTM-1, STM-1 | 56 MHz | 12 | |
| 38 GHz 37.0-39.5 GHz | T/R 12-01 | 4x2 Mb/s, 2x2 Mb/s | 3.5 MHz | 320 | |
| | | 8x2 Mb/s, 4x2 Mb/s | 7 MHz | 160 | |
| | | 8x2 Mb/s, 34 Mb/s, STM-0 | 14 MHz | 80 | |
| | | STM-1, STM-0, 34 Mb/s | 28 MHz | 40 | |
| | | 2xSTM-1, STM-1 | 56 MHz | 20 | |

Tabel 5, overzicht frequentiebanden voor straalverbindingen

Bij een aanvraag kan tevens worden aangegeven welk frequentiekanaal de voorkeur heeft. Agentschap Telecom controleert of het kanaal in overeenstemming is met de in het radioprofiel beschreven details over de kanaalindeling. Voor een aantal banden geldt dat breedbandige en smalbandige kanalen bij voorkeur in een bepaald deel van de band geplaatst worden. De breedbandige kanalen zijn die met een raster van 28 en 56 MHz. Dit heeft als voordeel dat fragmentatie van de band zoveel mogelijk wordt voorkomen. Wanneer er een conflict is zal Agentschap Telecom in overleg met de aanvrager nagaan of er een alternatieve frequentie is. In de situatie dat geen voorkeur voor een bepaalde frequentie bestaat, wordt vaak gekozen voor de laagste frequentie die in die band beschikbaar is; natuurlijk kan deze frequentie ook in een bepaald bereik van de apparatuur liggen. Voor de details omtrent de beschikbare kanalen en bijbehorende rasters wordt verwezen naar de bandprofielen die het agentschap voor elke frequentieband beschikbaar stelt.

3.4 Aantal verbindingen per traject

Over één traject kunnen meerdere verbindingen lopen. Doordat elk kanaal ook energie uitstraalt in naastliggende kanalen is de kans op storing altijd aanwezig. Bij meerdere verbindingen over één traject staan de antennes op elkaar gericht en is de kans op onderlinge storing erg hoog. Om genoeg ont koppeling te bewerkstelligen tussen twee verbindingen zal er altijd één kanaal tussen twee verbindingen worden vrijgelaten.

Het gebruik van polarisatie ont koppeling is een andere manier om de storing in het naastliggende kanaal te verminderen. Operators gebruiken deze techniek om toch twee naastliggende kanalen in te zetten, waarbij elk kanaal een andere polarisatie heeft. Om die reden zal het agentschap twee naastliggende kanalen toestaan, mits ze van dezelfde operator zijn.

Het zou kunnen voorkomen dat een operator op één traject in één frequentieband zoveel frequentieruimte inneemt dat er geen andere operators meer bij kunnen. Indien er 50% of meer van de beschikbare frequentieruimte in gebruik is (op hetzelfde traject binnen dezelfde frequentieband) door dezelfde operator dan kan Agentschap Telecom de Nederlandse Mededingings Autoriteit (Nma) hiervan op de hoogte stellen. De kans dat een operator tot 50% van de frequentieruimte gebruikt is klein, maar is in banden met relatief weinig totale frequentieruimte zoals de 15 GHz niet uit te sluiten.

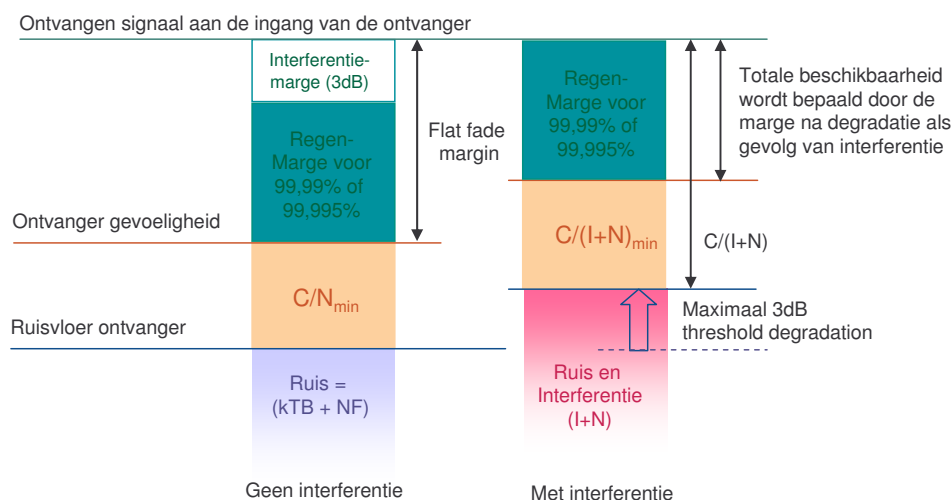
3.5 Beschikbaarheid, kwaliteit van verbindingen

De kwaliteit en beschikbaarheid van een straalverbinding wordt mede bepaald door atmosferische omstandigheden. Met name regen heeft in de hogere frequentiebanden (> 10 GHz) invloed op de kwaliteit van de verbinding. Agentschap Telecom hanteert ITU-R P.530-10 voor het inschatten van de kwaliteit van de verbinding. Op basis van deze recomman datie wordt de invloed van de regenmarge (voor hoge frequenties) en de multipad fadingmarge (voor lagere frequenties) op de beschikbaarheid van de straalverbinding berekend.

Agentschap Telecom accepteert standaard verbindingen tot een beschikbaarheid van 99,99% op jaarbasis. Voor 'back-bone' STM-1 verbindingen van 140 Mbits/s of hoger wordt een beschikbaarheid van 99,995% op jaarbasis geaccepteerd.

Ter compensatie van eventuele interferentie zal Agentschap Telecom een extra marge voor de verbinding toestaan. De marge hiervoor is gesteld op 3 dB, waardoor een operator in de toekomst 3 dB (threshold) degradatie kan accepteren. Dit betekent dat een operator zijn verbinding moet plannen met in acht neming van 3 dB signaaldegradatie. Zodra er geen interferentie is, betekent dit dus dat het systeem een hogere beschikbaarheid kent dan 99,99% of 99,995%. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 4.

Automatic Transmit Power Control (ATPC) is een manier om de beschikbaarheid van een verbinding te verhogen. Echter, deze eigenschap van apparatuur wordt niet meegenomen in de analyse. Indien ATPC wordt toegepast, wordt uitgegaan van het maximum vermogen wat door de apparatuur wordt geleverd.



Figuur 4, extra marge toegestaan ter compensatie van eventuele interferentie

De technische berekening die ten grondslag ligt aan het plannen van verbindingen vindt u in bijlage 3.

3.6 Diversity

Een aanvrager kan de beschikbaarheid van zijn verbinding willen verbeteren door bepaalde diversity technieken toe te passen. Een aantal technieken worden door Agentschap Telecom geaccepteerd. Hieronder staat beschreven welke technieken er bestaan en hoe het agentschap hiermee omgaat.

- *'Antenne' diversity*

Door het toepassen van antenne-diversity kunnen de effecten van een meerweg fading verminderd worden, vanwege het feit dat deze effecten afhankelijk zijn van de locatie van de antenne. Daarom worden op verschillende hoogtes op de mast ontvangstantennes gemonteerd. Dit systeem doet geen beroep op extra frequenties en is de meest aangewezen methode om de beschikbaarheid te vergroten. Deze passieve vorm van diversity wordt door het agentschap geaccepteerd.

- *'Frequentie' diversity.*

Bij frequentiediversity worden een bedrijfskanaal en een reservekanaal toegepast. Als het bedrijfskanaal door multipad fading verslechterd, wordt aangenomen dat de ontvangstkwaliteit op het reservekanaal goed is. Dit systeem gebruikt een frequentiekanal meer, dan op grond van de capaciteitsbehoefte daadwerkelijk noodzakelijk is. Dit betekent inefficiënt gebruik van het spectrum en wordt om die reden niet geaccepteerd.

- *Hot stand-by configuratie*

In een 'Hot stand-by' configuratie zijn twee identieke zend/ontvangsystemen via een 'wissel schakelaar' met één antennesysteem verbonden. Eén systeem is actief terwijl het tweede systeem is ingeschakeld maar in een dummyload straalt (hot stand-by). Het toepassen van een 'Hot stand-by' configuratie op dezelfde frequentie wordt door het agentschap toegestaan mits de back-up configuratie ingeschakeld wordt, nadat de actief zijnde zender/ontvanger combinatie is afgeschakeld.

De diversity antennes worden *niet* meegenomen in het beoordelen van de beschikbaarheid van de verbinding. Hierdoor kan een aanvrager de beschikbaarheid van zijn verbinding vergroten tot boven de 99,99%. De afweging en analyse hiervan wordt overgelaten aan de aanvrager.

3.7 Antennes

De kwaliteit van de antennes die bij een straalverbinding gebruikt worden hebben een grote invloed op de interferentie die een straalverbinding ondervindt of veroorzaakt. Hierdoor is de keuze van de antennekarakteristiek waarop de planning van een straalverbinding plaatsvindt van belang voor de efficiëntie waarmee gepland kan worden. In de geharmoniseerde norm wordt voor antennes verwezen naar de norm EN 300 833. Op basis van de hoge beschikbaarheid en de hoge dichtheid waarmee straalverbindingen gepland worden, worden door Agentschap Telecom de klassen zoals aangegeven in Tabel 6 verondersteld. Als richtlijn geldt een versterkingsfactor van minimaal 40 dBi. Om deze gain naar een bepaalde klasse te vertalen gelden praktisch de commercieel beschikbare diameters. Hierbij wordt een afwijking van 5 dB geaccepteerd. Uitgaande van de commerciële maten als 30, 60 en 120 cm, ontstaat Tabel 7 waarin per band de minimum diameter van de antenne staat vermeld. Agentschap Telecom heeft gegevens van vrijwel alle veelgebruikte commerciële antennes beschikbaar. Zodra een antenne gebruikt wordt die (nog) niet bekend is, kan de aanvrager eenmalig gevraagd worden om de gegevens (o.a. antennepatroon) door te geven om de relevante berekeningen te kunnen uitvoeren.

| Frequentieband | Klasse uit EN 300 833 |
|----------------|-----------------------|
| 7 GHz | 3 en 4 (figuur 2c,2d) |
| 10 GHz | 3 en 4 (figuur 2c,2d) |
| 13 GHz | 3 en 4 (figuur 2c,2d) |
| 15 GHz | 3 en 4 (figuur 2c,2d) |
| 18 GHz | 3 (figuur 3c) |
| 23 GHz | 3 (figuur 3c) |
| 26 GHz | 2 (figuur 5b) |
| 28 GHz | 2 (figuur 5b) |
| 32 GHz | 2 en 3 (figuur 6b-6e) |
| 38 GHz | 2 en 3 (figuur 6b-6e) |

Tabel 6, Overzicht antenneklassen per frequentieband

| Frequentie Diameter | 6/7 GHz | 13 GHz | 15 GHz | 18 GHz | 23 GHz | 26 GHz | 28 GHz | 32 GHz | 38 GHz | |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0,3 m | 24,2 | 29,6 | 30,9 | 32,4 | 34,6 | 35,6 | 36,3 | 37,7 | 38,9 | g a i n |
| 0,6 m | 30,3 | 35,6 | 36,9 | 38,5 | 40,6 | 41,7 | 42,3 | 43,7 | 45,0 | |
| 1,2 m | 36,3 | 41,7 | 42,9 | 44,5 | 46,6 | 47,7 | 48,3 | 49,8 | 51,0 | |
| Minimum diameter | 1,2 m | 0,6 m | 0,6 m | 0,6 m | 0,3 m | 0,3 m | 0,3 m | 0,3 m | 0,3 m | |

Tabel 7, Overzicht minimum antennediameter

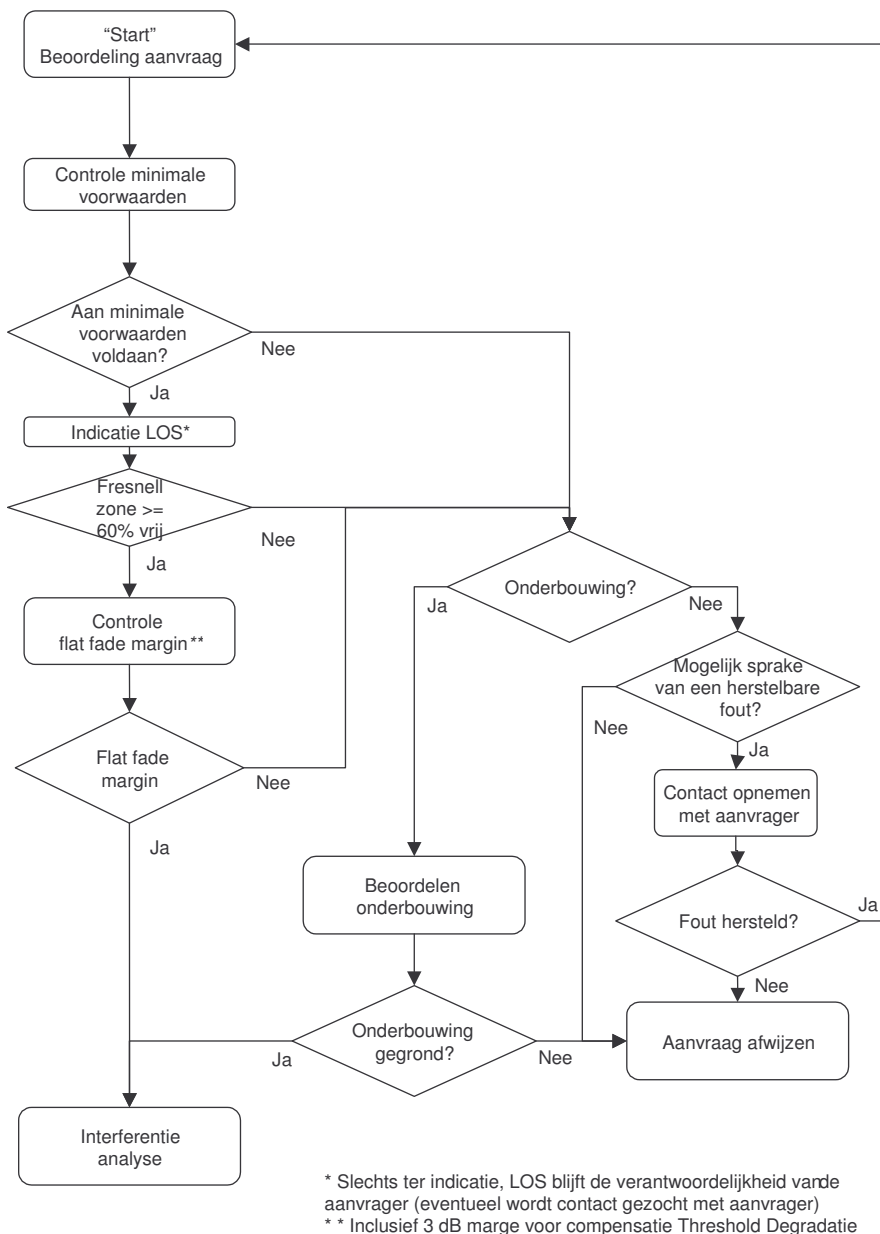
3.8 Procedure beoordeling aanvraag

Om de hierboven gestelde regels te kunnen beoordelen zullen de aanvragen worden gecontroleerd. Hiertoe wordt door Agentschap Telecom een planning uitgevoerd. De procedure die Agentschap Telecom hiervoor hanteert is weergegeven in Figuur 5. De hierin beschreven procedure bevat de technische beoordeling van de parameters in de aanvraag. Hiervoor heeft een administratieve controle plaatsgevonden, maar deze wordt verder niet uitgewerkt.

Eerst zullen een aantal minimale voorwaarden worden gecontroleerd:

- frequentieraster (zie bandprofielen)
- minimum link length policy (voldoet de verbinding aan de minimale afstand)
- antennetype (voldoen de gebruikte antennes aan de minimum diameter of antenneversterking en diversity etc.)

Eveneens wordt gecontroleerd of er sprake is van line-of-sight (LOS). Dit is slechts een indicatie omdat niet alle obstakels, zoals bebouwing, bij Agentschap Telecom bekend zijn. Voor de planning wordt vervolgens uitgegaan van een verbinding waarbij in ieder geval meer dan 60% van de eerste Fresnell zone vrij is.



Figuur 5, stroomschema aanvraagbeoordeling

Tenslotte dient de flat fade margin overeen te stemmen met de marge die geldt voor regen (en multipad voor lage frequenties). Deze marges worden in de tool berekend en gaan uit van een beschikbaarheid van 99,99% voor verbindingen met een bitrate lager dan 140 Mbit/s en 99,995% voor verbindingen met een bitrate gelijk aan of groter dan 140 Mbit/s. Indien een operator het vermogen te hoog heeft opgegeven in de aanvraag wordt door Agentschap Telecom dit vermogen gecorrigeerd zodat het aan de beschikbaarheidsvoorwaarden voldoet.

Het kan zijn dat een operator wenst af te wijken van de bovenstaande voorwaarden. Hiertoe dient een schriftelijke onderbouwing bij de aanvraag te worden overlegd. De onderbouwing wordt op een case-by-case basis behandeld.

Het kan voorkomen dat de operator een fout heeft gemaakt, die in het aanvraagproces gecorrigeerd kan worden (zoals typfouten of ontbrekende gegevens). In dat geval zal Agentschap Telecom contact opnemen met de aanvrager. Indien de fout hersteld kan worden wordt de aanvraag opnieuw in behandeling genomen.

4 Interferentie-analyse

In dit hoofdstuk wordt de interferentieberekening behandeld. Alvorens een vergunning te verlenen voor een aangevraagde verbinding, wordt een interferentieberekening uitgevoerd. Een vergunning voor een verbinding kan alleen verleend worden wanneer er geen interferentie wordt veroorzaakt op andere verbindingen en wanneer er geen interferentie wordt ondervonden.

De ITU definieert interferentie als volgt: Interferentie is het effect van ongewenste energie uitstraling, een combinatie van emissie, straling of inductie op de ontvangst van een radiosysteem, die zich manifesteert als prestatievermindering, misinterpretatie of verlies van informatie welke anders zou kunnen worden gedetecteerd bij afwezigheid van deze ongewenste energie.

Ten grondslag aan de interferentieberekeningen ligt de recommandatie ITU-R P.452-8 waarin de procedure wordt beschreven voor het uitvoeren van evaluatieberekeningen en het voorspellen van microgolf interferentie tussen aardse stations werkend boven de 0,7 GHz banden. De tool voor interferentieberekeningen welke Agentschap Telecom toepast genereert interferentierapporten die de frequentieplanner de mogelijkheid bieden de toetsing van interferentieproblemen op individueel linkniveau uit te voeren.

Als criterium voor het genereren van een interferentie rapport geldt de overschrijding van de in de database opgenomen drempelwaarde.

4.1 Interferentieberekening

Voor de interferentieberekening gebruikt Agentschap Telecom een analysetool. Deze software maakt gebruik van een database met daarin alle straalverbindingen in Nederland waaraan nieuwe verbindingen getoetst kunnen worden op interferentie. De interferentietool houdt met verschillende aspecten rekening.

4.1.1 Eigenschappen van de apparatuur

Voor de eigenschappen van de apparatuur wordt gebruik gemaakt van de normen die beschikbaar zijn voor straalverbindingen (zie paragraaf 2.3). De belangrijkste eigenschappen die worden afgeleid van de normen zijn de zendmaskers en de ontvangergevoeligheid. Verder wordt gebruik gemaakt van ITU recommandaties om de waarden van S/N (ook wel $C/(1+N)$) af te leiden. Dit is de marge die een apparaat nodig heeft om nog met een bepaalde Bit Error Rate (BER) te kunnen ontvangen. Agentschap Telecom gaat uit van een BER van 10^{-6} . De gebruikte waarden zijn per band terug te vinden in de bandprofielen voor de desbetreffende band.

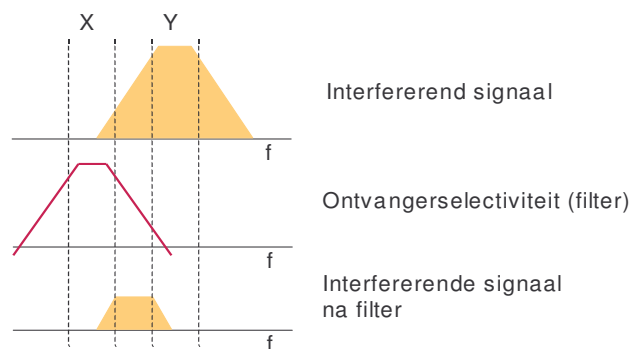
In de ETSI normen worden geen expliciete eisen gesteld aan de ontvangstfilters. In de praktijk is er bij de ontvanger ook sprake van een frequentieafhankelijke selectiviteit. Daarom zijn in de interferentieberekeningen dezelfde zendmaskers ook gehanteerd voor de ontvangerselectiviteit.

4.1.2 Antenneontkoppeling

De interferentietool zal ook berekenen in hoeverre de antennes ten opzichte van elkaar zorgen voor ontkoppeling. Zodra de antenne van een interfererende verbinding niet precies gericht staat op de andere antenne, zal er sprake zijn van zogenaamde antenneontkoppeling. Dit is het gevolg van de richtingsgevoeligheid van de antenne. Omdat dit een belangrijke component is van de interferentieberekening gebruikt Agentschap Telecom de fabrikantgegevens van de antenne om de interferentieberekening uit te voeren. Naast de antenneontkoppeling als gevolg van de richtingsgevoeligheid speelt ook de polarisatieontkoppeling een belangrijke rol en wordt derhalve ook meegenomen in de berekening van de totale antenneontkoppeling. Om frequentie-efficiency te waarborgen worden verbindingen uitsluitend horizontaal of verticaal gepolariseerd.

4.1.3 Frequentieontkoppeling

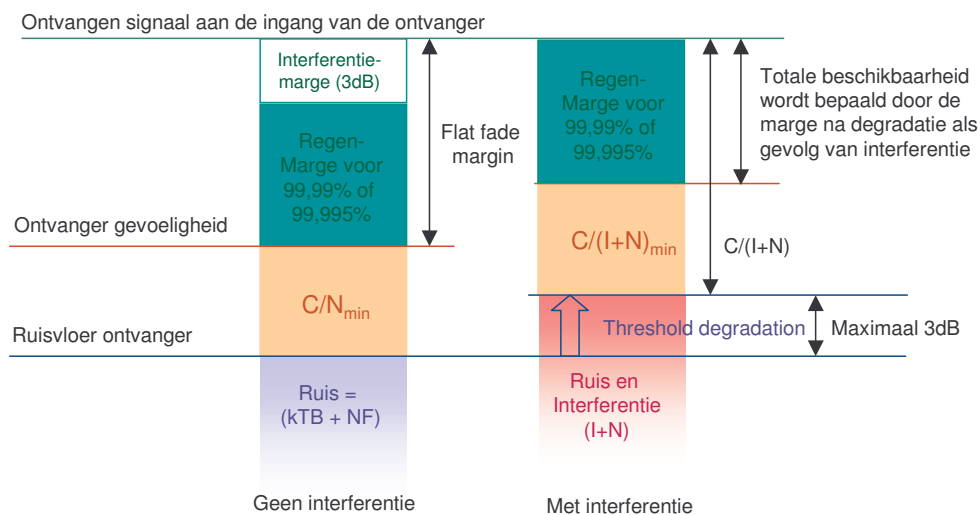
De interferentietool berekent interferentie van of op verbindingen die niet op hetzelfde kanaal zitten als de aangevraagde verbinding. Omdat de apparatuur een bepaalde frequentieselectiviteit heeft, is de mate van interferentie van andere kanalen beperkt. Omdat bij straalverbindingen sprake is van verschillende typen apparatuur en verschillende bandbreedtes, zendmaskers en ontvangstmaskers, wordt de mate van ontkoppeling berekend volgens een methode die wordt aanbevolen in de HCM-overeenkomst voor straalverbindingen. Deze methode maakt het mogelijk om voor verschillende systemen te bepalen welk deel van het vermogen van het ongewenste signaal ontvangen wordt door de gedupeerde ontvanger. Dit is schematische weergegeven in Figuur 6. Hierin is te zien dat een ontvanger op kanaal X maar een deel van de interferentie van een ander kanaal Y ontvangt. De verhouding tussen het interfererende signaal voor en na het ontvangstfilter bepaalt de frequentieontkoppeling. Deze verhouding bepaalt dus wat de extra demping is die een interfererend signaal ondervindt als gevolg van de ontvangersselectiviteit. Dit wordt in de literatuur ook wel Net Filter Discrimination genoemd (NFD).



Figuur 6, invloed ontvangersselectiviteit op een interfererend signaal

4.2 Interferentieanalyse

Agentschap Telecom laat de interferentietool een interferentierapport genereren wanneer er sprake is van een overschrijding van het maximaal toelaatbare interferentieniveau. Dit niveau is gelijk aan de ruisvloer van de ontvanger. Zodra de interferentie dit niveau heeft bereikt zal de totale degradatie 3 dB zijn waarmee de marge om de interferentie te compenseren wordt overschreden. Dit is geïllustreerd in Figuur 7.



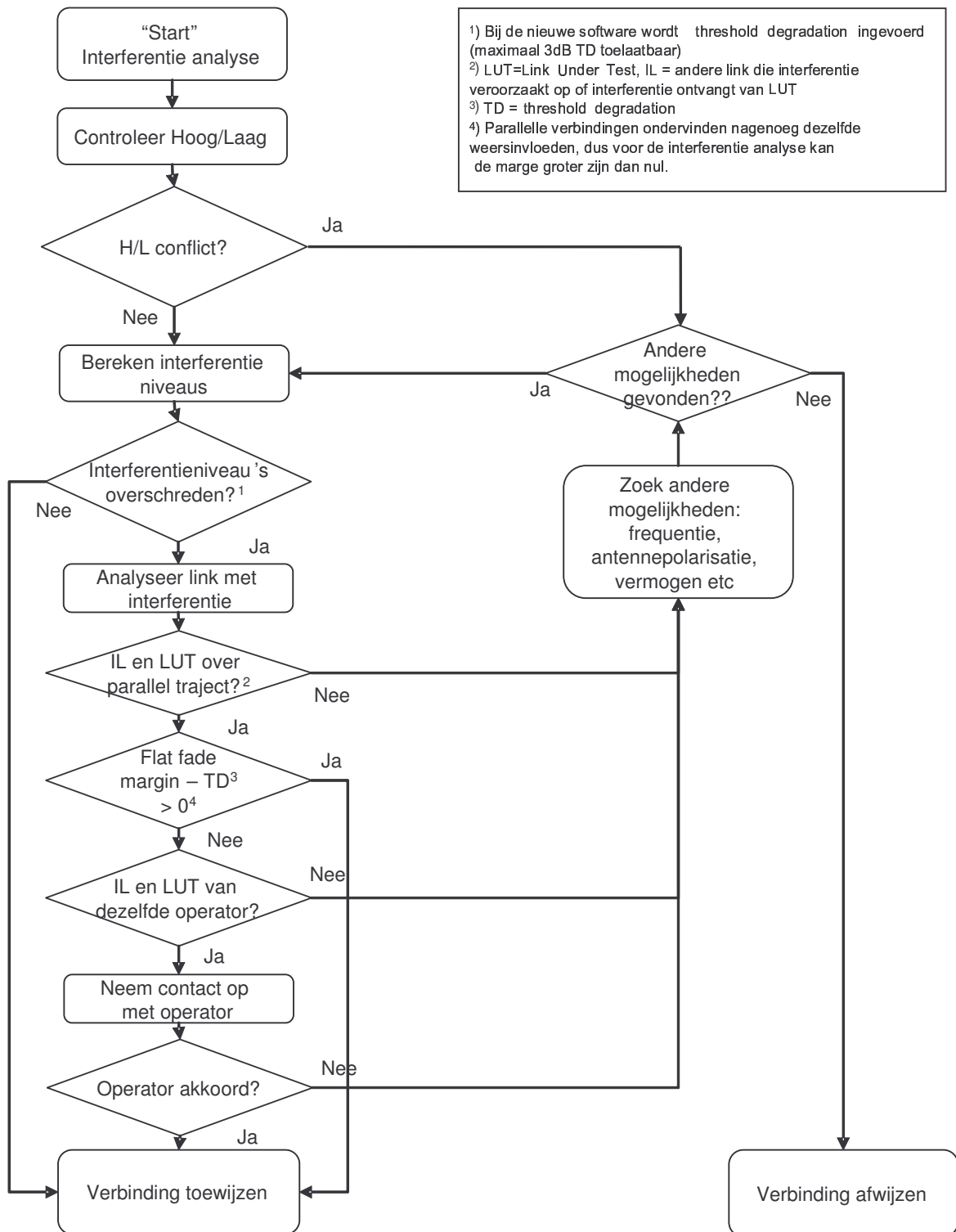
Figuur 7, schematische weergave interferentieproblematiek

De verbinding die degradatie ondervindt heeft over het algemeen een extra marge om een bepaalde mate van degradatie te kunnen opvangen, omdat de aanvrager hier bij zijn planning rekening mee kan houden. Daarom bepaalt eigenlijk het ontvangsniveau aan de ingang van de ontvanger samen met de threshold degradatie de mate van verslechtering van de verbinding. Indien de verbinding die interferentie ontvangt voldoende marge overhoudt (voor een beschikbaarheid van 99,99% of 99,995%) kan de vergunning worden verleend. Dit is het geval wanneer de degradatie niet meer dan 3 dB is.

De procedure die Agentschap Telecom hanteert is weergegeven in Figuur 8. De eerste stap is een controle op high-low conflicten. Deze stap wordt toegelicht in paragraaf 4.3 en in detail weergegeven in Figuur 9. Zodra er geen conflict is wordt gestart met het berekenen van de interferentieniveaus. Indien bij een verbinding het drempelniveau wordt overschreden, wordt een extra analyse uitgevoerd volgens het principe zoals hiervoor beschreven. Echter wanneer er sprake is van linken over hetzelfde traject, dan kan er meer interferentie worden toegestaan. Het propagatiepad voor verbindingen over hetzelfde traject is nagenoeg hetzelfde. Daardoor zal de interferentie dezelfde demping ondervindt als het gewenste signaal.

Indien er volgens de tool toch interferentie optreedt én het betreft verbindingen van dezelfde operator, dan wordt contact opgenomen met de operator. Indien de operator toch akkoord gaat kan de verbinding alsnog worden toegewezen.

Indien er een onacceptabel niveau van interferentie wordt geconstateerd, dan zal Agentschap Telecom zoeken naar alternatieven. Dit kan bijvoorbeeld een ander kanaal zijn of een andere polarisatie.



Figuur 8, procedure voor de interferentie analyse

4.3 Hoog-laag conflict

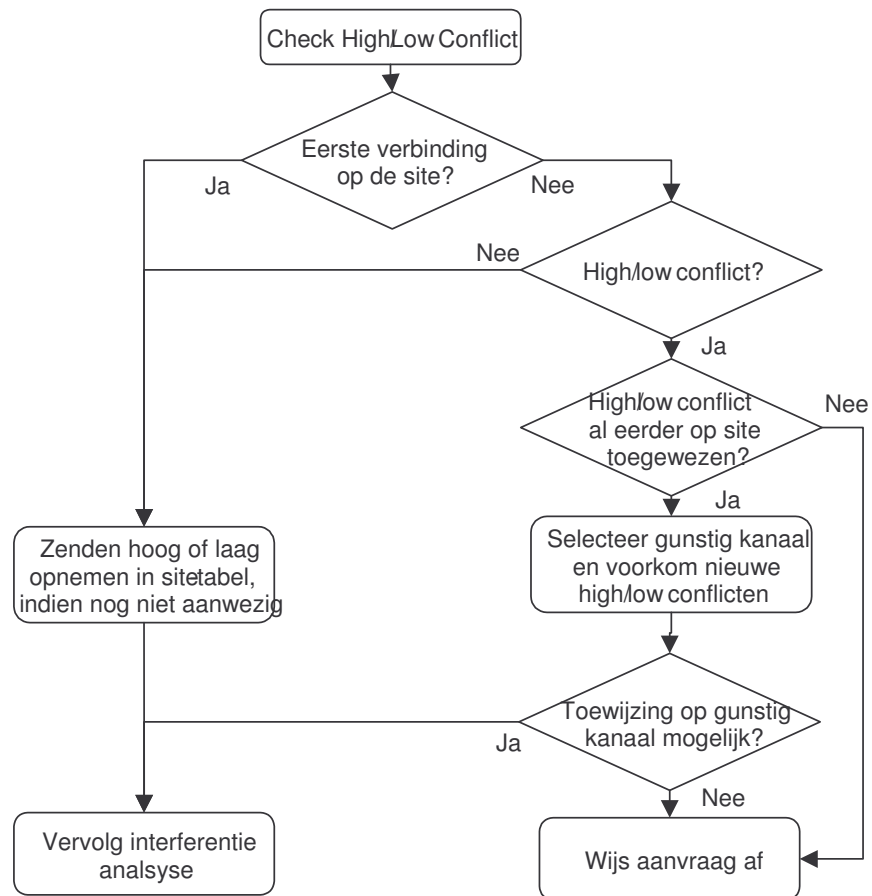
Vrijwel alle straalverbindingen zijn 'full duplex'. Om dit te realiseren is elke frequentieband onderverdeeld in twee subbanden: een lage subband (onderband) en een hoge subband (bovenband). Dit betekent dat apparatuur ofwel in de onderband, ofwel in de bovenband uitzendt. Een straalverbinding wordt over het algemeen aangelegd tussen een opstelplaats 'zenden hoog' en een opstelplaats 'zenden laag'. Normaliter wordt voor een site in een bepaalde frequentieband een keuze gemaakt: zenden Hoog of zenden Laag, om te voorkomen dat op één opstelplaats in dezelfde subband gezonden en ontvangen wordt. Dit kan echter betekenen dat een operator niet "goed" uitkomt bij verbindingen over meerdere "hops". Een operator kan dan zijn netwerk aanpassen door een extra hop in de totale link op te nemen of door gebruik te maken van een andere frequentieband.

Het is technisch mogelijk om een zender en ontvanger 'naast elkaar' in dezelfde subband te plaatsen. Om hierbij onderlinge storing tussen deze zender en ontvanger te voorkomen moet er een zekere frequentieafstand in acht worden genomen. Hierbij moet dan minimaal 3 maal de hoogst gebruikte bandbreedte tussen zender en ontvanger zitten. Deze regel biedt voldoende garantie om ook bij toepassing van apparatuur van verschillende fabrikanten storingsvrij te kunnen werken. Echter, Agentschap Telecom is van mening dat frequentietoewijzing met een hoog-laag conflict erg frequentie inefficiënt is, omdat tussenliggende kanalen hierdoor niet meer kunnen worden ingezet. Daarom wordt een hoog-laag conflict in principe niet geaccepteerd.

Agentschap Telecom zal ernaar streven om alle opstelplaatsen, die door meerdere gebruikers worden gedeeld, per frequentieband aan te duiden als 'zenden hoog' of 'zenden laag'. De eerste verbinding die in een bepaalde frequentieband op een opstelplaats in gebruik is genomen, bepaalt hiermee de situatie voor volgende, nieuwe straalverbindingen.

In het verleden zijn echter wel high-low conflicten toegestaan. Hierdoor zal een aanvraag voor een verbinding met een site met een bestaand high-low conflicten altijd als conflict worden aangemerkt. Hierdoor zouden er geen nieuwe verbindingen meer kunnen worden toegevoegd. Dit is natuurlijk onwenselijk. Daarom zal er op dergelijke sites worden gezocht naar een optimale oplossing, waardoor geen extra conflicten zullen ontstaan. Hierbij worden kanalen met dezelfde hoog/laag configuratie zo veel mogelijk bij elkaar geplaatst.

Voor alle nieuwe sites zal een hoog-laag conflict worden vermeden, en daarom zal Agentschap Telecom een lijst bijhouden met sites die zijn aangeduid met "zenden hoog" en "zenden laag". Op termijn zal Agentschap Telecom deze lijst publiceren zodat een aanvrager inzicht heeft in deze situaties. De procedure voor het behandelen van high-low conflicten staat weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9, procedure high-low conflicten

5 De bandprofielen

Voor de verschillende frequentiebanden zijn verschillende bandprofielen van toepassing. Deze bandprofielen zijn tot stand gekomen aan de hand van de verschillende normen. Deze bandprofielen worden gehanteerd om de interferentieberekeningen uit te voeren die noodzakelijk zijn om storingen te voorkomen. Het kan zijn dat in de bandprofielen nog aanvullende voorwaarden genoemd zijn die specifiek gelden voor die frequentieband. De volgende onderdelen staan in ieder geval in elk radioprofiel genoemd:

- **Frequentieband.** Het radioprofiel is van toepassing op een frequentieband waarvoor een bepaalde onder- en bovengrens geldt. Daarnaast geldt er een bepaalde duplex-afstand.
- **Bandbreedte en datasnelheid.** Met de bandbreedte wordt de kanaalbandbreedte bedoeld zoals die door de fabrikant van apparatuur wordt opgegeven. Daarnaast zijn hier vaak bepaalde datasnelheden aan gekoppeld. In dezelfde bandbreedte kunnen verschillende datasnelheden voorkomen, afhankelijk van de toegepaste modulatietechniek.
- **Frequentieraster.** Het frequentieraster (ook wel kanaalraster genoemd) bevat per bandbreedte de verschillende zendfrequenties die ingezet kunnen worden. Deze frequenties zijn veelal afgeleid van CEPT Recommendations, maar kunnen afhankelijk van andere factoren (bijvoorbeeld het NFP) ook anders ingericht zijn.
- **Ontvangergevoeligheid.** De ontvangergevoeligheid kan per frequentieband, datasnelheid en bandbreedte verschillen. Ook kan er sprake zijn van specifieke klassen van apparatuur waarvoor ontvanger gevoeligheid verschilt van andere klassen apparatuur.
- **Ruiseigenschappen.** De ruiseigenschappen van de ontvanger worden vastgelegd in door middel van de thermische ruis en de eigen ruis van de ontvanger. In principe kunnen deze waarden per apparaat verschillen. Om te voorkomen dat Agentschap Telecom voor elk apparaat dat in omloop is moet opnemen in de database wordt gebruik gemaakt van zorgvuldig geschatte uitgangswaarden. De waarden zijn afgeleid uit ETSI Technical Report TR 101 854.
- **Spectrummaskers.** Voor de verschillende apparatuur rekent het agentschap met bepaalde spectrummaskers. Deze maskers zijn gekoppeld aan de bandbreedtes en datasnelheden, en zijn afkomstig uit de verschillende productnormen. Daarnaast kunnen aanvullende aannames gelden zoals het niveau van emissies buiten maskers die in de normen gesteld worden of bepaalde klassen van apparatuur.

Voor de verschillende banden zijn de bandprofielen van toepassing zoals aangegeven in de volgende tabel.

| Bandprofielen |
|---|
| Bandprofiel voor straalverbindingen in de 6/7 GHz |
| Bandprofiel voor straalverbindingen in de 13 GHz |
| Bandprofiel voor straalverbindingen in de 15 GHz |
| Bandprofiel voor straalverbindingen in de 18 GHz |
| Bandprofiel voor straalverbindingen in de 23 GHz |
| Bandprofiel voor straalverbindingen in de 26 GHz |
| Bandprofiel voor straalverbindingen in de 28 GHz |
| Bandprofiel voor straalverbindingen in de 32 GHz |
| Bandprofiel voor straalverbindingen in de 38 GHz |

Tabel 8, overzicht bandprofielen

Bijlage 1, frequentieplanning

De frequentieplanning van de aangevraagde verbinding is noodzakelijk om een interferentieanalyse te kunnen uitvoeren. Agentschap Telecom doet geen gedetailleerde planning, maar kan hiervan wel gebruik maken als er bijvoorbeeld interferentieproblemen ontstaan. Deze bijlage geeft weer welke mechanismen gebruikt worden om een gedetailleerde planning te kunnen uitvoeren.

Uitgestraald vermogen

Het uitgestraalde vermogen van de zender, $EIRP$ (dBm), wordt berekend aan de hand van de volgende formule:

$$EIRP = P_{Tx} - A_{Tx} + G_{Tx}$$

| | |
|-----------------|--|
| P_{Tx} (dBm), | uitgangsvermogen zender |
| A_{Tx} (dB), | verliezen tussen de uitgang van de zender en de antenne |
| G_{Tx} (dBi), | antenneversterking in de hoofdstraalrichting, relatief ten opzichte van een isotrope straler |

Het verlies A_{Tx} is de optelsom van verschillende verliezen die optreden in kabels, connectoren, feeders et cetera.

Pathloss

De verliezen die optreden over het pad van zender naar ontvanger wordt "pathloss" genoemd. De totale pathloss wordt bepaald door de volgende elementen:

Free Space Loss

De free space loss, $A_{\text{freespace}}$ (dB), is het verlies dat een signaal ondervindt van als gevolg van "divergerende" propagatie van de radiogolven:

$$A_{\text{freespace}} = 92,44 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

| | |
|------------|---------------------------------------|
| f (GHz), | de zendfrequentie |
| d (km), | de afstand tussen zender en ontvanger |

Het verlies in de atmosfeer (gassen)

Voor verbindingen boven de 10 GHz geldt dat het totale verlies als gevolg van demping door gassen,

A_{atmos} (dB), gelijk is aan:

$$A_{\text{atmos}} = \gamma_a \cdot d$$

| | |
|---------------------|---|
| γ_a (dB/km), | "gaseous attenuation" die wordt afgeleid met behulp van ITU-R P.676 |
| d (km), | de afstand tussen de zender en ontvanger |

Regendemping

Om de regendemping te bepalen voor een beschikbaarheid van 99,99%, wordt gebruik gemaakt van de parameter $\gamma_{R_{0.01}}$ (dB/km), "specific rain attenuation", die wordt berekend met:

$$\gamma_{R_{0,01}} \text{ vertical} = k_v \cdot R^{\alpha_v}$$

$$\gamma_{R_{0,01}} \text{ horizontal} = k_h \cdot R^{\alpha_h}$$

k en α te bereken met behulp van ITU-R P.838, waarbij onderscheid is tussen horizontale en verticale polarisatie.

$R_{0,01}$ (mm/uur), regenintensiteit, die wordt gebaseerd op de waarde voor ITU regenzone F (28 mm/h)

De padreductie r (km), wordt berekend aan de hand van de volgende formule:

$$r = \frac{1}{\frac{1+d}{d_0}}$$

d (km), padlengte

d_0 wordt berekend aan de hand van: $d_0 = 35 \cdot e^{-0.015 \cdot R_{0,01}}$

Effectieve padlengte: L_e (km), wordt berekend door:

$$L_e = d \cdot r$$

Het totale verlies (als gevolg van regendemping) dat niet wordt overschreden voor 0,01% van de tijd, $A_{0,01}$ (dB), wordt berekend aan de hand van de volgende formule:

$$A_{0,01} = \gamma_R \cdot L_e$$

Demping door multipadeffecten

De multipadeffecten spelen met name een rol bij lage frequenties. De berekening van deze effecten wordt gedaan volgens ITU-R P.530

Obstruction Loss

De verliezen door obstructies, A_{obstr} (dB), wordt in principe niet meegenomen omdat er vanuit wordt gegaan dat er sprake is van Line Of Sight, waarbij in ieder geval de eerste Fresnel zone vrij blijft. Indien het optreedt dan wordt eventueel verlies dat optreedt als gevolg van diffractie berekend aan de hand van ITU-R P.530.

Total Pathloss

Totale pathloss, $A_{pathloss}$ (dB), is een optelsom van de hiervoor gepresenteerde verliezen over het propagatiepad tussen zender en ontvanger:

$$A_{pathloss} = A_{FSL} + A_{atm} + A_p + A_{clear} + A_{obstr}$$

A_{FSL} (dB), Free Space loss

A_{atm} (dB), totale verliezen in de atmosfeer

A_p (dB), verliezen als gevolg van regen voor de waarde p gelijk aan 99,99% of 99,995% (% van de tijd)

A_{clear} (dB), verliezen als gevolg van multipadpropagatie

A_{obstr} (dB), verliezen ten gevolge van obstructie

Ontvangsniveau

Het ontvangen niveau, P_{rx} (dBm), aan de ingang van de ontvanger wordt bepaald door de volgende formule:

$$P_{Rx} = EIRP - A_{pathloss} + G_{Rx} - A_{Rx}$$

G_{Rx} (dBi), antenneversterking in de hoofdstraalrichting, relatief ten opzichte van een isotrope straler

A_{Rx} (dB), verliezen tussen de antenne van de ontvanger en de ontvanger

Voor de verliezen A_{Rx} worden dezelfde soort verliezen meegenomen als voor A_{Tx}

Fade margin

Een fade margin wordt berekend met behulp van de hiervoor beschreven berekende waarden. De *fade margin* (dB) is eigenlijk de marge (verhouding) tussen het nominale ontvangsniveau en het minimale ontvangsniveau:

$$FM = P_{Rx} - RSL_{min}$$

RSL_{min} (dBm), minimum Received Signal Level, oftewel het minimum signaal niveau dat nodig is om met een bepaalde Bit Error Rate (BER) te kunnen ontvangen

Voor straalverbindingen wordt uitgegaan van een BER van 10^{-6} . RSL_{min} wordt ook wel ontvanger gevoeligheid genoemd.

De *fade margin* moet dus groter dan 0 zijn om nog goed te kunnen ontvangen. Echter voor het kunnen inschatten van de effecten van de fade margin als deze groter of kleiner is dan 0, kan gebruik gemaakt worden van de "flat fade margin", hierin is het verlies als gevolg van regen en multipad niet meegenomen:

$$A_{flatfade} = EIRP - A_{FSL} - A_{atm} - A_{obst} - A_{Rx} - RSL_{min}$$

De flat fade margin bepaald eigenlijk de marge die beschikbaar is om regen en multipad fading op te vangen en bepaald hierdoor de "kwaliteit" van de verbinding. Deze waarde kan worden teruggerekend naar een beschikbaarheid.

Bijlage 2, interferentieberekening

Om te berekenen wat het stoorsignaal aan de ingang van de ontvanger is wordt gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$P_{iRx} = I_i - A_{filter} - A_{ant}$$

| | |
|--------------------|--|
| P_{iRx} (dBm), | ontvangen vermogen van het interfererende signaal aan de ingang van de ontvanger |
| A_{filter} (dB), | filterontkoppeling, Net Filter Discrimination (NFD) |
| A_{ant} (dB), | totale antenne-ontkoppeling voor zowel de zendantenne (interferer) als ontvangstantenne |
| I_i (dBm), | het vermogen van het interfererende signaal bij de ontvanger als ware het ontvangen in de hoofdstraalrichting van de ontvangstantenne en zonder het gebruik van filter karakteristieken. |

De filterontkoppeling is het gevolg van de frequentieselectiviteit aan de zijde van de ontvanger. De berekening van de filterontkoppeling is gebaseerd op de methodiek beschreven in de HCM-overeenkomst³. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de door ETSI gespecificeerde maskers. De mate van antenne-ontkoppeling is afhankelijk van de richtingen waarin beide antennes gericht staan en de gebruikte polarisatie. Hierbij wordt de totale ontkoppeling beschouwd als de demping ten opzichte van de situatie dat beide antennes direct op elkaar gericht zouden staan.

Het vermogen van het interfererende signaal I_i wordt berekend aan de hand van:

$$I_i = EIRP_i - A_{pathloss_i} + G_{Rx}$$

| | |
|------------------------|---|
| $EIRP_i$ (dBm), | uitgestraald vermogen van de interfererende zender |
| $A_{pathloss_i}$ (dB), | padverliezen vanaf de antenne van de interfererende zender naar de ontvangstantenne |

De paddemping $A_{pathloss_i}$ wordt berekend volgens ITU-R. P.452. Hierbij wordt uitgegaan van een "longterm-probability" van 20%. Dit betekent dat voor de berekening van de paddemping de waarde gebruikt wordt die voor 20% van de tijd wordt overschreden. Voor de berekening van line-of-sight verbindingen worden de free space loss⁴ en de gaseous absorption⁴ meegenomen. Voor non-LOS verbindingen wordt tevens gebruik gemaakt van diffractie verliezen.

Een stoorder wordt gedetecteerd wanneer een bepaalde degradatie optreedt bij de ontvanger. Deze degradatie wordt ook wel threshold degradation (TD) genoemd. De threshold is het vermogen $P_{threshold}$:

$$P_{threshold} = 10 \cdot \log(kTB) + F$$

| | |
|----------------|--------------------|
| k (Joule/K), | Boltzman constante |
| T (K), | temperatuur |
| B (Hz), | bandbreedte |
| F (dB), | noise factor (NF) |

³ De officiële titel van de HCM-overeenkomst is "Agreement on the co-ordination of frequencies between 29.7 MHz and 39.5 GHz for the fixed service and the land mobile service"

⁴ Zie Bijlage 3

Dit niveau wordt ook wel gezien als het "ruisniveau" van de ontvanger. Nu geldt dat degradatie van de threshold optreedt als gevolg van een interfererend signaal. De mate van degradatie D wordt bepaald door:

$$D_{threshold} = 10 \log(1 + 10^{(P_{iRx} - P_{threshold})/10})$$

Voor straalverbindingen wordt uitgegaan van een threshold degradatie van maximaal 3 dB.

Bijlage 3, minimum link afstand

Basisgedachte achter de minimum link lenght policy

Zeer korte verbindingen kunnen theoretisch in alle banden worden gerealiseerd. Hoe langer de verbinding wordt, hoe lager de frequentie moet zijn om de verbinding te kunnen realiseren. Dit is het gevolg van propagatieverliezen die hoger worden naarmate de frequentie hoger is.

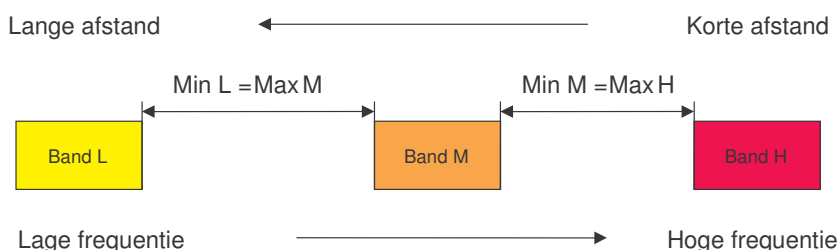
Om te voorkomen dat de lage frequenties worden opgebruikt door korte verbindingen, zou een verbinding altijd in een zo "hoog" mogelijk frequentieband moeten worden geplaatst. Op die manier wordt ruimte gelaten in lagere banden voor langere verbindingen.



Om verbindingen te kunnen waarborgen voor alle afstanden, zal er dus een ordening in het spectrum moeten plaatsvinden. De frequentieruimte is voor straalverbindingen opgesplitst in een aantal banddelen. Om nu te voorkomen dat ene banddeel volloopt met verbindingen die net zo goed in een hoger banddeel hadden kunnen worden ondergebracht, is de volgende basisregel van toepassing:

In elke band geldt een minimum link lengte. Deze minimum link lengte is gelijk aan het maximum dat kan worden overbrugt in een hogere band. Op die manier wordt een verbinding niet onnodig ondergebracht in een lagere band.

Dit is schematisch weergegeven in de volgende figuur:



Dit maximum moet echter niet leiden tot onnodige belemmeringen. Het maximum moet daarom een maximum zijn waaraan een aanvrager moet kunnen voldoen onder verschillende omstandigheden en met behulp van allerlei hedendaagse apparatuur van verschillende fabrikanten. Daarom zou je het maximum onder ongunstige condities moeten afleiden. De worst case condities zijn dan:

1. antenne:
 - a. met een minimale antenneconfiguratie
2. apparatuur:
 - a. zendfrequentie is de hoogste frequentie in de bovenband
 - b. ontvanger heeft een lage systemgain (zendvermogen-minimum receiverlevel)
 - c. branchingverliezen voor hot-standby configuratie
3. verbinding:
 - a. een verbinding met een hoge beschikbaarheid
 - b. demping door atmosferische invloeden
4. interferentie:
 - a. maximaal toelaatbare hoeveelheid interferentie

Dit levert dan de volgende uitgangspunten op:

| | | |
|----|---|----------------------------------|
| 1a | Antennegain is afhankelijk van de minimum antennediameter en frequentie | Tussen 35 en 40 dBi |
| 2a | Af te leiden uit frequentieraster | Zie tabel 2 |
| 2b | Af te leiden uit systeemspecificaties | Zie tabel 2 |
| 2c | Geschat uit systeemspecificaties apparatuur | 3 dB (RX + TX) |
| 3a | Af te leiden uit bandplannen: beschikbaarheid | 99,99 en 99,995% (\geq STM-1) |
| 3b | Clear air fading effecten | Meenemen voor lagere banden |
| 4a | Af te leiden uit bandplannen: maximum threshold degradatie | 3 dB |

Om te bepalen wat het systeem is met de ongunstigste systeemp parameters zijn de specificaties van een aantal verschillende fabrikanten voor PDH systemen bekeken. Voor de SDH systemen is tevens gekeken naar systeem gain. Hierbij is een voldoende doorsnee van de op de markt aanwezige apparatuur meegenomen, om tot een afleiding van de minimale systeemeigenschappen te komen. In de volgende tabel staan per band de gebruikte frequenties, systemgain en huidige minimum link afstand. Over het algemeen bleek dat de laagste systemgain voor PDH een 16x2 (+2) Mbit/s systeem voor een kanaalbreedte van 14 MHz betrof. Voor straalverbindingen is te verwachten dat er steeds meer systemen met hoge datasnelheid zullen worden gebruikt en het is derhalve te rechtvaardigen om deze systemgain als uitgangspunt te gebruiken. Bij SDH is STM-1 (155 Mbit/s) als uitgangspunt gebruikt.

| Band (GHz) | Zendfrequentie ⁵ (GHz) | System-gain 16x2 Mb/s (+2) BER 10 ⁻⁶ (dB) | System-gain 155 Mbit/s BER 10 ⁻⁶ (dB) | Oude minimum link afstand (km) |
|---------------|--------------------------------------|---|---|---|
| 6/7 | 7,725 | 101 | 89 | 20 |
| 13 | 13,25 | 95 | 84 | 15 |
| 15 | 15,35 | 95 | 84 | ? |
| 18 | 19,7 | 94 | 82,5 | 9 |
| 23 | 23,6 | 94 | 82,5 | 4 ⁶ |
| 26 | 26,5 | 90 | 81 | 5 |
| 28 | 29,45 | 90 | 81 | 3 ⁷ |
| 32 | 33,4 | 89 | 80 | 3 ⁷ |
| 38 | 39,5 | 89 | 76,5 | 0 |

Tabel 9, eigenschappen van de systemen

⁵ Op basis van de "bovenste" frequentiegrens zoals genoemd in het NFP

⁶ Op basis van het tijdelijke bandplan 23 GHz

⁷ Op basis van berekening m.b.v. de oude bandplannen, genoemd op het operator platform .

System gain

De system gain is een typische eigenschap van zend- en ontvangapparatuur voor straalverbindingen. De ene fabrikant kiest voor meer vermogen en slechtere ontvangergevoeligheid. De andere fabrikant voor een lager zendvermogen en een betere ontvangergevoeligheid.

De system gain wordt gedefinieerd door:

$$G_{system} = P_{Tx} - RSL_{min}$$

| | |
|--------------|---|
| G_{system} | system gain (dB) |
| P_{Tx} | zendvermogen (dBm) |
| RSL_{min} | minimum signaalniveau waarbij de ontvanger nog met BER 10^{-6} ontvangt (dBm) |

De flat fade margin voor een punt-punt verbinding wordt gedefinieerd door:

$$F = G_{system} + G_{Tx} - L_{Tx} + G_{Rx} - L_{Rx} - M_{threshold} - L_{prop}$$

| | |
|-----------------|--|
| F | flat fade margin (dB) |
| G_{Tx} | antenne gain zender (dB) |
| L_{Tx} | optelling van alle verliezen bij de zender (dB) |
| G_{Rx} | antenne gain ontvanger (dB) |
| L_{Rx} | optelling van alle verliezen bij de ontvanger (dB) |
| $M_{threshold}$ | maximum threshold degradatie als gevolg van interferentie (dB) |
| L_{prop} | propagatieverliezen (dB) |

De propagatieverliezen bestaan uit free space loss en demping door gassen.

De flat fade margin F moet in ieder geval voldoende zijn om met een bepaalde beschikbaarheid te kunnen ontvangen. Deze beschikbaarheid wordt bepaald door de marge om de demping van regen te kunnen opvangen.

$$F \geq F_{regen}(99,99\%)$$

dus als:

$$M = F - F_{regen}(99,99\%)$$

dan geldt:

$$M \geq 0$$

Er kan ook sprake van “clear-air fading” zijn. Dit fenomeen treedt op bij lage frequenties en grote afstanden als gevolg van veranderingen in de luchtlagen. Als dit effect “overheerst” dan gelden bovenstaande formules waarbij F_{regen} vervangen wordt door $F_{clear\ air}$.

De maximum afstand die dus door een punt-punt systeem met de eigenschappen uit Tabel 9 overbrugd kan worden wordt bepaald door marge M . Als we in een simulatie de zender en ontvanger steeds verder uit elkaar zetten dan is de maximum afstand bereikt zodra $M = 0$.

Dit is vervolgens berekend voor de verschillende frequentiebanden en levert Tabel 10 en Tabel 11 op waarbij deze maximaal te overbruggen afstand onder minimale systeemcondities in de laatste kolom staat.

| freq (GHz) | antgain (dBi) | systemgain (dB) | freespace (dB) | rain (dB) | clear air (dB) | length (km) |
|------------|---------------|-----------------|----------------|-----------|----------------|-------------|
| 13,25 | 36,1649 | 95 | 141,112 | 14,1717 | 20,3311 | 19,4 |
| 15,35 | 37,4428 | 95 | 142,713 | 19,2234 | 21,2409 | 19,7 |
| 19,7 | 39,6099 | 94 | 142,616 | 24,7724 | 17,7538 | 13,9 |
| 23,6 | 35,1582 | 94 | 137,907 | 20,4500 | 8,9928 | 6,8 |
| 26,5 | 36,1649 | 90 | 136,193 | 20,2492 | 6,4687 | 5,3 |
| 29,45 | 37,0817 | 90 | 136,282 | 22,2795 | 6,3492 | 4,9 |
| 33,4 | 38,1749 | 89 | 136,000 | 23,3894 | 5,5108 | 4,2 |
| 39,5 | 39,6319 | 89 | 136,685 | 26,3253 | 6,1372 | 3,8 |

Tabel 10, resultaten maximum link length PDH op basis van 16x2

| freq (GHz) | antgain (dBi) | systemgain (dB) | freespace (dB) | rain (dB) | clearair (dB) | length (km) |
|------------|---------------|-----------------|----------------|-----------|---------------|-------------|
| 13,25 | 36,1649 | 84 | 135,711 | 12,5959 | 14,8181 | 10,6 |
| 15,35 | 37,4428 | 84 | 136,657 | 16,3972 | 14,8314 | 10,1 |
| 19,7 | 39,6099 | 82,5 | 136,051 | 19,8350 | 11,1219 | 7 |
| 23,6 | 35,1582 | 82,5 | 131,672 | 15,4039 | 2,7638 | 3,5 |
| 26,5 | 36,1649 | 81 | 131,104 | 16,2460 | 1,5972 | 3 |
| 29,45 | 37,0817 | 81 | 131,353 | 17,9425 | 1,6236 | 2,8 |
| 33,4 | 38,1749 | 80 | 131,470 | 19,3704 | 1,3764 | 2,5 |
| 39,5 | 39,6319 | 76,5 | 131,086 | 19,5119 | 0,3563 | 2 |

Tabel 11, resultaten maximum link length SDH op basis van STM-1

Afleiding minimum link lengte

Bij het afleiden van de minimum link lengte gelden de volgende uitgangspunten:

1. Voor de afleiding van de minimum link lengte voor systemen met een bitrate gelijk aan of hoger dan 140 Mbit/s, wordt gebruik gemaakt van de afstanden uit tabel 11. Deze maxima worden per band als minima gebruikt voor de onderliggende band in tabel 12.
2. Voor de systemen met een bitrate lager dan 140 Mbit/s wordt gebruik gemaakt van de afstanden uit tabel 10.
3. De resultaten van de 13 en 15 GHz band in tabel 10 en 11 liggen erg dicht bij elkaar vanwege de vergelijkbare omstandigheden. Aangezien in de 15 GHz band maar beperkte capaciteit beschikbaar is, geldt voor de 13 GHz band dezelfde minimum link afstand. Hierdoor wordt congestie in de 15 GHz verminderd.
4. Omdat de 23 GHz (nog) niet voor iedereen is opengesteld voor vergunningaanvragen, geldt voor de 18 GHz dezelfde minimum link afstand als de 23 GHz.
5. Volgens het NFR geldt dat er alleen STM-1 en hoger in de 13 GHz band kan worden ondergebracht. Als in deze banden toch systemen < 140 Mbit/s worden toegestaan gelden de afstanden uit tabel 12.
6. De 38 GHz band is één van de meest intensief gebruikte banden. Door de relatief hoge antennegain voor deze band (30 cm schotels) is de maximale afstand die kan worden overbrugd in de 38 GHz relatief hoog, waardoor de minimale afstand voor de 32 GHz vrij groot wordt. Om congestie te verminderen in de 38 GHz wordt de minimum afstand in de 32 GHz met 1 km verlaagd.
7. De waarden worden naar beneden afgerond op "halve kilometers".

Door deze punten in beschouwing te nemen ontstaat de volgende tabel en geldende minimum afstanden (zie tabel 12). De voorgestelde minimum link afstanden zijn de afstanden die als basis dienen voor de bandplannen.

| Frequentieband (GHz) | Minimum link lengte afgeleid uit tabel 11 (kilometer) | Voorgestelde minimum link lengte ≥140 Mbit/s (kilometer) | Minimum link lengte afgeleid uit tabel 10 (kilometer) | Voorgestelde minimum link lengte <140 Mbit/s (kilometer) |
|--------------------------------|--|--|---|---|
| 6/7 GHz | 10,3 | 10 | 19,4 | 19 |
| 13 GHz | 10,1 | 7⁸ | 19,7 | 13,5⁸ |
| 15 GHz | 7 | 7 | 13,9 | 13,5 |
| 18 GHz | 3,5 | 3⁹ | 6,8 | 5⁹ |
| 23 GHz | 3 | 3 | 5,3 | 5 |
| 26 GHz | 2,8 | 2,5 | 4,9 | 4,5 |
| 28 GHz | 2,5 | 2,5 | 4,2 | 4 |
| 32 GHz | 2 | 1¹⁰ | 3,8 | 2,5¹⁰ |
| 38 GHz | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 12, voorstel voor nieuwe minimum link afstanden

⁸ 13 GHz band is gelijk gesteld met de 15 GHz (zie ook punt 3 onder beschouwing resultaten)

⁹ Voor de 18 GHz band gelden dezelfde uitgangspunten als de 23 GHz (zie ook punt 4 onder beschouwing resultaten)

¹⁰ Voorgestelde minimum link afstand is met 1 km verkort om congestie in de 38 GHz te verminderen. (Zie punt 6 onder beschouwing resultaten.)