TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT
Faculteit der Elektrotechniek
Vakgroep Telecommunicatie- en
Verkeersbegeleidings Systemen

Titel: DE ONTWIKKELING EN IMPLEMENTATIE VAN EEN ETHEREFFICIËNTIE-METER

Auteur: C.J. Verschuur

Aard: Afstudeerverslag
Omvang: xiii + 130 pagina's
Datum: 12 april 1996

Hoogleraar:	Prof. dr. J.C. Arnbak
Mentor:	Ir. G.J.M. Janssen
Periode:	september 1995 - april 1996

Abstract:

De laatste jaren is er sprake van een sterk groeiende vraag naar radiofrequenties. Alhoewel het frequentiespectrum theoretisch onbeperkt lijkt, kan praktisch slechts een deel van de hele frequentieruimte worden benut vanwege de propagatie-eigenschappen van elektromagnetische radiogolven.

De minister van Verkeer en Waterstaat heeft de centrale verantwoordelijkheid ten aanzien van het beheer en de verdeling van het frequentiespectrum. Zij wil beschikken over een instrument waarmee het ethergebruik beoordeelt kan worden en aan de hand waarvan een beleid gevoerd kan worden dat een efficiënter ethergebruik stimuleert; een etherefficiëntie-meter.

In opdracht van de Rijksdienst voor Radiocommunicatie is de etherefficiëntie gedefinieerd en uitgewerkt tot een aantal deelaspecten. Aangegeven wordt welke invoerparameters voor de efficiëntie berekeningen vereist zijn en hoe deze verkregen kunnen worden. De etherefficiëntie-meter is uitgevoerd als een gebruikersvriendelijk computerprogramma.

Trefwoorden:

Frequentiebeleid, ether, frequentiespectrum, efficiëntie, etherefficiëntie, ethergebruik, etherverbruik, Rijksdienst voor Radiocommunicatie (RDR), Hoofd Directie Telecommunicatie en Post (HDTP) en Wet op de telecommunicatievoorzieningen (WTV).

Voorwoord

Medio augustus 1995 ben ik begonnen aan mijn afstudeeropdracht bij de vakgroep Telecommunicatie- en Verkeersbegeleidingssystemen. In eerste instantie zou ik een meetmodel ontwikkelen dat het ethergebruik van vitale overheidstaken beoordeelt. Gedurende het onderzoek heb ik een meer algemeen model ontwikkeld dat toepasbaar is op alle aardse radiocommunicatie-systemen. Dit onderzoek is volledig uitgevoerd in opdracht van de Rijksdienst voor Radiocommunicatie.

Het begin van mijn opdracht liep synchroon met het opstellen van een theoretisch model voor de bepaling van de etherefficiëntie door ir. G.J.M. Janssen. Dit theoretische model heb ik verder uitgewerkt en onderzocht op praktische toepasbaarheid. Het bruikbaar maken van de meetresultaten (van het vast meetnet) voor de etherefficiëntie berekeningen was een uitdaging.

In mijn afstudeeropdracht zijn naast technische elementen ook praktische en beleidsmatige aspecten, die verder in de studie Elektrotechniek niet of nauwelijks aan de orde komen, naar voren gekomen. Hierdoor heb ik de tijdens mijn studieperiode opgedane technische kennis kunnen uitbreiden met praktische ervaring en enige kennis op het gebied van telecommunicatiebeleid.

Hierbij wil ik mijn dank uitspreken aan prof. dr. J.C. Arnbak voor de begeleiding tijdens mijn afstudeerwerk. Met name wil ik ir. G.J.M. Janssen bedanken voor de begeleiding en advisering tijdens mijn afstudeerperiode. Tevens wil ik drs. W. J. Schwertmann, ir. R.J. Servaas en A. Brinkerink (M.Sc.) van de klankbordgroep bedanken en hieruit in het bijzonder ir. A.J.J. Meuleman voor de extra uitleg op het gebied van telecommunicatiebeleid. Tenslotte wil ik H. Stel en D. Koelemeij van het monitoringstation NERA bedanken voor de uitleg omtrent het monitoren van radiosignalen.

Carla Verschuur

22 maart 1996

Summary

The growing demand for mobile communications and broadcasting have led to a scarcity of frequencies. The Minister of Transport, Public Works and Water Management is responsible for the implementation of the Telecommunications act and for the overall management of all frequency bands. In this investigation a tool for measuring ether efficiency is developed, for the Radiocommunications Agency, to support implementation of the Dutch governments frequency policy. In this development the service quality of the ether user, economical and legal elements are not taken into account.

The more comprehensive concept ether efficiency than frequencyspectrum is formulated for use in practical situations. This expression is developed for the aspects allocation, transmission techniques and sharing of the ether. The required data for the efficiency calculations are both administrative data and measured data. The tool is implemented as an interactive computer program that collects data and calculates the efficiency results.

Some steps are required to use the data of the measuring instruments for the tool. Modifications of the measuring methods (for instance changing the measurement time) are possibilities to improve the use of the measuring instruments.

Reference systems are recommended for typical communications systems to evaluate the ether efficiency results. The developed technique does not give absolute efficiency numbers it is a relative measuring technique. Revising the etherissue might have social, technical and allocation consequences for the ether users and radiocommunication instruments. In order to reduce ether use, technological improvement has to be taken advantage of.

Samenvatting

De laatste jaren is de vraag naar radiofrequenties sterk toegenomen, met name door de groei van mobiele communicatie en omroep. Omdat het aanbod van radiofrequenties kleiner is dan de vraag, is er sprake van schaarste. In Nederland heeft de minister van Verkeer en Waterstaat de centrale verantwoordelijkheid ten aanzien van het beheer en de verdeling van het frequentiespectrum. Als onderdeel van de implementatie van het nationale frequentiebeleid van de Nederlandse regering wordt in dit onderzoek, in opdracht van de Rijksdienst voor Radiocommunicatie, een instrument ontwikkeld waarmee de efficiëntie van het ethergebruik beoordeeld kan worden; een etherefficiëntie-meter. De gewenste servicekwaliteit van de ethergebruiker, economische en juridische elementen blijven hier buiten beschouwing.

Etherefficiëntie is een meer volledig begrip dan frequentie-efficiëntie en is dusdanig geformuleerd dat het toepasbaar is in de praktijk. De etherefficiëntie is uitgewerkt voor de aspecten allocatie, transmissietechniek en deling. De voor de etherefficiëntie berekeningen vereiste invoergegevens worden deels administratief verkregen, deels bepaald met behulp van metingen. De ontwikkelde etherefficiëntie-meter is uitgevoerd als interactief computerprogramma. Deze verzamelt en bewaart de vereiste invoergegevens en berekent hiermee vervolgens de efficiënties van de verschillende aspecten.

Bepaalde berekeningen zijn vereist om de resultaten van de meetapparatuur te gebruiken als invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter. De meetapparatuur kan efficiënter worden gebruikt door verscheidene aanpassingen van de meetmethoden, zoals bijvoorbeeld een kortere meetduur van een bepaalde frequentieband.

Referentiesytemen voor karakteristieke radiocommunicatie systemen zijn vereist voor de beoordeling van de etherefficiëntie resultaten. Bij de beoordeling van deze resultaten moet o.a. rekening gehouden worden met de verschillende beschikbaarheid van de hulpbronnen. Eventuele herverkaveling als gevolg van behaalde efficiëntie resultaten kan

maatschappelijke, allocatieve en technische gevolgen hebben. Technologische ontwikkelingen die het ethergebruik kunnen verkleinen, dienen in de toekomst in ogenschouw genomen te worden.

Inhoudsopgave

VOORWOORD ..... **iii**

SUMMARY ..... **iv**

SAMENVATTING ..... **v**

INHOUDSOPGAVE ..... **vii**

LIJST VAN AFKORTINGEN EN SYMBOLEN ..... **x**

1. INLEIDING **1**

2. FREQUENTIEBELEID EN ETHERGEBRUIKERS **5**

2.1 Het frequentiebeleid 5

2.1.1 Frequentiebeleid op mondiaal niveau 6

2.1.2 Frequentiebeleid op Europees niveau 8

2.1.3 Frequentiebeleid op nationaal niveau 9

2.2 De invulling van het nationale frequentiebeleid 12

2.2.1 De nationale invulling van de frequentiebestemmingen 13

2.2.2 De nationale gebruikerscategorieën 14

2.2.3 De feitelijke frequentietoewijzing 16

3. THEORETISCH MODEL VOOR DE BEPALING VAN DE ETHEREFFICIËNTIE **20**

3.1 Etherefficiëntie 20

3.2 Het allocatieve aspect 26

3.2.1 De elementen van het allocatieve aspect 27

3.3 Het transmissietechnische aspect 29
3.3.1 Modulatie-efficiëntie 30
3.3.2 Interferentie-efficiëntie 33
3.3.3 Kanaalcodering 35
3.4 Het delingsaspect 37
3.4.1 De planningsefficiëntie 37
3.4.2 Nadeel optimalisering van de planningsefficiëntie 41
3.4.3 Trunkingefficiëntie 42
3.5 Interpretatie van het allocatieve aspect 44
3.5.1 Afzonderlijke interpretatie van de allocatie-efficiënties 44
3.5.2 Geïntegreerde interpretatie van de allocatie-efficiënties 47
3.6 Interpretatie van het transmissietechnische aspect 49
3.7 Interpretatie van het delingsaspect 51

4. VEREISTE INVOERGEGEVENS VOOR DE ETHEREFFICIËNTIE-METER 53
4.1 Herkomst invoergegevens 53
4.2 Vereiste invoergegevens 58
4.2.1 Invoergegevens voor het allocatieve aspect 58
4.2.2 Invoergegevens voor het transmissietechnische aspect 59
4.2.3 Invoergegevens voor het delingsaspect 61
4.3 Prioriteit van de gegevensbronnen 62

5. METEN EN BENADEREN VAN VEREISTE INVOERGEGEVENS 63
5.1 Meetmethode's 63
5.1.1 Meetmethode spectrumonderzoek 63
5.1.2 Meetmethode verkeersmetingen 66
5.2 Gegevensberekening met resultaten van de metingen 69
5.2.1 Gegevensberekening met het spectrumonderzoek 69
5.2.2 Gegevensberekening met verkeersmetingen 72
5.3 Gebruikersidentificatie 74

5.4 Benaderen van invoergegevens met rekenmodellen 75
5.4.1 Rekenmodel voor de benadering van het daadwerkelijk .....
stoorgebied 75
5.4.2 Rekenmodel voor de benadering van de bronbandbreedte .....
en bitrate 80

6. DE ETHEREFFICIËNTIE-METER UITGEVOERD ALS.....
COMPUTERPROGRAMMA 83
6.1 De basis van het computerprogramma 83
6.2 Gebruik van het computerprogramma 85

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 87
7.1 Conclusies 87
7.2 Aanbevelingen 90

BIJLAGE A. Berekening van de planningsefficiëntie voor de stoortijd..... 93
BIJLAGE B. Berekening van de planningsefficiëntie voor het stoorgebied..... 97
BIJLAGE C. Programma van eisen.....101
BIJLAGE D. Handleiding etherefficiëntie-meter.....104
BIJLAGE E. Lijst van specifieke aanbevelingen voor de RDR.....123
BIJLAGE F. Programmatuur etherefficiëntie-meter..... extern

LITERATUURLIJST 126

Lijst van afkortingen en symbolen

Afkortingen

AM	Amplitude Modulatie.
BBW	Bezette bandbreedte.
BER	Bit Error Rate.
BPSK	Binary Phase Shift Keying.
BZ	Beleidszaken.
CEPT	European Conference op Postal and Telecommunications Administrations.
CCIR	International Radios Consultative Committee.
D	Afstand.
DECT	Digital European Cordless Telecommunications.
DEV	Daadwerkelijk Etherverbruik.
DSB-SC	Double Sideband Suppressed Carrier.
DSBW	Daadwerkelijke Stoorbandbreedte.
DSG	Daadwerkelijk Stoorgebied.
DST	Daadwerkelijke Stoortijd.
EEM	Etherefficiëntie-meter.
EG	Europese Gemeenschap.
ERC	European Radio Commitee.
ERMES	European Radio Messaging System.
ERO	European Radiocommunications Office.
EV	Etherverbruik.
FM	Frequentie Modulatie.
FSK	Frequency Shift Keying.

G	Gegevens.
GO	Gegevens overdracht.
GSM	Global System Mobile communications.
HDTP	Hoofd Directie Telecommunicatie en Post.
ITU	Internationale Telecommunicatie Unie.
IRR	International Radio Regulations.
MFSK	Mary Frequency Shift Keying.
MPSK	Mary Phase Shift Keying.
MSK	Minimum-Shift Keying.
MQAM	Mary Quadrature Amplitude Modulation.
NAVO	Noord Atlantische Verdrags Organisatie.
NFC	Nationale Frequentie Commissie.
NFVP	Nationaal Frequentie Verdelingsplan.
NJFA	Nato Joint civil/military Frequency Agreement.
NOZEMA	Nederlandse Omroep Zender Maatschappij.
NVC	Nationale Voorbereidings Commissie.
OOK	On-Off Keying.
PDEV	Gepland Daadwerkelijk Etherverbruik.
PM	Fase Modulatie.
PSBW	Geplande Stoorbandbreedte.
PSG	Gepland Stoorgebied.
PST	Geplande Stoortijd.
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying.
RDR	Rijksdienst voor Radiocommunicatie.
SBW	Stoorbandbreedte.
SG	Stoorgebied.
SNR	Signal to Noise Ratio.
SSB	Single Side Band.
ST	Stoortijd.
TEV	Toegewezen Etherverbruik.
TSBW	Toegewezen Stoorbandbreedte.
TSG	Toegewezen Stoorgebied.

TST	Toegewezen Stoortijd.
VG	Verzorgingsgebied.
WRC	Wereld Radio Conferentie.
WTV	Wet op de telecommunicatievoorzieningen.
ZT	Zendtijd.

Symbolen

bp_{max}	Maximaal bezettingspercentage bij het spectrumonderzoek.
dP	Vermogensdrempel.
f	Filterbandbreedte bij verkeersmetingen.
f_{Mhz}	Uitgezonden frequentie.
h_t	Hoogte zendantenne.
h_r	Hoogte ontvangantenne.
t	Meetduur spectrumonderzoek.
B_B	Bronbandbreedte.
B_k	Aantal bezette frequentiekanalen bij pseudo verkeersmetingen.
B_T	Transmissiebandbreedte (BBW).
BW	Totaal gemeten frequentieband bij spectrumonderzoek.
BW_{max}	Maximaal benutte frequentie door één ethergebruiker.
BW_{min}	Minimaal benutte frequentie door één ethergebruiker.
C/I	Signaal interferentie verhouding.
D_{prop}	Afstand waarover het propagatieverlies plaats vindt.
E	Erlang, kanaalbezetting.
E_A	Allocatie-efficiëntie.
E_B/N_0	Signaal ruis verhouding per bit.
E_E	Etherefficiëntie.
$E_{INT,O}$	Interferentie-efficiëntie aan de ontvangstkant.
$E_{INT,Z}$	Interferentie-efficiëntie veroorzaakt door de zendkant.
$E_{MOD,ANAL}$	Analoge modulatie-efficiëntie.
$E_{MOD,DIG}$	Digitale modulaltie-efficiëntie.

$E_{PLAN,SG}$	Planningsefficiëntie voor het stoorgebied.
$E_{PLAN,ST}$	Planningseffficientie voor de stoortijd.
E_{SBW}	Bandbreedte-efficiëntie.
E_{SG}	Bedekkingsefficiëntie.
E_{ST}	Bezettingsefficiëntie.
E_{TRUNK}	Trunkingefficiëntie.
E_{TX}	Transmissie-efficiëntie.
Gb_{max}	Maximaal bezet stoorgebied door één ethergebruiker.
Gb_{min}	Minimaal bezet stoorgebied door één ethergebruiker.
G_{bez}	Gemiddelde bezetting van de pseudo verkeersmetingen.
L_{dB}	Propagatieverlies.
M	Aantal transmissie symbolen.
P	Maximum aantal pixels van het spectrumonderzoek.
P_{OUT}	Uitgezonden vermogen.
P_{SPUR}	Uitgezonden spurious vermogen.
R	Birate.
R_{SG}	Straal van het stoorgebied.
R_{VG}	Straal van het verzorgingsgebied.
TP	Theoretisch aantal pixels bij het spectrumonderzoek.
α_{SBW}	Weegfactor voor de bandbreedte-efficientie.
α_{SG}	Weegfactor voor de bedekkingsefficientie.
α_{ST}	Weegfactor voor de bezettingsefficientie.
β_f	Frequentiemodulatie-index.
β_p	Fasemodulatie-index.

Hoofdstuk 1
Inleiding

De vraag naar radiofrequenties neemt de laatste jaren sterk toe, met name door de groei van mobiele communicatie en omroep. Het woord radio wordt hier gebruikt in de technisch-wetenschappelijke betekenis van 'draadloze overbrenging' en niet in de populaire betekenis van 'geluidsomroep' of een hiervoor bedoeld toestel. In de praktijk beperken de voortplantingseigenschappen van elektromagnetische golven het gebruik van het radio-frequentiespectrum[1] tot bepaalde frequentiebanden[2]. Een andere beperkende factor van het radio-frequentiespectrum is de stand van de techniek. De technieken om lage frequenties te gebruiken zijn in het algemeen beter ontwikkeld en (mede daardoor) goedkoper dan de technieken voor hoge frequenties (> 30 GHz). Daardoor is exploratie hiervan economisch gezien nu nog minder interessant.

Aanverwant met het begrip radio-frequentiespectrum is het begrip 'Ether'[3]. De natuurlijke hulpbron voor draadloze communicatie, ether, wordt in de context van dit onderzoek echter ruimer gedefinieerd dan alleen het frequentiespectrum. De ether in de zin van dit onderzoek bevat, naast de beschikbare frequentieruimte voor de overdracht van gegevens, ook de voor radiocommunicatie belangrijke parameters te bestrijken oppervlakte en het tijdbeslag. Deze drie parameters bepalen de beschikbare ether voor radiocommunicatie.

---

[1] Het radio-frequentiespectrum omvat alle elektromagnetische trillingen die zich golfvormig in de ruimte voortbewegen.

[2] De frequentie van een radiogolf is de maat voor de snelheid waarmee de golf trilt. Deze trilsnelheid wordt uitgedrukt in Hertz (Hz, 1 Hz = 1 trilling per seconde) .

[3] Christiaan Huygens zocht tijdens zijn onderzoeken naar een begrip om het medium te definiëren via welke lichtgolven zich van A naar B konden verplaatsen. Duidelijk was dat dit medium erg ijl of vluchtig moest zijn. Dit is een eigenschap van de stof ether en gaf daarom het veronderstelde medium de naam 'Ether'. Later is gebleken dat er feitelijk geen medium nodig is voor elektromagnetische golven uitbreiding; deze vindt ook plaats in vacuüm.

Het doel van dit onderzoek is de ontwikkeling van een etherefficiëntie-meter (EEM) voor de beoordeling van het ethergebruik. Het is mogelijk om met de etherefficiëntie-meter verschillende aspecten van de etherefficiëntie te wegen en systemen op afzonderlijke onderdelen te vergelijken. De etherefficiëntie-meter is uitgevoerd in een gebruikersvriendelijk, op de praktijk toegesneden interactief computerprogramma. De resultaten hiervan kunnen worden toegepast in de volgende situaties:

1. Aanpassen van de etheruitgifte;
2. Stimuleren van efficiënt etherverbruik;
3. Beoordelen van etheraanvragen.

Door de vakgroep Telecommunicatie en Verkeersbegeleidingssystemen van de Technische Universiteit Delft is een theoretisch model ontwikkeld voor de bepaling van de etherefficiëntie [1]. Dit model wordt gebruikt als basis voor het ontwerp van de etherefficiëntie-meter.

In eerste instantie worden bij de ontwikkeling van de etherefficiëntie-meter alleen aardse radioverbindingen in beschouwing genomen. In de toekomst is uitbreiding naar ruimtelijke verbindingen mogelijk (satelliet- en luchtvaartverbindingen).
Het resultaat van het onderzoek zal op de eerste plaats toegepast worden op diensten waaraan ether is toegewezen op basis van voorkeursrecht. Ten behoeve van het maatschappelijke belang krijgen deze diensten vaak een voorkeurspositie bij de toewijzing van de ether. Krijgsmacht en politie zijn voorbeelden van ethergebruikers die een nationale voorkeurspositie hebben bij de ethertoewijzing.

Dit onderzoek naar efficiënt ethergebruik[4] wordt uitgevoerd, in opdracht van de Rijksdienst voor Radiocommunicatie, als onderdeel van de implementatie van de Nota Frequentiebeleid van de Nederlandse regering [2]. De ontwikkeling van de etherefficiëntie-meter dient de realisatie van de algemene definitie van de doelstelling van het Nederlandse nationale frequentiebeleid te ondersteunen, te weten.

[4] In een aantal landen (Frankrijk, Duitsland en Australië) wordt eveneens onderzoek gedaan naar een instrument dat het ethergebruik beoordeeld, maar hiervan zijn nog geen resultaten bekend.

"Het bevorderen van een zodanig gebruik van het frequentiespectrum dat een adequate bijdrage wordt geleverd aan maatschappelijke, economische en culturele belangen in Nederland onder waarborging van de veiligheid van de Staat, met inachtneming van de internationale verplichtingen die Nederland heeft."

De explosieve vraag naar de beperkt beschikbare ether leidt tot toenemende etherschaarste, en daardoor tot toenemende economische waarde van de bruikbare ether. Mede omdat bestaande radiocommunicatie-technieken en hierop gebaseerde toepassingen in gebruik blijven ontstaat een toenemend ethertekort. Meer dan nu het geval is wordt het in de toekomst noodzakelijk om efficiënt ethergebruik te stimuleren en te bewaken. Op deze manier kan de groei van de vraag naar ether enigszins afgeremd worden. De beoordeling van efficiënt ethergebruik en de consequenties hiervan dienen wettelijk verankerd te worden. In Nederland ligt de uitvoering hiervan in de handen van de minister van Verkeer en Waterstaat. Onder verantwoordelijkheid van de minister van Verkeer en Waterstaat bereidt de Hoofd Directie Telecommunicatie en Post (HDTP) het frequentiebeleid voor. De afdeling Beleidszaken van de HDTP (in Den Haag) bereidt thans op een projectmatige manier de hoofdlijnen van het nieuwe frequentiebeleid voor. De Rijksdienst voor Radiocommunicatie van de HDTP (in Groningen) is verantwoordelijk voor het beheer van de ether.

Bij een radioverbinding zijn twee conflicterende verschillende kwaliteitsaspecten in het geding:

1. De etherbeheerder streeft een zo zuinig mogelijk gebruik van de ether na.
2. De ethergebruiker streeft een zo hoog mogelijke servicekwaliteit van de geleverde diensten na, tegen kosten die de eindgebruiker bereid is te vergoeden.

Omdat deze twee aspecten tegen over elkaar staan, kan in de praktijk efficiënt gebruik van de ether niet alleen op puur technische gronden bepaald worden. Daarom is de etherefficiëntie in de praktijk afhankelijk van economische en bestuurlijk-juridische factoren. In dit onderzoek wordt de etherefficiëntie *alleen* bepaald door ethertechnische aspecten. Zowel de economische en bestuurlijk-juridische elementen als de servicekwaliteit worden in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

In hoofdstuk 2 worden de verschillende ethergebruikers vermeld en nader toegelicht. Tevens wordt aandacht besteed aan het door de minister van Verkeer en Waterstaat gevoerde frequentiebeleid. De theoretische basis voor de ontwikkeling van de etherefficiëntie-meter wordt volledig uitgewerkt in hoofdstuk 3. Hierin wordt afzonderlijk ingegaan op de volgende aspecten van de etherefficiëntie: allocatie, transmissietechniek en deling. Vanwege de eenvoud en eenduidigheid van het onderzoek wordt het netwerk aspect van de etherefficiëntie buiten beschouwing gelaten. Met behulp van het theoretische model van de etherefficiëntie worden in hoofdstuk 4 de vereiste invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter en de herkomst hiervan omschreven. Een deel van de invoergegevens is afkomstig van metingen of rekenmodellen. Omdat deze gegevens niet direct beschikbaar zijn, verdient het aanbeveling om deze in meer detail te beschrijven, wat gebeurt in hoofdstuk 5. Het theoretische model van de etherefficiëntie en de invoergegevens vormen samen de basis van het software programma. De opbouw en de structuur van het software programma worden in hoofdstuk 6 besproken. Tenslotte worden in hoofdstuk 7 de conclusies, die voorlopig getrokken kunnen worden, behandeld. Tevens worden in hoofdstuk 7 aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek.

Hoofdstuk 2

Frequentiebeleid en ethergebruikers

Nadat telecommunicatie langs radio-elektrische weg in 1895 door Guglielmo Marconi was uitgevonden en gedemonstreerd, groeide het gebruik van de ether als transmissiemedium snel. Toepassingsmogelijkheden voor scheepvaart en mogelijkheid tot omroep stimuleerde deze groei. Om een situatie te voorkomen waarin radiogebruikers elkaar zodanig zouden gaan storen dat radiocommunicatie niet meer (goed) mogelijk was, bleek internationale afstemming van ethergebruik en radioapparatuur noodzakelijk. Momenteel worden op drie niveaus afspraken gemaakt omtrent ethergebruik en radioapparatuur: mondiaal, Europees (regionaal) en nationaal.

De HDTP gebruikt het enkelvoudige begrip frequentiespectrum i.p.v. het drie parameters, (frequentieband, gebied en tijd), omvattende begrip ether bij beschrijvingen aangaande radiocommunicatie. Daarom wordt in dit hoofdstuk het begrip 'frequenties' gebruikt daar waar sprake is van het te voeren en verder te ontwikkelen frequentiebeleid door de minister van Verkeer en Waterstaat.

2.1 Het frequentiebeleid

De groeiende vraag naar mobiele communicatie en omroep hebben de vraag naar frequenties en, hiermee samenhangend, ether de laatste jaren sterk doen toenemen. Anderzijds maken nieuwe technologische ontwikkelingen het mogelijk om steeds zuiniger om te gaan met de ether. Ondanks deze technologische ontwikkelingen overtreft de snel groeiende vraag naar ether het langzaam toenemende aanbod nog altijd. Waar de vraag naar ether groter is dan het aanbod, is sprake van schaarste.

Grote delen van het frequentiespectrum zijn niet in gebruik, waardoor "etherschaarste" een relatief begrip is. Met name de frequentieband van 30 - 3000 MHz kent schaarste. Het is

voor de ethergebruikers interessant toepassingen van radiocommunicatie buiten de frequentieband 30 - 3000 MHz te onderzoeken; dit onderzoek kan wellicht leiden tot ontwikkeling van zowel nieuwe radiocommunicatie technieken als systemen.
Zorgvuldige evaluatie van het huidige ethergebruik en ontwikkeling van radiocommunicatie verdienen aanbeveling. Hiermee kan mogelijk de etherschaarste beperkt worden en worden zoveel mogelijk ethergebruikers in hun behoefte voorzien.

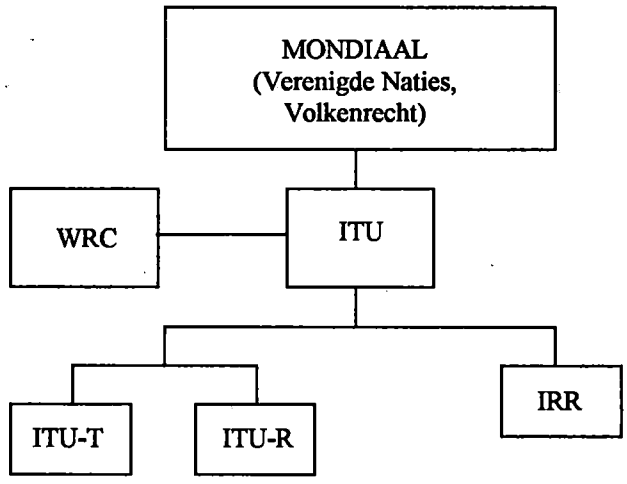
2.1.1 Frequentiebeleid op mondiaal niveau

De Internationale Telegrafie Unie (ITU[5]) werd op 17 mei 1865 in Parijs opgericht en is thans een onderdeel van de Verenigde Naties. Er zijn inmiddels meer dan 174 landen lid van de ITU. Een doelstelling van de ITU is regulering, coördinatie en standaardisatie van het ethergebruik en de radioapparatuur, zodat onacceptabele storingen door andere ethergebruikers vermeden kunnen worden, met name over landsgrenzen heen.
Een taak van de ITU is het vaststellen van de International Radio Regulations (IRR). Hierin worden op de eerste plaats bepaalde frequentiebanden gealloceerd[6] ten behoeve van radiodiensten (landmobiel, maritiem, luchtvaart, vaste verbindingen, omroep, zendamateurs, astronomie) [3]. Volgens de definitie van de IRR strekt het radiospectrum zich uit van 3 kHz tot 3000 GHz (theoretische bovengrens). Hiervan is 9 kHz tot 275 GHz door de ITU gealloceerd.
De internationale etherafspraken die volgens de ITU gelden worden op de Wereld Radio Conferenties (WRC's) vastgelegd. Hier wordt de verdeling naar diensten en toepassingen in internationaal verband op hoofdlijnen bepaald en vastgelegd in het internationale frequentie bestemmingsplan [2]. Bestemming heeft betrekking op het aanwijzen van bepaalde frequentiebanden aan bepaalde radiodiensten. Mede omdat radiogolven geen rekening houden met landsgrenzen is dit bestemmingsplan een internationale aangelegenheid. Na het bestemmen van frequenties volgt de volgende fase in het bestemmingsplan, allotment; het vastleggen van afspraken voor de toedeling van frequenties in de gealloceerde frequentiebanden tussen landen of regio's [4].

[5] De huidige naam voor ITU is sinds 1947 Internationale Telecommunicatie Unie.
[6] Allocatie is het toewijzen van een frequentieband aan één of meer radiodiensten. Alle allocaties zijn vermeld in de Table of Frequency Allocations van Art.8 van de IRR. Allocatie gebeurd wereldwijd of per regio.

De ITU heeft twee op normalisatie[7] gerichte instanties; ITU-T (draadgebonden telecommunicatie) en de ITU-R (draadloze communicatie, inclusief satellietcommunicatie en omroep). Deze instanties richten zich mondiaal op het opstellen van normen voor een bepaald aspect van de telecommunicatie. Het gebruik van normen (hoe beperkt soms ook) is een voorwaarde om onderling te communiceren.

In figuur 2.1 worden de in deze paragraaf behandelde instanties schematisch weergegeven.



Figuur 2.1 : Schematisch overzicht van de besproken mondiale instanties.

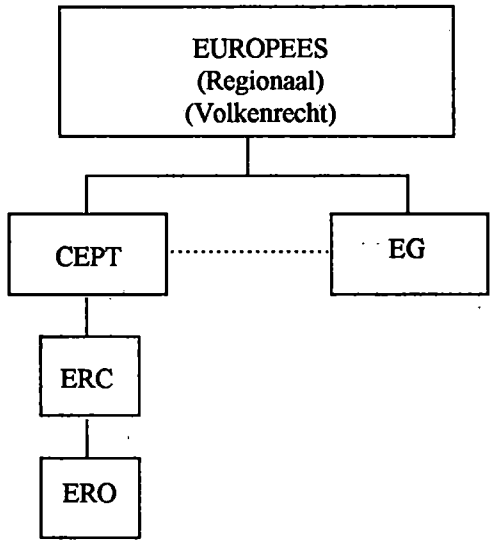
Met de toenemende internationalisering van het frequentiemanagement is het belangrijk voor Nederland om invloed te hebben in internationale en regionale (Europese) gremia. Op deze manier kan Nederland invloed uitoefenen op de internationale ontwikkeling van etherverdeling en normalisatie. Nederland streeft in deze commissies zoveel mogelijk harmonisatie na. Daarentegen stelt Nederland zich op het gebied van de regelgeving terughoudend op. Dit laatste wordt o.a. nagestreefd door zoveel mogelijk vrijstelling voor machtigingsuitgifte.

[7] Normalisatie is een activiteit bestaande uit het opstellen, met het oog op werkelijke of mogelijke problemen, van bepalingen voor een algemeen en herhaald gebruik, gericht op het bereiken van de optimale mate van orde in een gegeven context. Normalisatie heeft tot doel om een bepaald produkt, proces of dienst geschikt te maken voor algemeen gebruik. Voorbeelden hiervan zijn beheersing van verscheidenheid, verwisselbaarheid, gezondheid, veiligheid, milieubescherming, verhandelbaarheid, modulariteit, economische prestatie, verenigbaarheid en dergelijk, alsmede combinaties daarvan [26].

2.1.2 Frequentiebeleid op Europees niveau

Niet alleen op mondiaal niveau worden afspraken gemaakt aangaande radiocommunicatie, ook op regionaal niveau, met name op Europees niveau wordt hieraan gewerkt. Dit vindt grotendeels plaats in het kader van het European Radio Committee (ERC) van de CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) opgericht in 1959. Aanvankelijk was dit een organisaties van de PTT's (toen nog staatsbedrijven). Momenteel wordt de CEPT gevormd door de administraties van 43 Europese landen. De HDTP, onderdeel van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, fungeert in CEPT-verband als administratie voor Nederland. De CEPT bereidt met name de internationale conferenties voor. Hiermee wordt de gezamenlijke uitgangspositie van de Europese landen op internationaal niveau versterkt. Per agenda onderwerp van de WRC stelt de CEPT een gemeenschappelijk standpunt (European Common Proposals) op. De CEPT is niet *alleen* mondiaal gericht. Op puur Europees niveau kan de CEPT grote betekenis hebben bij het oplossen van onderlinge 'grensproblemen'.
Op 6 mei 1991 is als nieuw orgaan van de CEPT het European Radiocommunications Office (ERO) te Kopenhagen opgericht [5]. Een hoofddoel van de ERO is het ontwikkelen van voorstellen voor een Europese Allocatie Tabel voor de band van 29.7 tot 105 GHz. Deze dient in het jaar 2008 gerealiseerd te zijn [4].

De tweede Europese organisatie die de nationale ruimte voor frequentiebeleid mede bepaalt is de EG (Europese Gemeenschap) [6]. De EG is opgericht bij het verdrag van Rome van 25 maart 1957. Momenteel nemen Frankrijk, Italië, Duitsland, Nederland, België, Luxemburg, Denemarken, Ierland, Groot-Brittannië, Griekenland, Spanje, Portugal, Zweden, Finland en Oostenrijk deel in de EG. Het frequentiebeleid van de EG is (tot op heden) beperkt gebleven tot de mobiele communicatie. Het voornaamste streven van de EG is harmonisatie van frequenties voor paneuropese dienstverlening. Voorbeelden van frequentie-activiteiten van de EG zijn de harmonisatie richtlijnen met betrekking tot de frequenties voor mobiele diensten (GSM, DECT en ERMES) [6]. De EG werkt nauw samen met het CEPT, bijvoorbeeld door het adviseren bij de ERC bijeenkomsten.
In figuur 2.2 worden de in deze paragraaf behandelde instanties schematisch weergegeven.



Figuur 2.2: Schematisch overzicht van de besproken Europese instanties.

2.1.3 Frequentiebeleid op nationaal niveau

In vredestijd heeft de minister van Verkeer en Waterstaat de centrale verantwoordelijkheid ten aanzien van het beheer en de verdeling van het frequentiespectrum. In het geval dat de staat van oorlog of de staat van beleg is afgekondigd oefent de minister van Verkeer en Waterstaat, krachtens de Oorlogswet, de verantwoordelijkheid uit in overeenstemming met de minister van Defensie [7]. In het hier beschreven onderzoek wordt alleen aandacht besteed aan het ethergebruik in tijden van vrede.

De HDTP is een dienst van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Een onderdeel van de HDTP is de Directie Beleidszaken (BZ), deze houdt zich bezig met beleidsontwikkeling en regelgeving op het gebied van telcommunicatie en post. De Rijksdienst voor Radiocommunicatie (RDR) is sinds 1 januari 1996 de nieuwe naam van de Directie Operationele Zaken van de HDTP. De RDR draagt zorg voor het beheer van het nationale frequentiespectrum, standaardisatie van telecommunicatie-apparatuur en houdt toezicht op storingvrij etherverkeer.

De hoofdlijnen van het nationale telecommunicatiebeleid zijn geschetst in de Hoofdlijnennotitie (Kamerstukken II, 1993/1994, 21693. nr. 13-14) [2]. Op basis van deze hoofdlijnen is het vigerende frequentiebeleid bepaald.

De doelstelling van de minister van Verkeer en Waterstaat omtrent het nationale frequentiebeleid leidt tot de drie hoofdonderdelen van het nationale frequentiebeleid:

1. De internationaal bepaalde frequentiebestemming.
   Op hoofdlijnen wordt in internationaal verband de verdeling naar diensten en toepassingen vastgelegd.
2. De nationale invulling van de frequentieverdeling.
   Het gaat hier om het op nationaal niveau invulling geven van de internationale bestemmingsafspraken en het gebruiken van de beleidsvrijheden die er op nationaal niveau mogelijk zijn voor de verdeling tussen de categorieën belanghebbenden.
3. De feitelijke toewijzing van frequenties aan belanghebbenden .

De eerste twee hoofdonderdelen van het nationale frequentiebeleid leiden tot het nationale frequentieverdelingsplan (NFVP) [8]. In het NFVP wordt vastgelegd hoe de internationaal afgesproken frequentiebestemmingen in Nederland worden verdeeld over de belanghebbenden (gebruikerscategorieën) [2]. Het betreft hier de frequentiebanden in het bereik van 9 kHz tot 275 GHz, gealloceerd door de ITU. Indien tijdens een WRC besloten wordt tot aanpassing van de bestemmingen, dan resulteert dit in aanpassing van het NFVP. Iedere twee jaar zal door de minister van Verkeer en Waterstaat een nationaal frequentieverdelingsplan worden opgesteld en indien noodzakelijk herzien.
In beginsel bestaat het NFVP uit een openbaar deel en een niet-openbaar deel. Het openbare deel maakt onderscheid tussen de overheids- en niet-overheidsgebruikers van het frequentiespectrum. Het niet-openbare deel bevat ondermeer de afspraken met de Ministeries van Defensie, Justitie, Binnenlandse Zaken en Algemene Zaken in het kader van de zorg voor de staatsveiligheid en handhaving van de rechtsorde.
Zoals hiervoor is aangegeven, is in tijden van vrede alleen de minister van Verkeer en Waterstaat verantwoordelijk voor het totale beheer van het frequentiespectrum. Ook onder deze omstandigheden bereiden de militairen zich voor op hun taken. Bij deze voorbereidingen hoort het gebruik van radiocommunicatie-apparatuur. De voor militaire radiocommunicatie apparatuur benodigde frequentiebanden zijn vastgelegd in het eerste deel van het 'Nato Joint Frequency Agreement' (NJFA). Het NJFA is het verdrag tussen civiele en militaire autoriteiten van de NAVO-landen over de voor radiocommunicatie-apparatuur

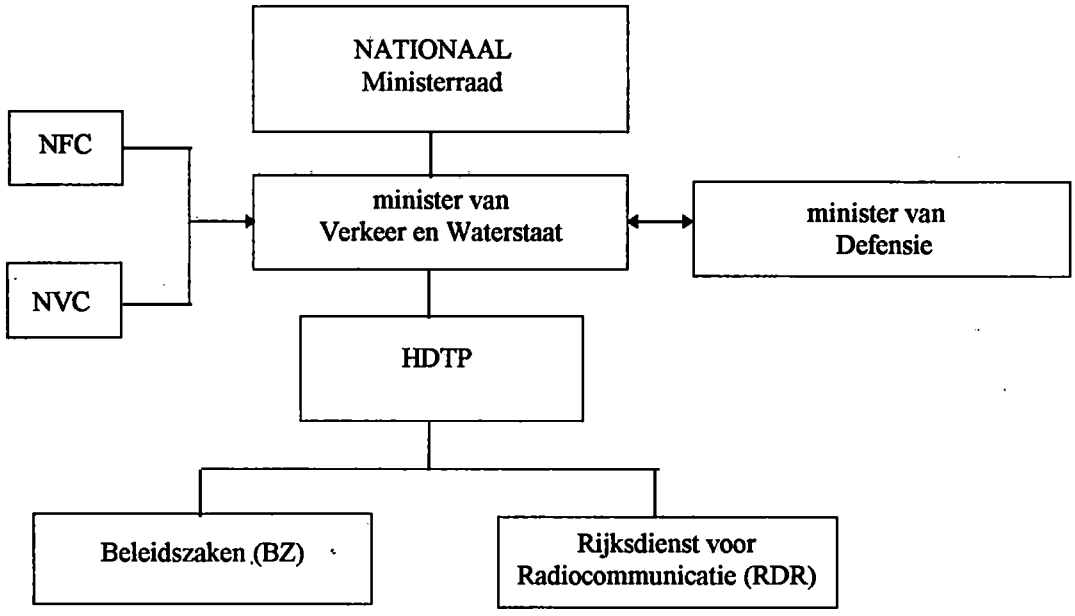
te gebruiken frequentiebanden [8]. In het tweede (niet-openbare) deel van het NJFA zijn de eisen en voorwaarden van spectrumgebruik beschreven in oorlogstijd. In dit geval zal een deel van de aan civiele doeleinden toegekende ether door de militaire eenheden in beslag worden genomen. Het eerste deel van het NJFA is opgenomen in het openbare deel van het NFVP en het tweede deel in het niet-openbare deel.

De minister van Verkeer en Waterstaat wordt bij het opstellen van het NFVP en bij het geven van de instructies voor internationale en Europese bijeenkomsten geadviseerd door de Nationale Frequentie Commissie (NFC). De NFC bestaat uit vertegenwoordigers van de RDR en van de zogenaamde deelbeheerders. Deelbeheerders zijn grootverbruikers die bepaalde delen van de ether toegewezen hebben gekregen, waarover zij zelf het beheer hebben. Zij kunnen binnen deze etherdelen zelf hun frequentieverdeling plannen. Deze grootverbruikers zijn de PTT, het Ministerie van Defensie, de Politieverbindingsdienst, de Rijksluchtvaartdienst en NOZEMA (Nederlandse Omroep Zender MAatschappij). De NFC komt vier à vijf keer per jaar bijeen en heeft als taak het plegen van overleg over het te voeren beleid inzake het gebruik en beheer van het radiospectrum, in het bijzonder betreffende [9]:

(1) het feitelijk gebruik en de verdeling van het radiofrequentiespectrum;
(2) de basisvoorwaarden voor het gebruik van toe te wijzen delen van het radiofrequentiespectrum;
(3) de grondslagen voor het beheer van het radiofrequentiespectrum of delen daarvan;
(4) het voorkomen en de bestrijding van radiostoringen;
(5) de uitvoering van het beheer van het radiofrequentie-spectrum;
(6) de uit te dragen standpunten in internationaal overleg over frequentie-aangelegenheden.

Het NFC vervult geen formele rol in de voorbereidingen van de conferenties en het opstellen van het NFVP. Hiervoor worden de directe richtlijnen en instructies vastgesteld in de ministerraad [2]. De NFC fungeert op deze manier uitsluitend als adviesorgaan. Op initiatief van de NFC wordt voorafgaand aan internationale conferenties een Nationale Voorbereidings Commissie (NVC) samengesteld. Deze commissie geeft in tegenstelling tot de NFC wel richtlijnen aan voor de minister van Verkeer en Waterstaat.

In figuur 2.3 worden de in deze paragraaf behandelde instanties schematisch weergegeven..



Figuur 2.3 : Schematische overzicht van de besproken nationale instanties.

Liberalisering van de telecommunicatiesector, technologische ontwikkelingen, nieuwe vormen van dienstverlening en veranderende internationale verhoudingen hebben de druk op het frequentiespectrum en daardoor op de huidige, traditionele, methoden van frequentie-toewijzingen, sterk verhoogd. Deze ontwikkelingen hebben aanleiding gegeven tot herziening van de Wet op de telecommunicatievoorzieningen (WTV)[8]. Op de eerste plaats wordt een interimwet geïntroduceerd (maart 1996) en begin januari 1998 wordt de nieuwe Wet op telecommunicatievoorzieningen verwacht.

2.2 De invulling van het nationale frequentiebeleid

Het eerste deel van het nationale frequentiebeleid is de internationale verdeling naar diensten en toepassingen. Dit geeft een duidelijke richting aan het frequentiegebruik in Nederland. Bij de invulling van het nationale frequentiebeleid moeten ten eerste de internationale afspraken vertaald worden naar nationale afspraken (nationale frequentieverdeling) en de bestemmingen verdeeld over de categorieen van belanghebbenden. Ten tweede gaat het om

[8] De Wet op telecommunicatievoorzieningen, zorgt voor een goede infrastructuur, de concessie voor de telecommunicatie-infrastructuur, machtigingen voor radio-elektrische zend/ontvanginrichtingen [18].

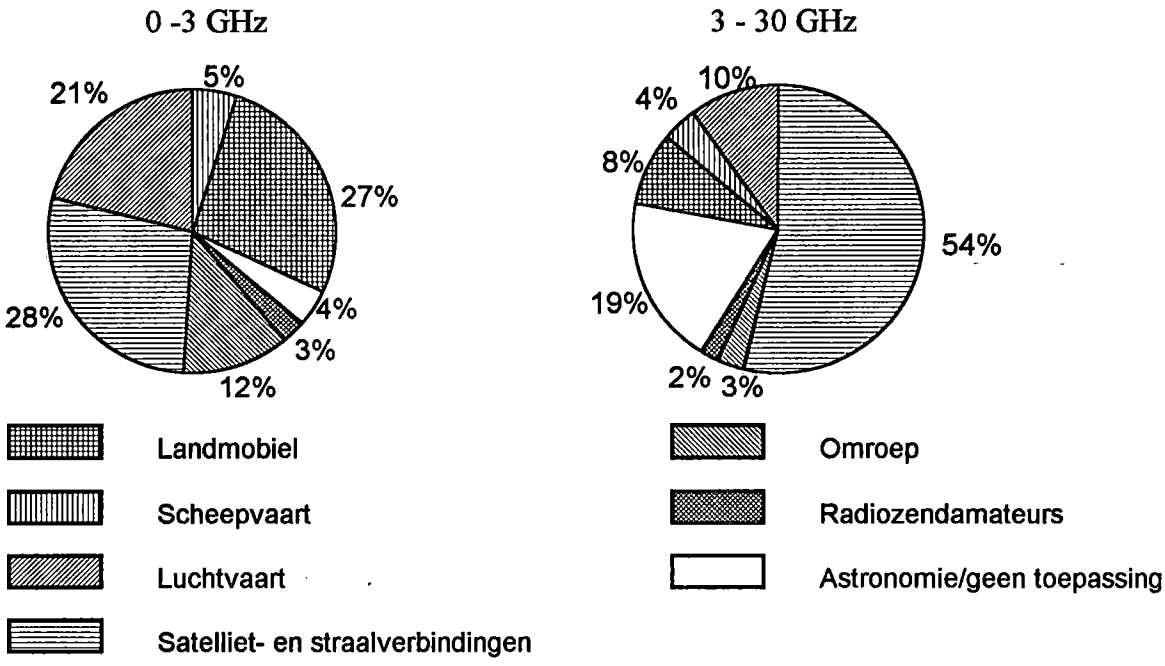
de feitelijke toewijzing van bepaalde frequenties aan specifieke ethergebruikers (frequentietoewijzing).

2.2.1 De nationale invulling van de frequentiebestemmingen

Het totale bruikbare frequentiespectrum is op basis van internationale afspraken over de verschillende bestemmingen verdeeld. De door de ITU gedefinieerde bestemmingscategorieën landmobiel, scheepvaart, luchtvaart, omroep, satelliet- en straalverbindingen en radio-zendamateurs worden eveneens toegepast in het nationale frequentie bestemmingsbeleid. Daar waar internationale bestemmingen voor een bepaalde bestemmingscategorie zijn bepaald moeten deze in principe ook zo nationaal worden bestemd. De nationale bestemmingen moeten dusdanig flexibel zijn dat er voldoende manoeuvreerruimte is voor snelle invoering van nieuwe ontwikkelingen, diensten en technieken. Bij de vertaling van het internationale naar het nationale bestemmingsbeleid wordt rekening gehouden met de volgende vijf uitgangspunten [10]:

1. De nationale bestemmingsverdeling dient een goede afspiegeling te zijn van het totaalbeeld van het actuele en verwachte frequentiegebruik. Dit voorkomt relatieve schaarste.
2. Vaste radioverbindingen moeten als regel zo hoog mogelijk in het frequentiespectrum worden ondergebracht; de mobiele radioverbindingen zo laag mogelijk.
3. Indien een alternatief transmissiemedium beschikbaar is, verdient dit de voorkeur.
4. Wereldwijde toewijzingen zijn in beginsel noodzakelijk. Pas als dat niet haalbaar blijkt moeten toewijzingen worden nagestreefd binnen een gebied dat tenminste Europa omvat.
5. Indien toepassingen in een bepaalde frequentieband kunnen worden gedeeld met één of meer andere toepassingen, moet dat worden nagestreefd

In figuur 2.4 wordt aangegeven hoe de huidige nationale frequenties zijn bestemd voor de verschillende bestemmingscategorieën.



Figuur 2.4: Frequentiebestemmingen in Nederland [10].

2.2.2 De nationale gebruikerscategorieën

Per bestemmingscategorie worden frequenties toegewezen aan de hoofdcategorieën van gebruik. Deze 4 categorieën van gebruik zijn; zakelijk gebruik, vitale taken, omroep en divers gebruik.

- **Zakelijk gebruik**

  Het zakelijk gebruik is de toepassing van radiofrequenties als produktiemiddel bij economische aktiviteiten in de private sector. Er is dus een bepaald zakelijk belang mee gemoeid. Voorbeelden hiervan zijn; toepassing van frequenties in telecommunicatienetten; het exploiteren van een GSM netwerk voor openbare mobiele telcommunicatie; het zelfgebruik van een zogenaamd 'gesloten net', zoals GSM, TRAXYS, bedrijfsnetten.

- **Vitale overheidstaken**

  Vitale overheidstaken zijn taken op het gebied van Staatsveiligheid, defensie, openbare orde en veiligheid en luchtvaart- en maritieme veiligheid. De krijgsmacht, politie en diensten belast met de zorg voor de interne veiligheid van de Staat voeren deze overheidstaken uit. Ook worden taken op het gebied van de veiligheid van de scheepvaart

en luchtverkeersbegeleiding (nood-, spoed- en veiligheidsverkeer en navigatie), brandweer en rampenbestrijding tot de vitale overheidstaken gerekend [2].

- **Omroep**

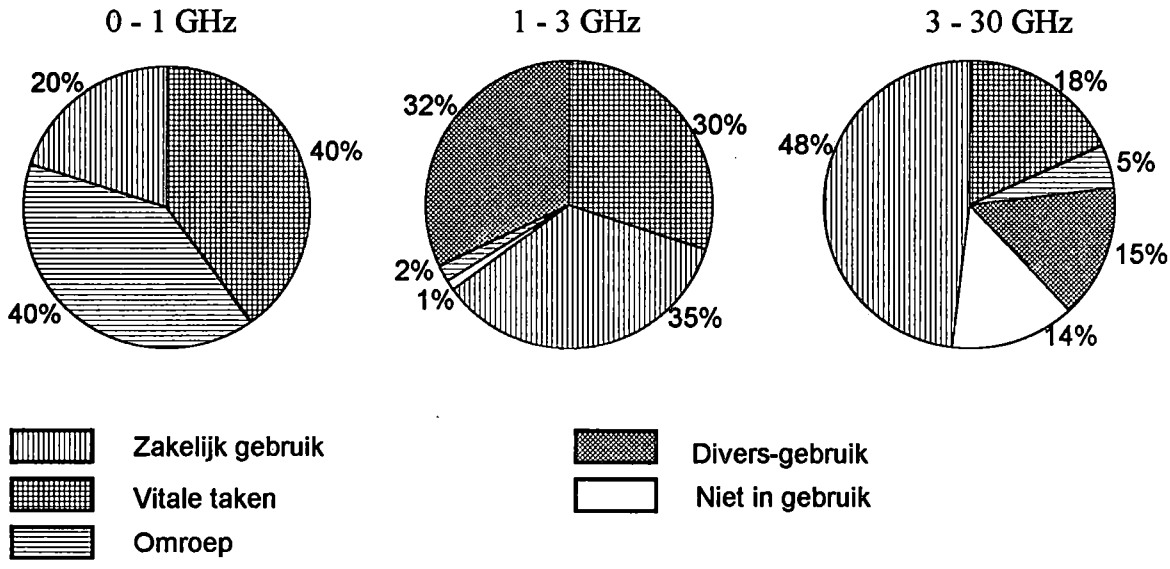
  Omroep is het frequentiegebruik ten behoeve van de publieke en commerciële radio- en televisiedoeleinden. Hierop is naast de Wet op telecommunicatievoorzieningen ook de Mediawet van toepassing. Eén technisch kenmerk van deze vorm van dienstverlening is de eenzijdige overdracht van informatie. De internationale afspraken bepalen grotendeels de frequentieverdeling in de omroepbanden. Het frequentiebeleid in Nederland kan zich dus voornamelijk richten op de verdeling tussen de verschillende belanghebbenden. De commerciële omroep neemt de laatste jaren toe, en de politieke vraag is hoe de commerciële en publieke omroep naast elkaar een plaats moeten krijgen in de beperkte omroepbanden.

- **Divers gebruik**

  Divers gebruik is een restcategorie voor niet altijd identificeerbare gebruikers. Voorbeelden zijn: radioamateurs, afstandsbedieningen (bijvoorbeeld garagedeuren) en wetenschappelijk gebruik. Voor de radio-zendamateurs is er sprake van een zekere zelfregulering binnen de internationale banden. In veel gevallen worden de amateur-banden gedeeld met andere banden. De status[9] van het gebruik is in een groot aantal amateur-banden lager dan voor de overige ethergebruikers in dezelfde frequentieband. De radio-zendamateurs moeten dan voorrang verlenen aan andere radiogebruikers. Een knelpunt in deze banden is de toenemende druk om meer radiodiensten in de amateur-banden toe te laten.

Figuur 2.5 geeft aan hoe de frequentieverdeling naar gebruikscategorie is opgebouwd.

[9] In volgorde van prioriteit volgen hier de verschillende statussen die het NFVP onderscheidt bij de toewijzing [8]
- primaire status;
- permitted status;
- secundaire status;
- tertiaire status;
- gelijke status.



Figuur 2.5: Frequentieverdeling naar gebruikscategorie [2].

Frequenties tussen de 30 - 105 GHz zijn momenteel slechts voor 16 % in gebruik [2]. Voornamelijk de hoge (ontwikkel)kosten van de apparatuur in deze frequentieband veroorzaakt het geringe gebruik. Onderzoek en ontwikkeling van radiocommunicatie-technieken en toepassingen in de frequenties boven de 30 GHz verdienen aanbeveling. Dit biedt een mogelijke oplossing voor het tekort aan ether voor bepaalde toepassingen.

2.2.3 De feitelijke frequentietoewijzing

Nadat de gebruikerscategorieën verdeeld zijn over de bestemmingen, vindt de feitelijke toewijzing aan een individuele ethergebruiker[10] van een bepaalde gebruikerscategorie plaats. Hierbij gaat de minister van Verkeer en Waterstaat ervan uit dat de 'ether' een gemeenschappelijk goed is, dat volgens de doelstelling van het frequentiebeleid effectief en efficiënt moet worden gebruikt. In de Nota Frequentiebeleid [2] is door de minister van Verkeer en Waterstaat het volgende pakket van instrumenten vastgesteld om deze daadwerkelijke toewijzing te bewerkstelligen.

[10] Ethergebruikers zijn de gebruikers van de ether waaraan een deel van de ether is toegewezen. Dit zijn niet de eindgebruikers, zoals bijvoorbeeld de bezitters van een draadloze telefoon of abonnement houders van een GSM systeem.

- **Voorkeursrechten**

  Voorafgaand aan de feitelijke etherverdeling wordt ten behoeve van het maatschappelijke belang ether toegewezen aan instanties die een voorrangspositie bekleden. Deze voorkeursbehandeling is ingevoerd om bepaalde prioriteiten in het regeringsbeleid te kunnen realiseren. Aan de volgende instanties worden voorkeursrechten verleend.

  - Vitale overheidstaken;
  - Publieke omroep; zowel de publieke zendgemachtigde op nationaal, als op regionaal als op lokaal niveau krijgen toestemming voor uitzending van programma's verleent krachtens de Mediawet.

- **Wie het eerst komt, wie het eerst maalt**

  In frequentiegebieden waar geen schaarste is, kunnen frequenties worden toegewezen in volgorde van ontvangst van de aanvragen. Daarentegen is degene die het eerste komt niet altijd degene die het meeste belang bij het etherbezit heeft.

- **Marktmechanisme**

  Dit instrument zal worden toegepast bij toewijzing van schaarse frequenties en zal leiden tot het verbinden van een economische waarde aan frequenties. Het uiteindelijk doel is te komen tot een effectieve verdeling en efficiënt gebruik van het spectrum [11].

- **Gedeeld gebruik**

  De mogelijkheden van frequentiedeling moeten meer worden gebruikt. Zowel in de zin van tijddeling als in de zin van ruimtedeling.

In tabel 2.1 zijn per gebruikerscategorie de mogelijke toewijzings instrumenten aangegeven.

Instrument / Categorie	Voorkeursrechten	Wie 't eerst komt wie 't eerst maalt	Markt-mechanisme	Gedeeld gebruik
Zakelijk gebruik		X	X	X
Vitale taken	X			
Omroep	X (publiek)		X (commercieel)	
Divers gebruik		X		X

Tabel 2.1: Toewijzings instrumenten per toepassingscategorie.

Uit tabel 2.1 blijkt dat binnen de hoofdcategorie 'zakelijk gebruik' en 'omroep' (commerciële omroeporganisaties) het marktmechanisme een rol kan gaan spelen. De mogelijke vormen van het marktmechanisme zijn:

- Veilen

  Belangstellende kunnen een bod doen op frequenties. Toewijzing van frequenties is afhankelijk van de van te voren gemaakte afspraken over het bieden[11].

- Openbare aanbesteding

  Gegadigden worden opgeroepen offertes in te dienen voor de exploitatie van frequenties waarna het beste plan wordt gehonoreerd; zogenaamde 'beauty-contest' al dan niet tegen een bepaalde prijs.

- Verhandelbaarheid

  Dit is de mogelijkheid om verkregen frequentierechten te verhandelen (aan anderen over te dragen).

- Schaarsteheffing

  Hierbij wordt voor het gebruik van frequenties een bepaalde 'huur' gevraagd. De hoogte van de huur wordt bepaald door de schaarste van desbetreffende frequenties.

[11] Er zijn verschillende typen veiling, zoals bijvoorbeeld Hollandse veiling, Engelse veiling, gesloten veiling en open veiling. Onderscheid tussen deze typen veilingen wordt gemaakt door de wijze waarop de prijs van het te veilen product wordt vastgesteld (denk hierbij bijvoorbeeld aan opbod of afslag) [11].

Waarom wordt het marktmechanisme niet toegepast bij de categorieën 'omroep' (publiek) en 'vitale overheidstaken'? Op grond van maatschappelijke, sociale en culturele redenen is besloten frequenties aan deze categorieën toe te wijzen op basis van voorkeursrecht. Het bij voorrang toekennen van ether kan een zekere luiheid in de hand werken. Waarom zou iemand zuinig zijn met de toegewezen ether, wanneer de toewijzing bij voorbaat verzekerd is?

Echter, toepassing van het marktmechanisme bij de categorieën 'omroep' (publiek) en 'vitale overheidstaken' zou leiden tot het 'rondpompen van overheidsgeld' tussen publieke instanties. Het gaat erom dat deze twee categorieën passende prikkels toegediend krijgen om zuinig met hun frequenties om te gaan. Kritische beschouwing en zo nodig ter discussie stelling van de toegewezen ether is daartoe noodzakelijk. Voor de minister van Verkeer en Waterstaat is een etherefficiëntie-meter een instrument waarvan de uitkomsten gebruikt kunnen worden om het ethergebruik te observeren, bekritiseren en te wijzigen.

Hoofdstuk 3
Theoretisch model voor de bepaling van de etherefficiëntie

De etherefficiëntie van een radio-communicatiesysteem geeft aan in welke mate de ether efficiënt gebruikt wordt. Is de etherefficiëntie van een systeem bekend, dan kan de minister van Verkeer en Waterstaat dit gebruiken voor de beoordeling van het ethergebruik. In dit hoofdstuk wordt de eerste stap in de ontwikkeling van een etherefficiëntie-meter, het opzetten van een theoretisch model voor de etherefficiëntie, beschreven. Omdat het mogelijk moet zijn *alle* aardse radiocommunicatie toepassingen met dit model te beoordelen, dient het zo eenvoudig en eenduidig mogelijk te zijn.

3.1 Etherefficiëntie

Het begrip etherefficiëntie wordt in deze paragraaf gedefinieerd. Bij het operationeel zijn van een radio-communicatiesysteem wordt een deel van de ether verbruikt. Dat deel van de ether wat aan andere (potentiële) ethergebruikers ontzegd moet worden, door het operationeel zijn van een radio-communicatiesysteem, is het etherverbruik (EV). Het etherverbruik van een radio-communicatiesysteem, dat in dit onderzoek gehanteerd wordt, is gerelateerd aan de door de International Telecommunication Union (ITU) gehanteerde definitie van etherverbruik [12].

Etherverbruik (EV) (ITU: spectrum utilisation factor) betreft het totaal aan hulpbronnen die door het operationeel zijn van een radio-communicatiesysteem aan andere gebruikers ontzegd worden.

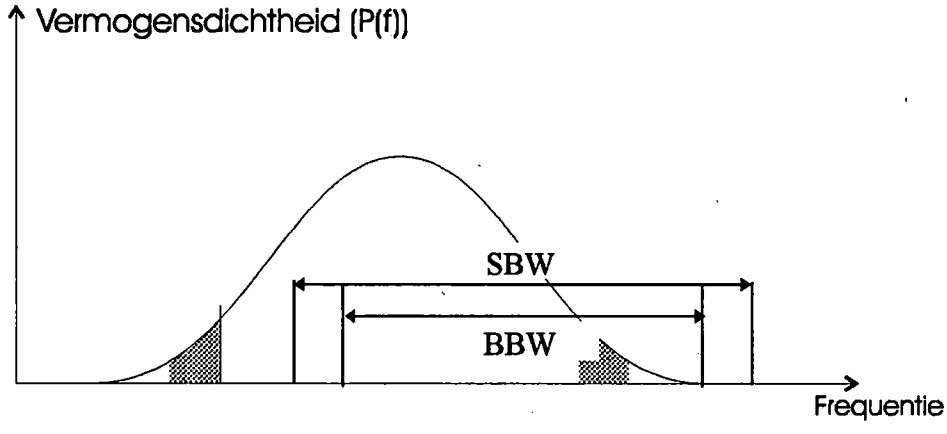
De hulpbronnen die nodig zijn om radiocommunicatie te bewerkstelligen zijn bandbreedte, gebied en tijd. In het volgende worden deze begrippen toegespitst op storing van derden en noodzakelijke bezetting ter eigen behoeve. Eventueel worden deze begrippen nader toegelicht.

Stoorbandbreedte (SBW) = de bandbreedte [Hz] waarbinnen de vermogensdichtheid [W /Hz] van het ontvangen radiosignaal het vastgestelde net acceptabele stoorniveau overschrijdt [1].

Wordt de stoorbandbreedte dicht bij een zender gemeten, dan zal deze door ongewenste secundaire (spurious) emissie vaak groter zijn dan de *bezette bandbreedte.* De bezette bandbreedte is gedefinieerd als:

Bezette bandbreedte (BBW) = de bandbreedte [Hz] waarbinnen 99 % van het uitgezonden vermogen valt (vermogensbandbreedte)[1].

Op enige afstand van de zender en aan de rand van het stoorgebied, zal de stoorbandbreedte in het algemeen gelijk zijn aan de bezette bandbreedte. Figuur 3.1 geeft een mogelijk onderscheid aan tussen de stoorbandbreedte en bezette bandbreedte.

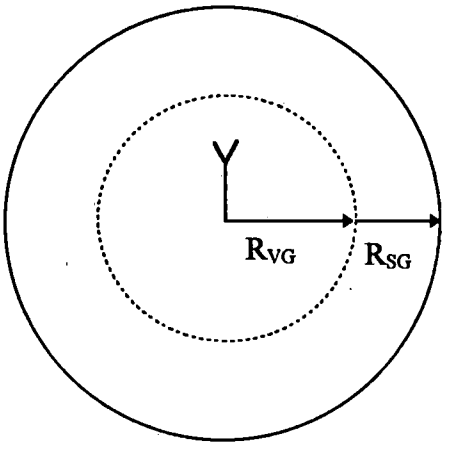


Figuur 3.1: Bezette bandbreedte (BBW) en stoorbandbreedte (SBW).

Stoorgebied (SG) = het gebied [m^2] waarbinnen de veldsterkte [V / m] van het ontvangen radiosignaal het vastgestelde net acceptabele stoorniveau overschrijdt [1][12].

Het stoorgebied is in het algemeen groter dan het verzorgingsgebied dat een gebruiker wenst af te dekken. Dit verzorgingsgebied wordt als volgt gedefinieerd:

Verzorgingsgebied (VG) = het gebied [m^2] dat de gebruiker wenst af te dekken zodat daar de veldsterkte [V / m] het bepaalde net acceptabele stoorniveau overschrijdt [1].



R_{VG}: straal van het verzorgingsgebied

R_{SG} : straal van het stoorgebied

Figuur 3.2: Mogelijk onderscheid tussen stoorgebied en verzorgingsgebied.

Voor satelliet- en luchtvaartverbindingen geldt strikt genomen dat uitgegaan moet worden van een drie-dimensionaal stoorgebied. Vanwege de eenvoud van het te ontwikkelen etherefficiëntie model worden in dit onderzoek worden alleen aardse radioverbindingen beschouwd. Hierdoor wordt zowel het stoorgebied als het verzorgingsgebied als een twee-dimensionaal oppervlak bekeken.

Stoortijd (ST) = de tijdsduur [s] waarin de veldsterkte [V / m] van het ontvangen radiosignaal het vastgestelde net acceptabele stoorniveau overschrijdt, binnen het stoorgebied.

Zendtijd (ZT) = de tijdsduur [s] waarin een gebruiker signaalvermogen uitzendt.

[12]De ontvangstmogelijkheden van een radio-communicatiesysteem zijn afhankelijk van de ontvanger. Filtertechnieken en nieuwe ontvangertechnieken zoals inteference cancellation (zoals toegepast in een dual signal receiver [21]) kunnen het stoorgebied beïnvloeden (verkleinen).

In de praktijk zal het verschil tussen stoortijd en zendtijd in de meeste gevallen marginaal zijn, omdat verschil tussen deze twee tijden als gevolg van meerwegpropagatie[13] slechts een zeer klein tijdsverschil veroorzaakt (in de orde van microseconden).

De hulpbronnen van de ether, te weten frequentie, gebied en tijd, zijn gedefinieerd en toegespitst op storing van derden. Het etherverbruik is het product van stoorbandbreedte en stoorgebied en stoortijd.

*Etherverbruik = Stoorbandbreedte * Stoorgebied * Stoortijd*

In formulevorm:

$$EV = SBW * SG * ST \tag{3.1}$$

De in dit onderzoek gehanteerde definitie van etherverbruik is *niet* gebaseerd op het totaal aantal gebruikte hulpbronnen nodig om de doelstelling van een radio-communicatiesysteem te realiseren (ethergebruik), maar juist op de ontzegging van de hulpbronnen aan andere (potentiële) ethergebruiker. Vanwege propagatie-eigenschappen van de elektromagnetische golven en de bundelbreedte van de antennes bestrijken radiosignalen een ruimer gebied dan voor het realiseren van radiocommunicatie vereist is. Daarom wordt voor beoordeling van de etherefficiëntie het begrip ethergebruik uitgebreid naar het begrip etherverbruik.

De hulpbronnen (stoorbandbreedte, stoorgebied en stoortijd) toegewezen aan een ethergebruiker en ontzegt aan andere ethergebruikers zijn gedefinieerd. Om het begrip etherefficiëntie te definiëren, moet vastgesteld worden in welke mate het etherverbruik nuttig is.

<u>Etherefficiëntie</u> (E_E) is de mate waarin het etherverbruik nuttig is en waarvan het objectieve nut bepaald wordt door de overdracht van gegevens [1].

<u>Gegevens</u> (G) zijn overeengekomen weergaven van feiten, begrippen of zintuigelijke waarnemingen [13][14].

[13] Het uitgezonden radiosignaal kan de ontvanger via meerdere wegen bereiken, vanwege het dispersieve radiokanaal (met name in de bebouwde kom) [13].

[14] Duidelijk is dat het begrip gegevens niet gelijk is aan het begrip informatie. Want informatie is de betekenis die wordt gehecht of ontleend aan gegevens op basis van afspraken met betrekking tot die gegevens [13].

Voor gegevens in digitale vorm wordt de hoeveelheid uitgedrukt in bit. Voor analoge gegevens wordt het product van bandbreedte en tijd van het bronsignaal als maat voor de gegevensstroom genomen.

Gegevensoverdracht wordt hier gedefinieerd als:

*Gegegevensoverdracht (GO) = Gegevens (G) * Afstand (D)*

In formulevorm:

$$GO = G * D \tag{3.2}$$

Volgens de ITU definitie wordt etherefficiëntie gedefinieerd als [12]:

$$Etherefficiëntie\ (E_E) = \frac{Gegevens * Afstand}{Stoorbandbreedte * Stoorgebied * Stoortijd}$$

In formulevorm:

$$E_E = \frac{G * D}{SBW * SG * ST} \tag{3.3}$$

Deze definitie voor etherefficiëntie is niet zonder meer geschikt voor toepassing in de praktijk. Niet alle vereiste gegevens voor deze formule zijn in de praktijk immers beschikbaar. Daarnaast is de spectrumbeheerder ook niet altijd geïnteresseerd in alle aspecten van de volledige definitie, maar slechts in een aantal hiervan. Om twee genoemde redenen wordt het begrip etherefficiëntie zoals omschreven in formule 3.3 onderverdeeld in afzonderlijke aspecten. Bij de beantwoording van de vraag of er sprake is van etherefficiëntie, kunnen vier aspecten worden onderscheiden:

1. **Het allocatieve aspect.**
   Bij de allocatie-efficiëntie staat het daadwerkelijke etherverbruik centraal.
2. **Het transmissietechnische aspect.**
   In hoeverre wordt de *bezette bandbreedte* in een transmissiesysteem efficiënt gebruikt door toepassing van efficiëntie transmissietechnieken?

3. **Het netwerkaspect.**

   Hoeveel gegevens kunnen met een gegeven netwerkcapaciteit worden verwerkt? Netwerkplanning en dynamische kanaaltoewijzing spelen hierbij een rol.

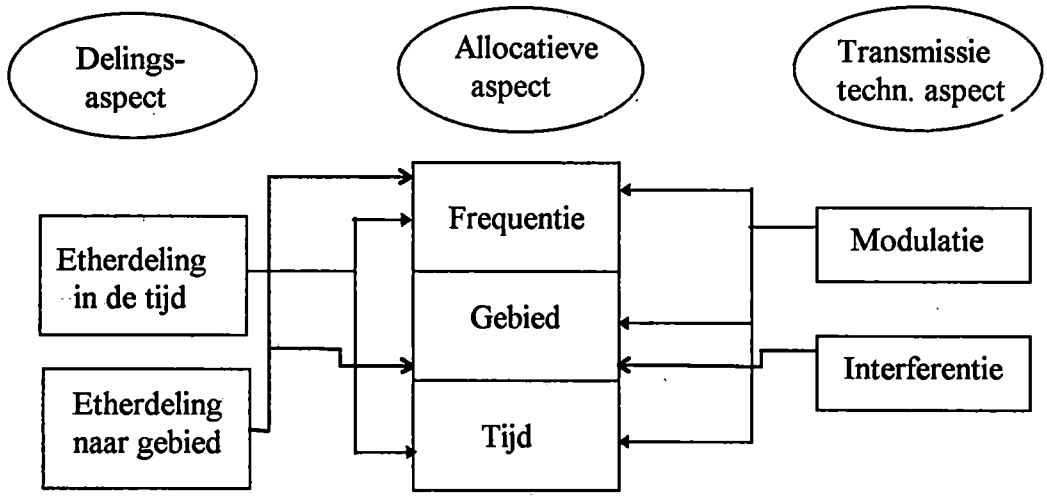
4. **Het delingsaspect.**

   De integrale inzet van de hulpbronnen bandbreedte, tijd en gebied wordt beoordeeld.

Bij de bepaling van het netwerkaspect dient behalve de ether óók de door de netwerkbeheerder gewenste kwaliteitseis in het oog gehouden worden. In dit onderzoek wordt de door de gebruiker gewenste kwaliteit buiten beschouwing gelaten. Alleen een zo zuinig mogelijk gebruik van de ether, het beheerders oogpunt, wordt nagestreefd. Vanwege deze randvoorwaarde wordt het netwerkaspect in de ontwikkeling van de etherefficiëntie niet meegenomen.

Beoordeling van de etherefficiëntie op basis van het netwerkaspect en daarmee samenhangend bijvoorbeeld compressietechnieken, clustergrootte van cellulaire netten en toegangstechnieken moet echter niet verwaarloosd worden. Efficiënter ethergebruik kan mede worden gerealiseerd door beoordeling en bekritisering van het netwerk aspect.

In figuur 3.3 zijn in het midden de hulpbronnen frequentie, tijd en gebied gegeven. Deze kunnen beïnvloed worden door de parameters van het transmissietechnische aspect (rechts) en door de parameters van het delingsaspect (links). Wijziging van deze parameters kan aanleiding geven tot meer of minder daadwerkelijke bezetting van de hulpbronnen (allocatieve aspect).



Figuur 3.3 : Mogelijke interactie tussen de aspecten van de etherefficiëntie.

3.2 Het allocatieve aspect

Het allocatieve aspect is het eerste van de drie hier te behandelen aspecten van de etherefficiëntie. Bij het allocatieve aspect staat het daadwerkelijke etherverbruik (DEV) centraal. Het daadwerkelijk etherverbruik wordt in dit onderzoek gedefinieerd als:

Daadwerkelijk etherverbruik (DEV) is de in de praktijk vastgestelde bezetting van de door de gebruiker benutte hulpbronnen.

In formulevorm:

$$DEV = DSBW * DSG * DST \ [Hz * m^2 * s] \qquad (3.4)$$

DSBW = daadwerkelijke stoorbandbreedte [Hz]

DSG = daadwerkelijk stoorgebied [m^2]

DST = daadwerkelijke stoortijd [s]

Toegewezen etherverbruik (TEV) betreft het totaal van de aan een gebruiker toegewezen hulpbronnen, dat aan een andere (potentiële) ethergebruikers ontzegd wordt.

In formulevorm:

$$TEV = TSBW * TSG * TST \ [Hz * m * s] \qquad (3.5)$$

TSBW = toegewezen stoorbandbreedte [Hz]

TSG = toegewezen stoorgebied [m^2]

TST = toegewezen stoortijd [s]

De verhouding tussen het daadwerkelijke etherverbruik[15] en het toegewezen etherverbruik geeft aan in welke mate de toegewezen ether in de praktijk wordt benut. De allocatie-efficiëntie is gedefinieerd;

Allocatie-efficiëntie (E_A) is de verhouding tussen het daadwerkelijke plus geplande etherverbruik en het aan de gebruiker toegewezen etherverbruik.

$$\text{Allocatie-efficiëntie } (E_A) = \frac{\text{etherverbruik (daadwerkelijk + gepland)}}{\text{toegewezen etherverbruik}}$$

[15] Radiocommunicatie systemen die slechts gedurende een korte periode worden gebruikt kunnen moelijk beoordeeld worden op het alloctieve aspect, omdat het etherverbruik geregistreerd moet worden op het moment van gebruik.

In formulevorm:

$$E_A = \frac{DEV + PDEV}{TEV} \tag{3.6}$$

PDEV is het extra geplande etherverbruik dat de gebruiker in de nabije toekomst daadwerkelijk wil gaan benutten (bijvoorbeeld als onderdeel van een goedgekeurde machtigingsuitgifte).

In het verleden zijn grote etherdelen toegewezen (bulktoewijzingen) aan één ethergebruiker (met name aan ethergebruikers uit de categorie vitale overheidstaken). Omdat hierop weinig of geen gebruikerscontrole heeft plaats gevonden is de verwachting dat de allocatie-efficiëntie laag zal zijn. Door toewijzing van de onbenutte etherdelen aan andere ethergebruikers kan de ether allocatief gezien efficiënter benut worden.

3.2.1 De elementen van het allocatieve aspect

Het etherverbruik bestaat (zoals gedefinieerd in paragraaf 3.1) uit het verbruik van de hulpbronnen bandbreedte, gebied en tijd. Deze drie hulpbronnen worden afzonderlijk beoordeeld. Dit leidt tot de volgende efficiënties;

- bandbreedte-efficiëntie (E_{SBW})
- bedekkingsefficiëntie (E_{SG})
- bezettingsefficiëntie (E_{ST})

Hierbij zijn E_{SBW}, E_{SG} en E_{ST} de behaalde efficiëntie-resultaten van de hulpbronnen bandbreedte, gebied en tijd.

De bandbreedte-efficiëntie

Bandbreedte-efficiëntie is de eerste efficiëntie van de drie deelaspecten die het allocatieve aspect bepalen.

Bandbreedte-efficiëntie (E_{SBW}) is de verhouding tussen de daadwerkelijk in gebruik genomen plus geplande stoorbandbreedte en de aan de gebruiker toegewezen stoorbandbreedte.

$$\text{Bandbreedte-efficiëntie} = \frac{\text{stoorbandbreedte (daadwerkelijk + gepland)}}{\text{toegewezen stoorbandbreedte}}$$

In formulevorm:

$$E_{SBW} = \frac{DSBW + PSBW}{TSBW} \tag{3.7}$$

PSBW is de extra geplande stoorbandbreedte die de gebruiker in de nabije toekomst daadwerkelijk wil gaan benutten [Hz].

De bedekkingsefficiëntie

De tweede efficiëntie van het allocatieve aspect is de bedekkingsefficiëntie.

De bedekkingsefficiëntie E_{SG} is de verhouding tussen het daadwerkelijk in gebruik genomen plus het geplande stoorgebied, en het aan de gebruiker toegewezen stoorgebied.

$$\text{Bedekkingsefficiëntie} = \frac{\text{stoorgebied (daadwerkelijk + gepland)}}{\text{toegewezen stoorgebied}}$$

In formulevorm:

$$E_{SG} = \frac{DSG + PSG}{TSG} \tag{3.8}$$

PSG is het extra geplande stoorgebied dat de gebruiker in de nabije toekomst daadwerkelijk wil gaan benutten [m^2].

De bezettingsefficiëntie

Het derde aspect van het allocatieve aspect is de stoortijd. Deze is gedefinieerd als:

Bezettingsefficiëntie (E_{ST}) is de verhouding tussen de daadwerkelijk in gebruik genomen plus geplande stoortijd en de aan de gebruiker toegewezen stoortijd.

$$\text{Bezettingsefficiëntie} = \frac{\text{stoortijd (daadwerkelijk + gepland)}}{\text{toegewezen stoortijd}}$$

In formulevorm:

$$E_{ST} = \frac{DST + PST}{TST} \tag{3.9}$$

PST is de extra geplande stoortijd die de gebruiker in de nabije toekomst daadwerkelijk wil gaan benutten [s].

3.3 Het transmissietechnische aspect

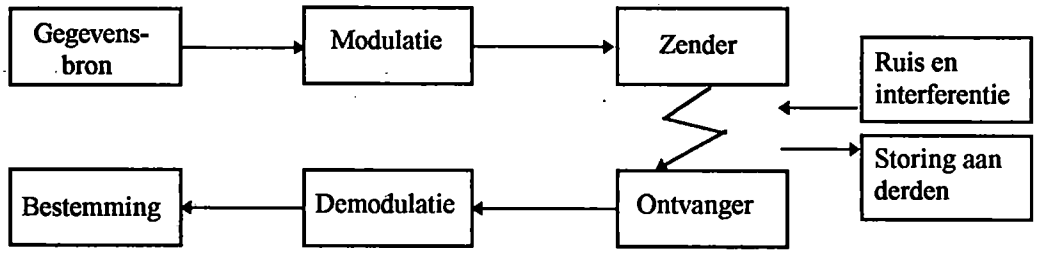
Naast beoordeling van het etherverbruik (hulpbronnen) kan de etherefficiëntie worden beoordeeld op de gebruikte transmissietechnieken. Technieken die de transportcapaciteit (per tijdseenheid) van een transmissiesysteem maximaliseren, bij gegeven stoorbandbreedte en stoortijd, vergroten de transmissie-efficiëntie. Daar de gebruikte stoorbandbreedte en stoortijd direct met elkaar samenhangen (een grotere bandbreedte vereist een kortere stoortijd voor dezelfde hoeveelheid gegevens) wordt de transmissie-efficiëntie als volgt gedefinieerd:

Transmissie-efficiëntie (E_{TX}) is de verhouding tussen de transportcapaciteit en de daadwerkelijke stoorbandbreedte van een radio-communicatiesysteem [1].

In formulevorm:

$$E_{TX} = \frac{transportcapaciteit}{daadwerkelijk\ gebruikte\ stoorbandbreedte} \quad \left[\frac{bits}{Hz * sec}\right] \tag{3.10}$$

Transportcapaciteit is de hoeveelheid gegevens die per seconde verzonden kunnen worden. De eenheid van transportcapaciteit is [bit/s] voor digitale gegevens en [Hz] (bronbandbreedte) voor analoge gegevens. Het communicatiemodel van figuur 3.4 geeft aan op welke wijze de gegevens van bron naar bestemming worden getransporteerd.



Figuur 3.4 : Het communicatiemodel

De zender heeft tot doel om de gegevens uit de gegevensbron geschikt te maken voor transport door het transmissiekanaal. De ontvanger tracht de in het kanaal opgetreden verstoring te herstellen en zet vervolgens de gegevens om in een voor de bestemming geschikte vorm.

3.3.1 Modulatie-efficiëntie

Modulatie is het proces waarbij in de regel een (bron)signaal omgezet wordt naar een hoogfrequent transmissiesignaal. Iedere modulatietechniek van bron- naar transmissiesignaal vereist een bepaalde transmissie bandbreedte en een bepaald zendvermogen om een vastgestelde kwaliteit te behalen. Modulatie wordt, in dit onderzoek, beoordeeld op de bezette bandbreedte en het zendvermogen.

Voor de beoordeling van de modulatie op de bezette bandbreedte wordt onderscheid gemaakt worden tussen analoge en digitale modulatie.

Analoge modulatie is het proces waarbij broninformatie in de vorm van een analoog signaal wordt toegevoegd aan een draaggolf f_c met behulp van amplitude-, fase- of frequentiemodulatie (AM, PM of FM), of een combinatie hiervan.

De efficiëntieberekening van analoge modulatie is gebaseerd op de verhouding tussen de bronbandbreedte (B_B) en de transmissiebandbreedte (B_T) van een radio-communicatiesysteem.

Bronbandbreedte is de bandbreedte van het bronsignaal; het verschil tussen de hoogste en de laagste waarde van de bronfrequenties.

Transmissiebandbreedte is de bezette bandbreedte (BBW) van een transmissiesignaal na modulatie; de bandbreedte waarbinnen 99 % van het uitgezonden vermogen valt.

$$\text{Analoge modulatie-efficiëntie} = \frac{\text{Bronbandbreedte}}{\text{Transmissiebandbreedte}}$$

In formulevorm:

$$E_{MOD,ANAL} = \frac{B_B}{B_T} \tag{3.11}$$

Het tweede type modulatie is de digitale modulatie, gedefinieerd als:

Digitale modulatie is het proces dat een digitaal bronsignaal toevoegt aan een draaggolf f_c door middel van AM, PM en FM technieken, of een combinatie hiervan.

Bij de efficiëntieberekening van de digitale modulatietechniek staat de hoeveelheid over te zenden gegevens centraal. De bitrate (R) wordt gerelateerd aan de transmissiebandbreedte (B_T) die voor de overdracht in gebruik is.

$$\text{Digitale modulatie-efficiëntie} = \frac{\text{Bitrate}}{\text{Transmissiebandbreedte}}$$

In formulevorm:

$$E_{MOD,\,DIG} = \frac{R}{B_T}\ [(bits/sec)/Hz] \tag{3.12}$$

Afhankelijk van toegepaste modulatie (respectievelijk analoog of digitaal) is de modulatie-efficiëntie is gelijk aan $E_{MOD,\,ANAL}$ of aan $E_{MOD,\,DIG}$.

Naast beoordeling van modulatie op bezette bandbreedte is ook het zendvermogen van het radiosignaal een mogelijke maatstaf. Modulatie van bronsignaal naar transmissiesignaal kan gerealiseerd worden door diverse modulatietechnieken. Digitale modulatietechnieken verschillen onderling in amplitude, frequentie en fase van het transmissiesignaal [14].
De ideale signaal ruisverhouding per bit (E_b/N_0) voor het realiseren van een bepaalde bitfoutenkans (BER), bij toepassing van een bepaalde modulatietechniek wordt gebruikt als maat voor beoordeling van het zendvermogen (vermogen is energie per tijdseenheid). De waarde van E_b/N_o is afhankelijk van de gewenste bitfoutenkans en toegepaste modulatietechniek. In tabel 3.1 is de kans op fouten voor verschillende modulatietechnieken gegeven.

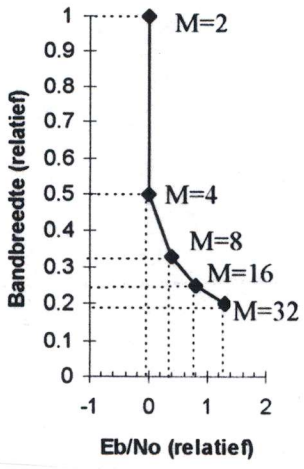
Modulatie techniek	Bitfoutenkans (BER)	
OOK	$Q[(\frac{E_b}{N_o})^{\frac{1}{2}}]$	(3.13)
BPSK	$Q[(2\frac{E_b}{N_o})^{\frac{1}{2}}]$	(3.14)
QPSK	$Q[(2\frac{E_b}{N_o})^{\frac{1}{2}}]$	(3.15)
MPSK	$\frac{2Q}{M}\left(\left(\frac{2E_b(\log_2 M)}{N_o}\right)^{\frac{1}{2}} \sin\frac{\pi}{M}\right)$	(3.16)
FSK	$Q[(\frac{E_b}{N_o})^{\frac{1}{2}}]$	(3.17)
MFSK	$\frac{(M-1)}{M} * Q\left(\frac{E_B * (\log_2 M)}{N_0}\right)^{\frac{1}{2}}$	(3.18)
MSK	$Q[(2\frac{E_b}{N_o})^{\frac{1}{2}}]$	(3.19)
MQAM	$\frac{2(1-M^{\frac{-1}{2}})}{\log_2 M} Q\left[\left(\left(\frac{3\log_2\sqrt{M}}{(\log_2 M)^2-1}\right)\frac{2*E_b}{N_0}\right)^{\frac{1}{2}}\right]$	(3.20)

E_b/N_o = Signaal ruis verhouding per bit

M = Aantal transmissie-symbolen

Tabel 3.1: Bitfoutenkans voor verschillende modulatietechnieken [15, 23]

Het zendvermogen van een radiosignaal is gerelateerd aan het stoorgebied; neemt het zendvermogen toe, dan neemt ook het stoorgebied toe. In figuur 3.5 is de bezette bandbreedte voor fase modulatie (MPSK) uiteengezet tegen de ideale signaal ruis verhouding per bit.



Figuur 3.5 Relatie tussen de ideale signaal ruisverhouding per bit (E_b/N_0) en bezette bandbreedte voor MPSK met BER is 10^{-5} [15].

Een hogere orde modulatie van MPSK leidt tot een kleinere bezette bandbreedte, maar tot toename van het (E_B/N_0) en dus tot toename van het zendvermogen en het stoorgebied.
De efficiëntie beoordeling van de modulatietechnieken op het zendvermogen wordt niet in een getalwaarde uitgedrukt. Het verdient echter aanbeveling bij inefficiënt gebruik van stoorbandbreedte en/of stoorgebied mogelijke uitruil tussen de hulpbronnen, door toepassing van verschillende modulatietechnieken, te beschouwen.

3.3.2 Interferentie-efficiëntie

Uit de beschouwing van de algemene definitie van interferentie blijkt dat dit een complex begrip is.
Interferentie is de algemene term voor iedere vorm van ongewenste (stoor)signalen in een communicatiekanaal, waarbij deze signalen een dusdanige grootte hebben dat zij de kwaliteit van het kanaal kunnen verminderen tot een bepaald onacceptabel niveau [16].

Om het complexe begrip interferentie doorzichtiger te maken is een tweedeling gemaakt; interfererende signalen aan de ontvangkant en die veroorzaakt door de zender.

- **Interferentie aan de ontvangkant**

De gevoeligheid[16] voor interferentie van een ontvanger heeft invloed op de kwaliteit van het radiocommunicatie-signaal. Is interferentie dusdanig dat radiocommunicatie een onacceptabel niveau bereikt, dan is de verbinding niet meer beschikbaar zodat de transportcapaciteit afneemt. Aan de ontvangkant kunnen afhankelijk van het interfererende signaal twee typen interferentie worden onderscheiden.

- Eigen kanaal interferentie (co-channel interference):

  Twee verschillende radio-signalen zijn in hetzelfde kanaal aanwezig.

- Nabuurkanaal interferentie (adjacent channel interference):

  De ontvanger ontvangt ongewenst een radiosignaal op een naburig frequentiekanaal. Het signaalvermogen van het signaal op het nabuurkanaal wordt door de ontvanger niet volledig weg gefilterd.

[16] De gevoeligheid van een ontvanger kan o.a. beinvloed worden door toepassing bepaalde filtertechnieken en nieuwe ontvangertechnieken zoals interference cancelation [21].

Voorafgaand aan de intrede op de markt wordt ontvangapparatuur getest (typekeuring). Voor ieder type ontvanger is de minimaal vereiste waarde van de signaal-interferentie verhouding (C/I_{EIS}) waarbij de ontvanger naar vastgestelde kwaliteitseisen moet functioneren, vastgelegd. De ontvanger wordt goedgekeurd indien deze goed functioneert bij een signaal-interferentie verhouding gelijk of kleiner aan de vereiste signaal-interferentie verhouding (C/I_{EIS}). De bij de typekeuring kleinste gemeten waarde van de signaal-interferentie verhouding waarbij het apparaat volgens kwaliteitseisen functioneert, wordt gedefinieerd als de testwaarde van de signaal-interferentie verhouding (C/I_{TEST}).

De interferentie-efficiëntie aan de ontvangkant ($E_{INT,O}$) is gelijk aan de waarde van de vastgestelde signaal-interferentie verhouding (C/I_{EIS}), gedeeld door de waarde van de geteste signaal-interferentie verhouding (C/I_{TEST}).

In formulevorm:

$$E_{INT,O} = \frac{(C/I)_{EIS}}{(C/I)_{TEST}} \tag{3.21}$$

• **Interferentie veroorzaakt door de zendkant**

Verschillende vormen van interferentie kunnen voorkomen aan de zendkant. Een vorm van interferentie is " spurious emission".

"Spurious emission" de uitzending van signalen op andere frequenties dan in de gewenste bezette bandbreedte.

De interferentie die hierdoor elders veroorzaakt wordt is mede afhankelijk van de propagatie-eigenschappen van het tussenliggende transmissiekanaal.

Voorafgaand aan toelating tot de markt wordt de zenderapparatuur getest (typekeuring). Voor iedere zendcategorie is vastgesteld hoeveel spuriousvermogen de zender mag uitzenden; $(P_{SPUR})_{EIS}$. Testresultaten tonen aan of de zender voldoet aan de gestelde eis $(P_{SPUR})_{EIS}$. Indien meer spuriousvermogen uitgezonden wordt dan toegestaan, dan wordt de zender niet op de markt toegelaten. De maximale waargenomen waarde bij het testen van het uitgezonden spuriousvermogen wordt gedefinieerd als de testwaarde van het spuriousvermogen $(P_{SPUR})_{TEST}$.

De interferentie-efficiëntie aan de zendkant is gelijk aan de waarde van het vastgestelde spuriousvermogen $(P_{SPUR})_{EIS}$ gedeeld door de maximale waarde van het geteste spuriousvermogen $(P_{SPUR})_{TEST}$.
In formulevorm:

$$E_{INT,Z} = \frac{(P_{SPUR})_{EIS}}{(P_{SPUR})_{TEST}} \tag{3.22}$$

Aanpassing van typekeuring standaarden is een mogelijk gevolg van hoge waarden voor de interferentie-efficiëntie; zowel veroorzaakt door de zendkant als ondervonden aan de ontvangkant.

3.3.3 Kanaalcodering

Gegevens die over een radiocommunicatie kanaal verzonden worden, kunnen door invloeden van kanaalruis en interferentie gestoord worden en tot fouten in de gegevensoverdracht leiden. Door toevoeging van extra gegevens aan het signaal (codering) ontstaat de mogelijkheid om na ontvangst de aangetaste gegevens deels te reconstrueren (decodering). Door de toegevoegde redundantie neemt het totale signaal meer (stoor)bandbreedte in beslag. Hierdoor neemt de kans op fouten in de gewenste gegevens af, maar neemt de (stoor)bandbreedte toe.

- **Analoog systeem**

  Voor analoge signalen bestaat er geen directe vorm van codering. Door toevoeging van redundantie kunnen voor het analoge signaal (FM gemoduleerd) invloeden van kanaalruis onderdrukt worden.

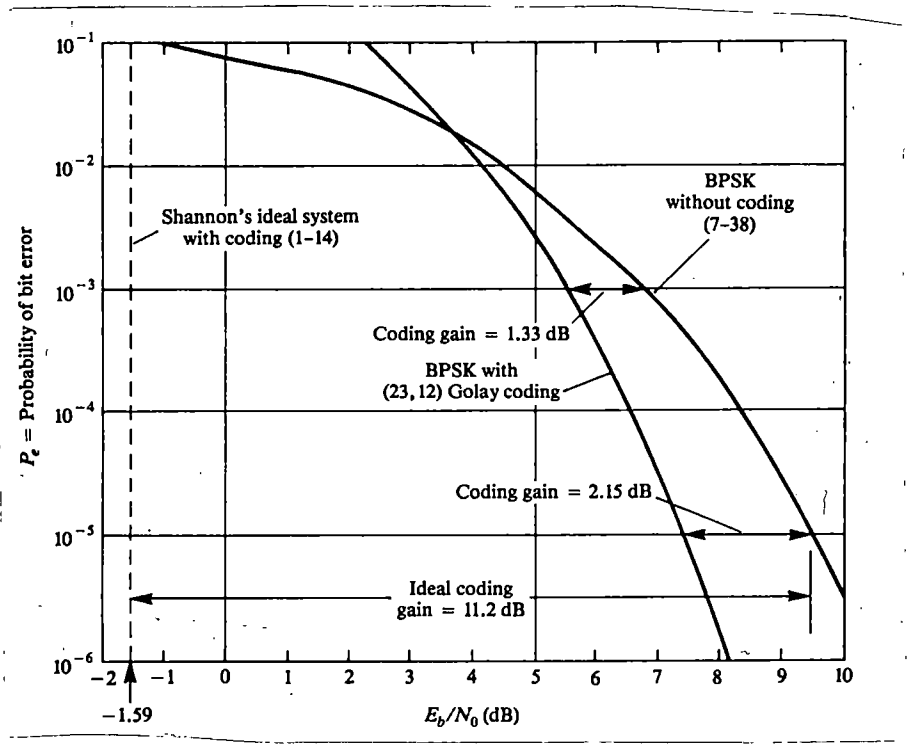
  Voor hoek gemoduleerde signalen (FM en PM) kan de signaalruis verhouding (SNR) aan de uitgang van een ontvanger verbeterd worden door toepassing van "pre-emphasis" en "de-emphasis". Pre-emphasis en de-emphasis is het relatief versterken voor transmissie en verzwakken na transmissie van de kwetsbare hoge frequenties in het bronsignaal.

  Voor het analoge systeem is zowel bij bandbreedte vergroting als bij toepassing van pre-emphasis sprake van een vergelijkbaar effect als bij codering van digitale signalen.

Bij de typekeuring wordt de signaal ruis verhouding (SNR), aan de ontvangeruitgang, als variabele meegenomen bij beoordeling van de signaal-interferentie verhouding. Omdat de SNR een *afhankelijke* parameter is in de interferentie-efficiëntie beoordeling wordt de efficiëntie van deze parameter niet afzonderlijk beoordeeld.

- **Digitaal systeem:**

Er zijn verschillende typen codering voor een digitaal systeem, zoals Viterbi en blok Reed-Solomon codering [17]. Optimale codering van een digitaal transmissiesysteem wordt bepaald door meerdere parameters: o.a. kanaalsoort, type storing (losse bits of groepsgewijs) gewenste bitfoutenkans (BER) en modulatietechniek. Vanwege onderlinge afhankelijkheid tussen deze coderingsparameters is optimale codering en daarmee samenhangend maximale coderingswinst niet eenduidig vast te stellen. Figuur 3.6 laat zien dat een specifieke modulatietechniek en bitfoutenkans aanleiding geven tot een bepaalde coderingswinst.



Figuur 3.6: Coderingswinst bij een bepaalde bitfoutenkans [17].

Omdat wijziging van één van de coderingsparameters invloed heeft op de overige parameters wordt de coderingsefficiëntie *niet* in een getalwaarde uitgedrukt.

De coderingsefficiëntie kan wel op een andere manier kwalitatief bepaald worden. Namelijk door aanbeveling tot wijziging van de coderingstechniek. Voor een aantal toepassingen, zoals GSM, is de theoretisch benodigde stoorbandbreedte voor een eindgebruiker bekend. Een bepaalde coderingstechniek kan meer of minder bandbreedte in beslag nemen dan theoretisch vastgesteld voor een aantal eindgebruikers. Heeft de gebruiker meer bandbreedte nodig voor een bepaald aantal eindgebruikers dan theoretisch is vastgesteld, dan is een coderingstechniek die minder redundantie veroorzaakt een mogelijke oplossing[17] (bij het voldoen aan de vastgestelde foutenkans).

Onderzoek naar andere transmissietechnieken die de transmissie efficientie kunnen beïnvloeden zijn buiten van dit onderzoek gelaten. Hierbij kan men denken aan nieuwe ontvangertechnieken, "antenne diversity" technieken en aan multiplex technieken. Vanwege de gewenste eenvoud en eenduidigheid van het theoretische model zijn deze technieken niet in het ontwerp van de etherefficiëntie opgenomen

3.4 Het delingsaspect

De ethergebruiker kan beoordeeld worden op etherverbruik, transmissietechnieken en tevens op het integrale gebruik van de hulpbronnen bandbreedte, gebied en tijd. Tot dusver is in het onderzoek alleen gekeken naar het gebruik van de afzonderlijke hulpbronnen. Het delingsaspect beoordeelt daarentegen de integrale inzet van de hulpbronnen. Deling van hulpbronnen is een belangrijke techniek die mogelijk de etherschaarste in de toekomst kan verminderen.

3.4.1 De planningsefficiëntie

Etherdeling is gebaseerd op technieken, waarbij communicatiesystemen gebruik maken van *dezelfde* frequenties (stoorbandbreedte), in een andere tijd of in een ander gebied.

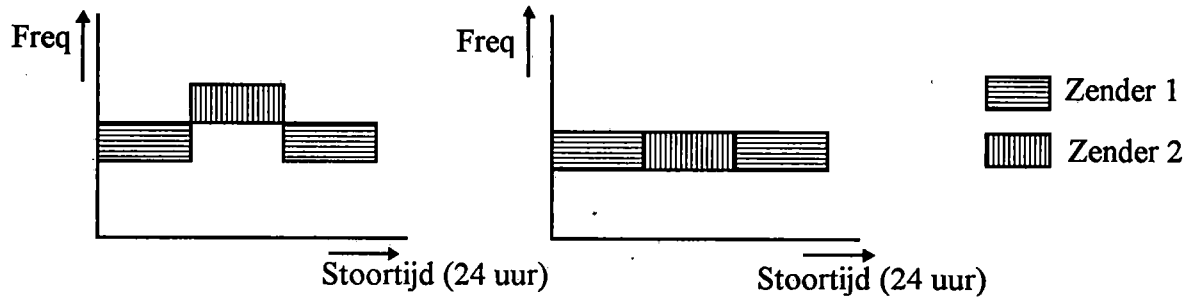
[17] In de praktijk geldt dat "real-time" systemen een bepaalde maximale vertraging mogen hebben. Codering kan aanleiding zijn tot efficiënter ethergebruik, maar veroorzaakt tevens een bepaalde tijdsvertraging.

De planningsefficiëntie (E_{PLAN}) geeft aan in welke mate één ethergebruiker efficiënt gebruik maakt van etherdeling voor de hulpbronnen bandbreedte, tijd en gebied.

Indien één van de twee parameters stoorgebied en stoortijd niet optimaal benut wordt, is er sprake van *inefficiëntie*. De planningsefficiëntie wordt zowel voor het stoorgebied ($E_{PLAN,SG}$) als voor de stoortijd ($E_{PLAN, ST}$) berekend.
Duidelijk moet in ogenschouw genomen worden dat de planningsefficiëntie tot doel heeft de mate van (in)efficiënt integraal etherverbruik van één ethergebruiker te constateren. Het resultaat van de planningsefficiëntie geeft een efficiëntie oordeel over het integrale gebruik van de hulpbronnen en biedt *geen* oplossing voor optimalisatie van de etherverdeling.

De planningsefficiëntie voor de stoortijd

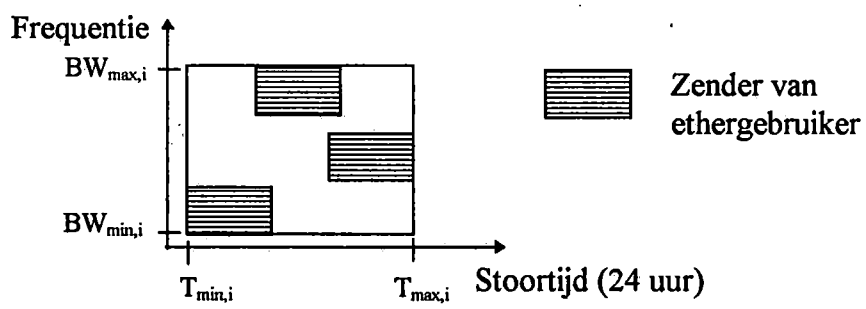
De planningsefficiëntie voor de stoortijd ($E_{PLAN, ST}$) geeft aan in hoeverre één ethergebruiker in verschillende stoortijden *dezelfde* frequenties gebruikt.
De stoortijden van zender 1 en 2 in figuur 3.7 overlappen niet. Zender 2 kan door gebruik te maken van dezelfde frequenties als zender 1, in de onbenutte stoortijd van zender 2, het aantal bezette frequenties verminderen.



Figuur 3.7: Etherdeling in de tijd.

Met behulp van figuur 3.8 wordt aangegeven hoe de planningsefficiëntie voor de stoortijd, in dit onderzoek, wordt bepaald. De gearceerde blokken representeren drie verschillende zenders met een bepaalde stoorbandbreedte- en stoortijdbezetting van één ethergebruiker. De grote rechthoek wordt bepaald door de daadwerkelijk in beslag genomen maximale en minimale frequentie (BW_{MAX} en BW_{MIN}) en het laatste en vroegste (stoor) stoortijd (T_{MAX}

en T_{MIN})[18] van één ethergebruiker. De planningsefficiëntie voor de stoortijd is de verhouding tussen de totale oppervlakte van de gearceerde blokjes en de oppervlakte van de grote rechthoek.



Figuur 3.8 : Berekening van de planningsefficiëntie voor de stoortijd.

In het niet gearceerde deel binnen de grote rechthoek moet etherdeling worden toegepast of dit deel moet ter beschikking komen voor andere (potentiële) ethergebruikers. Als de oppervlakte van de afzonderlijk gearceerde blokjes gelijk is aan de oppervlakte van de grote rechthoek is de planningsefficiëntie voor de stoortijd optimaal; frequenties en stoortijden worden volledig gedeeld.

In formulevorm is de planningsefficiëntie als volgt:

$$E_{PLAN,\ ST} = \frac{\sum_{i(zender)}^{N} (BW_{\max,i} - BW_{\min,i}) * (T_{\max,i} - T_{\min,i})}{(\max(BW_{\max,j}) - \min(BW_{\min,i})) * (\max(T_{\max,j}) - \min(T_{\min,j}))}$$

(3.23) N = het aantal zenders van één gebruiker.

In bijlage A is een voorbeeld uitgewerkt voor de berekening van de planningsefficiëntie voor de stoortijd.

Planningsefficiëntie voor het stoorgebied

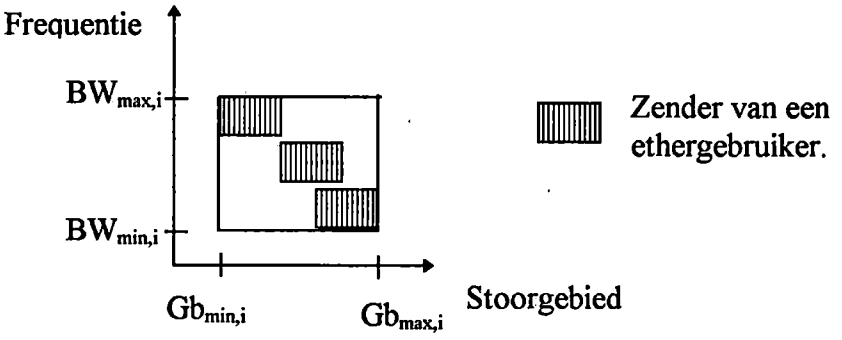
De planningsefficiëntie van het stoorgebied ($E_{PLAN,SG}$) geeft aan in hoeverre één ethergebruiker in verschillende stoorgebieden van *dezelfde* frequenties gebruik maakt.

Het resultaat van de planningsefficiëntie voor het stoorgebied is in de praktijk minder toepasbaar dan voor de stoortijd. De ethergebruiker heeft namelijk de mogelijkheid het

[18] De oppervlakte van de grote rechthoek is ongelijk aan de maximale en minimale waarden van de toegewezen stoorbandbreedte en het laagste en vroegste tijdstip van de toegewezen stoortijd. Zou dit wel het geval zijn dan wordt opnieuw het allocatieve aspect beoordeeld. Hier juist het integrale gebruik van de ether het uitgangspunt en niet het wel of niet daadwerkelijk in gebruik zijn van de toegewezen ether.

etherverbruik in de tijd te wijzigen door gebruik van andere apparatuur. Stoorgebieden zijn vaak noodzakelijk gebonden aan bepaalde geografische gebieden voor specifieke toepassingen. Wijziging van het stoorgebied ten behoeve van het planningsaspect kan daarom in sommige situaties onuitvoerbaar zijn.
Het stoorgebied van een radiosignaal is twee-dimensionaal (in dit onderzoek). Het is niet mogelijk om tweedimensionaal zowel de frequenties als het stoorgebied grafisch weer te geven. Om inzicht te verkrijgen in de werking van de planningsefficiëntie voor het stoorgebied wordt in de grafische weergave van figuur 3.9 het stoorgebied één-dimensionaal verondersteld. Een twee-dimensionaal stoorgebied zou weergegeven moeten worden in lengte (X-as) en breedte richting (Y-as) en op de (Z-as) de bandbreedte[19].

Met behulp van figuur 3.9 wordt aangegeven hoe de planningsefficiëntie voor het stoorgebied moet worden berekend. De gearceerde blokken representeren drie verschillende zenders met een bepaalde stoorbandbreedte- en stoorgebiedbezetting van één ethergebruiker. De grote rechthoek wordt bepaald door de daadwerkelijk in beslag genomen maximale en minimale frequentie (BW_{MAX} en BW_{MIN}) en het maximale en minimale daadwerkelijke stoorgebied (Gb_{MAX} en Gb_{MIN}) van één ethergebruiker. De planningsefficiëntie voor de stoorgebied is de verhouding tussen de totale oppervlakte van de gearceerde blokjes (voor een twee-dimensionaal stoorgebied kubussen)en de oppervlakte van de grote rechthoek (een kubus voor een twee-dimensionaal stoorgebied).



Figuur 3.9: Berèkening van de planningsefficiëntie voor het stoorgebied

Het witte deel van de grote rechthoek representeert dat etherdeel waar etherdeling toegepast zou moeten worden of dat beschikbaar moet komen voor andere (potentiële)

[19] Twee-dimensionaal bekeken moeten de lengt en breedte van Nederland op de x-as en y-as worden weergegeven. Denk hierbij bijvoorbeeld op de lengte-as 0 - 300 km en op de breedte-as 150 km.

ethergebruikers. Het in elkaar schuiven van de gearceerde blokken, zodat de grote rechthoek hier gelijk aan is, leidt tot optimale etherdeling in het stoorgebied.
In formulevorm is de planningsefficiëntie voor het stoorgebied;

$$E_{PLAN,SG} = \frac{\sum_{i=zender}^{N} (BW_{max,i} - BW_{min,i}) * (Gb_{max,i} - Gb_{min,i})}{(max(BW_{max,i}) - min(BW_{min,i})) * (max(Gb_{max,i}) - min(Gb_{min,i}))} \qquad (3.24)$$

N = het aantal zenders van één gebruiker.

In bijlage B is een voorbeeld uitgewerkt voor de berekening van de planningsefficiëntie voor het stoorgebied.

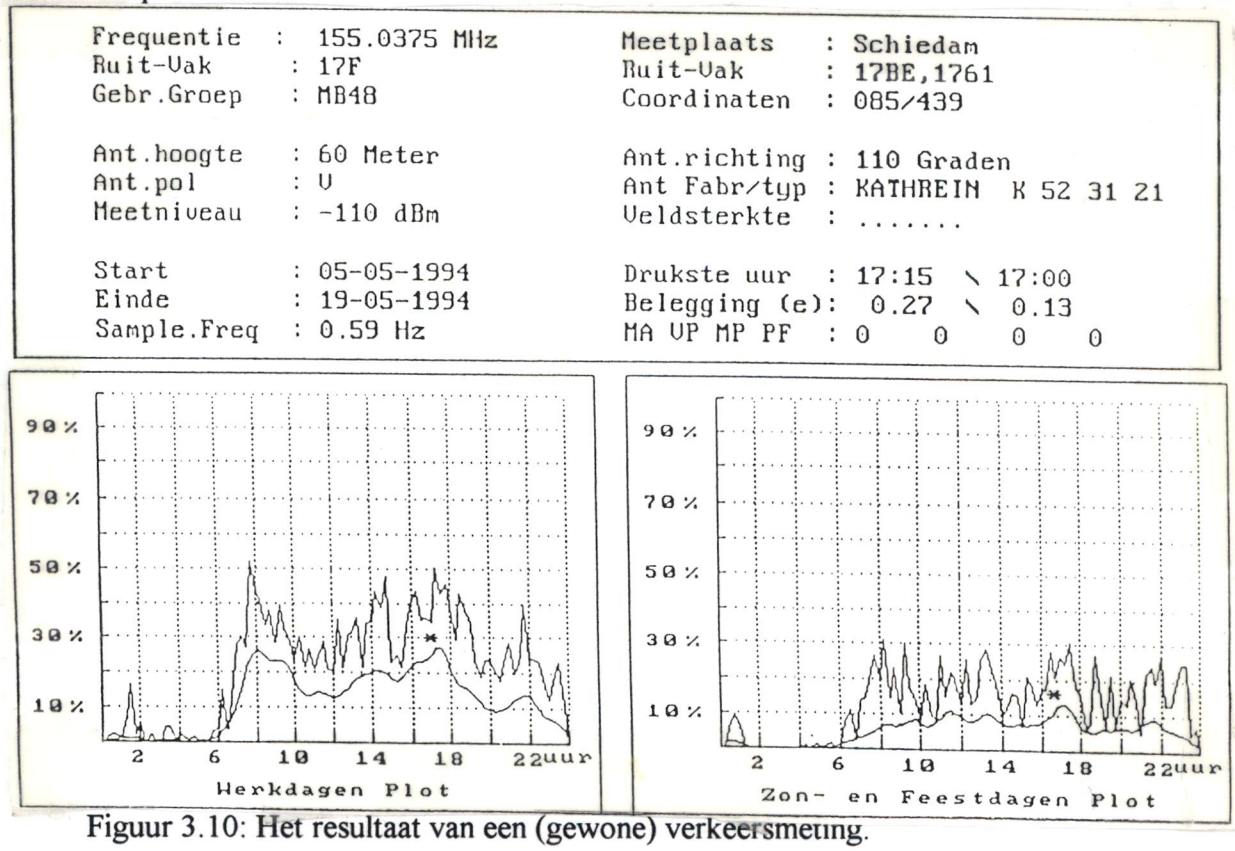
3.4.2 Nadeel vergroting van de planningsefficiëntie

Herverkaveling van de ether, door de spectrumbeheerder, zodat etherdeling optimaal gerealiseerd kan worden is een ingewikkeld proces. Voor het bereiken van een optimale etherverdeling is toepassing van de zogenaamde backtracking techniek [18] een mogelijkheid. Werkelijke herverkaveling en herziende etheruitgifte brengt zowel voor de ethergebruikers als voor de eindgebruikers van een radio-communicatiesysteem veranderingen met zich mee.
Omdat frequenties van veel gebruikte toepassingen naar andere frequenties geschoven kunnen worden, kan herverkaveling nadelige maatschappelijke gevolgen hebben. Een praktijkvoorbeeld speelde medio 1995. In die zomer is naar aanleiding van een gerechtelijke uitspraak de FM frequentie 100.7 MHz toegewezen aan Sky radio. Voorheen was op deze frequentie Radio Utrecht te ontvangen en op 100.1 MHz Radio 1. Met het toewijzen van 100.7 MHz aan Sky radio is radio Utrecht verschoven naar 100.1 MHz. Hierdoor is radio 1 in de omgeving van Utrecht niet meer ongestoord te ontvangen.
Naast dit maatschappelijke probleem moet rekening gehouden worden met de technische beperkingen van de radio-apparatuur. Radio-apparatuur is vaak ontwikkeld om in bepaalde frequentiebanden gebruikt te worden.
Als gevolg van een herziening van de ethertoewijzing komen etherdelen vrij en kunnen deze opnieuw toegewezen worden aan andere (potentiële) ethergebruikers. Het gewenste etherdeel van de nieuwe potentiële ethergebruikers kan ongelijk zijn aan het vrijgekomen

etherdeel. Hierdoor kan een voor radiocommunicatie bruikbaar etherdeel mogelijk niet uitgegeven worden, wat met name vanwege de etherschaarste niet gunstige is.
Omdat de toegewezen hulpbronnen na herverkaveling waarschijnlijk dichter bij elkaar liggen, neemt de kans op interferentie toe.

3.4.3 De trunkingefficiëntie

De in de vorige paragraaf beschreven planningsefficiëntie beoordeelt één ethergebruiker op het toepassen van etherdeling. In de praktijk wordt etherdeling in de tijd voor meerdere ethergebruikers toegepast in trunkingnetten. Trunking is het op automatische wijze uitgeven van een vrij radiokanaal uit een verzameling toegewezen frequentiekanalen. Soortgelijke gebruikersgroepen zoals taxi, brandweer en ambulance organiseren hun radioverkeer op basis van het trunking principe [19].
Een in de praktijk gerealiseerde kanaalbezetting is een maat voor de beoordeling van de trunkingefficiëntie. Verkeersmetingen (figuur 3.10) hebben o.a. als resultaat de bezetting van een frequentiekanaal.



Figuur 3.10: Het resultaat van een (gewone) verkeersmeting.

De gemiddelde bezettingsgraad over de meetperiode wordt weergegeven door de belegging (E). De belegging wordt zowel voor weekdagen als voor zon- en feestdagen bepaald. Het maximum van deze twee getallen is bezettingsgraad van het frequentiekanaal.

Op basis van de gerealiseerde bezetting wordt met behulp van een trunkingtabel het aantal benodigde frequentiekanalen bepaald. Het aantal benodigde kanalen is het aantal frequentiekanalen dat vereist is om een bepaalde verkeersbezetting te kunnen verwerken (bij een vastgestelde communicatie kwaliteit).

In tabel 3.2 is de trunkingtabel, zoals de RDR deze hanteert, weergegeven.

Erlang (E)	Benodigde frequentiekanalen(kan)	Gemiddelde belegging van de frequentiekanalen (E/kan)
[0,5 - 1	2	0,25 - 0,5 *
1,0 - 1,5	3	0,33 -0,5
1,5 - 2	4	0,37 - 0,5
2 - 3	5	0,4 - 0,6
3 - 4	6	0,5 - 0,66
4 - 5	7	0,57 - 0,71
5 - 6	8	0,62 - 0,75
6 - 7	9	0,66 - 0,77
7 - 8	10	0,7 - 0,8
> 8	Erlang x 10/8	0,8

* Terugval positie !

Tabel 3.2 : Tabel voor berekening van het aantal benodigde frequentiekanalen [20].

Zowel de eerste als derde kolom van de trunkingtabel geven aanleiding tot een bepaald aantal benodigde frequentiekanalen (kolom twee). De eerste kolom is de sommatie van de bezettingsresultaten over alle frequentiekanalen. De derde kolom is de gemiddelde kanaalbezetting van de frequentiekanalen.

Indien het aantal toegewezen kanalen groter is dan het aantal benodigde kanalen wordt het trunkingnet inefficiënt gebruikt. De trunkingefficiëntie wordt in dit onderzoek gedefinieerd als de verhouding tussen het aantal benodigde frequentiekanalen en het aantal toegewezen frequentiekanalen.

$$Trunkingefficiëntie\ (E_{TRUNK}) = \frac{aantal\ benodigde\ frequentiekanalen}{aantal\ toegewezen\ frequentiekanalen} \qquad (3.25)$$

3.5 Interpretatie van het allocatieve aspect

Bij het allocatieve aspect zijn de hulpbronnen van de ether (bandbreedte, gebied en tijd) afzonderlijk beoordeeld. Met als resultaat: bandbreedte-efficiëntie, bedekkingsefficiëntie en bezettingsefficiëntie. Op twee manieren kunnen deze worden geïnterpreteerd: afzonderlijk en gezamenlijk met een weegfactor.

3.5.1 Afzonderlijke interpretatie van de allocatie efficiënties

- **Bandbreedte-efficiëntie**

In paragraaf 3.2.1 en formule 3.7 is de bandbreedte-efficiëntie gedefinieerd

$$Bandbreedte\text{-}efficiëntie = \frac{stoorbandbreedte\ (daadwerkelijk\ +\ gepland)}{toegewezen\ stoorbandbreedte}$$

Is de waarde van de bandbreedte-efficiëntie groter dan 1, dan is er sprake van een alarmsituatie. In deze situatie wordt illegaal gebruik gemaakt van de ether. Voor het bereiken van een optimale bandbreedte-efficiëntie moet de waarde van deze formule gelijk zijn aan 1. In dat geval is er sprake van een optimale benutting van de toegewezen stoorbandbreedte. Indien de bandbreedte-efficiëntie ongelijk is aan 1, zijn er twee mogelijkheden.

- *Bandbreedte-efficiëntie < 1*

  De door de spectrumbeheerder toegewezen stoorbandbreedte wordt niet volledig benut.

  - Bereikt de ethergebruiker voldoende eindgebruikers dan kan, na overleg met de RDR, de toegewezen stoorbandbreedte verkleind worden.

- Met de toegewezen en daadwerkelijke stoorbandbreedte kunnen meer eindgebruikers worden bediend. Meerdere gebruikers kunnen worden toegelaten op bijvoorbeeld een trunkingsysteem of een mobiel systeem.

o *Bandbreedte-efficiëntie > 1*

De ethergebruiker benut meer stoorbandbreedte dan waartoe zij geautoriseerd is. Omdat de ethergebruiker gebruik maakt van stoorbandbreedte die niet aan haar is toegewezen veroorzaakt dit waarschijnlijk storing[20] bij andere (potentiële) ethergebruikers (alarmsituatie),

- De ethergebruiker moet overeenstemming bereiken, met de RDR, over een grotere toe te wijzen stoorbandbreedte.
- De ethergebruiker moet in de toekomst minder eindgebruikers.

• **Bedekkingsefficiëntie**

In paragraaf 3.2.1 en formule 3.8 is de bedekkingsefficiëntie gedefinieerd:

$$Bedekkingsefficiëntie = \frac{stoorgebied\,(daadwerkelijk + gepland)}{toegewezen\ stoorgebied}$$

Is de waarde van de bedekkingsefficiëntie groter dan 1, dan is er sprake van een alarmsituatie. In deze situatie wordt illegaal gebruik gemaakt van de ether. Veel ethertoewijzingen zijn (nog) gebaseerd op toewijzing van het totaal beschikbare stoorgebied in Nederland. Op grotere schaal uitgifte van de frequenties voor deelgebieden (etherdeling) kan resulteren in een efficiënter etherverbruik.

Voor het behalen van een optimale bedekkingsefficiëntie moet de waarde van deze formule gelijk zijn aan 1. Indien de bedekkingsefficiëntie ongelijk is aan 1 zijn er twee mogelijke situaties.

[20] Wanneer de daadwerkelijke stoorbandbreedte kleiner is dan de toegewezen stoorbandbreedte zorgt de geplande stoorbandbandbreedte ervoor dat de efficiëntie groter is dan 1. In de praktijk is er dan geen sprake van storing.

- *Bedekkingsefficiëntie < 1*

  Het toegewezen stoorgebied wordt niet volledig benut door de ethergebruiker.

  - Wanneer de gebruiker voldoende eindgebruikers bereikt (geografisch bekeken), kan het toegewezen stoorgebied worden verkleind (in overleg met de RDR).
  - De ethergebruiker kan een groter gebied verzorgen (door bijvoorbeeld met meer vermogen te zenden), waardoor ook het stoorgebied toeneemt.

- *Bedekkingsefficiëntie >1*

  De ethergebruiker bezet een groter stoorgebied dan waartoe zij geautoriseerd is. Waarschijnlijk veroorzaakt dit storing[21] op andere (potentiële) ethergebruikers, omdat de ethergebruiker gebruik maakt van een stoorgebied waartoe zij niet geautoriseerd is (alarmsituatie).

  - In overleg met de RDR kan, indien noodzakelijk en mogelijk, het stoorgebied worden vergroot.
  - De ethergebruiker kan met andere technieken dezelfde communicatiedienst verzorgen maar zenden met een kleiner vermogen. Hierdoor neemt het stoorgebied afneemt. Nieuwe ontvangertechnieken die de gevoeligheid van de ontvanger beïnvloeden kunnen het stoorgebied van een radiosignaal verkleinen.

- **Bezettingsefficiëntie**

In paragraaf 3.2.1 en formule 3.9 is de bezettingsefficiëntie gedefinieerd:

$$Bezettingsefficiëntie = \frac{stoortijd\,(daadwerkelijk + gepland)}{toegewezen\ stoortijd}$$

Is de waarde van de bezettingsefficiëntie groter dan 1, dan is er sprake van een alarmsituatie. In deze situatie wordt illegaal gebruik gemaakt van de ether. Voor het bereiken van een optimale bezettingsefficiëntie moet de waarde van deze formule gelijk zijn aan 1. Indien de bezettingsefficiëntie ongelijk is aan 1 zijn er twee mogelijkheden.

[21] Wanneer het daadwerkellijke stoorgebied kleiner is dan het toegewezen stoorgebied zorgt het geplande stoorgebied ervoor dat de efficiëntie groter is dan 1. In de praktijk is er dan geen sprake van storing.

- *Bezettingsefficiëntie < 1*

  De ethergebruiker benut minder stoortijd dan waartoe zij gemachtigd is.

  - De gebruiker kan in overleg met de RDR een deel van de toegewezen stoortijd inleveren, zodat dit aan andere (potentiële) ethergebruikers kan worden toegewezen.
  - De gebruiker kan, in de tijd, langer gaan zenden.

- *Bezettingsefficiëntie >1*

  De maximale stoortijd die een ethergebruiker toegewezen kan krijgen is 24 uur. Een efficiëntie groter dan 1 zal in de praktijk niet vaak voorkomen, omdat in aan veel ethergebruikers de maximale stoortijd[22] toegewezen is.

  Is de bezettingsefficiëntie groter dan 1, alleen mogelijk wanneer etherdeling wordt toegepast, dan kan eventueel in overleg met de RDR een grotere stoortijd worden toegewezen.

3.5.2 Geïntegreerde interpretatie van de allocatie-efficiënties

Niet in alle omstandigheden zijn de hulpbronnen bandbreedte, gebied en tijd in gelijke mate beschikbaar. Denk hierbij aan twee lokale omroepen die in hetzelfde gebied op één frequentie willen zenden; de stoortijd is de beperkende factor. Inefficiënter gebruik van een schaarse hulpbron weegt zwaarder dan inefficiënt gebruik van een hulpbron die voldoen beschikbaar is. Het totale allocatieve aspect kan beoordeeld worden door de afzonderlijke efficiëntie resultaten te wegen en te sommeren.

Voor ieder onderdeel van het allocatieve aspect wordt een gewicht berekend; door vermenigvuldiging van de mate van efficiëntie (het verschil van het efficiëntie resultaat met 1) met een weegfactor. Per deelaspect dient onderscheid gemaakt te worden naar weegfactoren voor efficiëntie resultaten groter of kleiner dan 1. Omdat efficiëntie resultaten groter dan 1 (alarmsituatie) storing kunnen veroorzaken voor andere (potentiële) ethergebruikers moet deze weegfactor groter zijn dan de weegfactor waarvan de efficiëntie resultaten kleiner zijn dan 1.

[22] Wanneer de daadwerkelijke stoortijd kleiner is dan de toegewezen stoortijd zorgt de geplande stoortijd ervoor dat de efficiëntie groter is dan 1. In de praktijk is er dan geen sprake van storing.

Gewichtberekening van de afzonderlijke efficiënties in formulevorm:

Gewicht van de bandbreedte-efficiëntie:

$$\alpha_{BW} * (1 - E_{BW}) \quad ;E_{BW} < 1 \tag{3.26}$$

$$\alpha'_{BW} * (E_{BW} - 1) \quad ;E_{BW} > 1 \tag{3.27}$$

Gewicht van de bedekkingsefficiëntie:

$$\alpha_{SG} * (1 - E_{SG}) \quad ;E_{SG} < 1 \tag{3.28}$$

$$\alpha'_{SG} * (E_{SG} - 1) \quad ;E_{SG} > 1 \tag{3.29}$$

Gewicht van de bezettingsefficiëntie:

$$\alpha_{ST} * (1 - E_{ST}) \quad ;E_{SG} < 1 \tag{3.30}$$

$$\alpha'_{ST} * (E_{ST} - 1) \quad ;E_{ST} > 1 \tag{3.31}$$

α_{BW}, α'_{BW}, α_{SG}, α'_{SG}, α_{ST} en α'_{ST} zijn de weegfactoren die aan het (in)efficiënte gebruik gekoppeld worden. De spectrumbeheerder kan naar eigen inzicht en afhankelijk van de beschikbaarheid van de hulpbronnen waarden toekennen aan deze weegfactoren. Voor iedere situatie kunnen de weegfactoren gewijzigd worden.

Voorbeeld berekening totale beoordeling van het allocatieve aspect:

Stel een radio-communicatiesysteem heeft de volgende gegevens:

Stoorbandbreedte-efficiëntie : 0.78

Bedekkingsefficiëntie : 0.90

Bezettingsefficiëntie : 0.66

Verder is in deze veronderstelde situatie de bandbreedte erg beperkt, daarentegen heeft het stoorgebied geen beperking en slechts enige andere ethergebruikers willen in dezelfde tijdsduur radiocommunicatie realiseren. Op grond van deze veronderstellingen kunnen de weegfactoren bijvoorbeeld worden vastgesteld als:

$\alpha_{BW} = 10$, $\alpha_{SG} = 5$ en $\alpha_{ST} = 7$.

Het totale gewicht voor het allocatieve aspect is:

$$10 * (1 - 0.78) + 5 * (1 - 0.9) + 7 * (1 - 0.66) = 5.08$$

In het meest efficiëntie geval is dit resultaat nul, dit is de streefwaarde voor een optimale allocatie-efficiëntie.

3.6 Interpretatie van het transmissietechnische aspect

De transmissie-efficiëntie is in paragraaf 3.3 onderverdeeld in modulatie-efficiëntie en interferentie-efficiëntie.

- **Modulatie efficiëntie**

  Modulatie van bronsignaal naar het hoogfrequente sinusvormig transmissiesignaal is, in dit onderzoek, beoordeeld op bezette bandbreedte en zendvermogen.

  Zowel voor analoge als digitale modulatie geldt het volgende:
  Is de modulatie-efficiëntie gelijk aan 1, dan neemt het moduleren van bronsignaal naar transmissiesignaal geen extra bandbreedte in beslag.

  - Modulatie-efficiëntie < 1

    Na modulatie neemt het radiosignaal meer bandbreedte in beslag dan het bronsignaal. Dit resultaat is niet goed als in de betreffende situatie bandbreedte de beperkende factor is. De mogelijkheid bestaat om technieken toe te passen die minder transmissie bandbreedte in beslag nemen. Dit resultaat is goed als tijd de beperkende factor is. De grote bandbreedte zorgt voor een kleine tijdsbezetting. Onderzoek naar toepassing van modulatietechnieken die nog meer bandbreedte in beslag nemen is mogelijk.

  - Modulatie-efficiëntie > 1

    Nadat het bronsignaal gemoduleerd is neemt het minder bandbreedte in beslag. Is de bandbreedte in de betreffende situatie de beperkende factor, dan is dit een goed resultaat. Onderzocht kan worden of modulatietechnieken toegepast kunnen worden die nog minder bandbreedte in beslag nemen. Is tijd de beperkende factor dan is dit resultaat niet goed; een kleine transmissiebandbreedte vereist immers een langere transmissietijd. Modulatietechnieken die meer bandbreedte en minder tijd in beslag nemen verdienen in dit geval aanbeveling.

In dit onderzoek is aan de beoordeling van modulatie op het zendvermogen geen getalwaarde gekoppeld. De gekozen modulatietechniek geeft aanleiding tot een bepaalde bezette bandbreedte en zendvermogen. Het zendvermogen van een radiosignaal heeft invloed op het stoorgebied. Voor iedere situatie (verschillende beschikbaarheid van de hulpbronnen) verdient het aanbeveling om bij inefficiënt gebruik van stoorbandbreedte en/of stoorgebied uitruil tussen de hulpbronnen, door toepassing van een andere modulatietechniek, te beschouwen.

- **Interferentie-efficiëntie**

Voor de interferentie-efficiëntie is onderscheid gemaakt naar de interferentie die ontstaat aan de ontvangkant en aan de zendkant.

Voor de ontvangkant geldt (paragraaf 3.3.2 formule 3.21):

$$E_{INT,O} = \frac{(C/I)_{EIS}}{(C/I)_{TEST}}$$

De interferentie-efficiëntie aan de ontvangkant is onder alle omstandigheden groter of gelijk aan 1. Is deze gelijk aan 1, dan voldoet de apparatuur exact aan de geëiste waarde van de signaal-interferentie verhouding. Een hoge efficiëntie kan voor zowel de ethergebruiker als de spectrumbeheerder gevolgen hebben.

Als de interferentie efficiëntie groter is dan 1 dan ligt de geteste waarde van de signaal-interferentie verhouding, waarbij de ontvanger volgens kwaliteitscriterea functioneert, onder de vastgestelde norm. Wanneer een bepaald efficiëntie resultaat regelmatig behaald wordt is wijziging van de keuringseisen, voor de signaal interferentie verhouding, een mogelijke oplossing.

Voor de zendkant geldt (paragraaf 3.3.2 formule 3.22):

$$E_{INT,Z} = \frac{(P_{SPUR})_{EIS}}{(P_{SPUR})_{TEST}}$$

De interferentie-efficiëntie aan de zendkant is onder alle omstandigheden groter of gelijk aan 1. Is deze gelijk aan 1, dan voldoet de apparatuur exact aan de geëiste waarde van de signaal-interferentie verhouding.

Wanneer voor zenders regelmatig de interferentie-efficiëntie aan de zendkant groter is dan 1, kunnen de keuringseisen waaraan de apparatuur moet voldoen worden bijgesteld. Dit leidt dan tot een kwaliteitsverbetering van de zendapparatuur, omdat een hogere kwaliteitseis wordt gesteld waaraan de apparatuur moet voldoen.

3.7 Interpretatie van het delingsaspect

Bij het delingsaspect staat etherdeling centraal; communicatiesystemen maken gebruik van *dezelfde* frequenties (stoorbandbreedte), in een andere stoortijd of in een ander stoorgebied. In paragraaf 3.4 is onderscheid gemaakt tussen etherdeling uitgevoerd door 1 ethergebruiker (planningsefficiëntie) of door een groep soortgelijke ethergebruikers (trunkingefficiëntie).

- **Planningsefficiëntie**

  Omdat de benodigde gegevens voor de berekening van de planningsefficiëntie niet (volledig) beschikbaar zijn is deze (op dit moment) niet te bepalen, Zowel de ethergebruiker als de spectrumbeheerder is namelijk niet altijd bekend met het etherverbruik van de radiocommunicatie systemen (zie paragraaf 4.2.2).

  Theoretisch is de optimale planningsefficiëntie gelijk aan 1. Wanneer deze kleiner is dan 1 worden de hulpbronnen door één ethergebruiker niet optimaal geïntegreerd.

  Optimalisering van de uitkomsten voor de delingsefficiëntie kan zowel maatschappelijke als technische als allocatieve problemen veroorzaken, zoals gedefinieerd in paragraaf 3.4.2.

- **Trunkingefficiëntie**

  In paragraaf 3.4.3 (formule 3.25) is de trunkingefficiëntie gedefinieerd:

$$Trunkingefficiëntie\ (E_{TRUNK}) = \frac{aantal\ benodigde\ frequentiekanalen}{aantal\ toegewezen\ frequentiekanalen}$$

  De trunkingseffficentie is een eerste stap in de richting van het netwerkaspect. Hier wordt namelijk reeds een oordeel gegeven over de gegevens die worden verwerkt met de netwerkcapaciteit. Daarnaast wordt deling van de frequenties in de tijd toegepast.

Indien de trunkingefficiëntie gelijk aan 1 is, is er sprake van optimale kanaalbezetting.

Trunkingefficiëntie < 1

De RDR heeft als norm gesteld dat wanneer de trunkingefficiëntie kleiner is dan 0.7, het aantal toegewezen frequentiekanalen verminderd kan worden [20].

- Eventueel kan een andere ethergebruiker worden toegevoegd aan dit trunkingsysteem.

Trunkingefficiëntie > 1

Is de het resultaat van de trunkingefficiëntie groter of gelijk aan 1, dan neemt de toegangskans tot het trunkingsysteem af. Dit veroorzaakt een grotere blokkeringskans. Een groter blokkeringskans vermindert de kwaliteit van het systeem. Omdat de ethergebruiker in principe een zo'n hoog mogelijke kwaliteit nastreeft tegen zo laag mogelijke kosten, is deze situatie in de praktijk niet snel te verwachten.

Hoofdstuk 4

Vereiste invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter

De etherefficiëntie-meter voor de beoordeling van het etherverbruik vereist relevante invoergegevens. Voor dit onderzoek is de etherefficiëntie onderverdeeld in drie aspecten: allocatie, transmissietechniek en deling. Deze drie aspecten zijn in sommige gevallen nog verder uitgesplitst. In dit hoofdstuk worden per aspect van de etherefficiëntie de relevante invoergegevens voor de efficiëntie-berekeningen en mogelijkheden om deze te verkrijgen aangegeven.

4.1 Herkomst invoergegevens

In hoofdstuk 3 zijn drie aspecten van de etherefficiëntie en de daarbij behorende deelefficiënties gedefinieerd en uitgewerkt. De voor de berekening van deze efficiënties vereiste invoergegevens zijn uit één of meer van de volgende bronnen te verkrijgen:

- Rijksdienst voor Radiocommunicatie (RDR);
- ethergebruikers;
- metingen (registreren van gegevens);
- rekenmodellen.

- **Rijksdienst voor Radiocommunicatie (RDR)**

De RDR bevordert het optimaal beschikbaar zijn van telecommunicatie-mogelijkheden binnen Nederland, in het bijzonder op het gebied van radiocommunicatie. In eerste instantie door de best denkbare ordening van het radiospectrum na te streven. Ten tweede bevordert RDR het optimale gebruik en de goede werking van de telecommunicatie-

etherinfrastructuur. Ten derde draagt RDR bij aan de goede technische werking van de telecommunicatie-apparatuur.

Alle gegevens omtrent toewijzingen, machtigingsuitgifte etc. worden door de RDR geregistreerd. De RDR kan een deel van de vereiste invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter uit deze administratie verkrijgen. Een goede structurering, ordening en nummering van de benodigde invoergegevens bevordert het snelle en eenvoudige verzamelen van de relevante gegevens.

- **Ethergebruikers**

Ethergebruikers zijn diegene die gebruik maken van de ether en waaraan een etherdeel is toegewezen. Illegale gebruikers van de ether (clandestiene ethergebruikers), waaraan geen etherdeel is toegewezen, behoren niet tot de in dit onderzoek beschouwde groep ethergebruikers. De (geautoriseerde) ethergebruikers zijn onderverdeeld in de vier gebruikerscategorieën [2]. Deze vier categorieën en voorbeelden hiervan zijn:

- Zakelijk : KPN-concessie, GSM en besloten netten;
- Vitaal : Defensie, politie en luchtverkeersbegeleiding;
- Omroep : Publiek, commercieel, restcapaciteit[23];
- Divers gebruik : Amateur-zenders, wetenschappelijk gebruik en klein vermogenstoepassingen.

De geautoriseerde ethergebruikers zijn vaak bekend met de hoeveelheid ether die zij daadwerkelijk in beslag nemen, het etherdeel dat zij toegewezen hebben gekregen, de gebruikte radioapparatuur, de toegepaste transmissietechnieken en daartoe behorende gegevens. De RDR moet de mogelijkheid hebben om over deze relevante invoergegevens te beschikken, voor het gebruik van de etherefficiëntie-meter.

[23] Bijvoorbeeld teletekstuitzendingen, berichten service via horloge's (Swatch) en een fax-systeem van de Nederlandse Spoorwegen (NS).

- **Metingen (registreren van gegevens)**

Niet alle relevante invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter zijn administratieve gegevens. Een deel van de relevante gegevens kan worden verkregen uit metingen. Het betreft hier metingen uitgevoerd door onderdelen van de RDR. De relevante invoergegevens zijn verkrijgbaar uit metingen uitgevoerd door de hieronder genoemde monitorfuncties[24]:

  - Monitoringstation NERA;
  - Vast meetnet (nog nader te ontwikkelen en optimalizeren);
  - Mobiele monitoring.

Deze drie bovengenoemde monitorfuncties beschikken over de volgende monitortechnieken:

- Spectrumonderzoek:

  Dit heeft tot doel om voor een bepaalde frequentieband inzicht te verkrijgen in de relatie tussen in beslag genomen frequentie en tijdsduur.

- Verkeersmetingen:

  Verkeersmetingen hebben tot doel om voor bepaalde frequentiekanalen inzicht te krijgen in de relatie tussen in beslag genomen frequentie en tijdsduur.

Het verschil tussen deze twee metingen is het deel van het frequentiespectrum dat gemonitord wordt; frequentiekanaal of frequentieband.

- Luisteronderzoek:

  Door middel van lokaal luisteronderzoek kunnen aanvullende gegevens verkregen worden die bijdragen aan de identiteit en/of de zendlokatie van de ethergebruiker.

In het volgende worden de monitorfuncties nader toegelicht. De wijze waarop een deel van de relevante invoergegevens (afkomstig van de resultaten van de monitortechnieken) voor de etherefficiëntie-meter kunnen worden verkregen, is beschreven in hoofdstuk 5.

[24] Monitoren is het detecteren van signalen, zoals elektromagnetische straling, geluid en visuele signalen en in het algemeen het meten van de signalen [16].

- **Monitoringstation NERA**

  Het monitoringstation NERA is gevestigd in Nederhorst den Berg. Dit meetstation observeert en controleert, binnen (heel) Nederland, de frequentieband van 9 kHz tot 1 GHz en wordt hierbij ondersteund door meetapparatuur in Schiedam. Het monitoringstation heeft de mogelijkheid tot het automatisch registreren van het ethergebruik voor bepaalde etherdelen d.m.v. zowel spectrumonderzoek als verkeersmetingen als luisteronderzoek. Gemiddeld wordt per jaar de volledige frequentieband van 9 kHz tot 1 GHz 1 à 2 keer per jaar onderzocht.

- **Vast meetnet**

  Naarmate de frequenties hoger worden neemt demping hiervan toe; dat wil zeggen uitgaande van dezelfde parameters, antennehoogte en zendvermogen, wordt het stoorgebied kleiner. In dat geval zijn meer ontvangers benodigd om in heel Nederland het daadwerkelijke ethergebruik te regristreren. Het aantal benodigde ontvanglokaties wordt bepaald door de frequentieband, de hoogte van de antenne op de ontvanglokatie en de gevoeligheid van de ontvanger enerzijds en de hoogte van deze antenne en het vermogen van het te registreren station anderzijds.

  Op dit moment wordt een meetnet ontwikkeld en opgezet dat voorzien is van 10 onbemande meetlokaties: ook wel het vaste meetnet genoemd. Dit vaste meetnet krijgt op tien vaste punten in Nederland een ontvangstcentrale en biedt de mogelijkheid om (geografisch) nagenoeg heel Nederland af te dekken voor de frequentieband van 20 - 1300 MHz. Elk van de 10 meetlokaties wordt uitgerust met twee identieke meetontvangers. Deze worden o.a. ingezet t.b.v. op 24 uurs basis uitgevoerde verkeersmetingen, spectrumonderzoek, en luisteronderzoek. De informatie verkregen door de meetontvanger van een lokatie, wordt opgenomen in de centrale verwerkingseenheid (CVE) voor de aanleg van een database. [19]. De verwachting is dat in de toekomst de afzonderlijke resultaten van de 10 meetlokaties verwerkt worden tot 1 resultaat.

- **Mobiele monitoring**

  Niet alle benodigde gegevens die in de praktijk gemeten moeten worden, zijn verkrijgbaar door het registreren van gegevens op *vaste* lokaties. Door bijvoorbeeld schaduwvorming kunnen de resultaten van het vast meetnet en het monitoringstation niet voldoende toereikend. In dat geval wordt mobiel gemonitord.

  Mobiel monitoren wordt in de praktijk overwegend toegepast voor frequenties boven 1300 MHz; daar waar het vast meetnet en het monitoringstation niet meer toereikend zijn. Met behulp van een mobiele monitorwagen[25] kan zowel spectrumonderzoek, als verkeersmetingen, als luisteronderzoek als gerichte veldsterkte metingen worden gedaan.

- **Rekenmodellen**

  Niet alle relevante gegevens voor de etherefficiëntie-meter zijn te verkrijgen uit administratieve gegevens of met behulp van metingen. Wanneer de benodigde relevante gegevens niet beschikbaar, onnauwkeurig of onbetrouwbaar zijn, kunnen rekenmodellen de werkelijkheid benaderen. In dit onderzoek wordt met behulp van rekenmodellen een benadering worden gemaakt voor het daadwerkelijk stoorgebied, de bronbandbreedte en/of de bitrate.

  - Rekenmodel voor de benadering van het te verwachten stoorgebied.

    Een zo'n algemeen en eenvoudig mogelijk rekenmodel dient gekozen worden voor de schatting van het propagatieverlies. Met het berekende propagatieverlies kan een benadering worden gemaakt van het te verwachten daadwerkelijk stoorgebied van een radiosignaal. De propagatiemodellen, de hiervoor benodigde invoergegevens en de berekeningsmethode van het te verwachten daadwerkelijk stoorgebied worden uitgewerkt in hoofdstuk 5.

  - Rekenmodel voor de benadering van de bronbandbreedte en bitrate.

    Voor de berekening van de modulatie-efficiëntie dient de bronbandbreedte (analoog) of de bitrate (digitaal) bekend te zijn. Voor de meeste communicatiesystemen is de bronbandbreedte en bitrate voor een bepaalde toepassing vastgelegd. Theoretisch

[25] De kosten van mobiele monitoring zijn hoog door o.a. de beperkte tijdsduur waarin een mobiel systeem operationeel is en benodigde kostbare meetapparatuur en antennes.

kunnen de bronbandbreedte en bitrate berekend worden voor een gegeven modulatie en nadere gegevens (transmissiebandbreedte, fase- en frequentiemodulatie index en de behorende bijbehorende frequentiezwaai). In hoofdstuk 5 worden de rekenmethodes voor de bepaling van de bronbandbreedte en bitrate in detail uitgewerkt.

4.2 Vereiste invoergegevens

De etherefficiëntie is voor drie aspecten (allocatie, transmissietechniek en deling) uitgewerkt. Deze aspecten en de daarbij behorende deelefficiënties vormen de basis voor de etherefficiëntie-meter. Per aspect van de etherefficiëntie geven de tabellen 4.1 tot en met 4.3 de vereiste relevante invoergegevens, alsmede de bronnen waar deze gegevens verkregen kunnen worden.

4.2.1 Invoergegevens voor het allocatieve aspect

In de eerste kolom van tabel 4.1 wordt het te behandelen aspect van de etherefficiëntie aangegeven; het allocatieve aspect. De deelefficiënties die behoren tot het allocatieve aspect zijn opgesomd in de tweede kolom. De derde en tevens belangrijkste kolom bevat de vereiste relevante gegevens voor de allocatie-efficiëntie berekeningen. In kolom 4 tot en met 7 wordt aangegeven waar deze gegevens verkregen kunnen worden.
De gegevens afkomstig van de RDR en de ethergebruikers zijn administratieve gegevens en verkrijgbaar uit de database bestanden. De wijze waarop de benodigde gegevens uit metingen en rekenmodellen bepaalt kunnen worden, is beschreven in hoofdstuk 5.

Efficiëntie aspect	Deel-aspect	Gegevens	RDR	Ether-gebruiker	Metingen	Reken-modellen
Allocatie	Bandbreedte efficiëntie (E_{SBW})	DSBW		X	X	
		TSBW	X	X		
		PSBW	X	X		
	Bedekkings efficiëntie (E_{SG})	DSG		X	X	X
		TSG	X	X		
		PSG	X	X		
	Bezettings efficiëntie (E_{ST})	DST		X	X	
		TST	X	X		
		PST	X	X		

DSBW : daadwerkelijke stoorbandbreedte
TSBW : toegewezen stoorbandbreedte
PSBW : geplande stoorbandbreedte
DSG : daadwerkelijk stoorgebied
PST : geplande stoortijd
TSG : toegewezen stoorgebied
PSG : gepland stoorgebied
DST : daadwerkelijke stoortijd
TST : toegewezen stoortijd

Tabel 4.1: Invoergegevens van het allocatieve aspect

De frequentiewaarden van de daadwerkelijke, toegewezen en geplande stoorbandbreedte moeten in eerste instantie liggen in de frequentieband 9 kHz tot 10 GHz.
Het daadwerkelijk, toegewezen en geplande stoorgebied moet worden uitgedrukt in km^2 (oppervlakte). In dit onderzoek wordt uitgegaan van een twee-dimensionaal stoorgebied. Voor de beoordeling van niet aardse communicatie moet het stoorgebied uitgebreid worden naar een driedimensionaal model.
Voor de daadwerkelijke, toegewezen en geplande stoortijd geldt dat de maximale stoortijd gelijk is aan 24 uur; één etmaal.
Indien de ethergebruiker, in de tijd, de volledige beschikking heeft over de toegewezen stoorbandbreedte is de stoortijd gelijk aan 24 uur. Als bijvoorbeeld twee ethergebruikers dezelfde stoorbandbreedte en hetzelfde stoorgebied toegewezen hebben gekregen delen zij de 24 uur.

4.2.2 Invoergegevens voor het transmissietechnische aspect

In de eerste kolom van tabel 4.2 wordt het te behandelen aspect van de etherefficiëntie gegeven; het transmissietechnische aspect. De deelefficiënties die behoren tot het transmissietechnische aspect zijn opgesomd in de tweede kolom. De belangrijkste kolom is

de derde kolom; deze bevat de vereiste gegevens voor de efficiëntie berekeningen. In kolom 4 tot en met 7 wordt aangegeven waar deze gegevens verkregen kunnen worden. De gegevens afkomstig van de RDR en de ethergebruikers zijn administratieve gegevens en verkrijgbaar uit de database bestanden. De wijze waarop de gegevens d.m.v. metingen en rekenmodellen verkrijgbaar zijn, is beschreven in hoofdstuk 5.

Efficiëntie aspect	Deel-aspect	Gegevens	RDR	Ether-gebruiker	Meting-en	Reken-modellen
Transmissie techniek	Modulatie efficiëntie (E_{MOD})	Analoog of digitaal	X	X		
		Bronbandbreedte	X	X		X
		Trans.bandbreedte		X	X	
		Bitrate	X	X		X
	Interferentie efficiëntie (E_{INT})	$(C/I)_{EIS}$	X			
		$(C/I)_{TEST}$	X			
		$(P_{SPUR})_{EIS}$	X			
		$(P_{SPUR})_{TEST}$	X			

$(C/I)_{EIS}$: geëiste waarde van de signaal/interferentie verhouding van een ontvanger
$(C/1)_{TEST}$: geteste waarde van de signaal/interferentie verhouding van een ontvanger
$(P_{SPUR})_{EIS}$: maximale waarde voor het uitgezonden spurious vermogen van een zender
$(P_{SPUR})_{TEST}$: geteste waarde voor het uitgezonden spurious vermogen van een zender

Tabel 4.2: Invoergegevens van het transmissietechnische aspect

Voor de berekening van de modulatie-efficiëntie wordt gebruik gemaakt van de bronbandbreedte (analoog) of de bitrate (digitaal). Wanneer de modulatietechniek bekend is, is tevens bekend of het systeem een analoge of digitale modulatie techniek heeft. De verschillende modulatietechnieken waaruit in het model een keuze gemaakt kan worden zijn:

- AM
- FM
- MSK
- BPSK
- SSB
- OOK
- MQAM
- QPSK
- DSB-SC
- FSK
- MFSK
- MPSK
- PM

Indien bronbandbreedte of bitrate onbekend is zijn extra gegevens (frequentiezwaai, fase-modulatie, frequentie-modulatie) nodig voor de berekeningen van de modulatie-efficiëntie.
De voor de interferentie berekeningen benodigde gegevens zijn verkrijgbaar uit de keuringsrapporten van de radiocommunicatie apparatuur.

4.2.3 Invoergegevens voor het delingsaspect

In de eerste kolom van tabel 4.3 wordt het te behandelen aspect van de etherefficiëntie aangegeven; het delingsaspect. De deelefficiënties die behoren tot het delingsaspect zijn opgesomd in de tweede kolom. De belangrijkste kolom is de derde kolom, deze bevat de vereiste gegevens voor de efficiëntie berekeningen. In kolom 4 tot en met 7 wordt aangegeven waar deze gegevens verkregen kunnen worden. De gegevens afkomstig van de RDR en de ethergebruikers zijn administratieve gegevens en verkrijgbaar uit de database bestanden. De wijze waarop de gegevens d.m.v. metingen en rekenmodellen benadert kunnen worden, is beschreven in hoofdstuk 5.

Efficiëntie aspect	Deel-aspect	Gegevens	RDR	Ether-gebruiker	Metingen	Reken-modellen
Deling	Plannings efficiëntie (E_{PLAN})	$DSBW_{PER\ ZENDER}$		X	X	
		$DST_{PER\ ZENDER}$		X	X	
		$DSG_{PER\ ZENDER}$		X	X	X
		$DSBW_{GEHEEL}$		X	X	
		DST_{GEHEEL}		X	X	
		DSG_{GEHEEL}		X	X	X
	Trunkings efficiëntie (E_{TRUNK})	aantal benodigde kanalen in de praktijk			X	
		aantal toe-gewezen kanalen	X	X		

Tabel 4.3: Invoergegevens van het delingsaspect

De voor de berekening van de planningsefficiëntie benodigde gegevens zijn in de praktijk nog niet (voldoende) beschikbaar. Deze invoergegevens zouden verkregen moeten worden bij ethergebruikers of door middel van metingen en rekenmodellen.
De ethergebruiker is niet altijd bekend met het daadwerkelijke etherverbruik van de zenders. Ook zijn de meetresultaten van het spectrumonderzoek en verkeersmetingen (nog) niet geschikt voor de bepaling van het daadwerkelijke etherverbruik van de zenders van één ethergebruiker. Daarentegen kunnen de benodigde gegevens wel met behulp van mobiele monitoring verkregen worden. Omdat mobiele monitoring vanwege o.a. de beperkte aanwendingsmogelijkheid per dag en de vereiste meetapparatuur, veel kosten met zich mee

is (alleen) mobiele monitoring geen goede oplossing. De rekenmodellen geven slechts inzicht in een deel van de benodigde gegevens.
De vereiste gegevens voor de berekening van de trunkingefficiëntie zijn beschikbaar met behulp van verkeersmetingen.

4.3 Prioriteit van de gegevensbronnen

Indien een bepaald gegeven slechts bij één bron te verkrijgen is, wordt voor deze bron gekozen (alleen dan wanneer de waarde betrouwbaar is). Een keuzeprobleem ontstaat echter indien meerdere bronnen dezelfde invoergegevens ter beschikking hebben. In dat geval moet de spectrumbeheerder een keuze maken tussen de verschillende bronnen; de ene bron krijgt een hogere prioriteit dan een andere bron. Wanneer bijvoorbeeld de gegevens afkomstig van de ethergebruiker onbetrouwbaar zijn, krijgt deze een lagere prioriteit dan een andere gegevensbron waarvan deze gegevens wel betrouwbaar zijn.

Hoofdstuk 5
Meten en benaderen van vereiste invoergegevens

Een deel van de vereiste invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter is niet verkrijgbaar uit administratieve gegevens. Deze gegevens dienen te worden bepaald op basis van metingen en/of met behulp van rekenmodellen. In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe met metingen en/of rekenmodellen dat deel van de gegevens bepaald kan worden. Eveneens wordt aangegeven welke extra gegevens hiervoor nodig zijn en waar deze verkregen kunnen worden.

5.1 Meetmethode's

Met het monitoringstation NERA en het vast meetnet kunnen verkeersmetingen en spectrumonderzoek worden uitgevoerd in het frequentiegebied tussen 9 kHz en 1.3 GHz. Hierbij worden zowel frequentiebanden die beheerd worden door de RDR, als frequentiebanden die door de deelbeheerders worden gebruikt, onderzocht. Met de resultaten van deze metingen kunnen de daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd van een systeem berekend worden.

5.1.1 Meetmethode spectrumonderzoek

De hele frequentieband 9 kHz - 1.3 GHz wordt via het strategisch meetprogramma van de RDR tenminste één keer per jaar in zijn geheel onderzocht. Doordat de meetapparatuur op alle posten gelijktijdig, in het vaste meetnet, dezelfde frequentieband observeren ontstaat een vrij goed beeld over de geografische verdeling van het frequentiegebruik in Nederland.

Afhankelijk van de gebruikersindeling en de kanaalafstand zal dagelijks een frequentieband van 1 tot 10 à 100 MHz doorgemeten worden. Met behulp van de filter in de ontvangapparatuur wordt de frequentieband (analoog) doorlopen in 1000 meetpunten (stappen) per scan en in 10 tot 15 seconde (per scan) [25]. Een meetpunt wordt gedetecteerd indien de ontvangen signaalsterkte groter of gelijk is aan een bepaalde minimum veldsterkte (squelch niveau). Het dynamische squelch niveau varieert mee met het (lokale) ruisniveau. In principe is het squelch niveau dynamisch ingesteld. Toepassing van een handmatig squelch niveau is een ingreep die kan leiden tot verbetering van de weergave van de meetresultaten. Wanneer een meetpunt is gedetecteerd, representeert een pixel de bezette bandbreedte op de grafische weergave van het meetresultaat.

Het resultaat van het spectrumonderzoek wordt grafisch weergegeven op A4 formaat en bestaat uit vier delen (figuur 5.1).

A: Koptekst:

Grafische weergave frequentieband .. - .. MHz

[datum/tijd (start) - datum/tijd (stop)]

B: Staafdiagram:

Het bezettingsdiagram is een staafdiagram met één staaf per meetwaarde (maximaal 1000). Is een meetpunt minstens één maal gedetecteerd (en weergegeven door een pixel) dan is een staaf voor die meetwaarde aanwezig. 100 % van de Y-as betekent een bezetting van 24 uur of indien korter de meetduur.

C: Grafische weergave van de frequentieband:

Alle scans worden uiteengezet tegen de tijd-as (Y-as). De meetpunten die het squelch niveau (vastgestelde minimum veldsterkte) overschrijden, worden weergegeven door een pixel. Een pixel representeert een bepaalde bezette bandbreedte.

Frequentie-as (X-as)

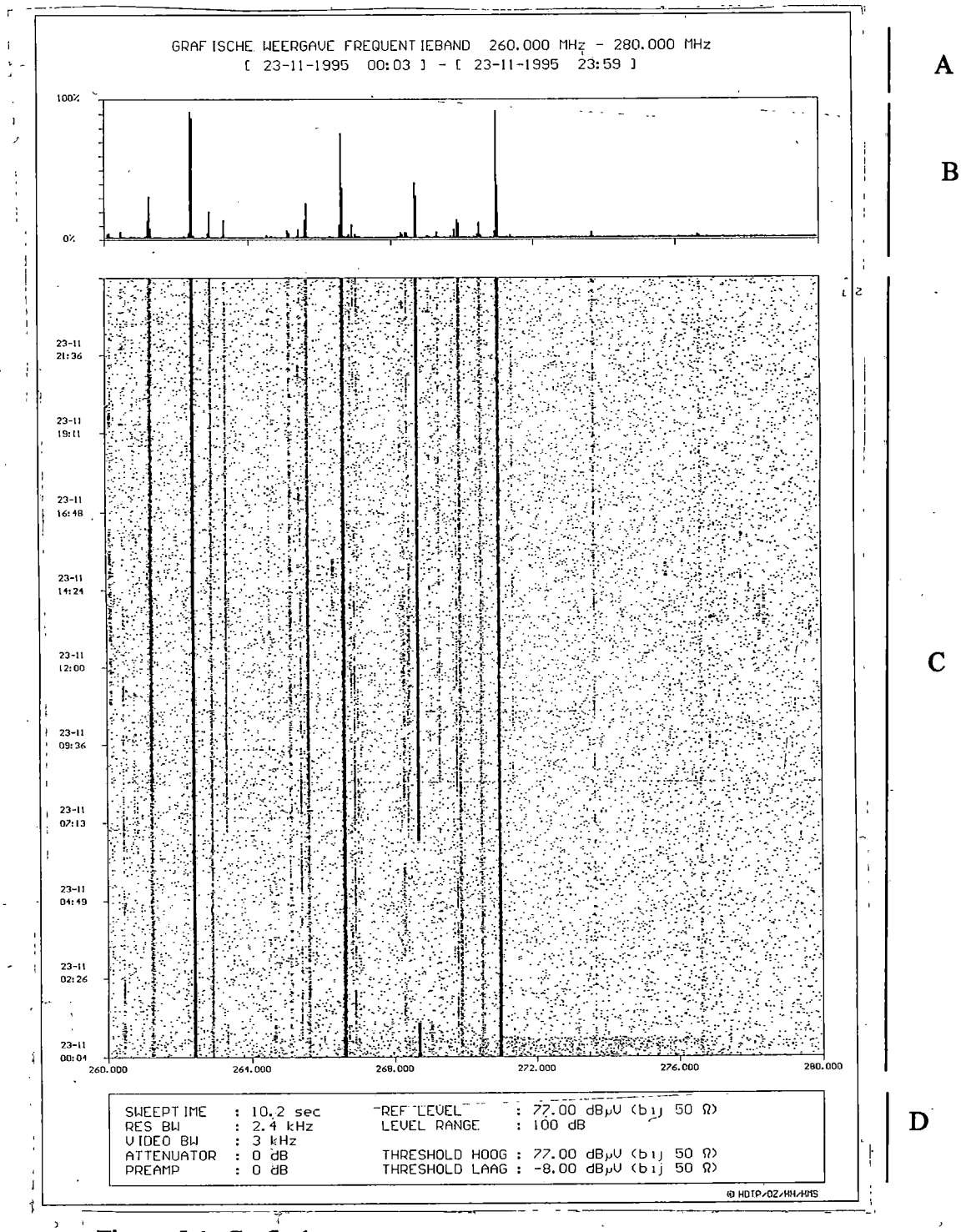
Begin- en eindfrequentie worden aangegeven en de frequentieband wordt in 5 gelijke delen verdeeld. Deze verdeling wordt gemarkeerd en de bijbehorende frequenties worden aangegeven.

Tijd -as (Y-as):

Onderaan wordt start datum/tijd van registratie weergegeven. Ongeveer elke 2 uur tussen start- en stoptijd wordt gemarkeerd.

D: Ontvanger-instellingen:

De ontvanger-instellingen ten tijde van de registratie worden weergegeven



Figuur 5.1: Grafische weergave van een spectrumonderzoek.

5.1.2 Meetmethode verkeersmetingen

In tegenstelling tot spectrumonderzoek worden bij verkeersmetingen frequentie*kanalen* onderzocht in plaats van frequentie*banden*. Deze frequentiekanalen worden getest op wel of geen aanwezigheid van een vast te stellen signaalniveau (squelch niveau).
De hoeveelheid verkeer van een frequentiekanaal wordt bij verkeersmetingen uitgedrukt in erlang. De erlang is sinds 1946 door het C.C.I.R. als internationale eenheid van het telefoonverkeer vastgesteld en gedefinieerd [16]:

De erlang

Een internationale, dimensieloze eenheid die de gemiddelde verkeersdichtheid, dat wil zeggen de gemiddelde bezetting door een gebruiker, gedurende een bepaalde periode weergeeft.

Er zijn twee type verkeersmetingen:

- "gewone" verkeersmetingen op basis van 14 dagen meten;
- pseudo-verkeersmetingen op basis van 1 etmaal meten; alleen mogelijk met het vaste meetnet.

• **"Gewone" verkeersmetingen**

De 30 - 1300 MHz band wordt één à twee keer per jaar volledig bemonsterd. Gedurende veertien dagen worden (maximaal) 125 aaneengesloten frequentiekanalen onafgebroken gemonitord. Vanwege grote verschillen in verkeersdrukte zijn de metingen opgedeeld in werkdagen enerzijds en zon- en feestdagen anderzijds. Gedurende de hele meting wordt gebruik gemaakt van een dynamisch squelch niveau (met een vaste waarde boven het ruisniveau). Per meetlokatie kan dit niveau verschillen in verband met het lokale ruisniveau. Overschrijdt de gemeten veldsterkte van het frequentiekanaal het squelch niveau, dan wordt het signaal gedetecteerd door de ontvangstapparatuur.
De verkeersbezetting van een frequentiekanaal is weergegeven in figuur 5.2 [20].

Figuur 5.2: Grafische weergave van een (gewone) verkeersmeting.

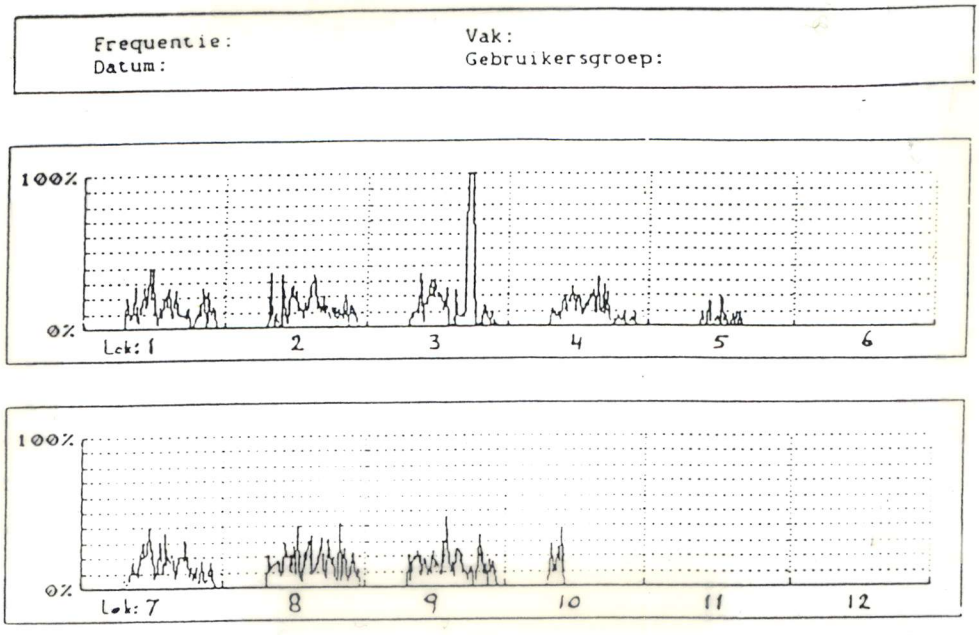
Het onderste deel van figuur 5.2 geeft het grafische resultaat van de verkeersmeting. Op de verticale as is het bezettingspercentage in de tijd per frequentiekanaal uitgezet; de horizontale as geeft de sample-tijd per kwartier, verdeeld over 24 uur.
De bovenste curve representeert de piekbelasting per kwartier (een momentopname).
De onderste curve representeert een glijdend[26] uurgemiddelde van de bezetting.
Het "ster" teken geeft het "drukke uur" aan van de onderste curve.
In het bovenste gedeelte van figuur 5.2 is o.a. de bezetting (belegging) en het drukke uur weergegeven. De bezetting is de maximale hoeveelheid verkeer (uitgedrukt in Erlang) van de gemiddelde bezettingscurve (onderste). Zowel voor werkdagen als voor zon- en feestdagen worden de belegging en het drukke uur bepaald.

[26] Dit glijdend gemiddelde is een voortschrijdend gemiddelde van 10 meetwaarden en representatief voor de hele meetperiode.

- **Pseudo-verkeersmetingen**

Pseudo-verkeersmetingen is het tweede type verkeersmeting en kan alleen uitgevoerd worden door het vast meetnet (20 MHz - 1.3 GHz). Equivalent aan 'gewone' verkeersmetingen worden bij pseudo-verkeersmetingen frequenties onderzocht op aanwezigheid van een bepaald signaalniveau en worden de metingen per kwartier gebundeld. Eveneens worden per etmaal een aantal (maximaal 125) aaneengesloten frequentiekanalen onderzocht. Een onderscheid met gewone verkeersmetingen is dat bij pseudo-verkeersmetingen de frequenties voor iedere meetlokatie identiek zijn. De metingen worden gedurende 1 dag uitgevoerd en niet zoals bij gewone verkeersmetingen gedurende een periode van 14 dagen. Dat wil zeggen, de representativiteit is minder, maar het resultaat is wel indicatief voor het frequentiegebruik in een bepaald gebied en het resultaat per meetlokatie is landelijk vergelijkbaar.

Overschrijdt de gemeten veldsterkte van het frequentiekanaal het squelch niveau, dan wordt het signaal gedetecteerd door de ontvangstapparatuur. Een in de te verwachten representatie van een gedetecteerd signaal door een verkeersmeting is gegeven in figuur 5.3 [19].



Figuur 5.3 Grafische weergave van een pseudo verkeersmeting.

Figuur 5.3 geeft voor 12 meetlokatie per lokatie (voor het vaste meetnet slechts 10 meetlokaties) de bezetting van het hetzelfde frequentiekanaal.

5.2 Gegevensberekening met resultaten van de metingen

Met het grafische resultaat van het spectrumonderzoek en de verkeersmetingen kunnen de daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd van een radiocommunicatie-systeem bepaald worden. In deze paragraaf worden deze berekeningen beschreven.

5.2.1 Gegevensberekening met het spectrumonderzoek

De grafische weergave van het spectrumonderzoek heeft als resultaat *niet* de gewenste vereiste invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter; daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd. Wanneer met de volgende randvoorwaarden rekening wordt gehouden, kunnen de daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd uit het spectrumonderzoek afgeleid worden.

Randvoorwaarden de bij gegevensberekening m.b.v. het spectrumonderzoek:

- Het resultaat van het spectrumonderzoek kan alleen worden gebruikt voor de bepaling van de daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd, indien een frequentieband gemonitord wordt die volledig is toegewezen aan één radiocommunicatiesysteem (ethergebruiker). Denk hierbij bijvoorbeeld aan de bulkfrequenties toegewezen aan vitale overheidstaken.
- De metingen van het spectrumonderzoek moeten plaats vinden binnen de toegewezen stoortijd aan het te onderzoeken radiocommunicatiesysteem.
- De ontvangers, van het spectrumonderzoek, moeten binnen het stoorgebied van de te onderzoeken radiosignalen opgesteld zijn.

- De bandbreedte van het filter waarmee het spectrumonderzoek wordt uitgevoerd, moet kleiner zijn dan de bandbreedte van het raster. Op deze manier wordt voorkomen[27] dat meerdere pixels dezelfde bezette frequentie representeren. Is de filterbandbreedte namelijk groter dan of gelijk aan de bandbreedte van het raster, dan wordt een grotere bandbreedte geregistreerd dan daadwerkelijk in beslag genomen wordt; de grafische weergave van het spectrumonderzoek bevat te veel pixels.
- Voorafgaand aan het spectrumonderzoek moet het squelch-niveau ingesteld worden zodat het detectie niveau van de ontvangapparatuur gelijk is aan het net acceptabele stoor niveau volgens de definities van stoorbandbreedte en stoortijd.
- Wanneer de hoogte van de opstelpunten van de ontvangers in het vaste meetnet verschillen, wordt een bepaald radiosignaal mogelijk door de ene ontvanger wel gedetecteerd en door de andere niet.
- Het maximaal aantal geregistreerde pixels bepaald over alle scans moet op het meetresultaat vermeld worden.

- **Berekening van de daadwerkelijke stoorbandbreedte van een systeem.**

Met behulp van de grafische weergave van de onderzochte frequentieband (deel C, figuur 5.1) kan de stoorbandbreedte worden berekend. In de gemeten frequentieband worden per scan 1000 meetpunten onderzocht. Theoretisch kunnen per scan 1000 pixels (TP) worden afgebeeld; namelijk wanneer de band volledig bezet is.

Voor iedere scan van het spectrumonderzoek kan het aantal pixels variëren. Het gemiddeld aantal pixels bepaald over alle scans of het maximaal aantal pixels bepaald over alle scans, wordt gebruikt om de daadwerkelijke stoorbandbreedte te berekenen. Om twee redenen is in dit onderzoek gekozen voor het maximaal aantal pixels bij de berekening van de stoorbandbreedte:

1. De resultaten van spectrumonderzoek worden (in dit onderzoek) in de meeste gevallen toegepast voor vitale taken. Bij toepassing van het maximum aantal pixels

[27] De kans op fouten is niet volledig uitgesloten. Het filter schuift analoog door de frequentieband, waardoor het filter soms tegelijkertijd in twee verschillende rasters meet. In dat geval wordt in beide rasters bezetting geregistreerd, terwijl ze niet beide bezet hoeven te zijn.

wordt namelijk in alle mogelijke situaties met de maximale bezetting rekening gehouden. Maatschappelijk heeft dus het maximum aantal pixels de voorkeur.

2. Het is in de praktijk (nog) niet mogelijk om het aantal pixels van ieder scan op te slaan; deze databases zouden erg omvangrijk worden. Bij gebruikmaking van het maximum aantal pixels hoeft telkens slechts het grootste gevonden aantal pixels onthouden te worden.

Voor de berekening van de daadwerkelijke stoorbandbreedte moeten uit het resultaat van het spectrumonderzoek de volgende gegevens worden verkregen:

- totaal gemeten frequentieband (BW) in kHz;
- maximum aantal pixels (geregistreerde meetpunten), bepaald over alle scans (P).

De daadwerkelijke stoorbandbreedte is het product van het maximaal aantal pixels (P) bepaald over alle scans en de stoorbandbreedte die één pixel vertegenwoordigt; een duizendste deel van de gemeten frequentieband.
In formulevorm wordt de daadwerkelijke stoorbandbreedte als volgt bepaald:

$$DSBW = P * \frac{BW}{1000} \qquad (5.1)$$

Voorbeeld: berekening daadwerkelijke stoorbandbreedte m.b.v. het spectrumonderzoek

Een aan de ethergebruiker toegewezen frequentieband wordt onderzocht. Het resultaat van het spectrumonderzoek wordt gebruikt om de vereiste gegevens te verkrijgen.

- theoretisch aantal pixels : TP = 1000;
- maximum aantal pixels : P = 640;
- gemeten frequentieband : BW = 20.000 kHz.

De daadwerkelijke stoorbandbreedte is gelijk aan:

$$DSBW = 640 * \frac{20.000}{1000} = 12.800 \text{ kHz}$$

- **Berekening van de daadwerkelijke stoortijd van een systeem.**

Met behulp van het staafdiagram (deel B van figuur 5.1) kan de daadwerkelijke stoortijd van een radiocommunicatiesysteem berekend worden. Het staafdiagram geeft per meetpunt het bezettingspercentage aan in de tijd.

Omdat de resultaten van het spectrumonderzoek (althans in dit onderzoek) voornamelijk toegepast worden om de daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd van vitale diensten te berekenen, wordt de maximum bezettingswaarde (bp_{max}) bepaald over alle geregistreerde meetpunten. De meetduur van het spectrumonderzoek wordt aangegeven in de koptekst van het resultaat (deel A in figuur 5.1).

Voor de berekening van de daadwerkelijke stoortijd moet uit de grafische weergave van het spectrumonderzoek de volgende gegevens worden verkregen:

- meetduur (t) uitgedrukt in uren;
- maximum bezettingspercentage (bp_{max}) van een meetpunt gerepresenteerd door een pixel, uitgedrukt in procenten.

De daadwerkelijke stoortijd bepaald met het spectrumonderzoek is gelijk aan het product van het maximale bezettingspercentage van de meetpunten met de meetduur van de meting.

In formulevorm:

$$DST = \frac{bp_{max}}{100} * t \qquad (5.2)$$

5.2.2 Gegevensberekening met verkeersmetingen

De resultaten van de gewone verkeersmetingen worden met name toegepast bij etheruitgifte of wijziging van machtigingen en bij de observatie van trunkingnetten. Met de grafische presentatie van pseudo-verkeersmetingen kan de daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd van een radio-communicatiesysteem bepaald worden.

Verkeersmetingen hebben als resultaat *niet* de gewenste vereiste invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter; daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd. Rekening houdend met de volgende randvoorwaarden kunnen daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd berekend worden met het resultaat van de pseudo-verkeersmetingen.

Randvoorwaarden bij de gegevensberekening m.b.v pseudo-verkeersmetingen:

- Verkeersmetingen dienen plaats te vinden binnen de toegewezen stoortijd aan het te onderzoeken radio-communicatiesysteem.
- De ontvangers, van de verkeersmetingen, moeten binnen het stoorgebied van de te onderzoeken radiosignalen opgesteld zijn.
- Voorafgaand aan verkeersmetingen moet het squelch-niveau ingesteld worden zodat deze gelijk is aan het net acceptabele stoorniveau.
- Alleen de verkeersmetingen van frequentiekanalen die behoren tot het toegewezen stoorbandbreedte zijn relevant voor de berekening van daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd.
- Wanneer de hoogte van de opstelpunten van de ontvangers in het vaste meetnet verschillen, wordt een bepaald radiosignaal door de ene ontvanger wel gedetecteerd en door andere niet.
- Op de grafische resultaten van de verkeersmetingen moet de maximale bezettingswaarde over alle meetlokaties (G_{bez}) worden vermeld. In dat geval is het resultaat van de verkeersmetingen (eenvoudiger) te gebruiken voor berekening van stoorbandbreedte en stoortijd.

- **Berekening van de daadwerkelijke stoorbandbreedte van een systeem.**

Is het ontvangen signaalniveau van het frequentiekanaal groter of gelijk aan het squelch-niveau van de ontvangstapparatuur, dan wordt een signaal gedetecteerd. De bandbreedte van het filter waarmee de meting op het frequentiekanaal is verricht, wordt gelijk gesteld aan de daadwerkelijk bandbreedte van het frequentiekanaal.

Voor de berekening van de daadwerkelijke stoorbandbreedte moet uit de grafische weergave van de verkeersmetingen het volgende gegeven worden verkregen:

- Aantal bezette frequentiekanalen (B_k).

Tevens moet de bandbreedte van het meetfilter (f) waarmee het frequentiekanaal wordt onderzocht bekend zijn.

De daadwerkelijke stoorbandbreedte is het product van het aantal bezette frequentiekanalen en de bandbreedte van het filter.

In formulevorm:

$$DSBW = B_k * f \tag{5.3}$$

- **Berekening van de daadwerkelijke stoortijd van een systeem.**

De intensiteit van het verkeer over het frequentiekanaal is een indicatie voor de bezetting.

Voor de berekening van de daadwerkelijke stoortijd moet uit de grafische weergave van verkeersmetingen het volgende gegeven worden verkregen:

- gemiddelde bezettingswaarde van de 10 verschillende lokaties (G_{bez}).

De daadwerkelijke stoortijd is gelijk aan de gemiddelde bezetting maal 24 uur.

In formulevorm:

$$DST = G_{bez} * 24 \tag{5.4}$$

Zowel de gegevens voor de berekening van de daadwerkelijke stoorbandbreedte als van de daadwerkelijke stoortijd, met behulp van het spectrumonderzoek en de verkeersmetingen, zijn afkomstig van het monitoringstation NERA of het vast meetnet.

5.3 Gebruikersidentificatie

De daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd bepaald d.m.v. spectrumonderzoek of met verkeersmetingen geven aanleiding tot een identificatieprobleem. Constatering van ethergebruik geeft *niet* aan *welke* gebruiker dit etherdeel benut. Voor een betrouwbare en rechtsgeldige beoordeling van de allocatie dient de geconstateerde stoorbandbreedte en

stoortijd met zekerheid aan de geautoriseerde gebruiker toegewezen te kunnen worden. Er zijn twee mogelijkheden tot gebruikersidentificatie:

- Identificatie vanuit de ethergebruiker. De gebruiker identificeert zichzelf, bijvoorbeeld met een vijf-tooncode. Deze vorm van identificatie wordt veel gebruikt bij landmobiel gebruik.
- Op ervaring gebaseerde gebruikersidentificatie door de RDR medewerkers. Deze identificatie wordt afgeleid van de gegevenspresentatie van het spectrumonderzoek en de verkeersmetingen.

Is er mogelijk sprake van clandestien ethergebruik, dan moet hiermee rekening gehouden worden in de berekening van daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd.
Omdat een etherdeel vooralsnog slechts aan één bepaalde gebruiker toegewezen kan worden, komt illegaal ethergebruik vermoedelijk slechts op kleine schaal voor. Een uitzondering op deze veronderstelling geldt echter voor de ether toegewezen aan defensie. Herhaaldelijk wordt hier illegaal ethergebruik geconstateerd, omdat deze etherdelen in vredestijd weinig bezet zijn.

5.4 Benaderen van invoergegevens met rekenmodellen

Als de benodigde invoerparameters van een systeem niet, onnauwkeurig of onbetrouwbaar te verkrijgen zijn, kunnen rekenmodellen de werkelijkheid benaderen. Rekenmodellen worden toegepast bij het benaderen van:

- het daadwerkelijk stoorgebied;
- de bronbandbreedte / bitrate.

5.4.1 Rekenmodel voor de benadering van het daadwerkelijk stoorgebied

Het ontvangen zendvermogen van een radiosignaal neemt af met de afstand tot de zender. Voor de benadering van het daadwerkelijk stoorgebied wordt (in dit onderzoek) gebruik gemaakt van twee rekenmodellen waarmee het propagatieverlies van een radiocommunicatie systeem berekend kan worden. Afhankelijk van o.a. bebouwing,

begroeiing, heuvels en kromming van de aarde varieert het propagatieverlies van een radiogolf.

Het Egli model is een veel gebruikt en relatief eenvoudig propagatiemodel, dat geen rekening houdt met bebouwing of begroeiing op de propagatieweg. Het Egli model voor de berekening van het propagatieverlies wordt toegepast voor de frequentieband van 90 - 1000 MHz[28] indien het propagatiepad onbekend in.

Het tweede propagatiemodel dat gebruikt wordt is nauwkeuriger, maar nog steeds eenvoudig; het Hata model. Dit model berekent in eerste instantie het propagatieverlies voor stedelijke gebieden. Daarna wordt dit verlies gecorrigeerd voor de semi-stedelijke en open gebieden. Het Hata model wordt toegepast voor de frequentieband 150 - 1500 MHz wanneer het propagatiepad van de radiosignalen bekend is.

Voor de schatting van het propagatieverlies zijn zowel bij het Egli als bij het Hata model de gegevens van tabel 5.1 vereist.

Gegevens Egli en Hata model	Herkomst gegevens
Zendvermogen (P_{OUT})	RDR of gebruiker
Frequentie (f_{MHz})	RDR of gebruiker
Hoogte zendantenne (h_t)	RDR of gebruiker
Hoogte ontvangstantenne (h_r)	RDR of gebruiker

Tabel 5.1: Gegevens voor de berekening van het stoorgebied met het Egli of Hata model.

Met het Egli-model wordt het propagatieverlies op de volgende manier bepaald [22]:

$$L_{dB} = 118{,}7 + 20\log(f_{MHz}/40) - 20\log(h_t h_r) + 40\log D \qquad (5.5)$$

[28] Als gevolg van o.a. ionosferische reflecties zijn voor frequenties lager dan 90 MHz geen (betrouwbare) modellen beschikbaar, die het propagatieverlies nauwkeuring kunnen benaderen. Benadering van propagatieverliezen voor frequenties lager dan 90 MHz kunnen worden uitgevoerd m.b.v. het Egli model, met die restrictie dat het berekende propagatieverlies niet altijd betrouwbaar is [RDR, A. BRinkerink].

Hierin gelden de volgende parameters:

- L_{dB} (dB) is het propagatieverlies;
- f_{MHZ} (MHz) is de frequentie waarop wordt uitgezonden in de band 90-1000 MHz;
- h_t (m) is de hoogte van de zendantenne;
- h_r (m) is de hoogte van de ontvangantenne;
- D (km) is de afstand tussen zender en ontvanger.

Met het Hata-model wordt het propagatieverlies bepaald volgens de formules van tabel 5.2 [23]:

Stedelijk gebied	$L_{dB} = 69.55 + 26.16\log f_{MHz} - 13.82\log h_t - a(h_r) + (44.9 - 6.55\log h_t)\log D$ (5.6)
	Correctiefactor voor voertuig antenne hoogte: - een kleine stad $a(h_r) = (1.1\log f_{MHz} - 0.7)h_r - (1.56\log f_{MHz} - 0.8)$ (5.7) - een grote stad $a(h_r) = 3.2\,(\log 11.75h_r)^2 - 4.97$ (5.8) $f_{MHz} \geq 400$ Mhz
Semi-stedelijk gebied	$L_{dB}\,(\text{semi-stedelijk}) = L_{dB} - 2\left[\log\left(\frac{f_{MHz}}{28}\right)\right]^2 - 5.4$ (5.9)
Open gebied	$L_{dB}\,(\text{open}) = L_{dB} - 4.78\left[\log\left(\frac{f_{MHz}}{28}\right)\right]^2 + 18.33\log f_{MHz} - 40.94$ (5.10)

Tabel 5.2: Hata model voor de berekening van het propagatieverlies.

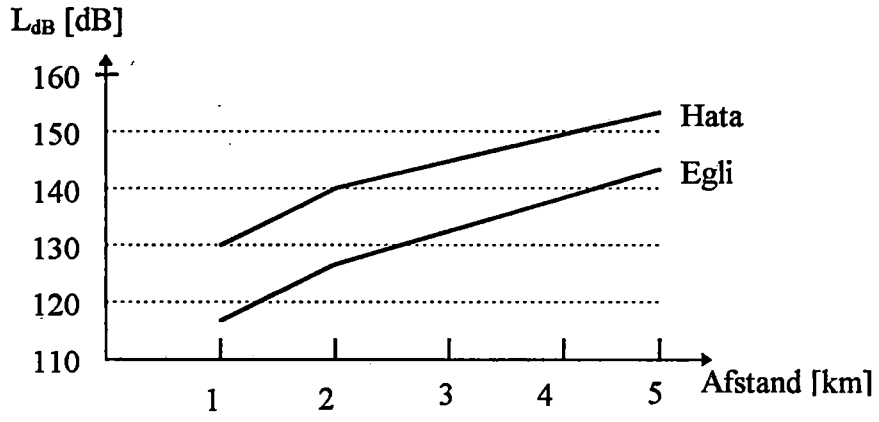
Hiervoor gelden de volgende parameters en randvoorwaarden:

- L_{dB} (dB) is het propagatieverlies;
- f_{MHZ} (MHz)is de frequentie waarop wordt uitgezonden ($150 < f_{MHz} < 1500$ MHz);
- h_t (m) is de hoogte van de zendantenne ($30 < h_t < 200$ m);
- h_r (m) is de hoogte van de ontvangstantenne ($1 < h_r < 10$ m);
- D (km) is de afstand tussen zender en ontvanger ($1 < D < 20$ km).

Onder dezelfde omstandigheden zijn de propagatieverliezen van het Hata model groter dan de verliezen van het Egli model [24]. In figuur 5.4 is het propagatieverlies van zowel het Egli als het Hata model uitgezet tegen de afstand. Hierbij is uitgegaan van de volgende parameters: f_{MHz} = 900 MHz (overeenkomend met het GSM-systeem);

h_t = 20 m;

h_r = 1.5 m.



Figuur 5.4: Propagatieverlies voor de Egli en Hata modellen [24].

Het radiosignaal wordt met een bepaald zendvermogen (P_{OUT}) uitgezonden. Op een bepaalde afstand van de zender is het ontvangen signaalvermogen kleiner dan het vermogensdrempel[29] (dP). Het gebied waar het ontvangen vermogen de vermogensdrempel overschreidt is het stoorgebied van het radiosignaal. Het verloren vermogen van de zender tot het punt waar het drempelvermogen wordt ontvangen is het propagatieverlies (L_{dB}). De afstand (D_{prop}) waarover het propagatieverlies plaats vindt kan met behulp van de volgende gegevens berekent worden.

- formule voor het propagatieverlies in dB (L_{dB}) (en hiervoor benodigde gegevens);
- Uitgezonden vermogen in dB (P_{OUT});
- Vermogensdrempel op de rand van het stoorgebied, in dB (dP).

[29] De vermogensdrempel voor het stoorgebied is een door de spectrumbeheerder vast te stellen waarde.

De afstand waarover het propagatieverlies plaats vindt, wordt met de hiervoor genoemde gegevens en de volgende formule berekend.

$$L_{dB} = P_{OUT} - dP \tag{5.11}$$

In de formules 5.12 tot en met 5.16 is de afstand (D_{prop}) waarover het propagatieverlies plaats vindt, voor de hier behandelde propagatiemodellen bepaald.
Afstand waarover het propagatieverlies plaats vindt bepaald met het Egli-model;

$$D_{prop} = 10^{\left(\frac{P_{OUT} - dP - 118.7 - 20\log\left(\frac{f_{MHz}}{40}\right) + 20\log h_t h_r}{40}\right)} \tag{5.12}$$

Afstand waarover het propagatieverlies plaats vindt bepaald met het Hata model:

- stedelijk, kleine stad:

$$D_{prop} = 10^{\left(\frac{P_{OUT} - 69.55 - 26.16\log f_{MHz} + 13.82\log(h_t) + (1.1\log f_{MHz} - 0.7)h_r - (1.56\log f_{MHz} - 0.8) - dP}{(44.9 - 6.55\log h_t)}\right)} \tag{5.13}$$

- stedelijk, grote stad

$$D_{prop} = 10^{\left(\frac{P_{OUT} - 69.55 - 26.16\log f_{MHz} + 13.82\log(h_t) + 3.2(\log 11.75h_r)^2 - 4.97 - dP}{(44.9 - 6.55\log h_t)}\right)} \tag{5.14}$$

- semi-stedelijk:

$$D_{prop} = 10^{\left(\frac{P_{OUT} - 69.55 - 26.16\log f_{MHz} + 13.82(\log h_t) + 2\left[\log\left(\frac{f_{MHz}}{28}\right)\right]^2 + 5.4 - dP}{(44.9 - 6.55\log h_t)}\right)} \tag{5.15}$$

- open:

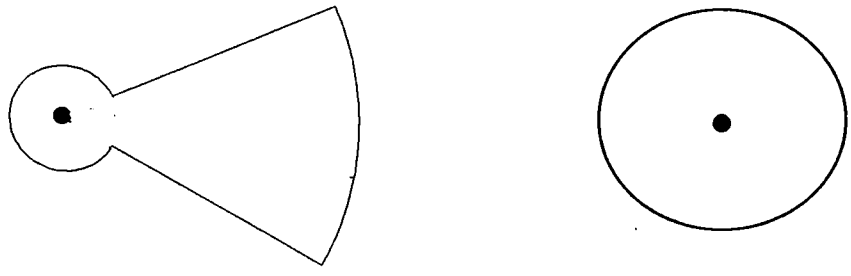
$$D_{prop} = 10^{\left(\frac{P_{OUT} - 69.55 - 26.16 \log f_{MHz} + 13.82 \log(h_t) + 4.78 \left[\log\left(\frac{f_{MHz}}{28} \right) \right]^2 - 18.33 \log f_{MHz} + 40.94 - dP}{(44.9 - 6.55 \log h_t)} \right)} \quad (5.16)$$

De afstand waarover het propagatieverlies (D_{prop}) plaats vindt is gelijk aan de straal van een cirkelvormig stoorgebied. Het stoorgebied is de oppervlakte van de cirkel met een straal gelijk aan de afstand tussen zender en (test)ontvanger.

In formulevorm

$$DSG = \pi(D_{prop})^2 \qquad [km^2] \quad (5.17)$$

In dit vereenvoudigde model is uitgegaan van zowel een rondstraler als een identieke propagatie-omgeving. Wordt een richtzender over een variërend propagatiepad gebruikt dan wordt het stoorgebied niet meer bepaald door de oppervlakte van een cirkel. Figuur 5.5 schetst geeft stoorgebieden veroorzaakt door een rondstraler en een richtantenne:



a b

Figuur 5.5: a: stoorgebied richtantenne.
b: stoorgebied rondstraler.
● Zender

5.4.2 Rekenmodel voor de benadering van de bronbandbreedte en bitrate

Voor de berekening van de modulatie-efficiëntie moet de bronbandbreedte (analoog) of de bitrate (digitaal) bekend zijn. Voor de meeste communicatiesystemen zijn de bronbandbreedte en de bitrate voor bepaalde toepassingen in standaarden vastgelegd.

Theoretisch gezien kunnen bronbandbreedte en bitrate worden berekend voor een gegeven modulatietechniek met behulp van een aantal gegevens (B_T, β_f, β_p en Δf).
In tabel 5.3 zijn voor verschillende analoge modulatietechnieken de benodigde gegevens voor het bepalen van de bronbandbreedte aangegeven, alsmede de bronnen waar deze verkregen kunnen worden.

Modulatietechniek	Gegevens	Herkomst gegevens
AM	B_T	Vast meetnet of gebruiker
DSB-SC	B_T	Vast meetnet of gebruiker
SSB	B_T	Vast meetnet of gebruiker
PM	B_T	Vast meetnet of gebruiker
	β_p	RDR of gebruiker
FM	B_T	Vast meetnet of gebruiker
	β_f	RDR of gebruiker

AM : amplitude modulatie
DSB-SC : double-sideband suppressed carrier
SSB : single side-band
PM : fasemodulatie
FM : frequentiemodulatie

B_T : transmissie-bandbreedte
β_p : fasemodulatie-index
β_f : frequentie-modulatie-index

Tabel 5.3: Gegevens voor de berekening van de bronbandbreedte.

De formules in tabel 5.4 geven aan op welke manier de bronbandbreedte (B_B) voor deze analoge modulatietechnieken berekend wordt.

Modulatietechniek	Rekenmodel voor de bronbandbreedte (B_B)	
AM	$B_B = 1/2 * B_T$	(5.18)
DSB-SC	$B_B = 1/2 * B_T$	(5.19)
SSB	$B_B = B_T$	(5.20)
PM	$1/2 (\beta_P + 2)^{-1} * B_T$	(5.21)
FM	$1/2 (\beta_F + 2)^{-1} * B_T$	(5.22)

Tabel 5.4: Formules voor de berekening van de bronbandbreedte [14, 17].

De gegevens die nodig zijn voor het bepalen van de bitrate bij een digitale modulatietechniek alsmede de bronnen waar deze verkrijgbaar zijn, zijn aangegeven in tabel 5.5.

Modulatietechniek	Gegevens	Herkomst gegevens
OOK	B_T	Vast meetnet of gebruiker
BPSK	B_T	Vast meetnet of gebruiker
FSK	B_T	Vast meetnet of gebruiker
	Δf	RDR of gebruiker
DPSK	B_T	Vast meetnet of gebruiker
QPSK	B_T	Vast meetnet of gebruiker
MSK	B_T	Vast meetnet of gebruiker
MQAM	B_T	Vast meetnet of gebruiker

OOK : On-Off Keying
BPSK : Binary Phase Shift Keying
FSK : Frequency Shift Keying
MSK : Minimum-Shift Keying
MQAM: Mary Quadrature Amplitude Modulatie
DPSK : differential phase-shift keying
QPSK : quadrature phase shift
B_T : transmissie bandbreedte (minimum bandbreedte)[30]
Δf : frequentieverschil

Tabel 5.5 Gegevens voor de berekening van de bitrate.

De formules in tabel 5.6 geven aan op welke manier de bitrate (R) voor de verschillende digitale modulatietechnieken berekend wordt.

Modulatietechniek	Rekenmodel voor de bitrate (R)	
OOK	$R = B_T$	(5.23)
BPSK	$R = B_T$	(5.24)
FSK	$R = B_T - 2\,\Delta f$	(5.25)
DPSK	$R = B_T$	(5.26)
MSK	$R = (2/3) * B_T$	(5.27)
QPSK	$R = 2 * B_T$	(5.28)
MQAM	$R = {}^2\log * B_T$	(5.29)

Tabel 5.6 : Formules voor de berekening van de bitrate.

[30] In de praktijk is een grotere bandbreedte benodigd om een bepaald bitrate te realiseren dan de minimum bandbreedte. Wordt uitgegaan van de minimum bandbreedte dan is de berekende bitrate te groot. Gebruik wordt gemaakt van filtering voor het bereiken van een zo'n klein mogelijke tranmsissie bandbreedte.

Hoofdstuk 6

De etherefficiëntie-meter uitgevoerd als computerprogramma

Voor een radio-communicatiesysteem kan de mate van efficiënt ethergebruik bij benadering numeriek bepaald worden met behulp van de etherefficiëntie-meter. Het computerprogramma ordent en bewaart de hiervoor vereiste invoergegevens. Daarnaast berekent het programma voor ieder (deel) aspect van de etherefficiëntie een efficiëntie-getal, op basis van het theoretische model voor de etherefficiëntie.

6.1 De basis van het computerprogramma.

De HDTP heeft eisen gesteld aan de ontwikkeling van de etherefficiëntie-meter. In bijlage C is het programma van eisen, zoals gedefinieerd door de HDTP, gegeven. De eisen die betrekking hebben op het computerprogramma van de etherefficiëntie-meter zijn hieronder gegeven:

- De meetmethode dient te worden geïmplementeerd door middel van een PC applicatie;
- De benodigde invoergegevens voor de applicatie dienen realistisch en beschikbaar te zijn, bijvoorbeeld verkregen door gebruik te maken van de parameters van huidige en in de nabije toekomst geplande radioapparatuur.
- Er dient aansluiting te worden gezocht bij de geautomatiseerde systemen NARCIS en/of AMADEUS en het in ontwikkeling zijnde 'vast meetnet' van de HDTP.
- Hardware/ software eisen:
  - IBM compatible;
  - de broncode dient beschikbaar te zijn.

Het computerprogramma is geschreven in Borland Pascal (versie 7) en kan toegepast worden op iedere DOS-machine. De vereiste relevante invoergegevens worden verkregen vanuit de RDR, de ethergebruiker en door middel van metingen en rekenmodellen. De vereiste invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter zijn tijdens dit onderzoek, voor zover mogelijk, gecontroleerd op beschikbaarheid in de praktijk.

De etherefficiëntie-meter geeft een maat voor efficiënt ethergebruik voor een specifieke ethergebruiker op basis van het theoretische model van de etherefficiëntie. Met behulp van het interactieve computerprogramma worden de vereiste invoergegevens verzameld, geordend, opgeslagen en verwerkt in de efficiëntieberekeningen. Het resultaat van de berekeningen (een zestal efficiëntie-getallen) kan afgedrukt worden op de printer of weergegeven op het beeldscherm.
Het computerprogramma is op te splitsen in twee hoofdonderdelen, zoals aangegeven in figuur 6.1.

A: Keuzemenu voor de ethergebruiker en toepassingscategorie (mobiel, vast en omroep) waarvoor de efficiëntie-berekeningen worden uitgevoerd.

B: Keuzemenu etherefficiëntie-meter:

B1: De waarden van de vereiste invoergegevens invoeren, controleren en eventueel wijzigen. Vervolgens worden automatisch de efficiëntie-berekingen uitgevoerd en het resultaat afgebeeld op de monitor.

B2: De efficiëntieberekeningen uitvoeren met reeds in het geheugen opgeslagen waarden van de invoergegevens en het resultaat hiervan weergeven op de monitor.

B3: De resultaten van de efficiëntieberekeningen worden afgedrukt op de printer.

B4: Het programma beëindigen.

Figuur 6.1: Hoofdonderdelen van het computerprogramma.

Het keuzemenu van de etherefficiëntie-meter (keuze B) activeert de kernfunctie van het computerprogramma. Hierin worden de vereiste invoergegevens, na eventuele controle en

wijziging, verwerkt in de efficiëntieberekeningen. Het resultaat van de berekeningen wordt op het beeldscherm getoond of afgedrukt op de printer.

6.2 Gebruik van het computerprogramma

De etherefficiëntie-meter berekent de etherefficiëntie voor een bepaalde ethergebruiker uit een bepaalde toepassingscategorie (mobiel, omroep en vast). Wanneer de door een programma-gebruiker gewenste ethergebruiker niet in het programma voorkomt heeft deze de mogelijkheid om een nieuwe ethergebruiker aan het programma toe te voegen.
De voor de berekeningen vereiste relevante invoergegevens voor ieder specifieke ethergebruiker en toepassingscategorie worden opgeslagen in het programma. Invoering, controle en wijziging van de waarden kunnen uitgevoerd worden middels optie B1 van het keuze-menu van de etherefficiëntie-meter. Deze keuze en de overige keuze van hoofdonderdeel B van het computerprogramma worden hieronder nader toegelicht.

B1. De waarden van de vereiste invoergegevens invoeren, controleren en eventueel wijzigen. Vervolgens worden automatisch de efficiëntie-berekeningen uitgevoerd en het resultaat afgebeeld op de monitor.

De gegevens voor de efficiëntieberekeningen worden in een aantal velden opgeslagen. Tussen deze velden is een splitsing gemaakt naar de herkomst van de invoergegevens. Twee gegevensvelden afkomstig van de RDR, twee afkomstig van de ethergebruiker en twee met gegevens benodigd voor het gebruik van rekenmodellen en verwerking van de meetresultaten.

De gebruiker van het programma dient per veld aan te geven of de gegevens juist of onjuist zijn. Zijn de gegevens onjuist, dan heeft de programma-gebruiker de mogelijkheid deze waarden te wijzigen. Na goedkeuring van de invoergegevens worden de efficiëntie-berekeningen uitgevoerd.

Het resultaat van de efficiëntieberekeningen wordt op het scherm getoond. Hierbij wordt een korte interpretatie van de efficiëntie-getallen gegeven.

Indien onvoldoende gegevens ingevoerd zijn voor één of meerdere efficiëntieberekeningen, dan geeft het programma dit aan.

B2. De efficiëntieberekeningen uitvoeren met de in het geheugen opgeslagen waarden van de gegevens en het resultaat hiervan weergeven op het beeldscherm.

Met deze keuzemogelijkheid worden de resultaten van de etherefficiëntie berekeningen op het scherm getoond. Voor deze berekeningen worden de in het geheugen opgeslagen waarden voor de gekozen ethergebruiker en toepassing gebruikt. De programma-gebruiker dient aan te geven, voor de berekening van de daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd, of gebruik moet worden gemaakt van spectrumonderzoek of van verkeersmetingen.

B3. De resultaten van de efficiëntieberekeningen worden afgedrukt op de printer.

De in het geheugen opgeslagen waarden voor de specifiek ingevoerde ethergebruiker en toepassingscategorie worden gebruikt voor de etherefficiëntie berekeningen. De programma-gebruiker dient aan te geven of gebruik moet worden gemaakt van spectrumonderzoek of van verkeersmetingen voor de berekening van de daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd. De resultaten hiervan worden op de printer afgedrukt.

B4. Het computerprogramma beëindigen.

Het programma wordt beëindigd. De ingevoerde of gewijzigde waarden van de invoergegevens worden voor de gekozen ethergebruiker en toepassingscategorie bewaard.

Een nadere beschrijving van het computerprogramma is in detail uitgewerkt in bijlage D. De beperkingen van het programma en grenswaarden van de gegevens zijn eveneens in deze bijlage opgenomen.

Hoofdstuk 7

Conclusies en aanbevelingen

De in dit onderzoek ontwikkelde etherefficiëntie-meter, in opdracht van de RDR, is voor het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een instrument waarvan de resultaten gebruikt kunnen worden voor evaluatie en stimulering van efficiënt ethergebruik, wijziging van de etheruitgifte en beoordeling van etheraanvragen. Aandacht is besteed aan drie aspecten van etherefficiëntie: allocatie, transmissietechniek en planning. Het netwerkaspect is in dit onderzoek (afgezien van de trunkingefficiëntie) buiten schouwing gelaten (hoofdstuk 3). De volgende conclusies zijn uit voorgaande hoofdstukken getrokken en aanbevelingen voor verder onderzoek worden gedaan.

7.1 Conclusies

- De Hoofddirectie Telecommunicatie en Post gebruikt bij beschrijvingen aangaande radiocommunicatie het enkelvoudige begrip frequentiespectrum. Het drie parameters (frequentie, gebied en tijd) omvattende begrip 'ether' is een volledigere beschrijving omdat deze combinatie alle drie de noodzakelijke hulpbronnen voor radiocommunicatie bevat en niet *alleen* frequentie (hoofdstuk 1,2).

- Het door de ITU gedefinieerde begrip etherefficiëntie geeft geen helder inzicht in de deelaspecten van etherefficiëntie en vereist bij verschillende radiocommunicatiesystemen (bijvoorbeeld mobiel en luchtvaartverbindingen) een andere interpretatie. Toepassing van dit begrip in de praktijk op een specifiek systeem vereist daarentegen juist heldere en eenduidige beschrijvingen (hoofdstuk 3).

- Administratieve gegevens van het ethergebruik, benodigd voor de etherefficiëntie berekeningen, moeten op een overzichtelijke manier beschikbaar zijn. De beschikbaarheid van deze gegevens moet (waar mogelijk) wettelijk worden vastgelegd; waardoor ethergebruikers verplicht zijn de door de RDR gewenste gegevens te verstrekken (hoofdstuk 4).

- Met name voor het allocatieve aspect is de verwachting dat voor een aantal ethergebruikers uit de hoofdcategorie vitale overheidstaken, de etherefficiëntie laag zal zijn (o.a. vanwege bulktoewijzingen in het verleden) (hoofdstuk 3).

- Tekortkomingen bij metingen (hoofdstuk 5)
  - Zowel de meetresultaten van spectrummetingen als die van verkeersmetingen en van gerichte metingen, geven slechts indirect de gewenste invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter. Hiervoor zijn een aantal berekeningen vereist.
  - Omdat het meten (registreren) van radiosignalen een momentopname is, zijn de resultaten van de metingen niet zonder geschikt voor de beoordeling van het etherverbruik van een bepaalde ethergebruiker.
  - De meetapparatuur moet de radiosignalen daar registreren waar het signaal daadwerkelijk aanwezig is; het meten van radiosignalen is plaats afhankelijk. Wanneer bijvoorbeeld metingen worden verricht op de rand van het stoorgebied, zullen signalen soms ten onterechte niet worden geregistreerd.
  - De resultaten van het spectrumonderzoek kunnen alleen dan worden gebruikt voor de berekening van de invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter, wanneer een frequentieband wordt gemeten die volledig aan één radio-communicatiesysteem is toegewezen.

- Aan de resultaten van de etherefficiëntie-meter kunnen verschillende waarden worden gehecht (hoofdstuk 3).
  - De resultaten van de etherefficiëntie-meter moeten aan een referentiesysteem worden gerelateerd voor een relatieve beoordeling van het ethergebruik voor het geëvalueerde

radiocommunicatiesysteem. Referentiesystemen zouden ontwikkeld moeten worden voor de verschillende toepassingscategorieën.

- De drie hulpbronnen van de ether (frequentie, tijd en gebied) zijn niet steeds in gelijke mate beschikbaar. In zulke omstandigheden kan een weegfactor aan de allocatieve efficiëntie resultaten gekoppeld worden.
- Niet alle ethergebruikers hebben financieel en door gemaakte afspraken de mogelijkheid om etherzuinige apparatuur en de daarbij behorende transmissietechnieken aan te schaffen. (Denk hierbij bijvoorbeeld aan defensie in NAVO-verband).
- Eventuele herverkaveling en herziene etheruitgifte (naar aanleiding van behaalde efficiëntie resultaten) dient uiterst zorgvuldig te geschieden, vanwege mogelijke nadelige gevolgen:
  - Herverkaveling kan nadelige maatschappelijke invloeden hebben. Herverkaveling van de ether kan leiden tot wijziging van veel gebruikte frequenties. Een praktijkvoorbeeld speelde medio 1995. In die zomer is naar aanleiding van een gerechtelijke uitspraak de FM frequentie 100.7 MHz toegewezen aan Sky radio. Voorheen was op deze frequentie Radio Utrecht te ontvangen en op 100.1 MHz Radio 1. Met het toewijzen van 100.7 MHz aan Sky radio is radio Utrecht verschoven naar 100.1 MHz. Hierdoor is radio 1 in de omgeving van Utrecht niet of alleen gestoord te ontvangen.
  - Door herverkaveling vrijgekomen etherdelen moeten, voor een efficiënt ethergebruik, toegewezen worden aan (nieuwe) ethergebruikers. Hierbij geldt dat exact die vrijgekomen etherdelen voor hen geschikt dienen te zijn.
  - Door optimalisering van het ethergebruik komen stoorbandbreedte, stoortijd en stoorgebied dichter bij elkaar te liggen, hierdoor neemt de kans op interferentie toe. De spectrumbeheerder moet zich bewust zijn van deze risico's en eventuele nadelige invloeden hiervan zoveel mogelijk voorkomen.
  - De radiocommunicatie apparatuur van de ethergebruiker moet geschikt zijn om op de nieuwe frequentie(s) (na herverkaveling) te kunnen ontvangen en zenden.

- De in de ontvanger gebruikte technieken hebben invloed op het stoorgebied van radiosignalen. Nieuwe ontvangertechnieken, zoals bijvoorbeeld 'interference cancellation' [21] en filtertechnieken bepalen een deel van de ontvangmogelijkheden (hoofdstuk 3).

- De resultaten van de etherefficiëntie-meter kunnen niet alleen worden toegepast voor beoordeling van het ethergebruik maar ook voor wijzigingsvoorstellen van technische apparatuureisen (hoofdstuk 3).

7.2 Aanbevelingen[31]

- Omdat voor radiocommunicatie niet alleen frequenties maar ook tijd en het dekkings- en stoorgebied een rol spelen, zou de minister van Verkeer en Waterstaat het te voeren beleid omtrent radiocommunicatie geen frequentiebeleid moeten noemen, maar bijvoorbeeld etherbeleid[32].

- Uitbreiding van het transmissietechnische aspect door toevoeging van bijvoorbeeld bepaalde ontvangermogelijkheden, multiplextechnieken en 'antenne diversity' technieken maken het transmissietechnische aspect volledíger.

- Om een volledig beeld van het ethergebruik te verkrijgen moet ook het netwerk aspect worden meegenomen bij de bepaling van de etherefficiëntie. De efficientie beoordeling van de trunking techniek behoort feitelijk tot het netwerkaspect. In dit onderzoek is trunking behandeld bij het delingsaspect, omdat deling van frequenties in de tijd, toegepast bij trunking, een praktijk voorbeeld van deling is. Waardering van toegepaste compressietechnieken, clustergrootte van een cellulair systeem en toegangstechnieken ("multiple-access") zijn mogelijkheden om het netwerk aspect te beoordelen.

[31]Hieruit afgeleide specifieke aanbevelingen zijn in bijlage E aangegeven.
[32]De afdeling frequentiebeleid (van Beleids Zaken) heeft reeds de nieuwe naam etherzaken.

- Per toepassingscategorie moeten referentiesystemen worden gedefinieerd waaraan de resultaten van de etherefficiëntie-meter worden gerelateerd. Na vergelijking van de efficiëntie resultaten met de uitkomsten van het referentiesysteem kunnen conclusies worden getrokken en beslissingen worden genomen.

- De etherefficiëntie-meter dient in de praktijk getest worden voor verschillende communicatie-systemen. Met name moet aandacht besteed worden aan:
  - de beschikbaarheid van de benodigde invoerparameters.
  - controle van de meetresultaten; in welke mate zijn de uitkomsten (van de meetapparatuur) gevoelig voor toevalsfactoren en (on)systematische fouten?
  - verificatie van de praktische bruikbaarheid van de etherefficiëntie-meter.

- Metingen
  - Metingen van radiosignalen in het vaste meetnet worden uitgevoerd door identieke ontvangers. De hoogte van de opstelpunten van de ontvangapparatuur is daarentegen niet altijd gelijk, wat kan resulteren in een ander meetresultaat bij een identiek ontvangen veldsterkte niveau. Per meetlokatie moet een omrekeningsfactor voor de ontvangen veldsterkte worden bepaald, om de hoogteverschillen van de ontvangers te corrigeren.
  - De resultaten van spectrummetingen en verkeersonderzoek moeten meer geschikt gemaakt worden voor direct gebruik als invoergegevens van de etherefficiëntie-meter.
  - De (voor radiocommunicatie relevante) frequentieband wordt momenteel 1 à 2 keer per jaar volledig onderzocht met behulp van spectrumonderzoek en verkeersmetingen. Indien de meetduur van de metingen kleiner zou zijn, zouden meer frequenties per dag onderzocht kunnen worden. De totale frequentieband zou dan vaker kunnen worden onderzocht; dit kan tot een beter inzicht in het daadwerkelijk etherverbruik leiden.

  - Een meer bewuste keuze van de te meten frequentieband kan leiden tot beter gebruik van de meetapparatuur. Frequentiebanden waarvan de vereiste administratieve invoergegevens onbetrouwbaar of onbekend zijn, verdienen een hogere prioriteit voor

onderzoek dan banden waarvoor de benodigde administratieve gegevens betrouwbaar zijn.

- In dit onderzoek zijn alleen twee-dimensionale stoorgebieden beschouwd. Invoering van een drie-dimensionaal stoorgebied kan leiden tot algemenere toepasbaarheid van het etherefficiëntie model.

- Toepassing van de etherefficiëntie-meter op de categorie 'zakelijk gebruik' kan als aanvulling worden gebruikt op het marktmechanisme. De resultaten van de toepassing dragen bij aan vaststelling van optimale 'frequentiekavels' voor toekomstige veilingen. Tevens kunnen deze resultaten gebruikt worden voor beoordeling van de door vitale overheidstaken en publieke omroep behaalde etherefficiëntie resultaten.

- De ether kan efficiënter worden gebruikt door de*zelfde* frequentieband toe te wijzen aan meerdere ethergebruikers. De verschillende ethergebruikers krijgen een eigen prioriteit. Denk hierbij aan het verdelen van in vredestijd onbenutte etherdelen toegewezen aan bijvoorbeeld defensie. In de zogenaamde 'Cn/Mb[33]'-frequentiebanden wordt gedeeld gebruik al toegepast. Dit zijn banden die in vredestijd ter beschikking kunnen staan van civiel gebruik, maar in alarm- of oorlogsfase vrijgemaakt worden voor militair gebruik (hoogste prioriteit).

- Een windows uitvoering van het computerprogramma komt ten goede aan de gebruikersvriendelijkheid van het programma.

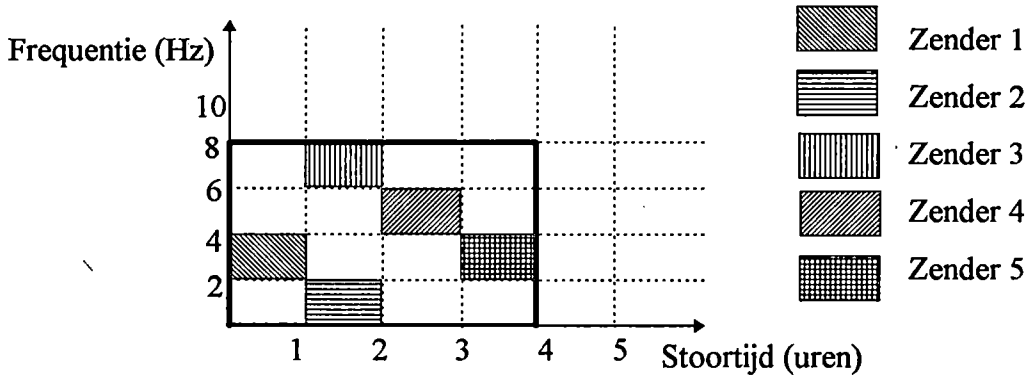
[33] Cn: Civiel normaal; Mb: Militair bijzonder.

Bijlage A

Berekening van de planningsefficiëntie voor de stoortijd

Het geïntegreerde daadwerkelijke gebruik van de hulpbronnen stoorbandbreedte en stoortijd, door één ethergebruiker, wordt met behulp van de planningsefficiëntie voor de stoortijd beoordeeld.

In figuur A1 is de veronderstelde daadwerkelijke stoorbandbreedte en daadwerkelijke stoortijd van vijf verschillende zenders, toebehorend aan één ethergebruiker, weergegeven. De zenders maken deels gebruik van dezelfde frequentiebanden in dezelfde stoortijd.



Figuur A1: Daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd van vijf verschillende zenders.

De mate waarin één ethergebruiker de hulpbronnen integreert is gelijk aan de verhouding tussen de totale oppervlakte van de gearceerde blokken en de oppervlakte van de rechthoek. De rechthoek wordt bepaald door de in beslag genomen grootste en kleinste daadwerkelijke frequentie en laatste en vroegste tijdstip van de zenders. Bij optimale integratie is de oppervlakte van de rechthoek gelijk aan de sommatie van de oppervlakte van de gearceerde blokjes.

Met behulp van formule 3.23 uit hoofdstuk 3 kan de planningsefficiëntie voor de stoortijd berekend worden:

$$E_{PLAN,\ ST} = \frac{\sum_{i}^{N} (BW_{max,i} - BW_{min,i}) * (T_{max,i} - T_{max,i})}{(max(BW_{max,i}) - min(BW_{min,i})) * (max(T_{max,i}) - min(T_{min,i}))}$$

N = het aantal zenders van één ethergebruiker.

De benodigde parameters voor deze formule worden verkregen met behulp van figuur A1. In tabel A1 is een deel van deze benodigde gegevens aangegeven.

Zender i	Hoogste freq. ($BW_{max,i}$)	Laagste freq ($BW_{min,i}$)	Laatste tijdstip ($T_{max,i}$)	Vroegste tijdstip ($T_{min,i}$)
Zender 1	4	2	1	0
Zender 2	2	0	2	1
Zender 3	8	6	2	1
Zender 4	6	4	3	2
Zender 5	4	2	4	3

Tabel A1: Gegevens voor de berekening van de planningsefficiëntie voor de stoortijd.

De maximale en minimale daadwerkelijke stoorbandbreedte zijn 8 Hz en 0 Hz:

$max\ (BW_{max,i}) - min(BW_{min,i}) = 8.$

Het laatste en vroegste tijdstip zijn 4 seconde en 0 seconde:

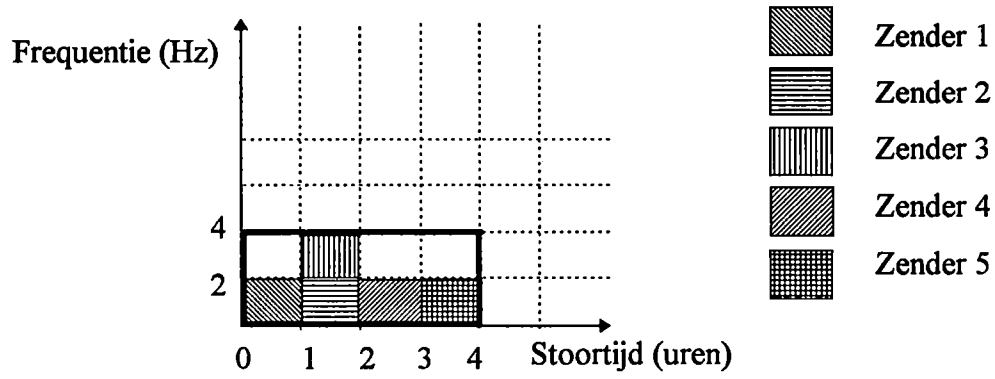
$max\ (T_{max,i}) - min\ (T_{min,i}) = 4.$

Verwerking van de verzamelde gegevens in de formule voor de planningsefficiëntie leidt tot het efficiëntie resultaat:

$$E_{PLAN,ST} = \frac{\sum_{1}^{5}(2+2+2+2+2)}{8*4} = 10/32 = 0.31$$

De planningsefficiëntie voor de stoortijd is kleiner dan 1. De hulpbronnen stoorbandbreedte en stoortijd kunnen beter worden geïntegreerd.

Door integratie van de stoorbandbreedte en stoortijd van de vijf zenders kan de situatie van figuur A2 ontstaan. Het streven is om het de hulpbronnen zo dicht mogelijk bij elkaar te brengen, zodat een zo klein mogelijk totaal oppervlakte bezet wordt.



Figuur A2: Daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd na integratie van de hulpbronnen.

Eveneens geldt voor deze situatie dat de planningsefficiëntie voor de stoortijd gelijk is aan de verhouding tussen de totale oppervlakte van de gearceerde blokken en de oppervlakte van de rechthoek. De voor de berekening benodigde gegevens zijn deels in tabel A2 gegeven.

Zender i	Hoogste freq. ($BW_{max,i}$)	Laagste freq ($BW_{min,i}$)	Laatste tijdstip ($T_{max,i}$)	Vroegste tijdstip ($T_{min,i}$)
Zender 1	2	1	1	0
Zender 2	2	0	2	1
Zender 3	4	2	2	1
Zender 4	2	0	3	2
Zender 5	2	0	4	3

Tabel A2: Gegevens voor de berekening van de planningsefficiëntie voor de stoortijd.

De maximale en minimale daadwerkelijke stoorbandbreedte zijn 4 Hz en 0 Hz:

$$\max (BW_{max,i}) - \min(BW_{min,i}) = 4.$$

Het laatste en vroegste tijdstip zijn 4 uur en 0 uur:

$$\max (T_{max,i}) - \min (T_{min,i}) = 4.$$

Met behulp van formule voor de planningsefficiëntie van de stoortijd en bijbehorende gegevens worden de efficiëntie resultaten berekend:

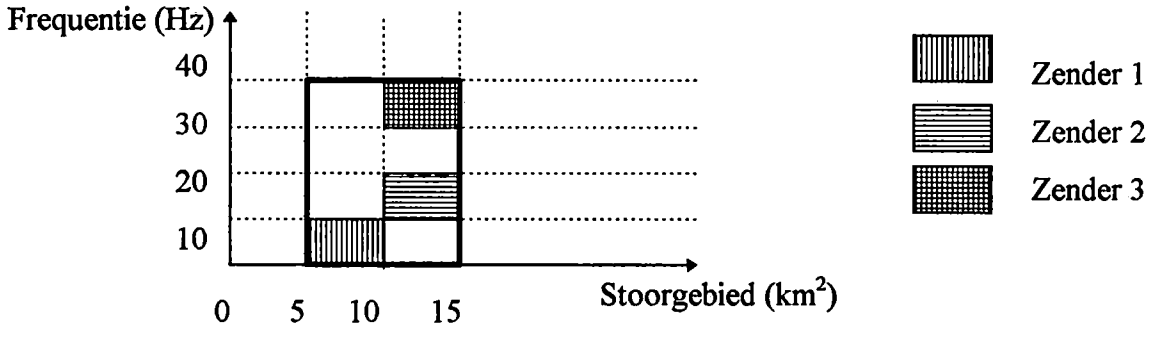
$$E_{PLAN,ST} = \frac{\sum_{1}^{5}(2+2+2+2+2)}{4*4} = 10/16 = 0.62$$

Doordat de hulpbronnen stoorbandbreedte en stoortijd dichter bij elkaar zijn gebracht, is de planningsefficiëntie voor de stoortijd in deze situatie twee keer zo groot. De ethergebruiker maakt dus twee keer zo efficiënt gebruik van de ether. De vrijgekomen ether kan eventueel aan andere (potentiële) ethergebruikers worden toegewezen.

Bijlage B

Berekening van de planningsefficiëntie voor het stoorgebied

De mate waarin de hulpbronnen stoorbandbreedte en stoorgebied geïntegreerd worden door één ethergebruiker wordt bepaald door de planningsefficiëntie voor het stoorgebied. Het veronderstelde daadwerkelijk stoorgebied en de daadwerkelijk stoorbandbreedte van drie zenders zijn aangegeven in figuur B1. In deze figuur wordt het daadwerkelijk stoorgebied voor de eenvoud één-dimensionaal weergegeven.



Figuur B1: Daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoorgebied van drie verschillende zenders.

De mate waarin één ethergebruiker de hulpbronnen stoorbandbreedte en stoorgebied integreert is gelijk aan de verhouding tussen de totale oppervlakte van de gearceerde blokken en de oppervlakte van de rechthoek. De rechthoek van figuur B1 wordt bepaald door de in beslag genomen grootste en kleinste frequenties en grootste en kleinste stoorgebied van de zenders. Met behulp van formule 3.24 uit hoofdstuk drie wordt de planningsefficiëntie voor het stoorgebied berekent.

$$E_{PLAN,SG} = \frac{\sum_{i=zender}^{N} (BW_{max,i} - BW_{min,i}) * (Gb_{max,i} - Gb_{min,i})}{(max(BW_{max,i}) - min(BW_{min,i})) * (max(Gb_{max,i}) - min(Gb_{min,i}))}$$

N = het aantal zenders van een gebruiker.

De voor deze formule benodigde gegevens kunnen worden afgelezen uit figuur B1. In tabel B1 is een deel van de benodigde gegevens aangegeven.

Zender i	Hoogste freq. ($BW_{max,i}$)	Laagste freq. ($BW_{min,i}$)	Grootste stoorgebied ($Gb_{max,i}$)	Kleinste stoorgebied ($Gb_{min,i}$)
Zender 1	10	0	10	5
Zender 2	20	10	15	10
Zender 3	40	30	15	10

Tabel B1: Gegevens voor de berekening van de planningsefficiëntie voor het stoorgebied.

De maximale en minimale daadwerkelijke stoorbandbreedte zijn 40 Hz en 0 Hz

$\max(BW_{max,i}) - \min(BW_{min,i}) = 40.$

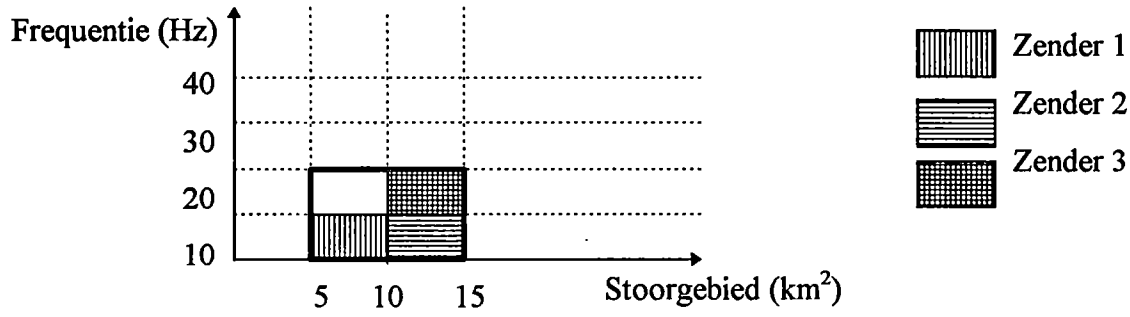
Het grootste en kleinste stoorgebied is 15 km^2 en 5 km^2

$\max(Gb_{max,i}) - \min(Gb_{min,i}) = 10$

Met behulp van de gegeven formule en bijbehorende gegevens, bepaald uit figuur B1, kan de planningsefficiëntie voor het stoorgebied worden berekend:

$$E_{PLAN,SG} = \frac{\sum_{1}^{3}(10*5)+(10*5)+(10*5)}{40*10} = \frac{150}{400} = 0.375$$

De planningsefficiëntie voor het stoorgebied is kleiner dan 1. De hulpbronnen stoorbandbreedte en stoorgebied kunnen beter worden geïntegreerd. De hulpbronnen stoorgebied en stoorbandbreedte zijn in figuur B2 dichter bij elkaar gebracht. Er is hier sprake van een betere integratie van de hulpbronnen stoorbandbreedte en stoortijd,



Figuur B2: Daadwerkelijke stoorbandbreedte en stoortijd na integratie van de hulpbronnen.

Uit deze figuur kunnen de benodigde gegevens voor de berekening van de planningsefficiëntie voor het stoorgebied afgelezen worden. Een deel van deze gegevens is in tabel B2 aangegeven. De planningsefficiëntie van het stoorgebied is gelijk aan de verhouding tussen de totale oppervlakte van de gearceerde blokken en de oppervlakte van de rechthoek.

Zender i	Hoogste freq. ($BW_{max,i}$)	Laagste freq ($BW_{min,i}$)	Grootste stoorgebied ($Gb_{max,i}$)	Kleinste stoorgebied ($Gb_{min,i}$)
Zender 1	10	0	10	5
Zender 2	10	0	15	10
Zender 3	20	10	15	10

Tabel B2: Gegevens voor de berekening van de planningsefficiëntie voor het stoorgebied.

De maximale en minimale daadwerkelijke stoorbandbreedte zijn 20 Hz en 0 Hz:

$$\max (BW_{max,i}) - \min (BW_{min,i}) = 20.$$

Het grootste en kleinste stoorgebied zijn 15 km^2 en 5 km^2:

$$\max (Gb_{max,i}) - \min (Gb_{min,i}) = 10\ km^2.$$

Met behulp van deze gegevens en formule 3.24 wordt de planningsefficiëntie voor de stoortijd berekend.

$$E_{PLAN,SG} = \frac{\sum_{1}^{3}(10*5)+(10*5)+(10*5)}{20*10} = \frac{150}{200} = 0.75$$

Het resultaat van de planningsefficiëntie na integratie van de hulpbronnen stoorbandbreedte en stoorgebied is twee keer zo goed als in het eerste geval. De integratie van stoorbandbreedte en stoorgebied leidt tot een efficiënter benutting van de ether. De vrijgekomen etherdelen kunnen eventueel aan andere (potentiële) ethergebruikers worden toegewezen.

Bijlage C

Programma van eisen

- **Doel**

Het ontwikkelen van een meetmethode waarmee een concreet antwoord kan worden gegeven op de vraag in hoeverre bepaalde frequenties technisch efficiënt worden gebruikt in Nederland.

- **Strekking**

1. Het gaat bij de efficiëntie-onderzoeken om de toetsing van het [2]:
   - het daadwerkelijke gebruik van de frequenties,
   - de gehanteerde planningsmethoden,
   - en de gebruikte apparatuur en technieken.
2. Bij het efficiënt gebruiken van radiofrequenties spelen ook de dimensies ruimte en tijd een rol. Er zal derhalve worden uitgegaan van het ruimere begrip 'ether', bestaande uit de dimensies frequenties, ruimte en tijd.
3. Onder efficiënt ethergebruik wordt verstaan de technische benutting van een ethertoewijzing door een gebruiker.
4. De doelgroep van de meetmethode wordt gevormd door de tweede hoofdcategorie van gebruik: 'Gebruik voor vitale overheidstaken' [1]. het gaat daarbij om het ethergebruik bij de uitvoering van taken op het gebied van Staatsveiligheid, defensie, openbare orde en veiligheid, luchtvaart- en maritieme veiligheid.

5. Bij de benutting van ethertoewijzingen door gebruikers kan in het algemeen onderscheid worden gemaakt tussen infrastructuur en diensten.
   5.1 Bij radio-infrastructuur kan wat efficiëntie betreft een onderscheid worden gemaakt tussen:
      - allocatieve efficiëntie (verhouding tussen daadwerkelijk ethergebruik en ethertoewijzing);
      - technische efficiëntie (verhouding tussen gerealiseerde infrastructuur-capaciteit en het daadwerkelijk ethergebruik).
   5.2 Bij radiodiensten gaat het zuiver om de benutting van infrastructuur-capaciteit (de verhouding tussen de gerealiseerde informatieoverdracht en infrastructuur-capaciteit). Dit is van natura niet een primair technische aangelegenheid.
6. Het onderzoek efficiënt frequentiegebruik is alleen gericht op de hiervoor genoemde allocatieve en technische efficiëntie wat betreft het benutten van ether.
7. De meetmethode dient niet voor de bepaling van het bestemmingsefficiëntie, d.w.z. de verhouding tussen de omvang van een etherbestemming en het ontgonnen gedeelte ervan in de vorm van toewijzingen. Bij etherbestemmingen gaat het om het type van gebruik zoals gedefinieerd in de internationale frequentiebestemmingstabel.

- **Functionele eisen**

1. In de eerste plaats dient de meetmehode voor de bepaling van de allocatieve efficiëntie van een stuk toegewezen ether, d.w.z. de verhouding tussen een ethertoewijzing aan een gebruiker en het daadwerkelijke gebruik dat er van wordt gemaakt.
2. In de tweede plaats dient de meetmethode voor de bepaling van de technische efficiëntie van gehanteerde planningsmethode en de gebruikte apparatuur en technieken. Hierbij wordt gekeken naar de verhouding tussen gerealiseerde infrastructuur-capaciteit en het bijbehorende daadwerkelijke ethergebruik.

- **Randvoorwaarden**

1. De meetmethode dient te worden door middel van een PC applicatie.
2. De benodigde invoergegevens voor de applicatie dienen realistisch en beschikbaar te zijn, bijvoorbeeld verkregen door gebruik te maken van de parameters van huidige en in de nabije toekomst geplande radioapparatuur.
3. Er dient aansluiting te worden gezocht bij de geautomatiseerde systemen NARCIS en/of AMADEUS en het in ontwikkeling zijnde 'vast meetnet' van de HDTP.
4. Hardware/software eisen:
   - IBM compatible;
   - de broncode dient beschikbaar te zijn.

Bijlage D

Handleiding etherefficiëntie-meter

De etherefficiëntie-meter (EEM) bepaalt de mate van efficiënt ethergebruik voor een specifieke ethergebruiker op grond van het theoretische model voor de etherefficiëntie. Per (deel) aspect van de etherefficiëntie wordt met behulp van de vereiste invoergegevens een efficiëntie-getal berekent, dat door de programma-gebruiker geïnterpreteerd moet worden. Het computerprogramma is in die zin interactief dat de gebruiker van het programma de waarden van de vereiste invoergegevens moet invoeren en/of controleren en/of wijzigen. De wijze waarop de etherefficiëntie-meter gebruikt moet worden en de mogelijke beperkingen worden in deze handleiding beschreven.

De basis van de etherefficiëntie-meter is in figuur D1 weergegeven.

A: Keuzemenu voor de ethergebruiker en toepassingscategorie (mobiel, vast en omroep) waarvoor de efficiëntie-berekeningen worden uitgevoerd.

B: Keuzemenu etherefficiëntie-meter:

B1: De waarden van de vereiste invoergegevens invoeren, controleren en eventueel wijzigen. Vervolgens worden automatisch de efficiëntie-berekingen uitgevoerd en het resultaat afgebeeld op de de monitor.

B2: De efficiëntie berekeningen uitvoeren met reeds in het geheugen opgeslagen waarden van de invoergegevens en het resultaat hiervan weergeven op de monitor.

B3: De resultaten van de efficiëntie berekeningen afdrukken op de printer.

B4: Het programma beëindigen.

Figuur D1:Hoofdonderdelen van de etherefficiëntie-meter.

De vereiste invoergegevens voor de etherefficiëntie-meter worden verkregen uit één of meer bronnen (RDR, ethergebruiker, metingen en rekenmodellen). De mogelijkheid bestaat dat een vereist invoergegeven voor een efficiëntie berekening via meerdere bronnen beschikbaar is. In dat geval moet een prioriteitskeuze voor de bronnen gemaakt worden. In deze versie van de etherefficiëntie-meter is de prioriteit als volgt:

1. RDR;
2. Ethergebruiker;
3. Metingen;
4 Rekenmodellen

Het gebruik van het computerprogramma

De etherefficiëntie-meter als computerprogramma wordt opgestart vanuit de dos "prompt" door invoering van eem.exe [return]. Na een korte introductie wordt onderdeel A van figuur D1 op het scherm getoond. In het volgende wordt het gebruik van het computerprogramma chronologisch doorlopen. Daar waar beperkingen gelden ten aanzien van de in te voeren gegevens worden deze duidelijk aangegeven. De tijdens het programma door de programma-gebruiker te verrichten handelingen zijn schuin gedrukt en worden gemarkeerd door het "handen-teken" ☞

A: Keuze voor de ethergebruiker en de toepassingscategorie (mobiel, vast en omroep) waarvoor de efficiëntie berekeningen gemaakt worden.

- **Ethergebruiker-keuze**

  Op het scherm worden de reeds bekende ethergebruikers voor het computerprogramma weergegeven. U heeft twee mogelijkheden:

  - Is de gewenste ethergebruiker aanwezig in de lijst;

    ☞ *Cijfer van de gewenste ethergebruiker [return]*

- Is de gewenste ethergebruiker niet aanwezig in de lijst; voer een nul (0) in.

  ☞ *0 [return]*

  U dient nu de naam van de nieuwe ethergebruiker invoeren.

  ☞ *Naam nieuwe ethergebruiker [return]*

  De volgende keer dat de etherefficiëntie- meter gebruikt wordt is deze nieuwe naam toegevoegd aan de lijst van ethergebruikers.

Beperkingen van de ethergebruiker-keuze;

* Wanneer een cijfer ingevoerd moet worden en een ander teken dan een cijfer wordt ingevoerd, ontstaat een runtime-error.
* Wanneer de lijst van ethergebruikers te groot wordt, is deze niet meer volledig op het scherm te lezen. Hiermee moet in de uitbreiding van het programma rekening gehouden worden.

- **Toepassingskeuze**

Voor de gekozen ethergebruiker moet een toepassingscategorie worden geselecteerd waartot het te onderzoeken radiocommunicatie-systeem behoort. De volgende U heeft categorieën zijn mogelijk:

1 Mobiel;

2 Vaste verbinding;

3 Omroep.

U geeft het cijfer van de gewenste toepassing.

☞ *Cijfer (gewenste toepassing) [return]* ; automatsch naar onderdeel B

Beperking van de toepassingskeuze:

* Wanneer een cijfer ingevoerd moet worden en een ander teken dan een cijfer wordt ingevoerd, ontstaat een runtime-error.

Deze toepassingskeuze heeft geen functionele waarde voor het programma; er worden geen andere berekeningen uitgevoerd voor de verschillende toepassingscategorieën. Het

onderscheid naar toepassingscategorie is aangebracht om in een later stadium systemen uit dezelfde categorie met elkaar te kunnen vergelijken.

Voorbeeld keuze ethergebruiker en toepassingscategorie:
U wilt efficiëntie-berekeningen uitvoeren voor het mobiele netwerk van de KPN. In dat geval geeft u bij ethergebruiker KPN en bij toepassingskeuze mobiel.

B: Keuzemenu etherefficiëntie-meter

Het keuzemenu van de etherefficiëntie-meter geeft vier verschillende mogelijkheden:

B1. De waarden van de vereiste invoergegevens invoeren, controleren en eventueel wijzigen. Vervolgens worden automatisch de efficiëntie berekeningen uitgevoerd en het resultaat afgebeeld op de monitor.

B2. De efficiëntie berekeningen uitvoeren met de in het geheugen opgeslagen waarden van de gegevens en het resultaat hiervan weergeven op de monitor.

B3. De resultaten van de efficiëntie berekeningen worden afgedrukt op de printer.

B4. Het programma beëindigen.

Door het cijfer van de gewenste opdrachtkeuze in te voeren, begint het programma met het uitvoeren van deze opdracht.

☞ *cijfer van de gewenste opdracht [return]*

Bij keuze twee en drie van het keuzemenu moet de gebruiker 2 handelingen verrichten. Bij keuze 1 worden meerdere handelingen van de programma gebruiker verwacht. De opdracht wordt uitgevoerd zonder tussenkomst van de programma gebruiker bij keuze vier.

Beperkingen in het etherefficiëntie-meter keuzemenu

* Wanneer een cijfer ingevoerd moet worden en een ander teken dan een cijfer wordt ingevoerd, ontstaat een runtime-error.

B1. Waarden van de vereiste invoergegevens invoeren, controleren en eventueel wijzigen. Vervolgens worden automatisch de efficiëntie berekeningen uitgevoerd en het resultaat afgebeeld op de monitor.

In dit onderdeel kunnen de waarden van de gegevens worden ingevoerd, gecontroleerd en eventueel gewijzigd. De waarden van deze vereiste gegevens benodigd voor de efficiëntie berekeningen worden opgeslagen in een file. De gegevens zijn afkomstig van 4 verschillende bronnen; RDR, ethergebruiker, metingen en rekenmodellen. Voor de invoering, controle en eventuele wijzigingen van deze gegevens moeten verschillende gegevensvelden doorlopen worden (veld II tot en met veld VII).

VELD II + III : Gegevens afkomstig van de RDR;

VELD IV + V : Gegevens afkomstig van de ethergebruiker;

VELD VI + VII : Gegevens nodig voor de verwerking van de meetresultaten (afkomstig van het vast meetnet en NERA) en het gebruik van de rekenmodellen (afkomstig van de RDR en de ethergebruiker).

Het programma begint in VELD I. Hier worden de mogelijke handelingen die op de invoergegevens uitgevoerd kunnen worden beschreven. Vervolgens worden de VELDEN II tot en met VII doorlopen.

VELD VIII geeft het resultaat van de efficiëntie-berekeningen met een korte interpretatie van de resultaten.

VELD IX is een keuzemenu waarin aangegeven wordt welke volgende stap de etherefficiëntie-meter kan maken. Een keuze hieruit moet worden gemaakt.

VELD I

In veld I worden drie mogelijkheden voor het invoeren, controleren en eventueel wijzigen van de gegevenswaarden uitgelegd. De gegevens waarvoor tot nu toe geen waarden ingevoerd zijn worden in de meeste gevallen door de waarde -1 gereprenteerd. Is dit niet het geval, dan geeft het programma dat aan.

- Wijzigen van de invoergegevens:

  Zijn de getoonde gegevens op het scherm onjuist, dan kunnen deze gewijzigd worden; "door op de vraag zijn de gegevens juist of onjuist?", onjuist in te voeren. Het programma geeft verder aan hoe de wijziging plaats vindt.

- Invoergegevens onveranderd laten:

  Zijn de gegevens juist, of bent u nog niet op de hoogte van de gegevens dan kunt u de gegevens ongewijzigd laten.

- Bepaalde gegevensbron uitschakelen:

  Indien u een gegevensbron buiten werking wilt stellen, dan kunt u dit doen door de waarde -1 te koppelen aan het gegeven van de bron.

VELD II:

- Op het scherm verschijnt het eerste deel van de gegevens die bekend zijn bij de RDR.
  - De toegewezen stoorbandbreedte aan het systeem (kHz);
  - De geplande stoorbandbreedte van het systeem (kHz);
  - Het toegewezen stoorgebied aan een systeem (km^2);
  - Het geplande stoorgebied van een systeem (km^2);
  - De toegewezen stoortijd aan het systeem (uren , 0 - 24 uur);
  - De geplande stoortijd van het systeem (uren, 0 - 24 uur).

- Bestudeer de waarden van deze gegevens. Indien voor een bepaald gegeven geen waarden op het scherm worden getoond, dan zijn er voor dit specifieke gegeven nog geen waarden ingevoerd.

- Zijn de waarden juist:

  ☞ *j [return] , automatisch naar veld III*

  Zijn de waarden onjuist:

  ☞ *o [return]*

  - Geef het nummer van het gegeven dat u wilt wijzigen, ☞ *cijfer [retrun*
  - Geef het aantal delen toegewezen stoorbandbreedte. ☞ *cijfer [return]*

    Dit is het maximum aantal delen en geldt voor alle gegevens van dit veld. Iedere keer dat deze vraag herhaald wordt moet dit maximum worden ingevoerd.
  - Voer de goede waarden in voor het gekozen gegeven. ☞ *cijfer [return]*
  - U kunt weer kiezen of de waarden juist of onjuist zijn. ☞ *j/o [return]*

Voorbeeld veld II

- *Gegeven is dat de toegewezen stoorbandbreedte volgens de RDR gelijk is aan: 105 - 115 kHz en 120 - 125 kHz*
- *Veld II geeft geen waarde aan voor de toegewezen stoorbandbreedte.*
- *Vul in dat de gegevens onjuist zijn en wijzig gegeven 1.*
- *Het aantal toegewezen stoorbandbreedtes is 2.*
- *Vul in 10 en 5 (kHz) voor de stoorbandbreedtes.- Ter controle wordt nogmaals het scherm met de waarden op het scherm getoond, geef aan dat deze waarden juist zijn.*

VELD III:

- Op het scherm verschijnt het tweede deel van de gegevens die bekend zijn bij de RDR.
  - Modulatietechniek;
  - Bronbandbreedte (kHz);
  - Bitrate (kbit per seconde);
  - Geëiste C/I verhouding (dB);
  - Geteste C/I verhouding (dB);
  - Geëiste spuriousvermogen (dBμW);
  - Geteste spuriousvermogen (dBμW);
  - Aantal toegewezen trunking kanalen.

- Bestudeer de waarden van de gegevens. De modulatietechniek wordt gerepresenteerd door een getal. Aan ieder getal is een modulatietechniek verbonden zoals hieronder aangegeven:

1. AM	5. FM	9. DPSK	13. MPSK
2. DSB-SC	6. OOK	10. QPSK	14. MFSK
3. SSB	7. BPSK	11. MSK	-1. Modulatietechniek onbekend.
4. PM	8. FSK	12. MQAM	

Bij wijziging van de modulatietechniek, wordt dit keuzemenu op scherm getoond.

- Zijn de waarden juist:

  ☞ *j [return] , automatisch naar veld IV*

  Zijn de waarden onjuist:

  ☞ *o [return]*

  - Geef het nummer van het gegeven dat u wilt wijzigen; ☞ *cijfer [return]*
  - Voer de juiste waarden in voor het gekozen gegeven; ☞ *cijfer [return]*
  - U kunt weer kiezen of de waarden juist of onjuist zijn. ☞ *j/o [return]*

VELD IV:

- Op het scherm verschijnt het eerst deel van de gegevens die bekend zijn bij de ethergebruiker.
  - De daadwerkelijke stoorbandbreedte van het systeem (kHz);
  - De toegewezen stoorbandbreedte aan het systeem (kHz);
  - De geplande stoorbandbreedte van het systeem (kHz);
  - Het daadwerkelijk stoorgebied van het systeem (km^2;
  - Het toegewezen stoorgebied aan een systeem (km^2);
  - Het geplande stoorgebied van een systeem (km^2);
  - De daadwerkelijke stoortijd van het systeem (uren , 0 - 24 uur);
  - De toegewezen stoortijd aan het systeem (uren , 0 - 24 uur);
  - De geplande stoortijd van het systeem (uren, 0 - 24 uur).

- Bestudeer de waarden van de gegevens. Indien geen getallen staan aangegeven voor bepaalde gegevens, dan betekent dit dat er voor dit specifieke gegeven nog geen waarde is ingevoerd.

- Zijn de waarden juist:

  ☞ *j [return] , automatisch naar veld V*

  Zijn de waarden onjuist:

  ☞ *o [return]*

  - Geef het nummer van het gegeven dat u wilt wijzigen. ☞ *cijfer [return]*
  - Geef het aantal delen toegewezen stoorbandbreedte. ☞ *cijfer [return]*

    Dit is het maximum aantal delen dat geldt voor alle gegevens van veld IV. Iedere keer dat deze vraag herhaald wordt moet dit maximum worden ingevoerd;
  - Voer de goede waarden in voor het gekozen gegeven. ☞ *cijfer[return]*
  - U kunt weer kiezen of de waarden juist of onjuist zijn. ☞ *j/o [return]*

Beperking van VELD IV:

Wanneer daadwerkelijk stoorbandbreedte (1) of het daadwerkelijke stoorgebied (4) of de daadwerkelijke stoortijd (7) gelijk is aan nul, dan mag geen 0 worden ingevoerd, maar een kleine waarde, bijvoorbeeld 0.1 kHz. Wanneer u 0 kHz invult beschouwd het computerprogramma dit als een waarde die niet ingevoerd is. Het daadwerkelijk etherverbruik, opgegeven door de ethergebruiker, zal in de meeste gevallen niet gelijk zijn aan nul. Dit geef aan dat de ethergebruiker zijn toegewezen etherdeel niet bezet en misschien niet nodig heeft.

VELD V:

- Op het scherm verschijnt het tweede deel van de gegevens die bekend zijn bij de ethergebruiker.
  - Modulatietechniek;
  - Bronbandbreedte (kHz);
  - Transmissiebandbreedte (bezette bandbreedte) (kHz) ;
  - bitrate (kbit per seconde);
  - Het aantal toegewezen frequentiekanalen.

- Bestudeer de waarden van de gegevens. De modulatietechniek wordt gerepresenteerd door een getal. Aan ieder getal is een modulatietechniek verbonden zoals hieronder aangegeven:

1. AM	5. FM	9. DPSK	13. MPSK
2. DSB-SC	6. OOK	10. QPSK	14. MFSK
3. SSB	7. BPSK	11. MSK	-1. modulatietechniek onbekend
4. PM	8. FSK	12. MQAM	

  Wanneer u kiest om de modulatietechniek te wijzigen, dan wordt dit keuzemenu aan u voorgelegd.

- Zijn de waarden juist:

  ☞ *j [return] , automatisch naar veld VI*

  Zijn de waarden onjuist:

  ☞ *o [return]*

  - Geef het nummer van het gegeven dat u wilt wijzigen; ☞ *cijfer [return]*
  - Voer de juiste waarden in voor het gekozen gegeven; ☞ *cijfer [return]*
  - kunt weer kiezen of de waarden juist of onjuist zijn. ☞ *j/o [return]*

VELD VI:

- Op het scherm verschijnt het eerst deel van de gegevens benodigd voor de rekenmodellen en afkomstig van de metingen.
  - Spectrumonderzoek : de gemeten frequentieband (kHz);
  - Spectrumonderzoek: maximum aantal pixels;
  - Spectrumonderzoek: meetduur (uren);
  - Spectrumonderzoek: maximaal bezettingspercentage (procenten);
  - Verkeersmetingen (pseudo) : aantal bezette frequentiekanalen;
  - Verkeersmetingen (pseudo) : filterbandbreedte (kHz);
  - Verkeersmetingen (pseudo) : gemiddelde bezetting van 10 lokaties (Erlang);
  - Gerichte meting: daadwerkelijk stoorgebied (km^2);
  - Rekenmodellen: zendvermogen (dB);
  - Rekenmodellen: zendfrequentie (MHz);
  - Rekenmodellen: hoogte zendantenne (m);
  - Rekenmodellen: hoogte ontvangantenne (m);
  - Rekenmodellen: vermogensdrempel (dB);
  - Rekenmodellen: toegepaste propagatiemodel.

  De gegevens voor de metingen zijn afkomstig uit het vaste meetnet of van het monitoringstation NERA. De gegevens voor de rekenmodellen zijn afkomstig van ethergebruiker en de RDR.

- Bestudeer de waarden van de gegevens.

  De toegepaste modulatietechniek wordt gerepresenteerd door een getal. Aan een getal is een bepaald propagatiemodel verbonden:

  1. Egli model;
  2. Hata model voor een stedelijk gebied (kleine stad);
  3. Hata model voor een groot stedelijk gebied (grote stad);
  4. Hata model voor een semi stedelijk gebied;
  5. Hata model voor een open gebied.

• Zijn de waarden juist:

☞ *j [return]*

- Gevraagd wordt of de stoorbandbreedte en de stoortijd berekend moet worden voor meerdere delen frequentiebanden of voor 1 aaneengesloten deel, respectievelijk met behulp van verkeersmetingen of spectrumonderzoek.
  Indien deze vragen niet relevant zijn (wanneer u alleen gebruik maakt van rekenmodellen) , kunt u een willekeurige keuze maken voor optie 1 of 2.

☞ *cijfer [return], automatisch naar veld VII.*

Zijn de waarden onjuist:

☞ *o [return]*

- Geef het nummer van het gegeven dat u wilt wijzigen; ☞ *cijfer [return]*
- Voer de goede waarden in voor het gekozen gegeven. ☞ *cijfer [return]*
- U kunt weer kiezen of de waarden juist of onjuist zijn. ☞ *j/o [return]*

Voorbeeld VELD VI

- *Met behulp van spectrumonderzoek is een frequentieband van 2 MHz is geobserveerd en 600 meetpunten zijn gedetecteerd; 600 pixels.*
- *Veld VI geeft geen waarde voor de frequentieband en het aantal geobserveerde meetpunten bij het spectrumonderzoek; de gegevens zijn onjuist*
- *Vul in dat gegeven 1 gewijzigd moet worden.*
- *Voer de frequentieband in kHz in: 2000 kHz*
- *Zijn de gegevens nu juist of onjuist?; gegevens zijnonjuist*
- *Vul in dat gegeven 2 gewijzigd moet worden.*
- *Voer het maximum aantal gedetecteerde meetpunten in: 600.*
- *Vul in dat de gegevens juist zijn.*
- *Kies voor de stoorbandbreedte een aaneengesloten deel (optie 1).*
- *Voor de stoortijd mag optie 1 of 2 gekozen worden.*
- *Automatisch gaat u naar veld VII.*

VELD VII:

- Op het scherm verschijnt het tweede deel van de gegevens benodigd voor rekenmodellen en afkomstig van metingen. De verkeersmetingen die hier worden bedoeld zijn gewone verkeersmetingen.
  - Verkeersmetingen (gewone): de gemiddelde kanaalbezetting van een trunkingsysteem (Erlang);
  - PM modulatie: de fasezwaai;
  - FM modulatie: de frequentiezwaai (kHz);
  - FSK modulatie; het frequentieverschil (kHz).

- Bestudeer de waarden van de gegevens.

  Zijn de waarden juist:

  ☞ *j [return] , automatisch naar veld VI*

  Zijn de waarden onjuist:

  ☞ *o [return]*

  - Geef het nummer van het gegeven dat u wilt wijzigen; ☞ *cijfer [return]*
  - Voer de juiste waarden in voor het gekozen gegeven; ☞ *cijfer [return]*
  - U kunt weer kiezen of de waarden juist of onjuist zijn. ☞ *j/o [return]*

Voorbeeld VELD VII

- *Voor een verondersteld trunkingsysteem geldt dat de gemiddelde kanaalbezetting volgens de trunkingmetingen 0.36 is. De modulatietechniek is FM en de frequentiezwaai is 75 kHz.*
- *Veld VII geeft voor alle gegevens -1; de gegevens zijn onjuist.*
- *Vul in dat gegeven 1 gewijzigd moet worden; gemiddelde kanaalbezetting is 0.36.*
- *Vul in dat de gegevens onjuist zijn; gegeven 3 moet gewijzigd worden.*
- *Vul in de frequentiezwaai is 75 kHz.*
- *Vul in dat de waarden juist zijn.*
- *U gaat automatisch naar veld VIII.*

VELD VIII

De resultaten van de berekeningen van de etherefficiënties worden achtereenvolgens op de monitor afgebeeld. Dit zijn de volgende efficiënties:

Allocatieve aspect

- stoorbandbreedte-efficiëntie;
- bezettingsefficiëntie;
- bedekkingsefficiëntie;

Transmissietechnische aspect

- modulatie-efficiëntie;
- interferentie-efficiëntie aan de ontvangkant;
- interferentie-efficiëntie veroorzaakt door de zendkant;

Delingsaspect

- trunkingsefficiëntie.

Een korte interpretatie van het resultaat van de efficiënties wordt hierbij gegeven.

VELD IX

De keuze die gemaakt is (in onderdeel B), is uitgevoerd. Veld IX toont een nieuw keuze-menu op het scherm. Deze is identiek aan het al eerder getoonde keuze-menu, met hieraan toegevoegd de mogelijkheid om de efficiëntie-berekeningen voor een andere ethergebruiker en toepassingskeuze uit te voeren (keuze 5).

1. Waarden van de vereiste invoergegevens invoeren controleren en eventueel wijzigen. Vervolgens worden automatisch de efficiëntie berekeningen uitgevoerd en het resultaat afgebeeld op het de monitor.
2. De efficiëntie berekeningen uitvoeren met reeds in het geheugen opgeslagen waarden van de invoergegevens en het resultaat hiervan weergeven op de monitor.
3. Efficiëntie berekeningen uitvoeren met de opgeslagen waarden van de gegevens en het resultaat hiervan afdrukken op de printer.
4. Het programma beëindigen.
5. Het programma doorlopen voor een andere ethergebruiker.

☞ *gewenste opdracht (cijfer) [return]*

B2. De etherefficiëntie berekeningen uitvoeren met reeds in het geheugen opgeslagen waarden van de invoergegevens en het resultaat hiervan weergeven op de monitor.

Alle vereiste gegevens die benodigd zijn voor de efficiëntie berekeningen zijn opgeslagen in een file. Wanneer deze gegevens correct zijn, dan kan de etherefficiëntie-meter de efficiënties (met deze gegevens) direct berekenen. Het resultaat van deze berekeningen wordt op de monitor getoond. De mogelijkheid bestaat dat er onvoldoende gegevens bekend zijn om een bepaalde efficiëntie te berekenen. De etherefficiëntie-meter geeft dit aan.

Nadat het resultaat op het scherm is getoond wordt het volgende op het scherm geschreven (veld X):

1. Waarden van de vereiste invoergegevens invoeren controleren en eventueel wijzigen. Vervolgens worden automatisch de efficiëntie berekeningen uitgevoerd en het resultaat afgebeeld op het de monitor.
2. De efficiëntie berekeningen uitvoeren met reeds in het geheugen opgeslagen waarden van de invoergegevens en het resultaat hiervan weergeven op de monitor.
3. Efficiëntie berekeningen uitvoeren met de opgeslagen waarden van de gegevens en het resultaat hiervan afdrukken op de printer.
4. Het programma beëindigen.
5. Het programma doorlopen voor een andere ethergebruiker.

☞ *gewenste opdracht (cijfer) [return]*

B3. Efficiëntie berekeningen uitvoeren met de opgeslagen waarden van de gegevens en het resultaat hiervan afdrukken op de printer.

De efficiënties worden berekend met de op dat moment bekende waarden van de vereiste gegevens. Het resultaat hiervan wordt geprint.
Nadat het resultaat op het scherm is getoond wordt het volgende op het scherm getoond (veld X):

1. Waarden van de vereiste invoergegevens invoeren controleren en eventueel wijzigen. Vervolgens worden automatisch de efficiëntie berekeningen uitgevoerd en het resultaat afgebeeld op het de monitor.
2. De efficiëntie berekeningen uitvoeren met reeds in het geheugen opgeslagen waarden van de invoergegevens en het resultaat hiervan weergeven op de monitor.
3. Efficiëntie berekeningen uitvoeren met de opgeslagen waarden van de gegevens en het resultaat hiervan afdrukken op de printer.
4. Het programma beëindigen.
5. Het programma doorlopen voor een andere ethergebruiker.

☞ *gewenste opdracht (cijfer) [return]*

B4. De etherefficiëntie-meter beëindigen

De etherefficiëntie-meter wordt beëindigt en hiermee heeft u het programma afgesloten.
Op het scherm verschijnt het volgende:

U heeft de etherefficiëntie-meter beëindigd
Tot de volgende keer!

☞ *druk op een toets [return]*

Bijlage E
Lijst van specifieke aanbevelingen voor de RDR

In vervolg op de gemaakte aanbevelingen in hoofdstuk 7 is een concrete lijst van actiepunten opgesteld. Deze lijst kan een begin zijn voor de volgende fase van het onderzoek naar efficiënt ethergebruik.

Uitbreiding van het theoretische model voor de etherefficiëntie

- Uitbreiding van het transmissietechnische aspect door toevoeging van bijvoorbeeld bepaalde ontvangermogelijkheden, multiplextechnieken en 'antenne diversity' technieken maken het transmissietechnische aspect volledigen.
- Om een volledig beeld van het ethergebruik te verkrijgen moet ook het netwerk aspect worden meegenomen bij de bepaling van de etherefficiëntie. De efficiëntie beoordeling van de trunking techniek behoort feitelijk tot het netwerkaspect. In dit onderzoek is trunking behandeld bij het delingsaspect, omdat deling van frequenties in de tijd ,toegepast bij trunking, een praktijk voorbeeld van deling is. Waardering van toegepaste compressietechnieken, clustergrootte van een cellulair systeem en toegangstechnieken ("multiple-access") zijn mogelijkheden om het netwerk aspect te beoordelen.
- In dit onderzoek zijn alleen twee-dimensionale stoorgebieden beschouwd. Invoering van een drie-dimensionaal stoorgebied kan leiden tot algemenere toepasbaarheid van het etherefficiëntie model.

- Administratieve gegevens betreffende het etherverbruik, benodigd voor de etherefficiëntie berekeningen, moeten op een overzichtelijke manier beschikbaar zijn. De beschikbaarheid van deze gegevens moet (waar mogelijk) wettelijk worden vastgelegd; waardoor ethergebruikers verplicht zijn de door de RDR gewenste gegevens te verstrekken (hoofdstuk 4).

Controle op de praktische toepasbaarheid van de ontworpen etherefficiëntie-meter

- Per toepassingscategorie moeten referentiesystemen worden gedefinieerd waaraan de resultaten van de etherefficiëntie-meter worden gerelateerd. Na vergelijking van de efficiëntie resultaten met de uitkomsten van het referentiesysteem kunnen conclusies worden getrokken en beslissingen worden genomen.
- De etherefficiëntie-meter dient in de praktijk getest worden voor verschillende communicatie-systemen. Met name moet aandacht besteed worden aan:
  - de beschikbaarheid van de benodigde invoerparameters.
  - controle van de meetresultaten; in welke mate zijn de uitkomsten (van de meetapparatuur) gevoelig voor toevalsfactoren en (on)systematische fouten?
  - verificatie van de praktische bruikbaarheid van de etherefficiëntie-meter.

Actiepunten met betrekking tot de metingen (het registreren van gegevens)

- Metingen van radiosignalen in het vaste meetnet worden uitgevoerd door identieke ontvangers. De hoogte van de opstelpunten van de ontvangapparatuur is daarentegen niet altijd gelijk, wat kan resulteren in een ander meetresultaat bij een identiek ontvangen veldsterkte niveau. Per meetlokatie moet een omrekeningsfactor voor de ontvangen veldsterkte worden bepaald, om de hoogteverschillen van de ontvangers te corrigeren.
- De resultaten van spectrummetingen en verkeersonderzoek moeten meer geschikt gemaakt worden voor direct gebruik als invoergegevens van de etherefficiëntie-meter.

- De (voor radiocommunicatie relevante) frequentieband wordt momenteel 1 à 2 keer per jaar volledig onderzocht met behulp van spectrumonderzoek en verkeersmetingen. Indien de meetduur van de metingen kleiner zou zijn, zouden meer frequenties per dag onderzocht kunnen worden. De totale frequentieband zou dan vaker kunnen worden onderzocht; dit kan tot een beter inzicht in het daadwerkelijk etherverbruik leiden.
- Een meer bewuste keuze van de te meten frequentieband kan leiden tot beter gebruik van de meetapparatuur. Frequentiebanden waarvan de vereiste administratieve invoergegevens onbetrouwbaar of onbekend zijn, verdienen een hogere prioriteit voor onderzoek dan banden waarvoor de benodigde administratieve gegevens betrouwbaar zijn.

Literatuurlijst

[1] G.J.M. Janssen,
"Theoretisch model voor de bepaling van de etherefficiëntie",
Vakgroep Telecommunicatie en Verkeersbegeleidings Systemen;
Faculteit der Elektrotechniek, TU Delft,
Delft, december 1995.

[2] "Nota Frequentiebeleid 1995",
Ministerie van Verkeer en Waterstaat;
Hoofddirectie Telecommunicatie en Post,
1995.

[3] J.M. Smits,
Legal aspect of implementing international telecommunications links; Institutions Regulations and Instruments,
Promovendus-rapport, december 1990.

[4] A.J.J. Meuleman,
"Een onderzoek naar een marktgerichte methode van frequentiemanagement in Nederland",
Vakgroep Telecommunicatie en Verkeersbegeleidings Systemen;
Faculteit der Elektrotechniek, TU Delft.
Afstudeerverslag, juni 1992.

[5] "European Radiocommunications Office (ERO)",
European Radiocommunications Office,
Kopenhagen, november 1994.

[6] J.M. Smits en M. van Duuren,
"Nederlands frequentiebeleid in de internationale context",
Handboek Telematica, maart 1994.

[7] "Interimwet op de telecommunicatievoorzieningen",
Minister van Verkeer en Waterstaat,
maart, 1996.

[8] Dijk, van H.B.,
"Nationaal Frequentieverdelingsplan",
Ministerie van Verkeer en Waterstaat;
Hoofddirectie Telecommunicatie en Post,
Groningen, april 1995.

[9] "Instelling Nationale Frequentie commissie",
Besluit van 25 april 1990 van de minister van Verkeer en Waterstaat,
Staatscourant 1990, nr. 81.

[10] "Frequentiebeleid in Nederland, communicerende golven",
Ministerie van Verkeer en Waterstaat;
Hoofddirectie Telecommunicatie en Post,
Groningen, 1993.

[11] "Meer marktwerking binnen een begrensde bandbreedte",
Coopers & Lybrand (managment consultants),
Utrecht, juli 1995.

[12] "Spectrum Utilisation and Monitoring",
Recommendations and Reports of the CCIR, Volume I,
International Radio Consultative Committee,
International Telcommunication Union, Geneva, 1982.

[13] A. Kegel, J.C. Arnbak en J.R. Westerveld e.a.,
"Communicatie-systemen b.o.",
Vakgroep Telecommunicatie en Verkeersbegeleidings Systemen;
Faculteit der Elektrotechniek, TU Delft,
Collegedictaat ET 03-34, januari 1994.

[14] B. Sklar,
"Digital communications",
Prentice Hall,
New Jersey, 1988.

[15] J.C. Arnbak,
"Transmissiesysteemtechniek",
Vakgroep Telecommunicatie en Verkeersbegeleidings Systemen;
Faculteit der Elektrotechniek, TU Delft,
Collegedictaat, ET 03-33, februari 1994.

[16] M.H. Weik,
"Communications standard dictionary",
Chapmann & Hall, New York,
Derde druk, 1996.

[17] L.W. Couch,
"Digital and analog communication systems",
Macmillan Publishing Company, New York,
Vierde druk, 1993.

[18] J.J. van Amstel, J.A.A.M. Poirters,
"Het ontwerpen van datastructuren en algoritmen",
Academic Service, Schoonhoven,
Derde druk, 1988.

[19] "Vast meetnet",
Ministerie van Verkeer en Waterstaat;
Rijksdienst voor Radiocommunicatie,
Groningen: intern verslag, september 1995.

[20] "Rapport trunking",
Ministerie van Verkeer en Waterstaat;
Hoofddirectie Telecommunicatie en Post,
Groningen, september 1991.

[21] G.J.M. Janssen,
"Dual-signal Receiver Structures for Simultaneous Receptions of two BPSK Modulated Co-channel Signals Using Signal Cancellation",
Wireless Personal Communications, Vol 1, No. 1, pp. 43 - 59,
Kluwer Academic Publischers, december 1994.

[22] J.J. Egli,
"Radio Propagation Above 40 MC/s over Irregular Terrain",
Proc. IRE, oktober 1957, pag. 1383 - 1391.

[23] M. Hata,
"Empirical formula for the propagation loss in landmobiel radio services",
IEEE, Transactions on Telecommunications, Vol. VT-29, Nummer 3, augustus 1980, pag. 317 - 325.

[24] B. Asmann, R.E.P. de Jong,
"Cellular design of the GSM system in The Netherlands based on propagtion models",
Vakgroep Telecommunicatie en Verkeersbegeleidings Systemen,
Faculteit der Elektrotechniek, TU Delft,
Taakverslag, januari 1994.

[25] "Aanbesteding vast meetnet",
Nederlands Inkoopcentrum.

[26] R.A. Grünewald,
'Telecommunicatie",
Faculteit der Wijsbegeerte en Technische Maatschappijwetenschappen,
TU Delft, oktober 1993.