

TNO-rapport  
FEL-00-C248

## Evaluatie van spectraal management voor xDSL-technieken in het aansluitnetwerk

TNO Fysisch en Elektronisch  
Laboratorium

Oude Waalsdorperweg 63  
Postbus 96864  
2509 JG 's-Gravenhage

Telefoon 070 374 00 00  
Fax 070 328 09 61

Datum  
december 2000

Auteur(s)  
Ir. P.J. van Vliet  
Ir. P.H. Trommelen  
I. Fernández Díaz, M.Sc.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 2000 TNO

Opdrachtnummer -  
Opdrachtgever OPTA  
Organisatieonderdeel -  
Projectbegeleider Ing. B.Y. Hilberts  
Organisatieonderdeel OPTA

Rubricering  
Titel Ongerubriceerd  
Managementuittreksel Ongerubriceerd  
Rapporttekst Ongerubriceerd  
Vastgesteld door -  
Vastgesteld d.d. -

Exemplaar nr.  
Oplage 21  
Aantal pagina's 72 (excl. distributielijst)  
Aantal bijlagen -

TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium is onderdeel van TNO Defensieonderzoek waartoe verder behoren:

TNO Prins Maurits Laboratorium  
TNO Technische Menskunde

Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

## Managementuittreksel

### Probleemstelling

Voor het toelaten van breedbandige digitale toepassingen (xDSL) op haar aansluitnetwerk stelt KPN Telecom technische voorwaarden.

In dit onderzoek is een evaluatie uitgevoerd van de technische mogelijkheden van het aansluitnetwerk voor toepassing van xDSL-diensten. Dit met als doel OPTA te ondersteunen bij de evaluatie van de technische voorwaarden die KPN stelt aan het gebruik van het aansluitnetwerk voor xDSL-diensten.

### Beschrijving van de werkzaamheden

De studie is uitgevoerd op basis van algemeen beschikbare gegevens over xDSL en op, via OPTA verkregen, niet algemeen beschikbare gegevens van KPN en andere marktpartijen.

De gestelde spectraal management regels, bestaande uit het maximum aantal aderpennen dat in een bundel kan worden gebruikt voor xDSL-diensten ('aderpaarlimitering') en de toegestane combinatie van xDSL-technieken, zijn geëvalueerd.

Voor zover mogelijk is tevens nagegaan in hoeverre op basis van bovengenoemde informatie een inzicht is te verkrijgen in de relatie tussen verschillende combinaties van xDSL-technieken en het aantal lijnen in een bundel dat kan worden gebruikt voor xDSL.

### Resultaten en conclusies

#### *Achtergrond spectraal management*

Binnen een kabelbundel vindt overspraak plaats tussen de verschillende aderpennen. Voor een breedbandige techniek zoals HDSL, waarbij een constante datasnelheid wordt toegepast, heeft storing ten gevolge van overspraak een beperking van de haalbare afstand tot gevolg. Voor breedbandige technieken met een variabele datasnelheid, zoals ADSL, resulteert deze storing in een beperking van de haalbare afstand, dan wel in een beperking in de haalbare datasnelheid. Om de storing tussen verbindingen te minimaliseren, en de beschikbare capaciteit van het aansluitnetwerk zo efficiënt mogelijk te gebruiken, zijn maatregelen op het gebied van spectraal management noodzakelijk.

De marktpartijen in Nederland zijn het er in het algemeen over eens dat regels voor spectraal management noodzakelijk zijn.

#### *Limitering van het aantal aderpennen*

De door KPN gestelde 'aderpaarlimitering' beperkt het aantal aderpennen dat gebruikt mag worden voor breedbandige technieken tot 60 van de 900 in een bundel. Deze regel is mede gebaseerd op simulatieberekeningen van KPN Research en marktkeuzen. De resultaten van de simulatieberekeningen leiden bij andere marktkeuzen tot een andere aderpaarlimitering. Het is te verwachten dat op basis van toekomstige praktijkervaringen met de xDSL-technieken minder beperkende regels zijn op te stellen.

In de meeste van de in dit onderzoek beschouwde andere landen wordt vooraf geen specifieke beperking gesteld aan het te gebruiken aantal aderpennen. Wel geeft men aan dat dit aantal in de praktijk een limiet zal hebben.

Indien men vooraf geen 'aderpaarlimitering' oplegt, zijn er procedures nodig om te bepalen hoe moet worden omgegaan met situaties waarbij storing optreedt.

Indien men vooraf een 'aderpaarlimitering' wil opleggen dan kan deze spectraal management regel het best zo goed mogelijk worden afgestemd op de specifieke situatie. Een eerste stap is een afstandsafhankelijke aderpaarlimitering in plaats van de gestelde algemene aderpaarlimitering. Deze algemene aderpaarlimitering is, voor toepassing op kabels met verschillende lengten, onnodig restrictief voor kortere kabels. Verwacht mag worden dat, op basis van toekomstige praktijkervaring, het mogelijk blijkt om een verfijndere set van regels op te kunnen stellen, welke tot een efficiënter gebruik van de beschikbare capaciteit van het aansluitnetwerk leidt.

#### *Combinatie van xDSL-technieken*

Door bepaalde xDSL-technieken uit te sluiten, kunnen de prestaties van andere breedbandige technieken beter worden. Uiteindelijk wordt de keuze van de toe te passen combinatie van xDSL-technieken echter bepaald op basis van diensten die men aan de markt wil leveren. De door KPN toegestane combinatie van breedbandige technieken bevat HDSL CAP, ADSL over POTS en ADSL over ISDN. Deze spectraal management regel is eveneens gebaseerd op simulatieberekeningen van KPN Research alsook op marktkeuzen.

Uit simulatieberekeningen van KPN Research blijkt dat voor de performance van ADSL over POTS de meest gunstige situatie bestaat als alleen deze techniek in de bundel wordt toegepast. Vervangen van ADSL over ISDN door ADSL over POTS is alleen merkbaar op de performance van ADSL over POTS wanneer HDSL 2B1Q niet voorkomt in de combinatie. HDSL 2B1Q veroorzaakt meer storing op ADSL dan HDSL CAP. Eén ADSL 'reverse'-aderpaar veroorzaakt een aanzienlijke vermindering van het bereik van ADSL. Het 'legacy'-systeem PDL is storend voor ADSL, terwijl het 'legacy'-systeem BME geen storing veroorzaakt, maar zelf wel door de meeste xDSL-technieken wordt gestoord.

De bij de standaardisatieorganisaties ETSI en ANSI in ontwikkeling zijnde standaarden voor spectraal management zijn gericht op het opstellen van een lijst van toegestane spectrummaskers voor xDSL-technieken. Ook in Oostenrijk, het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten van Amerika worden beperkingen aan de combinatie van xDSL-technieken gesteld.

De andere marktpartijen in Nederland naast KPN stellen verschillende combinaties van xDSL-technieken voor. ADSL over POTS en in de toekomst SDSL zijn de technieken die alle partijen noemen.

#### **Toepasbaarheid**

De resultaten van dit onderzoek naar de technische aspecten van spectraal management kan OPTA toepassen als ondersteuning bij de evaluatie van de technische voorwaarden die KPN stelt aan het gebruik van het aansluitnetwerk voor xDSL-diensten.

Momenteel zijn nog niet alle xDSL-technieken gestandaardiseerd en nieuwe xDSL-technieken, zoals bijvoorbeeld VDSL, zijn nog in ontwikkeling. Ook zijn de standaarden voor spectraal management nog in ontwikkeling bij ANSI en ETSI en is er nog maar in beperkte mate praktijkervaring opgedaan met het toepassen van xDSL in het aansluitnetwerk.

## Inhoud

	Afkortingen .....	7
1.	Inleiding .....	9
1.1	Achtergrond .....	9
1.2	Doelstelling onderzoek .....	9
1.3	Werkwijze .....	9
1.4	Indeling rapport .....	10
2.	Aansluitnetwerk en xDSL-technieken .....	11
2.1	Aansluitnetwerk .....	11
2.2	xDSL-technieken .....	12
2.2.1	ISDN .....	13
2.2.2	HDSL .....	13
2.2.3	SDSL .....	14
2.2.4	ADSL .....	14
2.2.5	VDSL .....	15
2.3	Conclusies .....	16
3.	Probleemstelling .....	17
3.1	Overspraak .....	17
3.2	Spectraal management .....	19
4.	Standaarden voor spectraal management .....	21
4.1	ANSI .....	21
4.1.1	Spectrale compatibiliteit .....	21
4.1.2	Spectraal management klassen .....	22
4.1.3	Analytische rekenmethode .....	23
4.1.4	Verdere ontwikkeling van de ANSI-standaard .....	23
4.2	ETSI .....	24
4.3	Specifieke uitgangspunten en toepasbaarheid .....	25
4.4	Conclusies .....	27
5.	Evaluatie van spectraal management regels .....	29
5.1	Technische onderbouwing van KPN .....	29
5.1.1	Referentiescenario .....	29
5.1.2	Simulatieresultaten .....	33
5.1.3	Inzetvoorwaarden .....	34
5.2	Evaluatie van de spectraal management onderbouwing .....	35
5.3	Conclusies .....	40

6.	Limitering van het aantal aderparen.....	41
6.1	De visie van KPN .....	41
6.2	Situatie in andere landen .....	42
6.2.1	Denemarken.....	42
6.2.2	Duitsland.....	43
6.2.3	Oostenrijk .....	43
6.2.4	Verenigd Koninkrijk.....	43
6.2.5	Verenigde Staten van Amerika.....	44
6.3	Mogelijke verfijning van de aderpaarlimitering .....	44
6.3.1	Afstandafhankelijke aderpaarlimitering .....	44
6.3.2	Praktijkervaring, verfijnen van de aderpaarlimitering.....	44
6.4	Conclusies.....	45
7.	Combinatie van xDSL-technieken .....	47
7.1	De visie van KPN .....	47
7.2	Situatie in andere landen .....	51
7.2.1	Denemarken.....	51
7.2.2	Duitsland.....	51
7.2.3	Oostenrijk .....	51
7.2.4	Verenigd Koninkrijk.....	51
7.2.5	Verenigde Staten van Amerika.....	52
7.3	De visie van andere marktpartijen in Nederland .....	53
7.4	Conclusies.....	53
8.	Analyse van technische mogelijkheden .....	57
8.1	Referentie technologiemix.....	57
8.2	Storing van HDSL .....	58
8.3	Storing van ADSL over ISDN .....	59
8.4	Penetratie van breedbandige technieken in de kabel .....	60
8.5	Conclusies.....	63
9.	Conclusies .....	65
9.1	xDSL-technieken .....	65
9.2	Achtergrond spectraal management .....	65
9.3	Spectraal management regels .....	66
9.3.1	Limitering van het aantal aderparen .....	66
9.3.2	Combinatie van xDSL-technieken.....	67
10.	Referenties .....	69
11.	Ondertekening.....	71



## Afkorting

2B1Q	2 Binary 1 Quarternary
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ANFP	Access Network Frequency Plan
ANSI	American National Standards Institute
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BT	British Telecom
CAP	Carrierless Amplitude/Phase
dB	Decibel
DMT	Discrete Multi Tone
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
EC	Echo Cancelled
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplexing
FEXT	Far End Crosstalk
FIST	Forum voor Interconnectie en Speciale Toegang
FSAN	Full Service Access Networks
HDSL	High bit rate Digital Subscriber Line
Hz	Hertz
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
ISDN	Integrated Services Digital Network
km	Kilometer
LAN	Local Area Network
MDF	Main Distribution Frame
NEXT	Near End Crosstalk
NICC	Network Interoperability Consultative Committee
NRIC	Network Reliability and Interoperability Council
OFTEL	Office of Telecommunications
OPTA	Onafhankelijke Post en Telecommunicatie Autoriteit
PDL	Primaire Digitale Lijn
POTS	Plain Old Telephone Service
PSD	Power Spectral Density
PSTN	Public Switched Telephone Network
RegTP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
RX	Receiver
SDSL	Synchronous Digital Subscriber Line
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TX	Transmitter
VDSL	Very high data rate Digital Subscriber Line
VK	Verenigd Koninkrijk



## **1. Inleiding**

### **1.1 Achtergrond**

De toegang tot het telefoonnetwerk wordt 'ontbundeld'. Dit betekent dat verschillende operators toegang kunnen krijgen tot het aansluitnetwerk van KPN Telecom. Voor het toelaten van breedbandige digitale toepassingen (xDSL) op haar aansluitnetwerk stelt KPN Telecom technische voorwaarden. Deze voorwaarden zijn gerelateerd aan de kwaliteit van het aansluitnetwerk en hebben betrekking op het aantal aderparen in een bundel dat te gebruiken is voor xDSL-diensten, eisen aan spectrummaskers en de noodzaak van spectraal management.

Als toezichthouder op de post- en telecommunicatiemarkt heeft OPTA behoefte aan een onafhankelijke beoordeling van deze door KPN gestelde begrenzingsen aan het gebruik voor haar aansluitnetwerk met betrekking tot xDSL-diensten.

### **1.2 Doelstelling onderzoek**

Het doel van het onderzoek is het evalueren van de technische mogelijkheden van het aansluitnetwerk en de aansluitlijnen voor xDSL-diensten en het ondersteunen van OPTA bij de evaluatie van de technische voorwaarden die KPN stelt aan het gebruik van het aansluitnetwerk voor xDSL-diensten.

### **1.3 Werkwijze**

De studie is uitgevoerd op basis van algemeen beschikbare gegevens van xDSL-technieken, ETSI-documenten en rapporten met betrekking tot xDSL. Daarnaast is gebruik gemaakt van vertrouwelijke gegevens van KPN die via OPTA zijn verkregen en informatie van netwerkoperators binnen het FIST-overleg en xDSL-apparaatleveranciers, waarvoor de contacten door OPTA zijn gelegd.

De gestelde voorwaarden ('aderpaarlimitering'), met betrekking tot het aantal aderparen dat in een bundel kan worden gebruikt voor xDSL-diensten, zijn geëvalueerd. Dit is gebeurd op basis van de door KPN gestelde criteria en op basis van 'benchmarks' van landen waarbij eveneens bepaalde beperkingen zijn gesteld of zijn geprognoseerd.

De gestelde combinaties van xDSL-technieken (ADSL over POTS en HDSL CAP) zijn geëvalueerd. Op basis van de door KPN verstrekte informatie is aangegeven welke combinaties van xDSL-technieken op basis van de kans op storing in principe ongewenst zijn. Voor zover mogelijk is tevens nagegaan in hoeverre op basis van deze informatie een

inzicht is te verkrijgen in de relatie tussen verschillende combinaties van xDSL-technieken en het aantal lijnen in een bundel dat kan worden gebruikt voor xDSL.

## **1.4 Indeling rapport**

Een kort overzicht van het aansluitnetwerk en van de verschillende typen xDSL-technieken wordt gegeven in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 beschrijft de technische probleemstelling met betrekking tot het gebruik van xDSL-technieken en spectraal management.

De activiteiten van internationale standaardisatieorganisaties met betrekking tot spectraal management worden beschreven in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 beschrijft de technische onderbouwing van spectraal management van KPN en geeft een evaluatie daarvan.

De evaluatie van de limitering van het aantal aderpennen voor toepassing van xDSL-technieken in het aansluitnetwerk vindt plaats in hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 evalueert de toe te passen combinaties van xDSL-technieken.

Op basis van de door KPN verstrekte informatie geeft hoofdstuk 8 een technische analyse van mogelijke combinaties van xDSL-technieken en het aantal lijnen in een bundel dat kan worden gebruikt.

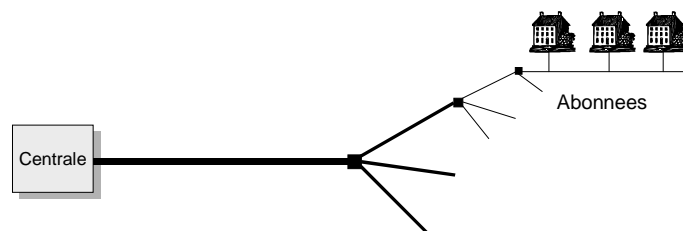
Hoofdstuk 9 geeft tenslotte de algemene conclusies van het onderzoek.

## 2. Aansluitnetwerk en xDSL-technieken

Dit hoofdstuk geeft een kort overzicht van het aansluitnetwerk en de verschillende typen xDSL-technieken.

### 2.1 Aansluitnetwerk

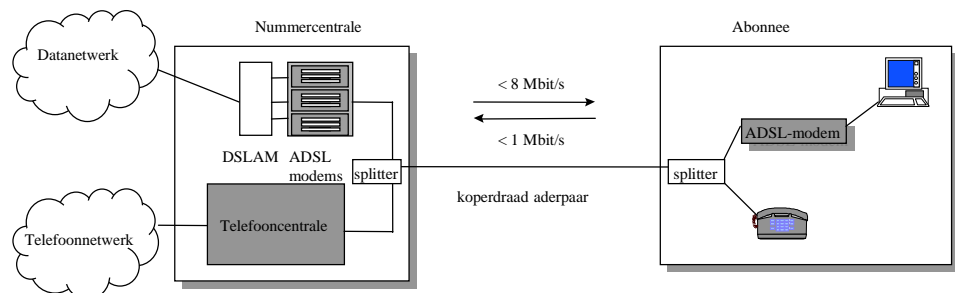
Het aansluitnetwerk tussen de nummercentrale en de aansluitpunten bij de abonnee bestaat uit een kabelbundel met diverse vertakkingen. Figuur 2.1 geeft een schematische weergave van het aansluitnetwerk.



Figuur 2.1: Schematische weergave van het aansluitnetwerk

De architectuur van het aansluitnetwerk en de lengten van de diverse kabelsegmenten verschillen sterk per specifieke situatie. Het eerste deel van het aansluitnetwerk bij de nummercentrale bestaat vaak uit een kabel met 900 aderparen<sup>1</sup>. Deze zogenaamde 900" kabel kan daarna zijn opgesplitst in drie 300" kabels en daarna weer verder opgesplitst in 100" kabels [14]. Deze kunnen weer verder opgesplitst zijn totdat uiteindelijk de aansluitkabel bij de abonnee terechtkomt.

Figuur 2.1 geeft als voorbeeld een functioneel schema van de aansluitingen van een ADSL-verbinding bij de abonnee en in de nummercentrale.



Figuur 2.2: ADSL-aansluiting [3]

<sup>1</sup> Ook een kabel met 300 aderparen is hier mogelijk [11].

Bovenstaande figuur geeft de situatie weer waarin een operator zowel ADSL als POTS of ISDN via het aansluitnetwerk aanbiedt. Door middel van ‘splitters’ worden in dit geval de twee verschillende diensten van elkaar gescheiden. Bij ontbundelde toegang tot het aansluitnetwerk wordt via het ‘Main Distribution Frame’ (MDF) toegang geboden tot de koperdraad aderpennen.

In de nummercentrale worden de binnenkomende xDSL-verbindingen met behulp van een ‘Digital Subscriber Line Access Multiplexer’ (DSLAM) aangesloten op het gewenste breedbandige datanetwerk (zoals bijvoorbeeld een ‘backbone’-netwerk voor Internet-verkeer of een eigen bedrijfsdatanetwerk voor LAN-verkeer) [3].

## 2.2 xDSL-technieken

Om hogere datasnelheden dan met een analoog modem of met ISDN mogelijk te maken via het telefoonnetwerk (PSTN) is in de afgelopen jaren een aantal ‘Digital Subscriber Line’ (DSL)-technieken ontwikkeld [3]. Deze technieken maken alle gebruik van het bestaande -koperdraad- aansluitnetwerk tussen de abonnee en de nummercentrale, dat oorspronkelijk is ontworpen voor analoge telefonie. Met behulp van speciale modems bij de abonnee en in de nummercentrale kunnen datasnelheden gerealiseerd worden van honderden kbit/s tot vele Mbit/s. Hiertoe wordt voor xDSL-verbindingen ook gebruik gemaakt van veel hogere frequenties dan de frequentieband van 300 tot 3400 Hz die analoge telefonie (POTS: ‘Plain Old Telephone Service’) in beslag neemt.

De ontwikkeling van xDSL-technieken vindt nog steeds plaats. Er bestaat een groot aantal verschillende typen systemen die niet allemaal zijn gestandaardiseerd en per type systeem kunnen er verschillende varianten qua type datasnelheid, modulatie en duplexmethode zijn. Nieuwe typen systemen zijn in ontwikkeling of bevinden zich in het proces van standaardisatie. Naast de xDSL-systemen zijn er vaak ook nog andere digitale systemen in gebruik op het aansluitnetwerk. In Nederland zijn dat bijvoorbeeld PDL (‘Primaire Digitale Lijn’) en BME (128 kbit/s huurlijn).

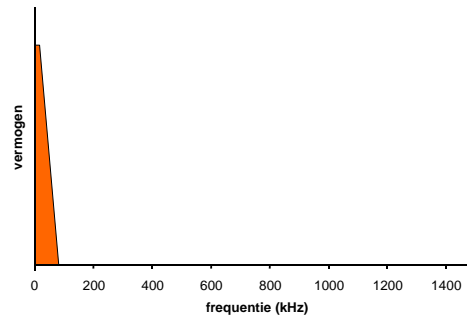
De volgende paragrafen geven een globaal overzicht van verschillende typen xDSL-technieken. Bij de beschreven technieken is een gesimplificeerde weergave van de door de desbetreffende techniek gebruikte frequentieband weergegeven. In deze figuren is horizontaal de frequentie uitgezet en verticaal een indicatie van het zendvermogen<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> ‘Power Spectral Density’ (PSD)-grafieken geven het door een modem uitgezonden vermogen als functie van de frequentie. PSD-maskers geven de grenzen aan waarbinnen het uitgezonden spectrum –dat in de praktijk een grilliger verloop heeft dan het masker– dient te vallen. De in dit hoofdstuk weergegeven gesimplificeerde weergaven voor de gebruikte frequentieband (behalve voor VDSL) zijn afgeleid uit de PSD-maskers in het ETSI-document TM(98)10 [13].

### 2.2.1 ISDN

ISDN 'Integrated Services Digital Network' wordt toegepast voor telefonie en dataverbindingen. Bij ISDN 'Basic-rate Access' wordt meestal 160 kbit/s 'full duplex' gebruik en zijn voor de gebruiker twee B-kanalen van 64 kbit/s voor spraak- en/of dataverbindingen en een 16 kbit/s D-kanaal voor signalering beschikbaar. De toegepaste modulatievorm is meestal 2B1Q.



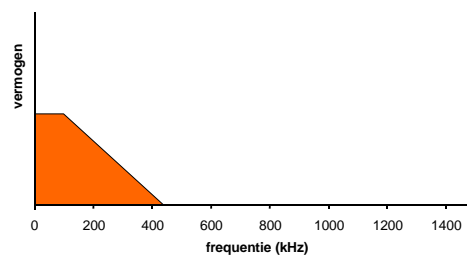
Figuur 2.3: Schematische weergave frequentieband voor ISDN

De piek in het uitgezonden vermogen bevindt zich rond 40 kHz. Het grootste deel van het uitgezonden vermogen bevindt zich lager dan 80 kHz.

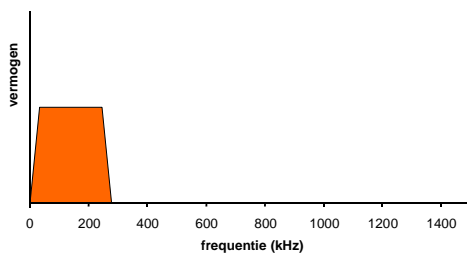
### 2.2.2 HDSL

'High bit rate Digital Subscriber Line' (HDSL) wordt toegepast voor huurlijnen met in Europa vaak een datasnelheid van 2,048 Mbit/s (E1) in beide richtingen. Afhankelijk van de afstand van gebruiker tot nummercentrale kan deze datasnelheid met 1, 2 of 3 aderparen gerealiseerd worden. Toegepaste modulatiemethoden zijn 'Pulse Amplitude Modulation 2 Binary 1 Quarternary' (2B1Q) en 'Carrierless Amplitude/Phase'-modulatie (CAP). Om HDSL-verbindingen te realiseren over grotere afstanden kan gebruik worden gemaakt van 'repeaters' die in de lijn worden geplaatst om het signaal te versterken.

Bij een relatief korte afstand tot de nummercentrale is het mogelijk om met 1 of 2 aderparen 2 Mbit/s te realiseren. Dit is mogelijk door bij een korte afstand een hogere orde modulatiemethode te gebruiken en voor langere afstanden een lagere orde modulatiemethode.



Figuur 2.4: Schematische weergave frequentieband voor HDSL 2B1Q (2 aderparen)



Figuur 2.5: Schematische weergave frequentieband voor HDSL CAP (2 aderpennen)

### 2.2.3 SDSL

ETSI werkt momenteel aan de standaardisatie van 'Synchronous Digital Subscriber Line' (SDSL). Hoewel HDSL getransporteerd kan worden over de 'gewone' aderpennen welke voor telefonie gebruikt worden, is één van de nadelen van HDSL dat één of meerdere aderpennen gebruikt moeten worden voor de dataverbinding, en dat voor telefonie nog steeds een aparte aansluiting is vereist<sup>3</sup>. Bij SDSL kan gelijktijdig normaal telefonieverkeer plaatsvinden over hetzelfde aderpaar.

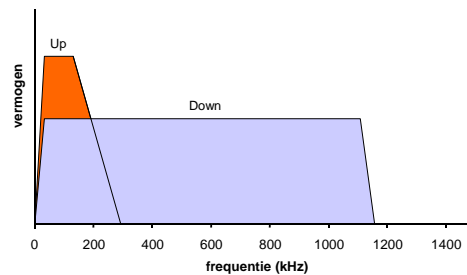
De datasnelheid zal instelbaar zijn tussen 384 kbit/s en 2,048 Mbit/s en hoger in beide richtingen.

### 2.2.4 ADSL

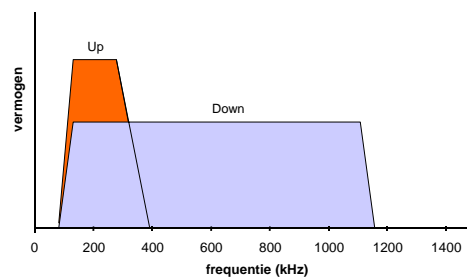
De 'Asymmetric Digital Subscriber Line' (ADSL)-techniek is een asymmetrische xDSL-variant en is met name gericht op de particuliere markt. De datasnelheid van het netwerk naar de abonnee (maximaal ongeveer 8 Mbit/s) is hoger dan het retourpad (maximaal 640 kbit/s). Afhankelijk van de afstand van de abonnee tot de nummercentrale zijn hogere dan wel lagere datasnelheden mogelijk ('rate adaption')<sup>4</sup>. De eerste ADSL-implementaties maakten gebruik van de 'Carrierless Amplitude Phase' (CAP)-modulatiemethode. Bij de standaardisatie van ADSL is echter besloten dat 'Discrete Multi Tone' (DMT) de voorkeur verdient. ADSL gebruikt één aderpaar, waarbij met behulp van een 'splitter' ook gebruik van PSTN of ISDN mogelijk blijft. ADSL zal doorgaans in de frequentieband van 30 kHz tot 1,1 MHz werken.

<sup>3</sup> Tenzij de HDSL-verbinding zelf wordt gebruikt voor telefonie.

<sup>4</sup> 'Rate adaption' vindt initieel plaats bij het inschakelen van het modem.



Figuur 2.6: Schematische weergave frequentieband voor ADSL over POTS 'uplink' en 'downlink'



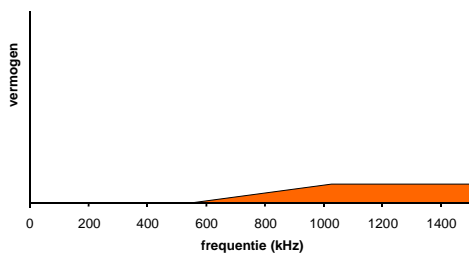
Figuur 2.7: Schematische weergave frequentieband voor ADSL over ISDN 'uplink' en 'downlink'

Bovenstaande gesimplificeerde frequentiebanden gelden voor de 'Echo Cancelled' (EC) variant van ADSL. Hierbij overlappen de frequentiebanden voor de 'uplink' en de 'downlink'. Bij de ADSL met 'Frequency Division Duplexing' (FDD) zijn de frequentiebanden van de 'uplink' en van de 'downlink' van elkaar gescheiden.

ADSL Lite, of Universal ADSL, is een uitbreiding op de ADSL-standaard. Bij deze standaard is de aanwezigheid van een 'splitter' in het huis van de abonnee niet meer nodig. Dit gaat echter ten koste van de maximaal te behalen datasnelheid.

### 2.2.5 VDSL

De 'Very high data rate Digital Subscriber Line' (VDSL)-techniek wordt ontwikkeld om nog hogere datasnelheden voor een korte verbinding (tot maximaal 1-2 km) mogelijk te maken. Omdat de VDSL-technieken nog in ontwikkeling zijn, is het nog onduidelijk wat de precieze datasnelheden zijn. Een eerste indicatie is dat 52 Mbit/s naar de gebruiker toe en 8 Mbit/s voor het retourverkeer mogelijk gaat worden voor een maximale afstand van 300 meter voor de asymmetrische variant. Andere (lagere) datasnelheden zullen tevens mogelijk worden voor grotere te overbruggen afstanden.



Figuur 2.8: Schematische weergave frequentieband voor VDSL

## 2.3 Conclusies

De xDSL-technieken worden in het aansluitnetwerk tussen de nummercentrale en de abonnees toegepast. Met xDSL-technieken kunnen datasnelheden van honderden kbit/s tot enkele Mbit/s over bestaande koperdraden gerealiseerd worden. Om deze datasnelheden mogelijk te kunnen maken, worden door xDSL-technieken veel hogere frequenties gebruikt dan voor analoge telefonie.

De belangrijkste verschillen tussen de xDSL-technieken zijn:

- het aantal aderparen waarop de techniek wordt toegepast (sommige HDSL-versies gebruiken 2 of 3 aderparen);
- het gebruikte frequentiespectrum en vermogen;
- al dan niet ondersteuning van telefonie over dezelfde aderparen (HDSL ondersteunt telefonie niet);
- de datasnelheid die in de richting van de abonnee ('downlink') gelijk of verschillend kan zijn aan die in de richting van de nummercentrale ('uplink') (ISDN, HDSL en SDSL bieden dezelfde datasnelheid in beide richtingen en ADSL en VDSL niet).

Nog niet alle technieken zijn gestandaardiseerd en nieuwe xDSL-technieken, zoals bijvoorbeeld VDSL, zijn nog in ontwikkeling.

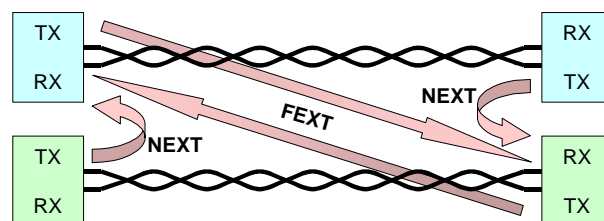
### 3. Probleemstelling

Het aansluitnetwerk is in het verleden ontworpen en aangelegd voor het overdragen van analoge telefonie (POTS). Recente ontwikkelingen tonen aan dat het aansluitnetwerk ook gebruikt kan worden voor het realiseren van dataverbindingen met hoge transmissiesnelheden. Aangezien de verschillende xDSL-technieken ook veel hogere frequenties gebruiken dan POTS, gaat bij toepassing van deze technieken de onderlinge beïnvloeding een rol spelen. Deze onderlinge beïnvloeding ontstaat ten gevolge van overspraak tussen de verschillende aderparen in een bundel.

#### 3.1 Overspraak

In het aansluitnetwerk worden aders gebruikt die bestaan uit een vaste koperen kern die is omhuld met een isolerende afscherming. In een kabel worden aderparen getwist om de elektromagnetische koppeling tussen de verschillende aderparen te beperken. Ondanks deze ‘twisting’ zal er altijd een zekere koppeling bestaan tussen aderparen in een kabelbundel. Bij het overdragen van signalen over een aderpaar binnen een kabelbundel, wordt er door de koppeling elektromagnetische energie overgedragen naar andere aderparen binnen de bundel. Dit effect wordt overspraak (‘crosstalk’) genoemd. Ieder signaal dat wordt overgedragen kan door overspraak storing veroorzaken op verbindingen die gebruikmaken van andere aderparen binnen dezelfde bundel. Andersom geldt dat een verbinding door overspraak een zekere mate van interferentie zal ondervinden van alle andere verbindingen binnen een kabelbundel. Wanneer de totale interferentie te hoog wordt, kan dit een onacceptabele afname in de performance van de betreffende verbinding tot gevolg hebben.

Overspraak kan ontstaan tussen een zend- en ontvangstgedeelte van xDSL-modems aan hetzelfde uiteinde van de kabel of tussen een zendgedeelte (TX) aan het ene uiteinde van de kabel en een ontvangstgedeelte (RX) aan het andere uiteinde. Deze vormen van overspraak worden respectievelijk ‘near end crosstalk’ (NEXT) en ‘far end crosstalk’ (FEXT) genoemd (zie Figuur 3.1).



Figuur 3.1: Typen overspraak tussen twee aderparen

De mate van overspraak hangt onder meer af van de volgende factoren:

1) *Signaalsterkte*

Hoe sterker het signaal des te groter de afstand die kan worden overbrugd. Bij de overdracht van signalen vormt de demping van de kabels (uitgedrukt in dB/km) een beperking voor de maximale afstand waarover een betrouwbare verbinding kan worden gerealiseerd. Door meer vermogen uit te zenden kan de maximaal haalbare afstand worden vergroot.

Hoe groter de signaalsterkte des te groter zal echter ook de door overspraak veroorzaakte interferentie op andere adersparen binnen dezelfde kabel zijn. Wanneer de interferentie te groot wordt zal een degradatie in de kwaliteit van de verbinding optreden, wat kan leiden tot het uitvallen van een verbinding. In verschillende internationale normen worden dan ook beperkingen opgelegd voor het totale vermogen van verschillende xDSL-technieken, om een te grote onderlinge interferentie te voorkomen.

2) *Frequentie*

De demping die een signaal ondervindt bij transmissie over een kabel hangt af van de frequentie. Voor signalen met een hogere frequentie is de demping groter dan voor signalen die lager in de frequentieband liggen.

Bij hogere frequenties is de overspraak tussen verschillende adersparen groter dan bij lage frequenties. Bij de normale spraaktelefoniediensten (POTS), waarbij de frequenties niet hoger zijn dan ongeveer 3400 Hz speelt overspraak bijna geen rol. Bij xDSL-diensten gaat het om veel hogere frequenties (tot 1 MHz bij ADSL) en vormt interferentie door overspraak een beperkende factor. Om de overspraak tussen verschillende diensten te beperken zijn er door internationale standaardisatieorganisaties spectrummaskers vastgelegd waaraan xDSL-apparatuur dient te voldoen.

Een effect dat kan worden geconstateerd is dat de steeds hogere frequenties die voor xDSL-verbindingen worden gebruikt de afstand die kan worden overbrugd steeds verder beperken. Zo is de maximale afstand voor POTS en ISDN ongeveer 6 km, voor HDSL ongeveer 4 km (zonder 'repeater'), voor ADSL tot ongeveer 5 km en VDSL in de orde van 1 tot 2 km. De beperking van de maximale afstand die kan worden overbrugd bij hogere frequenties ligt enerzijds in de grotere demping die het gewenste signaal bij de transmissie ondervindt. Anderzijds is ook overspraak voor hogere frequenties groter waardoor er meer interferentie van andere verbindingen (in dezelfde frequentieband) binnen dezelfde bundel kan optreden.

3) *'Twisting' van de aderpennen*

Om de overspraak tussen aderpennen te beperken worden de aderpennen 'getwist'. De overspraak tussen aderpennen die met dezelfde spoed zijn 'getwist' is groter dan wanneer er met een verschillende spoed wordt 'getwist'. Vandaar dat bij het samenstellen van een kabelbundel veelal aderpennen worden 'getwist' met een aantal verschillende spoeden.

4) *Afstand tussen aderpennen*

Wanneer aderpennen direct tegen elkaar liggen zal de overspraak groter zijn dan wanneer zij zich, binnen de bundel, op een zekere afstand van elkaar bevinden. Veelal wordt er van uitgegaan dat het in de praktijk niet mogelijk is aderpennen binnen een bundel te plannen, zodat bijvoorbeeld xDSL-verbindingen op een gunstige manier binnen de bundel zouden kunnen worden verdeeld. Bij het realiseren van xDSL-verbindingen in de praktijk wordt aangenomen dat de betreffende aderpennen willekeurig over de bundel zijn verdeeld. De onderlinge afstand tussen aderpennen binnen een bundel is een stochastische variabele. Hierop zal in een latere analyse nader worden ingegaan.

5) *Lengte van de kabel*

Zoals al eerder vermeld, ondervinden signalen bij transmissie over een kabel een zekere demping die toeneemt met de lengte. Elk type kabel heeft een specifieke dempingswaarde in dB/km.

Ook de overspraak tussen aderpennen binnen dezelfde bundel, met name de FEXT, neemt toe met de lengte van de kabel.

### **3.2 Spectraal management**

De overspraak, die tussen verschillende aderpennen binnen een kabelbundel plaatsvindt, is een beperkende factor bij het realiseren van xDSL-verbindingen. De overspraak tussen verschillende aderpennen binnen een bundel veroorzaakt onderlinge storing tussen de betreffende verbindingen. Naast de overspraak is de demping van de kabel van belang, aangezien de signalen daardoor worden verzwakt. Wanneer de storing op een verbinding te groot wordt, heeft dit gevolgen voor de kwaliteit en beschikbaarheid van deze verbinding.

Voor xDSL-technieken met een vaste datasnelheid (bijvoorbeeld HDSL) betekent dit een beperking van de haalbare afstand; voor afstanden groter dan de haalbare afstand is geen verbinding mogelijk. Voor xDSL-technieken met een variabele datasnelheid (bijvoorbeeld ADSL) betekent dit een beperking van de haalbare afstand bij een gewenste datasnelheid, dan wel een beperking in de haalbare datasnelheid bij een gewenste afstand.

Het aantal xDSL-verbindingen binnen een bundel is van invloed op de mate van interferentie. Ook de ingezette typen xDSL-technieken met het bijbehorende spectrumgebruik spelen hierbij een rol.

Onder spectraal management worden alle activiteiten verstaan die er op zijn gericht de technische mogelijkheden van het aansluitnetwerk optimaal te benutten en daarbij de onderlinge storing tussen verbindingen te minimaliseren.

## 4. Standaarden voor spectraal management

Er is een aantal manieren waarop spectraal management kan worden benaderd. In dit hoofdstuk worden de aanbevelingen en eisen ten aanzien van spectraal management van de standaardisatieorganisaties European Telecommunications Standards Institute (ETSI) en American National Standards Institute (ANSI) beschreven.

### 4.1 ANSI

Het document '*Spectrum Management for Loop Transmission Systems*' [23] is een 'draft standard' waarin ANSI aanbevelingen en eisen geeft voor spectraal management. Als uitgangspunt wordt hierbij gehanteerd: "het realiseren van spectrale compatibiliteit tussen diensten en technieken die gebruikmaken van aderen binnen dezelfde kabelbundel". Hiertoe worden per techniek limieten gesteld aan het ingangsvermogen (spectrummaskers) en richtlijnen voor de inzet van de verschillende xDSL-technieken gegeven.

#### 4.1.1 Spectrale compatibiliteit

In de ANSI-standaard worden 'spectraal management klassen' gedefinieerd die de verschillende diensten representeren, zoals spraaktelefonie (POTS), ISDN, HDSL en ADSL. Er is hierbij een aantal 'basissystemen' vastgesteld waarvoor dient te worden aangetoond dat de xDSL-spectraal management klassen compatibel zijn. De lijst van 'basissystemen' bestaat uit systemen zoals die in het huidige netwerk operationeel zijn. Deze lijst is aan veranderingen onderhevig omdat transmissiesystemen die zijn achterhaald (en uit het netwerk zijn verwijderd) van de lijst zullen worden geschrapt en nieuwe systemen kunnen worden toegevoegd. Door het aantonen van de 'spectrale compatibiliteit' met deze basissystemen wordt voorkomen dat met de introductie van nieuwe transmissietechnieken de huidige dienstverlening in gevaar komt. Om opgenomen te worden in de lijst van 'basissystemen' dient voldaan te worden aan de volgende voorwaarden:

- het moet bij voorkeur gaan om een systeem dat is of wordt gestandaardiseerd door een standaardisatieorganisatie die door ITU of ANSI wordt erkend;
- wanneer het gaat om een niet-gestandaardiseerd systeem dienen de volledige specificaties van het betreffende systeem vast te staan en er vanuit de industrie een voldoende draagvlak te zijn voor het betreffende systeem;
- bij voorkeur moet een nieuw basissysteem geen noodzakelijke wijzigingen vereisen in bestaande spectraal management klassen om spectrale compatibiliteit te realiseren;
- een nieuw basissysteem moet bij voorkeur significant verschillen van bestaande basissystemen;

- voor een nieuw basissysteem moet worden aangegeven welke voordelen (in aantal verbindingen per kabelbundel, afstand of datasnelheid) het nieuwe systeem biedt ten opzichte van bestaande basissystemen. Door middel van scenario's moet worden aangegeven dat het nieuwe basissysteem kan worden ingezet waar bestaande basissystemen niet kunnen worden toegepast.

Volgens de ANSI-standaard zijn er twee manieren waarmee kan worden aangetoond dat een transmissietechniek 'spectraal compatibel' is met een andere transmissietechniek:

- 1) wanneer wordt voldaan aan de vermogenslimieten, de inzetrichtlijnen en eventuele andere criteria van één (of meerdere) gedefinieerde spectraal management klassen;
- 2) wanneer er door middel van de analytische rekenmethode, die in de ANSI-standaard is gegeven, wordt aangetoond dat wordt voldaan aan de gestelde criteria.

#### **4.1.2 Spectraal management klassen**

Per spectraal management klasse wordt een aantal aspecten gedefinieerd:

##### *Beperkingen van het signaalvermogen*

Zoals eerder beschreven, is de overspraak afhankelijk van de signaalsterkte en de frequentie. Door het definiëren van zogenaamde spectrummaskers wordt een limiet gesteld aan de vermogensspectraaldichtheid ('Power Spectral Density' PSD; vermogensniveau bij verschillende frequenties) van het signaal. Bij de gedefinieerde spectrummaskers wordt in de ANSI-standaard ook een maximale waarde voor het totale signaalvermogen gedefinieerd. Tevens worden er eisen gesteld aan de 'transverse balance' en 'longitudinal output voltage'. Alle gestelde normen gelden zowel voor de apparatuur aan de kant van de centrale als de terminal bij de abonnee. De methode, waarmee dient te worden gemeten of een transmissiesysteem al dan niet voldoet aan de normen behorend bij een spectraal management klasse, wordt in het ANSI-document beschreven.

##### *Inzetrichtlijnen*

Voor sommige transmissiesystemen is het noodzakelijk om naast de beperking van het signaalvermogen ook richtlijnen te definiëren voor de inzet van de betreffende techniek. De inzetrichtlijnen die worden gegeven om spectrale compatibiliteit te realiseren, kunnen zijn in termen van:

- maximale afstand waarover systemen behorende tot de betreffende spectraal management klasse mogen worden ingezet;
- uitsluiting van het 'reverse' gebruik van bepaalde transmissietechnieken (bijvoorbeeld 'up-stream' en 'down-stream' van ADSL mogen niet worden omgedraaid, omdat dit aanzienlijke interferentie teweegbrengt);

- het uitsluiten van bepaalde bijzondere instellingen van xDSL-apparatuur al worden deze wel in de standaardisatie wel beschreven (bijvoorbeeld de 'Power boost mode').

Volgens de inzetrichtlijnen worden aan systemen waarbij 'repeaters' worden ingezet afwijkende eisen gesteld, die nog niet in de concept ANSI-standaard zijn beschreven. Naar verwachting zullen de betreffende eisen in een volgende versie worden opgenomen.

#### *Spectrale compatibiliteit van signalen*

Wanneer de apparatuur aan beide zijden van de verbinding voldoet aan de spectrummaskers en eventuele inzetrichtlijnen van één van de xDSL-spectraal management klassen, wordt het systeem als spectraal compatibel beschouwd met de basissystemen die worden gedefinieerd in de ANSI-standaard.

#### **4.1.3 Analytische rekenmethode**

Ten behoeve van de ontwikkeling van nieuwe transmissiesystemen met signalen die niet vallen binnen één van de gedefinieerde spectraal management klassen is er een analytische rekenmethode gegeven waarmee spectrale compatibiliteit kan worden nagegaan. De invloed van de nieuwe transmissietechniek wordt nagegaan door signaal-ruis-marges ('signal-to-noise margins') voor de bestaande 'basissystemen' te berekenen. Per basissysteem is er een bepaalde minimale signaal-ruis-verhouding ('Signal-to-Noise Ratio'; SNR) gegeven, waarbij het betreffende systeem nog een goede performance heeft. Wanneer onder gegeven condities de interferentie die door het nieuwe transmissiesysteem wordt veroorzaakt op ieder bestaand basissysteem een SNR tot gevolg heeft die boven de betreffende minimale waarde ligt, wordt de nieuwe techniek als spectraal compatibel beschouwd.

In de ANSI-standaard wordt de methode beschreven waarop de berekeningen voor het vaststellen van de spectrale compatibiliteit worden uitgevoerd. Voor de berekening van de overspraak tussen verschillende systemen die gebruikmaken van adersparen binnen dezelfde bundel wordt de door het 'Full Service Access Networks' (FSAN)-forum opgestelde methode toegepast. Hierbij worden specifieke eigenschappen van de beschouwde kabel als parameters in het model gebruikt.

#### **4.1.4 Verdere ontwikkeling van de ANSI-standaard**

De ANSI-standaard is in nog in conceptvorm en zal nog verder worden uitgewerkt. Een aantal onderwerpen, die in de toekomst in deze standaard zullen worden behandeld, zijn:

- spectraal management richtlijnen voor verbindingen waarin 'repeaters' worden toegepast;
- compatibiliteitsrichtlijnen voor VDSL;

- methoden voor het optimaliseren van spectrummaskers om de ‘throughput’ te maximaliseren en de capaciteit van kabelbundels zo efficiënt mogelijk te gebruiken;
- richtlijnen voor de uitwisseling tussen spectrale karakteristieken en lengte die met een xDSL-verbinding kan worden overbrugd.

## 4.2 ETSI

Ook binnen ETSI wordt aandacht besteed aan spectraal management. Er wordt gewerkt aan de samenstelling van een ‘Technical Report’ met de titel ‘*Spectral management on metallic access networks*’ [19]. KPN Research heeft een leidende rol in de totstandkoming van dit document.

Op het moment van schrijven van dit rapport richten de activiteiten zich op de afronding van deel 1 van het betreffende document getiteld: ‘*Definitions and signal library*’. In dit eerste deel worden de verschillende signalen, die via het aansluitnetwerk kunnen worden overgedragen, geïdentificeerd. Voor iedere categorie worden, onafhankelijk van de andere categorieën, eisen gespecificeerd waaraan signalen dienen te voldoen. De eisen hebben in het bijzonder betrekking op het vermogen, de vermogensspectraaldichtheid (PSD) en de onbalans.

Binnen dit ETSI ‘draft technical report’ worden signalen behorende tot werkelijke systemen (zoals POTS, ISDN, HDSL, ADSL en VDSL) geïdentificeerd, daar waar binnen ANSI [23] algemene klassen gedefinieerd werden zonder daar direct concrete systemen aan te koppelen. De essentie van het classificeren van signalen is echter gelijk, en ook binnen ETSI is het doel ervan het creëren van een basis voor spectraal management richtlijnen.

Als vervolgstap op de classificatie van signalen zal deel 2 van het ETSI ‘Technical Report’ tot doel hebben essentiële eisen op te stellen waarmee spectrale compatibiliteit van diensten, die gebruikmaken van hetzelfde ‘twisted pair’ telecommunicatie toegangsnetwerk, kan worden gegarandeerd. De eisen zullen met name betrekking hebben op de toegepaste apparatuur. Voor wat betreft spectraal management zal naar verwachting alleen een methode worden aangegeven.

Deel 2 van het ETSI ‘technical report’ is nog in voorbereiding. In een contributie van KPN Research wordt voorgesteld spectraal management als volgt te implementeren:

- De netwerkeigenaar stelt voor elk van de signaalklassen uit deel 1 een maximum aantal verbindingen vast dat binnen een bundel toelaatbaar is. Dit voor ieder type kabel binnen het aansluitnetwerk.

- De netwerkeigenaar stelt, op basis van niet-discriminerende argumenten, een mix van transmissietechnieken (categorieën) vast die mag worden ingezet. Er kunnen dus bepaalde categorieën (technieken) worden uitgesloten.
- Een verdere verfijning kan worden geïntroduceerd om het gebruik van het netwerk te optimaliseren. Hierbij moet worden gedacht aan het inzetten van technieken afhankelijk van de specifieke kabel.

Zoals gezegd betreft de voorgaande methode een bijdrage van KPN Research met betrekking tot spectraal management die dient als voorstel voor discussie.

### 4.3 Specifieke uitgangspunten en toepasbaarheid

Het ETSI 'technical report' is momenteel nog beperkt tot een classificatie van verschillende signalen. De concept ANSI-standaard voor spectraal management is verder ontwikkeld. Daarom is deze paragraaf gericht op de ANSI-standaard.

De ANSI-standaard gaat uit van de Amerikaanse situatie waar in het aansluitnetwerk kabels worden gebruikt die gegroepeerd zijn in zogenaamde 'binder groups' bestaande uit 12, 13, 25, 50 of 100 aderpennen. De verschillende 'binder groups' in een kabelbundel hebben geen elektromagnetische afscherming. Om de onderlinge overspraak te beperken zijn de individuele aderpennen getwist en zijn ook de 'binder groups' ten opzichte van elkaar getwist. Ondanks de 'twisting' kan er toch, vooral bij hoge frequenties, overspraak optreden. In de ANSI-standaard wordt gesteld dat de overspraak tussen aderpennen binnen dezelfde 'binder group' groter zal zijn dan tussen aderpennen uit verschillende 'binder groups'.

In de ANSI-standaard wordt voor de analyses ten behoeve van het vaststellen van spectrale compatibiliteit uitgegaan van een 'binder group' van 50 aderpennen. Als uitgangspunt wordt gehanteerd dat wanneer voor een technologie spectrale compatibiliteit wordt aangetoond binnen een 'binder group' van 50 aderpennen deze technologie spectraal compatibel is voor de volledige bundel. Bij de analyse wordt dan ook uitgegaan van de 49 sterkste stoorders. Hiermee wordt impliciet aangenomen dat de overspraak die aderpennen uit andere 'binder groups' binnen dezelfde bundel nog toevoegen verwaarlozen is.

Voor de berekening van de totale overspraak binnen een 'binder group' van 50 aderpennen wordt de in het FSAN-model beschreven 'power-sum'-methode gehanteerd. Deze methode zegt dat bij iedere vertienvoudiging van het aantal stoorders de totale overspraak met 6 dB toeneemt<sup>5</sup>. Deze 'power-sum' methode is specifiek afgeleid voor 'binder groups' van 50 aderpennen.

---

<sup>5</sup> Volgens FSAN neemt de cumulatieve overspraak toe met het aantal storende verbindingen met een verband  $6 \times \log(N)$ , waarbij  $N$  het aantal storende verbindingen is.

Kabels die worden toegepast in het aansluitnet verschillen per land. In de Nederlandse situatie zijn er bundels met een maximaal aantal aderpennen van 900. De kabels in Nederland zijn over het algemeen opgebouwd uit een kern bestaande uit vier aderpennen met daarom heen steeds lagen van getwiste aderpennen. Het is dus niet zo dat aderpennen zich willekeurig binnen de bundel bevinden maar ieder aderpennepaar bevindt zich in een vaste schil. De aderpennen zijn getwist om de onderlinge overspraak te beperken. In bestaande Nederlandse kabels worden per laag twee verschillende spoeden toegepast bij het twisten van de aderpennen. (In nieuwe kabels worden tegenwoordig meer spoeden toegepast; algemeen geldt hoe meer verschillende spoeden des te minder de overspraak binnen de kabel). Om en om worden de aderpennen getwist met één van de twee spoeden. In de volgende laag worden de aderpennen getwist met twee andere spoeden. Zo zijn er twee combinaties van spoeden die per laag worden afgewisseld (in het totaal dus 4 verschillende spoeden binnen een bundel).

De kabels die in Nederland binnen het aansluitnetwerk worden gehanteerd verschillen dus van de kabels in de Verenigde Staten. Er is in Nederland geen sprake van 'binder groups' maar van een gelaagde opbouw van de kabels. Of, en op welke manier de 'power-sum' methode, zoals die voor de Amerikaanse situatie is afgeleid, ook voor de Nederlandse situatie kan worden gehanteerd is niet duidelijk. Er zou een groot aantal metingen nodig zijn om dit te verifiëren. Vooral nog is er geen informatie beschikbaar die voldoende inzicht verschaft in de totale overspraak binnen een bundel (900" of 300") met een opbouw zoals in Nederland.

In de ANSI-standaard worden spectrummaskers gegeven voor de verschillende spectraal management klassen. Ieder van de bestaande xDSL-technieken past binnen één van de gedefinieerde klassen. De Amerikaanse xDSL-standaarden wijken in veel gevallen af van de Europese standaarden. Als gevolg hiervan zal de ANSI-standaard niet direct toepasbaar zijn voor de Europese situatie.

Doordat de situatie in de Verenigde Staten afwijkt van die in Europa (kabels, spectrummasker) zou de ANSI-standaard niet direct kunnen worden overgenomen. Wel zou de methode van spectraal management kunnen worden toegepast in Nederland. Door het definiëren van spectraal compatibele klassen of technieken wordt een basis gelegd voor spectraal management. Net als door ANSI is gedaan, zou voor iedere klasse / xDSL-techniek een maximale afstand kunnen worden vastgelegd waarover de betreffende xDSL-techniek mag worden ingezet. Mits wordt voldaan aan deze voorwaarde kunnen alle aderpennen in principe voor xDSL-diensten worden gebruikt. Voor aderpennen met een grotere lengte kan een beperkter aantal xDSL-technieken worden ingezet.

## 4.4 Conclusies

De standaardisatieorganisaties ANSI en ETSI werken aan standaarden voor spectraal management in het aansluitnetwerk. Op het moment van schrijven van dit rapport is de concept standaard van ANSI verder uitgewerkt dan die van ETSI.

ANSI geeft in de concept standaard '*Spectrum Management for Loop Transmission Systems*' een methode om compatibiliteit met bestaande toegepaste systemen te kunnen aantonen. Aangezien de uitgangspunten van ANSI Amerikaanse xDSL-standaarden en Amerikaanse kabels betreffen, zal deze standaard niet rechtstreeks in Nederland toepasbaar zijn. De methode van spectraal management, zoals die in het ANSI-document [23] wordt beschreven, zou wel toegepast kunnen worden in de Nederlandse situatie.

ETSI classificeert in zijn 'draft technical report' '*Spectral management on metallic access networks*', deel 1, de signalen behorend bij werkelijke xDSL-systemen. Een soortgelijke classificatie wordt in de ANSI-concept standaard gedaan. Deel 2 van het ETSI 'technical report', waarin richtlijnen zullen worden gegeven voor spectraal management, is nog in voorbereiding. KPN Research, die een leidende rol heeft in deze ETSI-werkzaamheden, heeft hiervoor een eerste voorstel ter discussie binnen ETSI gedaan.



## 5. Evaluatie van spectraal management regels

Dit hoofdstuk evalueert de technische onderbouwing voor spectraal management van KPN.

### 5.1 Technische onderbouwing van KPN

Deze paragraaf geeft een beschrijving van de technische onderbouwing die KPN geeft voor spectraal management. Hierbij is volledig uitgegaan van de gegevens die door KPN werden verstrekt in het vertrouwelijke rapport '*xDSL deployment rules for the Dutch access network*' [9] en additionele documenten met nadere toelichting op bepaalde punten [7, 10, 20].

In het rapport '*xDSL deployment rules for the Dutch access network*' wordt uitgegaan van een referentiescenario voor de eigenschappen van de xDSL-modems en de kabels en de vulling van een kabel met verschillende xDSL-technieken. Gebruikmakend van een simulatiemodel is door KPN Research voor dit referentiescenario berekend wat de maximale reikwijdte (of maximale datasnelheid) is voor de verschillende xDSL-technieken, waarbij de vulling van de kabel en een andere parameters zijn gevarieerd.

#### 5.1.1 Referentiescenario

Vanwege technische beperkingen is het noodzakelijk richtlijnen te hanteren bij de realisatie van xDSL-verbindingen. De technische beperkingen komen voort uit de overspraak tussen verbindingen die gebruikmaken van verschillende aderpennen binnen dezelfde bundel. De overspraak is van invloed op de kans op storing. Bij de analyse van de storingskans zijn de volgende aspecten van belang:

- de spectrummaskers van de gebruikte xDSL-technieken;
- combinatie van xDSL-technieken: technologiemix;
- de eigenschappen en de lengte van de kabels;
- de storingsgevoeligheid van de gebruikte apparatuur (modems);
- de toegepaste datasnelheid.

#### *De spectrummaskers van de gebruikte xDSL-technieken*

In de KPN-analyse wordt uitgegaan van de gangbare xDSL-technieken waarvan de spectrummaskers voldoen aan internationale normen (ETSI of ITU). In enkele gevallen is het PSD-masker gebaseerd op metingen omdat, volgens KPN, zo een betere overeenstemming met de praktische situatie wordt verkregen. KPN schrijft de spectraal maskers, die worden toegestaan op het netwerk, voor in het document '*Offer for MDF access services, Technical manual*' [12].

### *Eigenschappen van de kabels*

De storing tussen aderparen binnen dezelfde bundel wordt in grote mate bepaald door de eigenschappen en de lengte van de gebruikte kabel. Met name de lengte en het type kabel zijn van belang. In het rapport [9] wordt een aantal verschillende typen kabel genoemd (met name verschil in diameter van de koperaders). Voor nadere informatie hierover wordt verwezen naar twee andere KPN-rapporten, waarvan de referentie in [9] is opgenomen.

Van de verschillende typen kabels zijn de demping en de impedantie door KPN gemeten. Met simulatiemodellen kunnen de betreffende karakteristieken nauwkeurig worden voorspeld voor diverse lengten en frequenties tot boven 30 MHz [9].

Uit het KPN-rapport blijkt verder dat het voorspellen van de overspraak tussen verschillende aderparen binnen een kabelbundel aanzienlijk moeilijker is. De mate van overspraak hangt niet alleen af van het type en de lengte van de kabel, maar ook van de onderlinge afstand tussen de aderparen binnen de bundel. Als er meerdere xDSL-verbindingen worden gerealiseerd binnen een kabelbundel zal, wanneer wordt gekeken naar één aderspaar, de totale (cumulatieve) overspraak van alle andere verbindingen sterk afhangen van de 'twisting' van de verschillende aderparen en de onderlinge ligging van de betreffende aderparen binnen de bundel. Er bestaat dus geen vaste relatie tussen het aantal storende systemen en de totale overspraak. Volgens KPN Research volgt uit experimenten, waarbij is gemeten aan bestaande kabels, een spreiding van meer dan 15 dB in de cumulatieve overspraak binnen een kabel [9]. Ook tussen verschillende kabels (verschillend in type, oud of nieuw, lang of kort) zijn er grote verschillen in overspraak. Ondanks de metingen die door KPN zijn uitgevoerd aan verschillende kabels, geeft KPN aan dat er nog relatief weinig bekend over de overspraakcarakteristieken [9, 10].

Op basis van een groot aantal metingen aan één kabel heeft KPN Research bestaande modellen voor het voorspellen van de cumulatieve overspraak (NEXT en FEXT) binnen een bundel aangescherpt. De kabel waaraan KPN Research heeft gemeten, is een nieuwe kabel van 100 aderparen met een lengte van ongeveer 1 km (type GPLK). Voor een groot aantal aderparen zijn de individuele overspraakcarakteristieken naar alle andere aderparen gemeten. Uit deze metingen zijn de cumulatieve overspraakcurven bepaald. Hiervan is met name de curve van 99% van belang in verband met de gehanteerde 1% regel, omdat deze aangeeft onder welk niveau de overspraak in 99% van de gevallen zal liggen. In 99% van de gevallen zal de situatie dus beter zijn dan in de analyse wordt aangenomen.

KPN hanteert de 1% regel om er voor te zorgen dat de kans dat bestaande dienstverlening wordt gestoord of een nieuwe dienst in de praktijk niet kan worden gerealiseerd kleiner is dan 1%. Zoals KPN het zegt is de 1% regel er op gericht om ook de laatste paar procent klanten te kunnen bereiken [9].

Voor het bepalen van de spectraal management richtlijnen gaat KPN uit van een kabel die bestaat uit 900 aderpennen. Het model, dat KPN Research heeft ontwikkeld, is (zoals eerder beschreven) gebaseerd op metingen aan een 100" kabel. Om met het betreffende rekenmodel de interferentie binnen een 900" kabel te voorspellen, kunnen drie benaderingen worden gekozen:

- 1) Er kan worden aangenomen dat voor een volledig gevulde 900" kabel de cumulatieve overspraak even groot is als in een volledig gevulde 100" kabel. Deze aanname houdt in dat alleen de 100 meest dichtbij gelegen aderpennen bijdragen aan de interferentie en interferentie van verdere aderpennen te verwaarlozen is.
- 2) De 99% curve voor de cumulatieve overspraak van een 100" bundel kan worden geëxtrapoleerd naar 900 aderpennen (volgens de FSAN-formule zoals die ook door ANSI wordt gehanteerd voor 'binder groups' tot 50 aderpennen, zie paragraaf 4.3). Deze methode houdt in dat de cumulatieve overspraak in een volledig gevulde 900" bundel 5,7 dB hoger is dan in een volledig gevulde 100" bundel.
- 3) Er kan worden verondersteld dat benadering 1 te optimistisch is en benadering 2 te pessimistisch en op basis hiervan aannemen dat voor een volledig gevulde 900" kabel de cumulatieve overspraak 4 dB hoger is dan voor een 100" kabel.

In haar analyse hanteert KPN Research de laatste aanname. Om voor verschillende aantallen stoorders binnen een 900" bundel de cumulatieve overspraakwaarden te berekenen, wordt de FSAN-methode gebruikt.

Voor de overspraak is tevens de afstand waarover aderpennen in de buurt van elkaar lopen van belang. Een bundel van 900" zou al na relatief korte afstand opgesplitst kunnen worden in kleinere bundels (van 300" of 100") en wat verder naar afzonderlijke aderpennen. De topologie waar KPN Research van uitgaat in de analyse [9], veronderstelt een bundel van 900" over vrijwel de volledige afstand tussen nummercentrale en eindgebruikers. In dit geval zal er overspraak plaatsvinden over de volledige lengte van de kabel.

In de rapportage [9] geeft KPN Research aan dat er weinig bekend is over de spreiding in overspraakeigenschappen tussen de verschillende kabels in Nederland. Daarom beveelt KPN Research aan een gegevensbestand op te zetten met de performance gegevens van alle modems die in het netwerk worden geïnstalleerd. Door de informatie over kabeleigenschappen die op deze manier worden verzameld periodiek te evalueren, kan meer inzicht worden verkregen in de onderlinge interferentie tussen xDSL-verbindingen binnen dezelfde bundel.

#### *Storingsgevoeligheid van gebruikte apparatuur*

De invloed van storing op xDSL-verbindingen wordt bepaald door de specificaties van de toegepaste apparatuur. In het algemeen zal voor verschillende typen modems de performance onder invloed van ruis afwijkend zijn. De signaal-ruis-

verhouding waarbij een modem een bepaalde performance haalt, is in de KPN-analyses veelal gebaseerd op meetresultaten van bestaande modems. Voor het vaststellen van de storingsgevoeligheid van ADSL zijn door KPN metingen gedaan aan modems van vier fabrikanten. De gevoeligheid van het modem met de beste prestaties is als uitgangspunt genomen bij de verdere analyses. De storingsgevoeligheid van HDSL is gebaseerd op metingen aan (vergelijkbare) HDSL CAP modems die momenteel worden toegepast in het Nederlandse aansluitnet. Er zijn geen metingen gedaan aan HDSL 2B1Q modems; de gevoeligheid hiervan is in het KPN onderzoek afgeleid van de resultaten van HDSL CAP. Voor geen van de gevoeligheden worden in het KPN-rapport concrete waarden genoemd.

In de praktijk wordt er boven op de minimale signaal-ruis-verhouding, waarbij een modem (onder laboratorium condities) de gewenste performance haalt, nog een extra marge gehanteerd. Met deze zogenaamde 'noise margin' kunnen volgens KPN andere storende effecten zoals 'impulse noise' (van besignalen, van schakelende apparatuur en instraling van buiten af) en 'drift' door temperatuurveranderingen in de kabels worden opgevangen. In de KPN-rapportage wordt een 'noise margin' van 6 dB genomen, wat wordt beschouwd als een algemeen gehanteerde waarde volgens internationale standaarden.

#### *Combinaties van xDSL-technieken; technologiemix*

De performance van een verbinding hangt onder meer af van de interferentie die wordt ondervonden van andere verbindingen. Om een analyse te kunnen doen van de verwachte performance van een verbinding gaat KPN Research uit van een referentiescenario, waarbij er binnen een kabelbundel een bepaalde mix van xDSL-verbindingen bestaat (Tabel 5.1). De keuze van de technologiemix, die als uitgangspunt dient, is door KPN Research zodanig gedaan dat uitgaande hiervan verschillende parameters kunnen worden gevarieerd.

*Tabel 5.1: Technologiemix [9]*

	maximum aantal aderparen per dienst in Nederland	gemiddelde bezetting van een 900" kabel	maximale bezetting van een 900" kabel
POTS	4,34 Miljoen	434	500
ISDN	1,50 Miljoen	150	150
HDSL/2 paren	0,16 Miljoen	16	50
ADSL+spraak	2,00 Miljoen	200	200
<i>Totaal</i>	<i>8,00 Miljoen</i>	<i>800</i>	<i>900</i>

Bij de analyses gaat KPN Research uit van een bezetting waarbij er 250 breedbandige verbindingen zijn binnen een 900" kabel ofwel 28% van de aderparen wordt gebruikt voor breedbandige verbindingen. Hierbij kunnen HDSL-verbindingen nog gebaseerd zijn op de verschillende technieken 2B1Q of CAP.

ADSL in combinatie met een spraakverbinding kan op een aantal manieren worden gerealiseerd:

- ADSL FDD in combinatie met POTS;
- ADSL EC in combinatie met POTS;
- ADSL FDD in combinatie met ISDN;
- ADSL EC in combinatie met ISDN.

Hierbij wordt door KPN Research uitgegaan van drie mogelijke datasnelheden ( )::

- 'Down-stream' 500 kbit/s, 'up-stream' 128 kbit/s;
- 'Down-stream' 1 Mbit/s, 'up-stream' 256 kbit/s;
- 'Down-stream' 2 Mbit/s, 'up-stream' 400 kbit/s.

### 5.1.2 Simulatieresultaten

De maximale afstand, die met een transmissiesysteem kan worden overbrugd, is afhankelijk van de interferentie op het betreffende aderpaar die door andere verbindingen in dezelfde bundel wordt veroorzaakt. Binnen het gekozen referentiescenario, dat werd geschetst in de voorgaande paragraaf, is de maximale reikwijdte voor de verschillende xDSL-technieken door KPN Research bepaald op basis van berekeningen met een door KPN Research opgesteld rekenmodel. Tabel 5.2 geeft een overzicht van resultaten van deze berekeningen.

Tabel 5.2: Maximale reikwijdte binnen het referentiescenario [9]

Technologie	Maximale reikwijdte	% aansluitingen in Nederland dat kan worden bereikt
ISDN	6,1 km	98%
HDSL CAP 2 aderparen	2,8 km	65%
HDSL 2B1Q 2 aderparen	2,6 km	63%
HDSL 2B1Q 3 aderparen	3,8 km	88%
POTS + ADSL FDD 0,5M/128k	3,7 km	86%
POTS + ADSL FDD 1M/256k	3,4 km	82%
POTS + ADSL FDD 2M/400k	3,1 km	77%
ISDN + ADSL FDD 0,5M/128k	3,1 km	77%
ISDN + ADSL FDD 1M/256k	2,7 km	67%
ISDN + ADSL FDD 2M/400k	2,3 km	56%

Het percentage aansluitingen, dat in Nederland kan worden bereikt, is door KPN Research bepaald uit de reikwijdte op basis van de statistische verdeling van de lengte van de kabels in Nederland.

Naast de reikwijdteberekeningen is er door KPN Research ook een analyse gedaan van de onderlinge invloed tussen xDSL-technieken, door ook de samenstelling van de technologiemix te variëren.

Het rapport levert uitkomsten over de prestaties van een 900 aderpaar kabel in de vorm van de haalbare datasnelheid als functie van de afstand. Dus voor een bepaalde gegeven combinatie van xDSL-technieken en het corresponderende aantal gebruikte aderpennen in de kabel zijn voor elke techniek grafieken van de datasnelheid versus afstand gegeven. Daarnaast worden de resultaten gepresenteerd in grafieken waarin voor een gegeven datasnelheid de mogelijke penetratie van breedbandige technieken in de kabel wordt gegeven als functie van de afstand.

Een aantal conclusies, die door KPN Research uit de analyses worden getrokken, zijn:

#### *Bereik*

- HDSL CAP is minder gevoelig voor interferentie van andere xDSL-verbindingen dan HDSL 2B1Q;
- Het bereik van ADSL over ISDN is significant minder dan het bereik van ADSL over POTS.

#### *Bestaande systemen*

- de 128 kbit/s 'leased line service' (BME) ondervindt aanzienlijke storing van xDSL-verbindingen, maar veroorzaakt nauwelijks storing op xDSL-verbindingen;
- de zogenoemde PDL-systemen veroorzaken aanzienlijke storing op xDSL-verbindingen.

#### *Onderlinge invloed xDSL-verbindingen*

- HDSL 2B1Q veroorzaakt interferentie op ADSL-verbindingen;
- HDSL CAP heeft nauwelijks invloed op ADSL-verbindingen;
- binnen het gekozen referentiescenario heeft ADSL nauwelijks invloed op de HDSL-verbindingen;
- 'reverse' ADSL-verbindingen veroorzaken aanzienlijke storing op 'normale' ADSL-verbindingen.

#### *Toekomstige xDSL technieken*

- SDSL zal naar verwachting spectraal compatibel zijn met de 'installed base' van ADSL en HDSL.

### **5.1.3 Inzetvoorwaarden**

Tot op heden wordt het aansluitnetwerk vrijwel uitsluitend gebruikt voor smalbandige diensten (POTS en ISDN). Daarnaast zijn er 'leased line'-diensten op basis van BME 160 ([ ] verbindingen), PDL ([ ] verbindingen) en HDSL (tussen de [ ] en [ ] verbindingen voornamelijk HDSL CAP) [14].

Tot nu toe waren de interferentieniveaus in het aansluitnetwerk relatief laag mede door de aderpaarlimitering zoals die werd gehanteerd (Tabel 5.3) [9]:

Tabel 5.3: Eerder gehanteerde aderpaarlimitering voor het aansluitnet

POTS	geen restricties
ISDN	geen restricties
BME 160	tot 4 km, geen restricties in aantal aderpennen
HDSL CAP(2)	tot 3,5 km, max. 50 aderpennen per 900"
HDSL 2B1Q zonder 'repeater'	tot 3 km, max. 50 aderpennen per 900"
HDSL 2B1Q met 'repeater'	tot 6 km, max. 50 aderpennen per 900"

HDSL 2B1Q wordt momenteel alleen gebruikt wanneer 'repeaters' nodig zijn om afstanden van meer dan [ ] km te overbruggen.

Het valt te verwachten dat er een groeiende vraag zal zijn naar zowel HDSL-verbindingen (o.a. voor 2 Mbit/s 'leased line'-diensten en het aansluiten van basisstations) als naar ADSL (voor snelle Internet-verbindingen). Het groeiende aantal breedbandige systemen is voor KPN aanleiding nieuwe voorschriften voor de inzet van xDSL-verbindingen op te stellen. Als uitgangspunt geldt hierbij onder meer dat de spectrumvervuiling door de toename in breedbandige systemen beperkt moet blijven.

Het vaststellen van spectraal management dient volgens KPN op een dusdanige manier te gebeuren dat de bestaande dienstverlening zo veel mogelijk gehandhaafd blijft. De kans dat bestaande BME en HDSL-verbindingen worden gestoord moet klein zijn. Uit de berekeningen, die door KPN Research zijn uitgevoerd uitgaande van de eerder genoemde technologiemix (Tabel 5.1), wordt geconcludeerd dat, bij 6% breedbandige systemen binnen een bundel van 900", HDSL-verbindingen over een afstand van 3,5 km met een voldoende performance mogelijk zijn. Voor BME-verbindingen zou bij 6% breedbandige verbindingen een voldoende performance niet kunnen worden gegarandeerd en zijn nog afstanden mogelijk tot 2,3 km. Voor BME-verbindingen over grotere afstanden moet dus een minder storingsgevoelig alternatief worden overwogen (UM128 wordt hiervoor genoemd).

KPN Research gaat er bij de berekeningen tevens van uit dat ook voor de ADSL-verbindingen een bepaalde performance moet kunnen worden gerealiseerd. Wanneer een 6% inzet van breedbandige verbindingen wordt gehanteerd is de kans verwaarloosbaar dat een ADSL-verbinding die wordt aangeboden aan een eindgebruiker niet voldoet aan de performance eisen.

## 5.2 Evaluatie van de spectraal management onderbouwing

Als uitgangspunt voor spectraal management hanteert KPN dat bij het inzetten van xDSL-verbindingen de integriteit van de in het netwerk toegepaste systemen gegarandeerd moet blijven. Het criterium dat hierbij wordt genoemd is, dat de

storingskans op bestaande systemen maximaal 1% mag zijn [4, 9, 20]. Dit betekent dat de spectraal management regels er op gericht zijn dat het storingsniveau dat met de introductie van xDSL-verbindingen wordt veroorzaakt in 99% van alle gevallen voldoende laag zal zijn om de bestaande dienstverlening te kunnen handhaven. Ook voor de nieuwe dienstverlening wordt als uitgangspunt gehanteerd dat in principe slechts in 1 van de 100 gevallen de aangeboden dienstverlening in de praktijk niet kan worden gerealiseerd<sup>6</sup>. In de simulatieberekeningen die KPN Research heeft uitgevoerd, wordt bij het vaststellen van de spectraal management richtlijnen voor alle xDSL-technieken de 1% regel gehanteerd.

Het maximale bereik van een xDSL-techniek wordt voorspeld op basis van de doelstelling dat 99% van de systemen betrouwbaar moet kunnen functioneren in de langste kabels waarin de betreffende techniek wordt ingezet. Dit wil zeggen dat voor xDSL-verbindingen in kabels korter dan het maximale bereik (bijvoorbeeld 3 km) de kans dat de onderlinge storing te hoog wordt (veel) kleiner dan 1% is. Voor langere kabels kan in 1% van de gevallen de overspraak leiden tot significante degradatie van een verbinding. Voor de totale 'roll-out' is de kans dat een verbinding dusdanige storing ondervindt dat de performance niet meer wordt behaald dus aanzienlijk kleiner dan 1%, omdat er in de praktijk veel relatief korte kabels zijn. Toch wordt de gestelde 1% regel algemeen gehanteerd, omdat dan de kans dat er problemen ontstaan voor bestaande dienstverlening over grotere afstanden dusdanig klein is dat de problemen in de praktijk veelal kunnen worden opgelost.

De spectraal management richtlijnen zijn enerzijds gebaseerd op de technische beperkingen en hebben anderzijds te maken met keuzen die uit commerciële overwegingen gemaakt worden. Wanneer het spectraal management puur uit technisch oogpunt wordt benaderd dan blijken er technische beperkingen te zijn waarbinnen een bepaalde keuzevrijheid bestaat voor wat betreft de mogelijke dienstverlening. De keuze op welke manier de beschikbare mogelijkheden voor xDSL-dienstverlening worden gerealiseerd is dan uiteindelijk een commerciële beslissing.

De uiteindelijke regels voor spectraal management die KPN stelt, zijn als volgt:

*Toegestane xDSL-technieken:*

- HDSL CAP;
- ADSL over POTS;
- ADSL over ISDN.

---

<sup>6</sup> Ook ANSI beveelt het gebruik van een 1% waarde aan in zijn 'Draft Standard' met betrekking tot spectraal management voor transmissiesystemen in het aansluitnetwerk [23].

*Aantal aderparen ('aderpaarlimitering'):*

- Maximaal 60 breedbandige verbindingen in een 900" bundel.

De keuze voor deze spectraal management regels is, zoals gezegd, gedeeltelijk gebaseerd op technische gronden maar net zo belangrijk zijn commerciële overwegingen. Zo zou vanuit technisch oogpunt bijvoorbeeld de inzet van uitsluitend ADSL over POTS te prefereren zijn boven de combinatie met ADSL over ISDN, omdat deze laatste situatie meer interferentie met zich meebrengt.

De analyse in het KPN-rapport [9], waarop de aderpaarlimitering is gebaseerd, beperkt zich tot een bepaalde vaste verhouding tussen het aantal aderparen in een kabel dat voor HDSL en het aantal aderparen voor ADSL worden gebruikt. In het rapport is berekend dat het aantal HDSL-aderparen tot een bepaald maximum moet worden beperkt om HDSL-dienstverlening mogelijk te kunnen maken. Wat bij de gestelde aderpaarlimitering niet is nagegaan, is of het aantal ADSL-aderparen bij dit uitgangspunt kan worden verhoogd door de vaste verhouding tussen aantallen HDSL- en ADSL-aderparen los te laten.

Ook de keuze voor een bepaalde performance en betrouwbaarheid die moet kunnen worden gerealiseerd (gegarandeerde dienstverlening) in plaats van zogenaamde 'best effort' is een keuze die gebaseerd is op een specifiek ondernemingsplan. Zo zou een andere operator er best voor kunnen kiezen abonnees ADSL-verbindingen aan te bieden op afstanden waarbij de kans op een succesvolle verbinding kleiner is dan 99%. Wanneer in de praktijk de situatie dan meevalt, doordat de overspraak in de kabel minder is dan verwacht, is er geen probleem. Wanneer de overspraak in de praktijk te groot is kan een lagere transmissiesnelheid worden aangeboden waarbij de verbinding wel mogelijk is.

Uit de technische analyse van KPN Research blijkt dat een aantal bestaande ('legacy') systemen binnen het aansluitnetwerk een behoorlijke invloed hebben op de mogelijkheden voor xDSL-verbindingen. Zo zijn BME-verbindingen gevoelig zijn voor storing van ADSL-systemen en veroorzaken HDSL 2B1Q- en PDL-verbindingen significante storing op ADSL-verbindingen. De bestaande dienstverlening moet ook met de introductie van xDSL-verbindingen in stand blijven. Het kan echter wel zo zijn dat de 'legacy'-systemen in verloop van tijd worden vervangen door nieuwere systemen die beter compatible zijn met de andere breedbandige technieken zoals ADSL en HDSL.

De analyse van KPN met de hierin gemaakte keuzen levert een aanzienlijke beperking van de mogelijkheden voor de ontplooiing van xDSL-diensten op. De gestelde voorschriften komen voort uit de resultaten van simulaties volgens een door KPN Research ontwikkeld model. Het model is gebaseerd op een groot aantal metingen die zijn uitgevoerd aan één nieuwe 100" kabel en is vervolgens aangepast voor kabels van 900 aderparen. Het is onmogelijk om een goede karakterisering te geven van alle kabels die in het Nederlandse aansluitnetwerk liggen. Ook het

volledig doormeten van één 900" kabel is een immense opgave. De gekozen aanpak kan daarom beschouwd worden als een realistische aanpak.

In haar rapport stelt KPN Research dat voor een volledig gevulde 900" kabel de cumulatieve overspraak 4 dB hoger is dan voor een volledig gevulde 100" kabel. Zoals eerder beschreven, wordt dit beschouwd als de tussenweg tussen de volgende twee opties:

- 1) Voor een volledig gevulde 900" kabel is de cumulatieve overspraak even groot als voor een volledig gevulde 100" kabel. Alleen de 100 meest dichtbij gelegen aderpairs dragen bij aan de interferentie en interferentie van verdere aderpairs is te verwaarlozen.
- 2) Volgens de FSAN-formule (zoals die ook door ANSI wordt gehanteerd voor 'binder groups' tot 50 aderpairs [23]) zou de cumulatieve overspraak in een volledig gevulde 900" bundel 5,7 dB hoger zijn dan in een volledig gevulde 100" bundel.

Met de keuze van 4 dB als tussenweg wordt als het ware al aangegeven dat het niet duidelijk is hoe groot de cumulatieve overspraak in een bundel van 900" zal zijn. Het is de vraag of, wanneer de 100 sterkste stoorders in beschouwing worden genomen, verdere stoorders nog een significante bijdrage zullen hebben. Er is nog te weinig informatie beschikbaar over de cumulatieve overspraak binnen een kabel en ook meetresultaten op dit punt zijn erg beperkt. Het verzamelen van meer informatie over de werkelijk overspraakarakteristieken kan bijdragen tot meer inzicht in de mogelijkheden voor de uitrol van xDSL-verbindingen.

De keuze van de extra 4 dB overspraak binnen een kabel van 900" is waarschijnlijk aan de veilige kant. De marge, die op deze manier wordt gecreëerd, dient naar inzicht van KPN [10, 14] om de spreiding tussen de verschillende kabels (verschil in type, verschil tussen oude en nieuwe kabels e.d.) te kunnen ondervangen.

In de analyse van KPN Research zijn op een aantal punten marges gehanteerd: voor de overgang van 100" naar 900" (de bovenstaande 4 dB), de spreiding in kabeleigenschappen (de 1% regel) en een 'noise margin' van 6 dB voor het realiseren van een bepaalde performance (ondermeer compensatie van 'impulse noise' en 'drift'). Ook is een aantal 'worst-case' benaderingen gehanteerd, zoals de aanname dat aderpairs over de volle lengte van de kabel binnen een 900" bundel lopen. Met deze marges en aannames lijkt het dat KPN in de modellering voorzichtig is en een grote veiligheidsmarge opneemt. Uit metingen die door KPN zijn uitgevoerd aan bestaande kabels [10], blijkt dat voor twee gemeten kabels de interferentiesituatie beter is dan uit het model volgt. Omdat enkele dB's lagere interferentieniveaus al kunnen leiden tot een grotere overbrugbare afstand of een betere performance, is het van belang de veiligheidsmarges nauwkeurig te bepalen, zodat geen te grote beperkingen worden gesteld aan het gebruik van xDSL-technieken.

KPN Research geeft in de rapportage [9] aan dat er nog onvoldoende bekend is over de eigenschappen van de kabel in het aansluitnet, wat onzekerheid over de resultaten van de simulaties met zich meebrengt. De resultaten van de metingen, die worden beschreven in [10], worden gezien als een validatie het model. Dat metingen aan bestaande kabels in twee gevallen betere resultaten opleveren dan door middel van simulaties wordt voorspeld, is volgens KPN te verklaren door de spreiding in kabeleigenschappen. Het lijkt echter voorbarig om te concluderen dat, met de beperkte metingen aan twee bestaande kabels, het simulatiemodel gevalideerd is. De aanbeveling in het KPN-rapport [9] lijkt realistischer dan deze conclusie. In de aanbeveling wordt voorgesteld om tijdens de uitrol van xDSL-systemen een gegevensbestand bij te houden met de performance van alle operationele verbindingen en door tussentijdse evaluatie meer inzicht te verkrijgen in de werkelijke kabeleigenschappen.

Vanuit technisch oogpunt is het ook niet noodzakelijk de aderpaarlimitering algemeen te hanteren. Uit de simulaties van KPN Research blijkt dat voor korte kabels de onderlinge interferentie zodanig klein is dat het stellen van een maximum aantal breedbandige verbindingen niet nodig is. Een eerste stap in het efficiënter gebruik van het aansluitnet voor breedbanddiensten, zou zijn het hanteren van spectraal management regels afhankelijk van de lengte van de kabel (zie ook hoofdstuk 6). Uit het KPN-rapport [9] blijkt dat de lengte van een kabel op een aantal manieren redelijk nauwkeurig ingeschat kan worden.

Een verdere optimalisering zou kunnen worden bereikt wanneer meer informatie over specifieke kabels beschikbaar is. In de praktijk zal niet in iedere kabelbundel een 'legacy'-systeem (BME, PDL of HDSL 2B1Q) aanwezig zijn. De beperkingen die hieruit zouden voortvloeien behoeven dus ook niet algemeen te gelden. Wanneer een spectraal management beleid wordt nagestreefd dat meer toegesneden is op de specifieke situatie, is er meer actuele informatie over het aansluitnetwerk nodig. Het is niet duidelijk of de betreffende informatie volledig beschikbaar is en welke operationele consequenties deze aanpak heeft. Wel is duidelijk dat een verfijnde manier van spectraal management meer mogelijkheden voor de ontplooiing van xDSL-systemen biedt.

Met de gestelde beperking van maximaal 60 breedbandige verbindingen binnen een kabel van 900 aderparen kan slechts een beperkt aantal aansluitingen worden gerealiseerd (minder dan 440.000).

### 5.3 Conclusies

In het rapport '*xDSL deployment rules for the Dutch access network*' [9] van KPN Research worden de simulatieberekeningen met betrekking tot de inzet van xDSL-technieken in het aansluitnetwerk beschreven. De rekenmodellen, waarop de uitkomsten zijn gebaseerd, maken gebruik van een model voor de cumulatieve overspraak, een kabelmodel en op basis van metingen aangepaste modemmodellen. Uit de simulatieresultaten zijn door KPN regels voor de inzet van xDSL-technieken afgeleid: de toegestane breedbandige technieken zijn HDSL CAP, ADSL over POTS en ADSL over ISDN en het aantal aderparen waarop deze toegepast kunnen worden is 60 van de 900 in een kabel.

Deze regels zijn voor een deel gebaseerd op commerciële keuzen. KPN gaat er van uit dat voor HDSL-dienstverlening een bepaalde performance en beschikbaarheid wordt gerealiseerd. De resultaten van de simulatieberekeningen zullen bij andere marktkeuzen leiden tot andere regels voor de inzet van xDSL-technieken.

Vanuit technisch oogpunt is het niet noodzakelijk de aderpaarlimitering algemeen te hanteren. Voor korte kabels blijkt dat de onderlinge interferentie klein is en in de praktijk zal niet in iedere kabelbundel een 'legacy'-systeem aanwezig zijn.

Bij de simulatieberekeningen waaruit de aderpaarlimitering is afgeleid, is niet berekend of het aantal ADSL-aderparen kan worden verhoogd bij het bepaalde maximum aantal aderparen dat wordt gebruikt voor breedbandtechnieken.

In het KPN-rapport [9] zijn enkele aannamen gedaan. Van enkele daarvan kan gezegd worden dat ze behoudend zijn. Andere aannamen zijn gedaan omdat niet voldoende praktijkinformatie over het gebruik van xDSL-technieken in aansluitnetwerk bekend is. Het lijkt daarom verstandig de aanbeveling in het KPN-rapport [9] op te volgen, waarin wordt voorgesteld om tijdens de uitrol van xDSL-systemen een gegevensbestand bij te houden om meer inzicht te verkrijgen in de praktijksituatie. Op basis daarvan kunnen de spectraal management regels meer worden toegesneden op de specifieke situatie.

## 6. Limitering van het aantal aderpennen

De technische voorwaarden voor het toelaten xDSL-technieken op het aansluitnetwerk hebben betrekking op het aantal aderpennen in een bundel dat te gebruiken is voor xDSL-diensten en de toe te laten combinatie van verschillende xDSL-technieken. Dit hoofdstuk behandelt de eerste spectraal management regel; de 'aderpaarlimitering'. Onder de 'aderpaarlimitering' wordt hier verstaan een beperking in het aantal aderpennen binnen een kabel die voor een bepaalde xDSL-techniek of combinaties daarvan gebruikt mogen worden om bepaalde prestaties te kunnen realiseren. Die prestaties worden uitgedrukt in de maximaal afstand die bij een bepaalde datasnelheid kan worden overbrugd of in de datasnelheid die voor een bepaalde lengte van de kabel gehaald kan worden.

### 6.1 De visie van KPN

In [7] presenteert KPN de 60/900 aderpennenlimitering. Deze aderpennenlimitering stelt dat het aantal aderpennen van de 900 in een bundel die gebruikt mogen worden voor breedbandige technieken beperkt is tot 60. Onder de bij deze aderpennenlimitering toegestane breedbandige technieken vallen HDSL CAP en ADSL over POTS. Hoewel dat niet in [7] is opgenomen blijkt uit andere informatie van KPN [14] dat ook ADSL over ISDN onder de toegestane technieken valt.

De aderpennenlimitering 60/900 is door KPN afgeleid uit een technisch rapport van KPN Research [9]. Paragraaf 5.1 beschreef de aanpak van dit rapport.

De rekenmodellen, waarop de uitkomsten van het technisch rapport gebaseerd zijn, maken gebruik van een model voor de cumulatieve overspraak (afgeleid van zowel ETSI als ANSI en FSAN), een KPN Research-kabelmodel en op basis van metingen door KPN Research bepaalde modemmodellen. Voor de berekeningen van cumulatieve overspraak zijn gecorrigeerde waarden van NEXT en FEXT gebruikt (gemeten op een 100 aderpennen kabel). Om rekening te houden met het effect van extra ruis (impuls ruis, temperatuur veranderingen) wordt een 6 dB ruismarge beschouwd.

De berekeningen gaan ervan uit dat de kabels op een willekeurige manier zijn gevuld (geen selectie van aderpennen) en de beïnvloeding tussen verbindingen langs de gehele lengte van de kabel plaats vindt. De uitkomsten van de berekeningen in het rapport gelden voor 99% van de aderpennen in een kabel (voor 99% van de aderpennen zullen de prestaties gelijk of beter zijn dan wat met de berekeningen bepaald is).

De haalbare datasnelheid voor een bepaalde afstand is afhankelijk van de gekozen combinatie van xDSL-technieken en het corresponderende aantal aderpennen waarop

deze toegepast worden. Een beeld van mogelijke combinaties van technieken op basis van het KPN-rapport [9] is in hoofdstuk 8 weergegeven. Het is uiteindelijk een bedrijfsmatige keuze welke van de combinaties van technieken op welke afstand en datasnelheid toegepast wordt.

Operationeel zijn de technieken te zien als een middel om een dienst aan te bieden. De keuze van KPN voor een penetratie van breedbandige technieken van 60 over 900 heeft te maken met het feit dat KPN de dienstverlening van HDSL CAP (2 aderpennen) lijnen wil garanderen aan 85% van de klanten (deze hebben lijnen met een lengte gelijk of korter dan 3,5 km) [9].

Het tweede uitgangspunt van KPN in het referentiescenario is de verwachting dat de verhouding tussen HDSL-verbindingen en ADSL-verbindingen 1:8 zal zijn. Omdat voor één HDSL-verbinding twee aderpennen nodig zijn is de verhouding tussen het aantal aderpennen voor HDSL en het aantal aderpennen voor ADSL 1:4.

Met deze uitgangspunten om de HDSL-dienstverlening te kunnen garanderen tot afstanden van 3,5 km laat KPN in [9] zien dat de penetratie van breedbandige technieken niet hoger dan 60 van de 900 aderpennen kan zijn. Dat betekent in termen van aderpennen een maximum van 12 HDSL- en 48 ADSL-aderpennen. Zolang het maximum aantal HDSL-aderpennen per kabel niet bereikt is, zou HDSL dan aan 85% van de gebruikers geleverd kunnen worden.

## **6.2 Situatie in andere landen**

Het doel van deze paragraaf is om inzicht te geven in de invulling van de aderpaarlimitering in andere landen. Gezien het feit dat het aantal aderpennen in een kabel in verschillende landen kan afwijken [17, 23], is in deze paragraaf gekozen voor het uitdrukken van de aderpaarlimitering als percentage. Dus het corresponderende percentage van de aderpaarlimitering van KPN [7] 60/900 is 6 à 7%. Aangezien ook de kabeleigenschappen in verschillende landen kunnen afwijken [17, 19, 23], moeten de cijfers in deze paragraaf als indicatief worden beschouwd. Waar gegevens over de structuur van de kabel beschikbaar waren, zijn deze in de tekst opgenomen om die indicatieve waarde te versterken.

### **6.2.1 Denemarken**

In Denemarken bestaat geen aderpaarlimitering. De National Telecom Agency geeft aan dat storingsproblemen tussen bestaande technieken en xDSL mogelijk zijn [2]. Aan de andere kant stelt de National Telecom Agency dat het bepalen van een aderpaarlimitering voor een bepaalde datasnelheid een zeer gecompliceerde technische taak is. In het document [2] wordt aangegeven dat, om echt inzicht te krijgen over het aantal aderpennen waarop ADSL op 2 Mbit/s toegepast zou kunnen worden, de bijdrage van een onafhankelijke partij nodig zou . De betreffende analyse zou vele manjaren werk en enkele jaren looptijd vergen.

De National Telecom Agency geeft in [2] aan dat beperkingen, zoals het aantal aderparen waarover ADSL toegepast kan worden voor een bepaalde datasnelheid, niet verwacht worden. Als indicatie verwacht Tele Danmark ADSL op 512 kbit/s 'down-stream' en 128 kbit/s 'up-stream' aan 90-95% van de klanten te kunnen bieden. Voor ADSL op 2 Mbit/s verwacht Tele Danmark dat die dienst aan minder dan 90% van de klanten aangeboden zal kunnen worden. De National Telecom Agency is van mening dat ADSL op 2 Mbit/s voor 50 tot 60% van de klanten mogelijk zal zijn.

### **6.2.2 Duitsland**

In Duitsland is geen aderpaarlimitering van toepassing. Volgens RegTP is het geven van een uniek percentage van aderparen waarover xDSL toegepast kan worden niet zinnig, aangezien de prestaties over een kabel erg afhankelijk zijn van een aantal factoren zoals de afscherming en lengte van de kabel, het toegepaste type xDSL-techniek, etc. [16]. Hoewel geen officiële cijfers beschikbaar zijn, geeft RegTP een indicatie over het aantal aderparen waarop ADSL toegepast zou kunnen worden [8, 16]; dit is 20 tot 30%.

Volgens RegTP is de structuur van de kabels in Duitsland vergelijkbaar met de kabels in Nederland [16] in die zin dat er geen 'binder groups' of subgroepen binnen de kabel bestaan en dat de aderparen niet van een speciale metaalafscherming voorzien zijn. Volgens KPN is de noodzaak voor spectraal management regels vooral in Nederland groter vanwege het type kabel dat er gebruikt wordt [4]. Volgens haar wordt in andere landen (VK, Frankrijk, Duitsland en Zweden) het totaal aantal aderparen in kleinere groepen verdeeld in de zogenaamde 'binder groups'. Elk van die 'binder groups' zou van een extra afscherming zijn voorzien, die de interferentie vermindert. Dit komt niet overeen met de informatie die door RegTP is verstrekt [16].

### **6.2.3 Oostenrijk**

In Oostenrijk bestaan wel regels met betrekking tot het te gebruiken aantal aderparen. Telecom Austria geeft beperkingen voor de toepassing van xDSL-technieken in het aansluitnetwerk. Voor gemengde xDSL-technieken is de limiet 30%, voor ADSL als enige techniek 50% en voor HDSL 40% [18]. Volgens de Oostenrijkse regelgever zijn deze waarden conservatieve vuistregels aangezien er geen diepe technische onderbouwing voor is.

De kabels in Oostenrijk kunnen een maximum van 1800 aderparen hebben [17]. Binnen de kabel zijn subgroepen van 100 aderparen mechanisch samengebonden, maar niet voorzien van elektromagnetisch afscherming.

### **6.2.4 Verenigd Koninkrijk**

In het Verenigd Koninkrijk zijn er geen restricties met betrekking tot het aantal aderparen waarop xDSL-technieken gebruikt mogen worden. In dit land wordt de beperking aan de toepassing van xDSL op een andere manier opgelegd. Deze

beperking heeft betrekking op de verschillende technieken die in een bepaald type kabel kunnen worden toegepast (zie verder paragraaf 7.2.4).

### **6.2.5 Verenigde Staten van Amerika**

De FCC erkent in [1] dat er een limiet zou kunnen zijn aan het aantal aderparen dat zonder storing kan worden gebruikt voor xDSL-diensten. De FCC gelooft niet dat dit een probleem zal zijn voordat xDSL-diensten zijn doorgedrongen in een significant deel van de markt. Wel geeft de FCC aan dat, wanneer de kabels meer worden gevuld, de datasnelheden (voor bijvoorbeeld ADSL) kunnen afnemen (zie ook paragraaf 7.2.5).

## **6.3 Mogelijke verfijning van de aderpaarlimitering**

In de volgende paragrafen worden er andere mogelijke benaderingen van de aderpaarlimitering gegeven.

### **6.3.1 Afstandafhankelijke aderpaarlimitering**

De lengte van een aderpaar kan achterhaald worden. Een inschatting kan worden gedaan op basis van postcodes [9]. Technisch gezien kan, wanneer de lengte van de kabel bekend is, een aderpaarlimitering als functie van de afstand in plaats van een vaste aderpaarlimitering zoals 60/900 toegepast worden. Deze benadering kan gelden onafhankelijk van de gekozen combinatie van xDSL-technieken. Voor elke combinatie van xDSL-technieken kan een afstandsafhankelijke aderpaarlimitering bepaald worden. De aderpaarlimitering 60/900 is bijvoorbeeld door KPN bepaald voor HDSL voor kabels tot 3,5 km lang (wat overeenkomt met ongeveer 85% van de gebruikers) [7, 9]. Voor kabels korter dan 3,5 km kan, onder dezelfde condities, een hoger aantal aderparen dan 60 worden gebruikt (zie Figuur 8.2).

### **6.3.2 Praktijkervaring, verfijnen van de aderpaarlimitering**

Om het even welke combinatie van technieken of benadering (unieke aderpaarlimitering, aderpaarlimitering als functie van de afstand, etc.) gekozen wordt, de onderbouwing daarvan is op een serie aannamen en modellen gebaseerd (paragraaf 5.1.1). Onder die uitgangspunten bevinden zich: een toepasbaarheid in 99% van de aderparen, storing aanwezig in de hele lengte van de kabel en willekeurige selectie van de aderparen. Op basis daarvan kan de aderpaarlimitering 60/900 als een conservatieve spectraal management regel beschouwd worden (voor de gekozen combinatie van xDSL-technieken). Het is te verwachten dat op basis van toekomstige praktijkervaringen met de xDSL-technieken minder beperkende regels zijn op te stellen. In die zin kan het registreren van gegevens vanuit de praktijk tijdens het uitrollen van xDSL van belang zijn voor het updaten van de aderpaarlimitering of welke spectraal management benadering dan ook.

## 6.4 Conclusies

De door KPN gestelde aderpaarlimitering beperkt het aantal aderparen dat gebruikt mag worden voor breedbandige technieken tot 60 van de 900 in een bundel. Onder de bij deze aderpaarlimitering toegestane breedbandige technieken vallen HDSL CAP, ADSL over POTS en ADSL over ISDN [7, 14]. De keuze van deze spectraal management regel is bepaald op basis van de volgende uitgangspunten:

- een verhouding tussen HDSL- en ADSL-aderparen van 1:4;
- het mogelijk maken van HDSL CAP voor ongeveer 85% van de gebruikers of in andere woorden voor lijnen met een lengte korter of gelijk aan 3,5 km.

Op basis van de technische aannamen voor de simulatieberekeningen kan de aderpaarlimitering 60/900 als een conservatieve spectraal management regel beschouwd worden. Het is te verwachten dat op basis van toekomstige praktijkervaringen met de xDSL-technieken minder beperkende regels zijn op te stellen.

Voor wat betreft andere landen is Oostenrijk het enige land waarin 'aderpaarlimiteringen' worden gesteld [17, 18]. In Oostenrijk bestaan drie verschillende aderpaarlimiteringen, elk aan een combinatie van breedbandige technieken gekoppeld. Een samenvatting van de beperkingen qua aderpaarlimitering in andere landen is in Tabel 6.1 weergegeven.

Tabel 6.1: *Beperkingen qua aantal te gebruiken aderparen in andere landen*

Land	Aderpaarlimitering
Denemarken	Geen
Duitsland	Geen
Oostenrijk	Ja 30% penetratie van gemengde xDSL-technieken. 50% penetratie van ADSL als enige breedbandige techniek. 40% penetratie van HDSL als enige breedbandige techniek.
Verenigd Koninkrijk	Geen
Verenigde Staten van Amerika	Geen

In de meeste van de beschouwde landen wordt vooraf geen specifieke beperking gesteld aan het aantal aderparen binnen een kabel die voor xDSL-technieken gebruikt mogen worden. Wel geeft men aan dat er in de praktijk een - van de aan te bieden diensten afhankelijke - limiet zal zijn aan het aantal aderparen dat zonder storing kan worden gebruikt en dat, wanneer de kabels meer worden gevuld, de haalbare datasnelheden (voor ADSL) kunnen afnemen. Dit houdt in dat er

procedures nodig zullen zijn om te bepalen hoe moet worden omgegaan met situaties waarbij storing optreedt of dreigt te gaan optreden.

Indien men vooraf een ‘aderpaarlimitering’ wil opleggen dan is het uit het oogpunt van efficiënt technisch gebruik van de beschikbare capaciteit van het aansluitnetwerk het best om deze aderpaarlimitering zo goed mogelijk af te stemmen op de specifieke situatie. Een eerste stap hiertoe is een afstandsafhankelijke aderpaarlimitering. Technisch gezien kan, wanneer de lengte van de kabel bekend is, een aderpaarlimitering als functie van de afstand in plaats van een vaste aderpaarlimitering zoals 60/900 toegepast worden. Verwacht mag worden dat, op basis van toekomstige praktijkervaring, het mogelijk blijkt om een verfijndere set van regels op te kunnen stellen, welke tot een efficiënter gebruik van de beschikbare capaciteit van het aansluitnetwerk leidt.

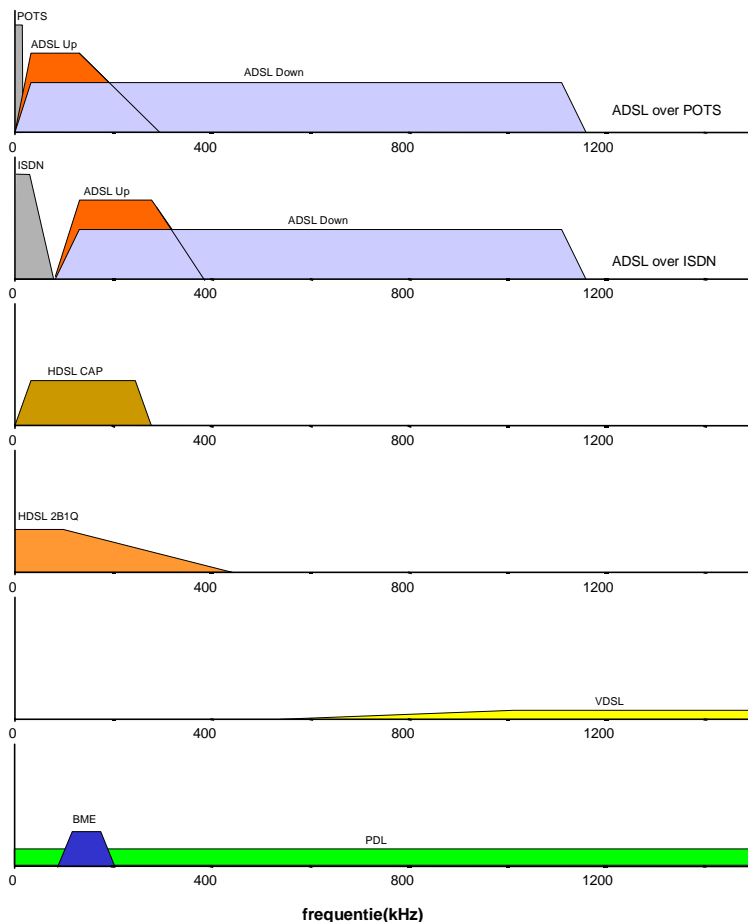
## **7. Combinatie van xDSL-technieken**

Naast de ‘aderpaarlimitering’, zoals behandeld in het vorige hoofdstuk, kan een technische voorwaarde voor de inzet van xDSL-technieken ook bestaan uit een beperking in de toe te laten combinatie van verschillende xDSL-technieken. De combinaties van deze technieken worden in dit hoofdstuk behandeld.

### **7.1 De visie van KPN**

De door KPN gestelde ‘aderpaarlimitering’ 60/900 is aan drie breedbandige technieken gekoppeld: HDSL CAP, ADSL over POTS [7] en ADSL over ISDN [14]. Die keuze is bepaald door zowel technische als commerciële redenen. Deze gestelde combinatie van xDSL-technieken is mede gebaseerd op een technisch rapport van KPN Research [9], waarvan de aanpak in paragraaf 5.1 is beschreven.

KPN Research ziet in het uitsluiten van bepaalde xDSL-technieken een mogelijkheid om de prestaties van andere technieken te verbeteren. De bepaling van de meest storende technieken illustreert KPN Research in [9] door middel van het naast elkaar zetten van de toegewezen spectra voor een aantal technieken. Die benadering is heel illustratief en is daarom in Figuur 7.1 overgenomen.



Figuur 7.1: Gesimplificeerde frequentiemaskers voor verschillende technieken

De interpretatie van Figuur 7.1 is de volgende: wanneer een grote frequentieoverlap tussen twee technieken optreedt, is storing tussen deze technieken te verwachten. In Figuur 7.1 is te zien dat HDSL (beide 2B1Q en CAP) een grote frequentieoverlap met 'up-stream' ADSL hebben. Bovendien heeft de 2B1Q variant meer overlap met ADSL 'down-stream' dan de CAP-variant. Figuur 7.1 illustreert dat door het vervangen van alle HDSL 2B1Q aderpairs door HDSL CAP, de interferentie van HDSL op ADSL 'down-stream' zou afnemen, waardoor het bereik van ADSL zou toenemen. Aangezien het 'legacy'-systeem PDL frequentieoverlap heeft met alle andere technieken, zou het uitsluiten van PDL een verbetering voor het bereik van alle andere technieken moeten opleveren [9].

De studie [9] gaat verder met een vergelijking tussen technieken of liever gezegd tussen de storing die door deze wordt veroorzaakt. Bijvoorbeeld wordt de kabel eerst gevuld met één aderpairs ADSL over POTS en vijftig aderpairs HDSL 2B1Q en wordt de storing (door HDSL 2B1Q) op ADSL over POTS berekend. Vervolgens worden de vijftig HDSL 2B1Q aderpairs door vijftig HDSL CAP aderpairs vervangen en wordt opnieuw de storing op ADSL over POTS berekend. Deze methode geeft inzicht in welke van de twee technieken, HDSL 2B1Q of

HDSL CAP, de meeste storende is voor ADSL over POTS. Soortgelijke berekeningen maken een vergelijking tussen de storing van verschillende technieken mogelijk. Wanneer in de rest van dit hoofdstuk HDSL (2B1Q of CAP) genoemd wordt, wordt HDSL (2B1Q of CAP) over 2 aderparen bedoeld. De belangrijkste conclusies van de vergelijking zijn de volgende:

- De invloed van ISDN op ADSL is verwaarloosbaar.
- HDSL, en vooral de 2B1Q-variant, veroorzaakt storing op ADSL FDD over POTS, waardoor het bereik en/of de datasnelheid hiervan worden beperkt. Omgekeerd heeft ADSL FDD over POTS weinig invloed op HDSL.
- BME wordt door de meeste xDSL-technieken gestoord. Omgekeerd is de storing door BME veroorzaakt op andere technieken verwaarloosbaar.
- PDL is storend voor alle andere technieken.

De rest van de studie [9] is vooral gericht op het inzicht krijgen in de performance van ADSL over POTS wanneer de kabel op verschillende manieren wordt gevuld. KPN Research kiest een technologiemix als referentie. Deze referentie technologiemix bevat 200 ADSL-aderparen en 50 HDSL-aderparen (zie Tabel 7.1), wat overeenkomt met 28% van de aderparen in een kabel. De performance van ADSL over POTS wordt in haalbare datasnelheid voor een bepaalde afstand uitgedrukt. De belangrijkste conclusies van de studie zijn de volgende (onder storing wordt hier storing op ADSL over POTS bedoeld):

- De storing veroorzaakt door HDSL 2B1Q is dominant ten opzichte van de storing die door HDSL CAP en ADSL over ISDN wordt veroorzaakt. Dit wil zeggen dat om het uitsluiten van HDSL CAP op de ADSL over POTS performance te kunnen merken, eerst HDSL 2B1Q uitgesloten moet worden van de kabel. Anders is de verbetering van de performance niet merkbaar, doordat de storing van HDSL 2B1Q dominant is. Voor wat betreft ADSL over ISDN, levert het uitsluiten van deze techniek alleen merkbaar minder storing op als HDSL 2B1Q niet wordt toegepast.
- Het verbeteren van de prestaties van HDSL CAP door middel van versterkers ('repeaters') veroorzaakt geen extra storing op ADSL over POTS (bij 'slimme' plaatsing van de 'repeaters').
- PDL en 'reverse' ADSL (hoge datasnelheid 'up-stream' en lage datasnelheid 'down-stream') storen ADSL 'down-stream'. Slechts één PDL of één ADSL 'reverse' verbinding kan al een grote invloed op het bereik van ADSL hebben.

Hoewel niet in [9] expliciet behandeld, kan uit de uitkomsten van dit rapport geconcludeerd worden dat de 'down-stream'-richting in de meeste gevallen restrictievere uitkomsten levert dan de 'up-stream'. Bijvoorbeeld als ADSL over POTS (128 kbit/s 'up-stream' en 500 kbit/s 'down-stream') en de referentie technologiemix in beschouwing worden genomen, blijkt dat het 'down-stream' bereik maximaal 3,6 km is, terwijl het 'up-stream' bereik meer dan 5 km kan zijn.

Als gevolg daarvan wordt het bereik voor ADSL over POTS (128/500) door de 'down-stream' bepaald.

Bovengenoemde uitkomsten worden in praktische termen in Tabel 7.1 uitgedrukt [9]. Deze uitkomsten zijn tot een penetratie (percentage) van breedbandige technieken van 28% (250 van de 900 aderparen) beperkt en worden vergeleken met de referentie technologiemix. In hoofdstuk 8 worden deze en andere uitkomsten uitgebreid met voorbeelden en grafieken.

*Tabel 7.1: Verbetering van de ADSL over POTS (128 kbit/s 'uplink' / 500 kbit/s 'downlink') performance*

Referentie technologiemix 10 aderparen HDSL 2B1Q (5 systemen) 40 aderparen HDSL CAP (20 systemen) 150 aderparen ADSL over POTS 50 aderparen ADSL over ISDN		
Combinatie van technieken	Verbetering van bereik	Verbetering in aantal gebruikers
50 HDSL CAP 150 ADSL over POTS 50 ADSL over ISDN	700 m (3700 m naar 4400 m)	van 86% naar 92%
188 ADSL over POTS 62 ADSL over ISDN	600 m (3700 m naar 4300 m)	van 86% naar 92%
250 ADSL over POTS	>1300 m (3700 m naar >5000 m)	van 86% naar >95%

De tabel geeft de verbetering in het bereik van ADSL over POTS (128 kbit/s 'uplink' en 500 kbit/s 'downlink') bij een verandering van de combinatie van xDSL-technieken ten opzichte van de referentie technologiemix.

Vanuit het technische oogpunt is het voor ADSL over POTS het best om alleen ADSL over POTS als breedbandige techniek te hebben (zie Tabel 7.1). De reden waarom KPN kiest voor een technologiemix met HDSL CAP, ADSL over POTS en ADSL over ISDN is een bedrijfsmatige keuze. In deze gekozen technologiemix is de verhouding als volgt: het aantal aderparen waarop ADSL over POTS toegepast wordt is driemaal zoveel als het aantal waarop HDSL CAP wordt toegepast. Verder zijn er evenveel ADSL over ISDN aderparen als HDSL CAP aderparen.

Andere belangrijke uitkomsten met betrekking tot de combinatie van xDSL-technieken van het KPN-rapport [9] worden hieronder samengevat:

- De meest storende techniek voor HDSL is HDSL zelf. Voor een bepaald percentage van breedbandige technieken, is de invloed van het aantal ADSL-aderparen per kabel secundair voor het HDSL-bereik.

- Eén reverse ADSL-aderpaar (hoge datasnelheid ‘up-stream’ en lage datasnelheid ‘down-stream’) heeft grote invloed op het bereik of de datasnelheid. Zo kan bijvoorbeeld het bereik van ADSL op 2 Mbit/s hierdoor verminderen van 3,1 km naar 1,9 km (voor 28% penetratie van breedbandige technieken).
- Wanneer een technologiemix met alleen ADSL en HDSL CAP in beschouwing wordt genomen, levert het vervangen van 50% van de ADSL-aderparen door SDSL (zoals door ETSI gestandaardiseerd) alleen voor de lagere datasnelheden van SDSL een marginale vergroting op van het bereik van ADSL over POTS, ADSL over ISDN en HDSL CAP. Invoering van SDSL zou de mogelijkheden voor het realiseren van breedbanddiensten vergroten.

## 7.2 Situatie in andere landen

### 7.2.1 Denemarken

De National Telecom Agency stelt geen beperkingen aan de toepassing van xDSL-technieken [2].

Metingen hebben bevestigd dat xDSL-modems andere modems van hetzelfde of van andere typen kunnen storen. Storing tussen bestaande technieken en xDSL zijn ook door metingen bevestigd [2]. De beperking van de datasnelheid van ADSL-modems tot 512 kbit/s wordt gezien als een oplossing om de storing tussen ADSL-modems te voorkomen [2].

### 7.2.2 Duitsland

Deutsche Telekom stelt geen beperking aan het type xDSL-technieken [8, 16].

### 7.2.3 Oostenrijk

In Oostenrijk zijn er geen beperkingen voor wat betreft xDSL-technieken die toegepast mogen worden [18]. In een vertrouwelijk concept document over de inzet van xDSL-technieken [6] geeft de Oostenrijkse regelgever echter wel aan dat ADSL over POTS en ADSL over ISDN niet compatibel zijn en daarom niet gezamenlijk binnen één kabel ingezet dienen te worden.

### 7.2.4 Verenigd Koninkrijk

OFTEL beperkt het aantal verschillende xDSL-technieken dat toegepast mag worden op elk type kabel [15].

OFTEL heeft de ‘NICC DSL Task Group’ verzocht om een ‘*Access Network Frequency Plan*’ (ANFP) te ontwerpen om de storing binnen het aansluitnetwerk te beperken. In dat plan zouden de bijdragen van BT en Paradyne in beschouwing moeten worden genomen. BT en Paradyne hebben verschillende voorstellen aan NICC ingediend voor het ANFP met betrekking tot de technieken (xDSL- en ‘legacy’-diensten) die in elk type kabel aanwezig kunnen zijn. Kenmerkend voor die voorstellen was de variëteit van technieken.

Eerst was de opinie van de ‘NICC DSL Task Group’ dat het ‘*Access Network Frequency Plan*’ onafhankelijk van de techniek moest zijn. NICC had een ‘Power Spectral Density’-masker voorgesteld en alle technieken, die onder dat masker vielen, zouden toegestaan worden. Bij gebrek aan overstemming over een concreet voorstel en om de bestaande diensten in het BT-netwerk te beschermen heeft OFTEL voor een andere oplossing gekozen.

De kabels in het aansluitnetwerk zijn naar lengte in drie groepen verdeeld: *short*, *medium* en *long*. Naast de lengte van de kabels zijn andere criteria in beschouwing genomen voor deze classificatie. Het aansluitnetwerk bestaat uit ongeveer 65% *short*, 8% *medium* en 27% *long* kabels. Per groep is vastgesteld welke technieken zijn toegestaan. Deze beperking wordt in Tabel 7.2 gegeven. Daarnaast geeft OFTEL een algemeen spectrummasker voor elk type kabel. De technieken in de tabel vallen onder dit masker.

Tabel 7.2: *Inzet van technieken volgens het OFTEL ANFP*

<i>Short</i>	<i>Medium</i>	<i>Long</i>
POTS	POTS	POTS
ISDN	ISDN	ISDN
ADSL	ADSL	ADSL
SDSL 685,33 kbaud/s	SDSL 501 kbaud/s	SDSL 294 kbaud/s
HDSL (2 aderparen) 2B1Q	HDSL (3 aderparen) 2B1Q	
HDSL (2 aderparen) CAP 1168 kbit/s	HDSL (2 aderparen) CAP 1168 kbit/s	

POTS, ISDN en ADSL zijn overal toepasbaar, HDSL CAP (2 aderparen) met een datasnelheid van 1168 kbit/s in *short* en *medium* kabels, HDSL 2B1Q (2 aderparen) in *short*, HDSL 2B1Q (3 aderparen) in *medium*, SDSL op 685,33 kbaud/s in *short*, 501 kbaud/s in *medium* en 294 kbaud/s in *long* kabels.

### 7.2.5 Verenigde Staten van Amerika

In [1, 5] geeft de FCC aan dat bepaalde regels gewenst zijn voor een goede invoering van geavanceerde diensten, maar dat de ontwikkeling van spectrummaskers het best kan worden overgelaten aan standaardisatieorganisaties zoals ANSI, waarbij de ‘Network Reliability and Interoperability Council’ (NRIC) de FCC adviseert. Er worden in deze documenten geen beperkingen opgelegd aan xDSL-technieken. De xDSL-technieken die voldoen aan bestaande industriestandaarden worden acceptabel geacht voor invoering. Verder wordt elke techniek die geen ‘significante degradatie’ van de performance van bestaande diensten veroorzaakt, geacht acceptabel te zijn. FCC geeft aan dat het begrip ‘significante degradatie’ niet eenduidig is, maar stelt daarbij wel dat de operators realistisch dienen te zijn over de datasnelheden die zij aanbieden; wanneer de kabels meer gevuld worden, kunnen de datasnelheden afnemen. Alle aanbieders

dienen zich te realiseren dat samenwerking noodzakelijk is in een omgeving die gedeeld wordt gebruikt [5].

Oudere technieken die veel storing veroorzaken zouden volgens de FCC vervangen moeten worden door nieuwe minder storende technieken. Voor nieuwe technieken beveelt de FCC in [1] een “test en zie”-strategie aan. De FCC is van mening dat de netwerkeigenaar niet unilateraal zou mogen vastleggen welke technieken er toegepast mogen worden.

### 7.3 De visie van andere marktpartijen in Nederland

Algemeen zijn de marktpartijen in Nederland naast KPN het er over eens dat bij het realiseren van xDSL-diensten technische beperkingen noodzakelijk zijn om de interferentie te beperken. De meeste van deze marktpartijen willen geen beperking in de aantallen breedbandige verbindingen of de afstanden, maar zien meer in een beperking in typen maskers [21, 22].

Met betrekking tot de typen maskers noemen deze marktpartijen naast POTS en ISDN de volgende xDSL-technieken. Achter de techniek zijn de verschillende meningen van marktpartijen weergegeven [21, 22]:

- ADSL over POTS: toestaan (twee partijen noemen tevens ADSL Lite);
- ADSL over ISDN: niet toestaan; beperkt toestaan; alleen toestaan indien dit geen beperkingen voor de andere maskers oplevert;
- SDSL (ETSI): wel toestaan; na goedkeuring toestaan; onder voorwaarden toestaan;
- HDSL CAP<sup>7</sup>: toestaan; toestaan en zodra SDSL is gestandaardiseerd voor de nieuwe systemen SDSL gebruiken; niet toestaan.

### 7.4 Conclusies

De door KPN toegestane combinatie van breedbandige technieken bevat HDSL CAP over twee aderen, ADSL over ISDN en ADSL over POTS [7, 9, 14].

Door bepaalde xDSL-technieken uit te sluiten, kunnen de prestaties van andere technieken beter worden. Uiteindelijk wordt de bepaling van de toe te passen combinatie van xDSL-technieken echter bepaald op basis van diensten die men aan de markt wil leveren.

De belangrijkste conclusies van het KPN-rapport [9] voor wat betreft combinaties van xDSL-technieken zijn de volgende:

---

<sup>7</sup> De meeste marktpartijen gaan er van uit dat HDSL 2B1Q wordt vervangen door HDSL CAP.

- De meest storende techniek voor HDSL is HDSL zelf. Voor een bepaalde penetratie van breedbandige technieken in de kabel is de invloed van het aantal ADSL-aderparen secundair voor het HDSL-bereik.
- De gunstigste combinatie van breedbandige technieken voor de performance van ADSL over POTS (FDD variant) bevat alleen ADSL over POTS (FDD en EC).
- De tweede gunstigste combinatie van breedbandtechnieken voor de performance van ADSL over POTS (FDD variant) bevat ADSL over POTS (FDD en EC) en HDSL CAP (over twee adersparen).
- De derde gunstigste combinatie van breedbandige technieken voor de performance van ADSL over POTS (FDD variant) bevat ADSL over POTS (FDD en EC), ADSL over ISDN (FDD en EC) en HDSL CAP (over twee adersparen). Als uit deze combinatie HDSL CAP wordt weggelaten, wordt de performance van ADSL over POTS iets minder.
- De minst gunstige combinatie van breedbandige technieken voor de performance van ADSL over POTS (FDD variant) bevat ADSL over POTS (FDD en EC), ADSL over ISDN (FDD en EC), HDSL CAP (over twee adersparen) en HDSL 2B1Q (over twee adersparen).
- Het vervangen van ADSL over ISDN door ADSL over POTS is alleen merkbaar op de performance van ADSL over POTS wanneer HDSL 2B1Q niet voorkomt in de combinatie van breedbandige technieken (anders is de door HDSL 2B1Q veroorzaakte storing dominant).
- Eén 'reverse' ADSL-aderpaar (hoge datasnelheid 'up-stream' en lage datasnelheid 'down-stream') veroorzaakt een aanzienlijke vermindering op het bereik van ADSL.
- Het 'legacy'-systeem PDL is storend voor ADSL.
- Het 'legacy'-systeem BME veroorzaakt geen storing op andere technieken maar wordt zelf door de meeste xDSL-technieken gestoord.

In Oostenrijk, het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten van Amerika worden beperkingen aan de combinatie van xDSL-technieken gesteld. Deze beperkingen zijn in Tabel 7.3 samengevat.

Tabel 7.3: *Beperkingen qua toegestane technieken in verschillende landen*

Land	Beperkingen	Opmerkingen
Denemarken	Geen	
Duitsland	Geen	
Oostenrijk	Ja	ADSL over POTS en ADSL over ISDN niet in één kabel (concept regel van regelgever).
Verenigd Koninkrijk	Ja	Classificatie van type kabel. Toegestane technieken afhankelijk van het type kabel. Is door OFTEL (regelgever) bepaald.
Verenigde Staten van Amerika	Ja	In ontwikkeling binnen standaardisatieorganisatie ANSI.

De andere marktpartijen in Nederland naast KPN stellen verschillende combinaties van xDSL-technieken voor. Naast POTS en ISDN zijn ADSL over POTS en in de toekomst SDSL de technieken die alle partijen noemen.



## 8. Analyse van technische mogelijkheden

Het doel van dit hoofdstuk is een inzicht te geven in mogelijke combinaties van xDSL-technieken en het aantal lijnen in een bundel dat kan worden gebruikt. De in dit hoofdstuk gegeven uitkomsten zijn gebaseerd op een eigen analyse van de gegevens uit het KPN-rapport '*xDSL deployment rules for the Dutch access network*' [9].

### 8.1 Referentie technologiemix

Alle uitkomsten in dit hoofdstuk hebben als referentie de door KPN Research bepaalde technologiemix die in Tabel 8.1 is gegeven.

Tabel 8.1: Referentie technologiemix

Breedbandige technieken	Aantal aderparen
HDSL CAP (2 aderparen)	10
HDSL 2B1Q (2 aderparen)	40
ADSL FDD over POTS	75
ADSL EC over POTS	75
ADSL FDD over ISDN	25
ADSL EC over ISDN	25
<i>Totaal</i>	<i>250</i>
Smalbandige technieken	Aantal aderparen
ISDN	150
POTS en BME	500
<i>Totaal</i>	<i>650</i>

Volgens deze referentie technologiemix is de penetratie van breedbandige technieken in de kabel 28% (250 van 900 aderparen).

In [9] bestudeert KPN Research vooral de invloed van de samenstelling van de technologiemix op de performance van ADSL FDD over POTS, waardoor de meeste uitkomsten in deze paragraaf tot die techniek zijn beperkt. De performance wordt in termen van bereik en datasnelheid uitgedrukt. Gebaseerd op in [9] gegeven statistieken wordt het bereik gekoppeld aan het percentage gebruikers die onder dat bereik vallen.

Alle uitkomsten in het KPN-rapport [9] zijn op een referentiescenario gebaseerd (zie paragraaf 5.1.1). Uitgaande van een ander referentiescenario (andere aannamen) kunnen uitkomsten zoals het bereik afwijken. Daarom zijn relatieve gegevens, zoals verbetering van het bereik (het bereik is x meter meer geworden), hier van meer betekenis dan absolute waarden (het bereik is in deze situatie x

meter). Absolute waarden zijn afhankelijk van het uitgaansscenario en moeten daarom als indicatief beschouwd worden.

## 8.2 Storing van HDSL

Naast PDL is HDSL 2B1Q is de meest storende techniek voor ADSL. De storing die HDSL 2B1Q veroorzaakt is dominant ten opzichte van andere stoorders, dat wil zeggen dat de storing veroorzaakt door andere technieken op ADSL verwaarloosbaar is vergeleken met de storing door HDSL 2B1Q veroorzaakt.

Het vervangen van HDSL 2B1Q door HDSL CAP in de referentie technologiemix levert een verbetering op van het bereik van ADSL FDD over POTS. Omdat de datasnelheid voor ADSL geen vaste parameter is, wordt de verbetering in Tabel 8.2 voor verschillende datasnelheden gegeven [9].

*Tabel 8.2: Vervanging van HDSL 2B1Q door HDSL CAP in de referentie technologiemix; invloed op de performance van ADSL FDD over POTS*

Datasnelheid	Verbetering bereik	Verbetering aantal gebruikers
500 kbit/s	700 m (van 3700 m naar 4400 m)	van 86% naar 92%
1 Mbit/s	600 m (van 3400 m naar 4000 m)	van 82% naar 89%
2 Mbit/s	300 m (van 3000 m naar 3300 m)	van 74% naar 80%

De uitsluiting van HDSL 2B1Q in alleen de lange aderparen (langer dan 2800 m) geeft al een verbetering van het ADSL-bereik. HDSL 2B1Q in de lange aderparen blijkt de dominante stoorder.

De storing door HDSL CAP op ADSL is minder ernstig dan de storing veroorzaakt door HDSL 2B1Q. Wanneer de situatie waarin HDSL 2B1Q vervangen wordt door ADSL als referentie wordt beschouwd, levert het vervangen van de resterende HDSL CAP-paren door ADSL een betere performance van ADSL over POTS. De verbetering van de performance (vergeleken met de referentie technologiemix) wanneer alle HDSL-paren (2B1Q en CAP) vervangen worden door ADSL is in Tabel 8.3 gegeven [9].

*Tabel 8.3: Alleen maar ADSL over POTS en ADSL over ISDN als breedbandige technieken; invloed op ADSL FDD over POTS*

Datasnelheid	Verbetering bereik	Verbetering aantal gebruikers
500 kbit/s	600 m (van 3700 m naar 4300 m)	van 86% naar 92%
1 Mbit/s	600 m (van 3400 m naar 4000 m)	van 82% naar 89%
2 Mbit/s	100 m (van 3000 m naar 3100 m)	van 74% naar 76%

### 8.3 Storing van ADSL over ISDN

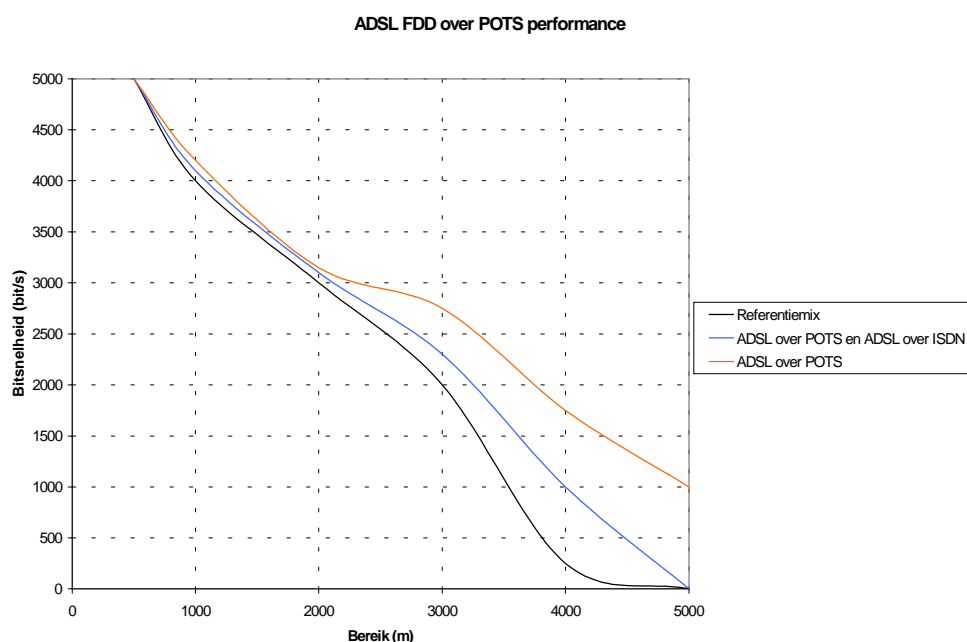
ADSL over ISDN veroorzaakt storing op ADSL over POTS. Het vervangen van ADSL over ISDN door ADSL over POTS is alleen merkbaar als HDSL 2B1Q uitgesloten wordt van de technologiemix (anders is de storing door HDSL 2B1Q veroorzaakt dominant). De verbetering van het bereik van ADSL over POTS (vergeleken met de referentie technologiemix) wanneer geen HDSL (2B1Q en CAP) en geen ADSL over ISDN worden toegepast, is in Tabel 8.4 gegeven [9].

Tabel 8.4: *ADSL over POTS als enige breedbandige techniek; invloed op ADSL over POTS*

Datasnelheid	Verbetering bereik	Verbetering aantal gebruikers
500 kbit/s	>1300 m (van 3700 m naar >5000 m)	van 86% naar >95%
1 Mbit/s	1600 m (van 3400 m naar 5000 m)	van 82% naar 95%
2 Mbit/s	700 m (van 3000 m naar 3700 m)	van 74% naar 86%

Op basis van de gegevens in Tabel 8.4 wordt geconcludeerd dat de meest gunstige situatie voor ADSL over POTS optreedt wanneer geen andere breedbandige techniek toegepast wordt.

De invloed van de technologiemix op de ADSL over POTS performance wordt in Figuur 8.1 in de vorm van een grafiek aangegeven. Soortgelijke figuren zijn de meest voorkomende in het KPN-rapport [9]. Figuur 8.1 geeft de variatie van de datasnelheid als functie van het bereik voor drie verschillende technologiemixen.



Figuur 8.1: Invloed van de verandering van de technologiemix op de performance van ADSL FDD over POTS (indicatief) [9]

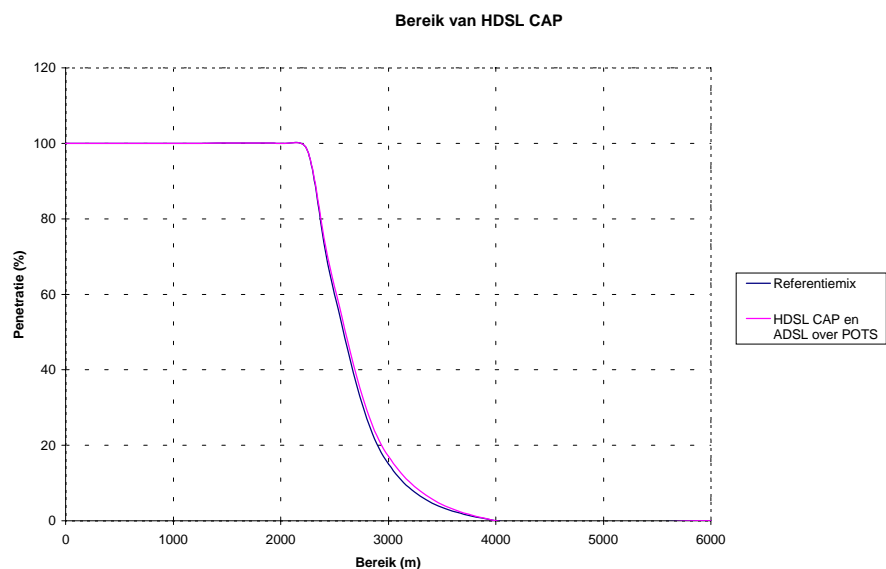
De linker lijn in Figuur 8.1 geeft een indicatie van de haalbare datasnelheid voor ADSL FDD over POTS als functie van de afstand voor de referentie technologiemix. De middelste lijn geeft dit zelfde voor een technologiemix met alleen ADSL over POTS en ADSL over ISDN en de rechtse lijn voor een technologiemix met alleen ADSL over POTS als breedbandige techniek.

#### 8.4 Penetratie van breedbandige technieken in de kabel

Tot nu toe is de penetratie van breedbandige technieken (250/900 of 28%) en de verhouding tussen ADSL en HDSL (4:1) vast gebleven (met uitzondering van de gevallen waarin HDSL door ADSL is vervangen). Uitkomsten voor de performance van ADSL over POTS voor penetraties van breedbandige technieken anders dan 28% zijn ook in [9] te vinden. De verhouding tussen verschillende technieken blijft daarbij constant wanneer de penetratie wordt verhoogd. Ter verduidelijking: voor een penetratie van 56% zou het aantal ADSL-aderparen 400 zijn en het aantal HDSL-aderparen 100, zodat de verhouding 4:1 tussen ADSL en HDSL niet veranderd is. Tevens worden in [9] berekeningen uitgevoerd waarbij de verhouding tussen ADSL en HDSL wordt gevarieerd. De belangrijkste uitkomsten van de in [9] uitgevoerde simulatieberekeningen zijn de volgende:

- De penetratie van breedbandige technieken kan worden verhoogd zonder het bereik van POTS te beïnvloeden.

- Het verhogen van de penetratie van breedbandige technieken levert een kleine verlaging van het ISDN-bereik (in [9] wordt niet gespecificeerd hoeveel). Het bereik is in ieder geval meer dan 5 km.
- Het bereik van ADSL 'down-stream' (< 1,5 Mbit/s) verbetert voor lange afstanden (> 3,5 km) wanneer de verhouding ADSL:HDSL significant toeneemt.
- Het bereik van HDSL CAP wordt verlaagd wanneer de penetratie verhoogd wordt. Voor deze verlaging maakt het geen verschil welke andere technieken in de technologiemix zitten (bij gelijke verhouding ADSL:HDSL). Deze uitkomst is in Figuur 8.2 te zien. Voor de duidelijkheid van de figuur zijn maar twee verschillende combinaties van technieken weergegeven, maar in feite geldt voor alle combinaties waarin HDSL (HDSL CAP over twee aderparen of 2B1Q over één of twee aderparen) is inbegrepen (in een verhouding 1:4 met ADSL) een zelfde grafiek<sup>8</sup>.



Figuur 8.2: *Bereik van HDSL CAP versus penetratie van breedbandige technieken (indicatief) [9]*

In het KPN-rapport [9] komt een verdere discussie over een figuur zoals Figuur 8.2 niet aan de orde. In feite suggereert Figuur 8.2 dat HDSL CAP de meest storende techniek is voor HDSL CAP zelf. Als dat inderdaad zo is, zou dit betekenen dat de penetratie van ADSL zou kunnen worden verhoogd zonder het bereik van HDSL CAP op een ernstige manier te beïnvloeden. Bij een penetratie breedbandige technieken van 6 à 7% en een verhouding van 1:4 tussen HDSL CAP en ADSL kan HDSL CAP tot 3,5 km worden geleverd. Dus als de penetratie van ADSL zou worden verhoogd terwijl het aantal HDSL CAP-aderparen constant blijft

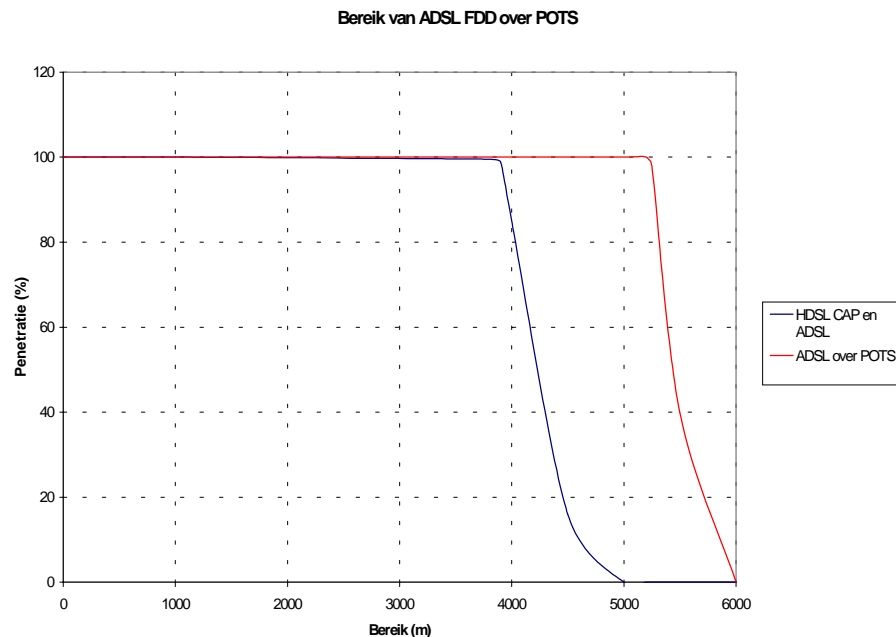
<sup>8</sup> Een soortgelijke figuur als Figuur 8.2 is als basis voor de bepaling van de 'aderpaarlimitering' gebruikt.

(bijvoorbeeld 12 van de 900), zou hetzelfde bereik van 3,5 km voor HDSL CAP gegarandeerd kunnen worden voor penetraties van breedbandige technieken hoger dan 7%. Deze mogelijkheid komt in het rapport niet aan de orde, omdat bij de berekeningen waaruit de ‘aderpaarlimitering’ is afgeleid een vaste verhouding tussen HDSL en ADSL in beschouwing is genomen.

Het bereik van ADSL FDD over POTS als functie van de penetratie van breedbandige technieken wordt in [9] onderzocht. De uitkomsten voor 500 kbit/s ‘down-stream’ en 128 kbit/s ‘up-stream’ worden in Tabel 8.5 en in Figuur 8.3 gegeven voor twee verschillende technologiemixen [9].

Tabel 8.5: Bereik van ADSL FDD over POTS (500 kbit/s ‘downlink’ / 128 kbit/s ‘uplink’) voor verschillende penetraties van breedbandige technieken

Aderparen voor breedbanddiensten in 900"				Bereik ADSL over POTS
HDSL CAP	ADSL POTS	ADSL ISDN	Totaal	
10	40	10	60 (penetratie 6,7%)	4800 m
50	150	50	250 (penetratie 28%)	4400 m
180	540	180	900 (penetratie 100%)	3900 m
0	60	0	60 (penetratie 6,7%)	5800 m
0	250	0	250 (penetratie 28%)	5600 m
0	900	0	900 (penetratie 100%)	5250 m



*Figuur 8.3: Bereik van ADSL FDD over POTS (500 kbit/s ‘downlink’ / 128 kbit/s ‘uplink’) versus penetratie van breedbandige technieken (indicatief) [9]*

De linker lijn in Figuur 8.3 geeft het bereik van ADSL FDD over POTS (500 kbit/s ‘down-stream’ en 128 kbit/s ‘up-stream’) als functie van de penetratie van breedbandige technieken voor de in Tabel 8.5 aangegeven technologiemix met HDSL CAP, ADSL over POTS en ADSL over ISDN en de rechter lijn geeft dit zelfde voor een technologiemix met alleen ADSL over POTS als breedbandige techniek.

## 8.5 Conclusies

Om een inzicht te krijgen in de technische mogelijkheden is een analyse uitgevoerd van de resultaten van simulatieberekeningen uit het KPN-rapport [9]. De indicatieve resultaten van deze analyse zijn gebaseerd op de resultaten van de simulatieberekeningen voor een bepaald referentiescenario en dienen daarom slechts ter illustratie van de technische mogelijkheden:

- bij vervanging van HDSL 2B1Q door HDSL CAP in de referentie technologiemix kunnen met ADSL over POTS (500 kbit/s – 2 Mbit/s) ongeveer 6% meer gebruikers worden bereikt;
- bij vervanging van alle HDSL-verbindingen uit de referentie technologiemix door ADSL kunnen met ADSL over POTS tussen 2% (voor 2 Mbit/s) en 7% (voor 1 Mbit/s) meer gebruikers worden bereikt;
- bij vervanging van ADSL over ISDN door ADSL over POTS in de technologiemix uit het vorige punt kunnen met ADSL over POTS nog eens

tussen meer dan 3% (voor 500 kbit/s) en 10% (voor 2 Mbit/s) meer gebruikers worden bereikt<sup>9</sup>;

- HDSL CAP kan worden geleverd tot 3,5 km bij een penetratie van breedbandige technieken volgens de referentie technologiemix van 6 à 7%;
- bij een penetratie van breedbandige technieken van 100% volgens de referentie technologiemix kan HDSL CAP worden geleverd tot meer dan 2 km;
- bij een technologiemix met HDSL CAP en vier maal zo veel ADSL aderparen (verhouding ADSL over ISDN ten opzichte van ADSL over POTS 1:3) is het bereik van ADSL over POTS (500 kbit/s) 3900 m bij 100% penetratie, 4400 m bij 25% penetratie en 4800 m bij 6 à 7% penetratie van breedbandige technieken.

---

<sup>9</sup> Het vervangen van ADSL over ISDN door ADSL over POTS is alleen merkbaar als HDSL 2B1Q uitgesloten wordt van de technologiemix.

## 9. Conclusies

In dit onderzoek is een evaluatie uitgevoerd van de technische mogelijkheden van het aansluitnetwerk voor toepassing van xDSL-diensten. Dit met als doel OPTA te ondersteunen bij de evaluatie van de technische voorwaarden die KPN stelt aan het gebruik van het aansluitnetwerk voor xDSL-diensten. Het onderzoek is uitgevoerd op basis van algemeen beschikbare gegevens en via OPTA verkregen informatie van KPN en andere marktpartijen.

### 9.1 xDSL-technieken

De xDSL-technieken maken gebruik van het bestaande -koperdraad-aansluitnetwerk tussen de abonnee en de nummercentrale, dat oorspronkelijk is ontworpen voor analoge telefonie. Met xDSL-technieken kunnen datasnelheden van honderden kbit/s tot enkele Mbit/s over bestaande koperdraden gerealiseerd worden. Om deze hogere datasnelheden mogelijk te maken, passen de xDSL-technieken ook veel hogere frequenties toe dan voor analoge telefonie worden gebruikt.

Nog niet alle xDSL-technieken zijn gestandaardiseerd en nieuwe xDSL-technieken, zoals bijvoorbeeld VDSL, zijn nog in ontwikkeling.

### 9.2 Achtergrond spectraal management

Binnen een kabelbundel vindt, naast demping, overspraak plaats tussen de verschillende aderparen. Wanneer de hierdoor optredende storing op een verbinding te groot wordt, heeft dit gevolgen voor de kwaliteit en beschikbaarheid van deze verbinding. Voor xDSL-technieken met een vaste datasnelheid (bijvoorbeeld HDSL) betekent dit een beperking van de haalbare afstand; voor afstanden groter dan de haalbare afstand is geen verbinding mogelijk. Voor xDSL-technieken met een variabele datasnelheid (bijvoorbeeld ADSL) betekent dit een beperking van de haalbare afstand bij een gewenste datasnelheid, dan wel een beperking in de haalbare datasnelheid bij een gewenste afstand.

Om de onderlinge storing tussen verbindingen te minimaliseren en de beschikbare capaciteit van het aansluitnetwerk zo efficiënt mogelijk te gebruiken zijn maatregelen op het gebied van spectraal management noodzakelijk. Hiertoe worden spectraal management regels opgesteld.

De marktpartijen in Nederland zijn het er in het algemeen over eens dat, bij het realiseren van xDSL-diensten, spectraal management regels noodzakelijk zijn om de interferentie te beperken.

Standaarden voor spectraal management zijn nog in ontwikkeling bij de standaardisatieorganisaties ANSI en ETSI.

### 9.3 Spectraal management regels

De door KPN bepaalde spectraal management regels hebben betrekking op een beperking in het aantal voor xDSL-technieken te gebruiken aderpennen in de bundels ('aderpaarlimitering') en een beperking in de toe te passen combinatie van xDSL-technieken.

#### 9.3.1 Limitering van het aantal aderpennen

De door KPN gestelde 'aderpaarlimitering' beperkt het aantal aderpennen dat gebruikt mag worden voor breedbandige technieken tot 60 van de 900 in een bundel.

Deze waarde is mede gebaseerd op in het rapport '*xDSL deployment rules for the Dutch access network*' [9] van KPN Research beschreven simulatieberekeningen. De regel is voor een deel gebaseerd op marktkeuzen. Bij de bepaling van de aderpaarlimitering is er van uitgegaan dat HDSL CAP voor ongeveer 85% van de gebruikers mogelijk is. De resultaten van de simulatieberekeningen zullen bij andere marktkeuzen leiden tot een andere aderpaarlimitering.

Op basis van de technische aannamen voor de simulatieberekeningen kan de aderpaarlimitering 60/900 als een conservatieve spectraal management regel beschouwd worden. Het is te verwachten dat op basis van toekomstige praktijkervaringen met de xDSL-technieken minder beperkende regels zijn op te stellen.

In de meeste van de beschouwde andere landen wordt vooraf geen specifieke beperking gesteld aan het aantal aderpennen binnen een kabel die voor xDSL-technieken gebruikt mogen worden. Wel geeft men aan dat er in de praktijk een limiet zal zijn aan het aantal gebruiken aderpennen en dat bij een hogere vulling van de kabel de haalbare datasnelheden (voor ADSL) kunnen afnemen.

Indien men vooraf geen 'aderpaarlimitering' oplegt, zijn er procedures nodig om te bepalen hoe moet worden omgegaan met situaties waarbij storing optreedt of dreigt te gaan optreden.

Indien men vooraf een 'aderpaarlimitering' wil opleggen dan is het uit het oogpunt van efficiënt technisch gebruik van de capaciteit van het aansluitnetwerk het best om deze spectraal management regel zo goed mogelijk af te stemmen op de specifieke situatie. Een eerste stap hiertoe is een afstandsafhankelijke aderpaarlimitering. Dit in plaats van de gestelde vaste algemene aderpaarlimitering, die is bepaald voor kabels met een lengte van 3,5 km en daardoor onnodig

restrictief is voor kortere kabels. Technisch gezien kan een aderpaarlimitering als functie van de afstand in plaats van een vaste aderpaarlimitering zoals 60/900 toegepast worden. Verwacht mag worden dat, op basis van toekomstige praktijkervaring, het mogelijk blijkt om een verfijndere set van regels op te kunnen stellen, welke tot een efficiënter gebruik van de beschikbare capaciteit van het aansluitnetwerk leidt.

### 9.3.2 Combinatie van xDSL-technieken

Door bepaalde xDSL-technieken uit te sluiten, kunnen de prestaties van andere technieken beter worden. Uiteindelijk wordt de keuze van de toe te passen combinatie van xDSL-technieken echter bepaald op basis van diensten die men aan de markt wil leveren.

De door KPN toegestane combinatie van breedbandige technieken bevat HDSL CAP over twee aderpennen, ADSL over ISDN en ADSL over POTS. Net als de 'aderpaarlimitering' is ook deze spectraal management regel gebaseerd op de in het rapport '*xDSL deployment rules for the Dutch access network*' [9] van KPN Research beschreven simulatieberekeningen en voor een deel ook op marktkeuzen.

Conclusies van het KPN-rapport [9] voor wat betreft combinaties van xDSL-technieken zijn de volgende:

- De meest storende techniek voor HDSL is HDSL zelf.
- De gunstigste combinatie van breedbandige technieken voor de performance van ADSL over POTS bevat alleen ADSL over POTS.
- De tweede gunstigste combinatie van breedbandige technieken voor de performance van ADSL over POTS bevat ADSL over POTS en HDSL CAP.
- De derde gunstigste combinatie van breedbandige technieken voor de performance van ADSL over POTS bevat ADSL over POTS, ADSL over ISDN en HDSL CAP. Als uit deze combinatie HDSL CAP wordt weggelaten, wordt de performance iets minder.
- De minst gunstige combinatie van breedbandige technieken voor de performance van ADSL over POTS bevat ADSL over POTS, ADSL over ISDN, HDSL CAP en HDSL 2B1Q.
- Het vervangen van ADSL over ISDN door ADSL over POTS is alleen merkbaar op de performance van ADSL over POTS wanneer HDSL 2B1Q niet voorkomt in de combinatie van breedbandige technieken (anders is de door HDSL 2B1Q veroorzaakte storing dominant).
- Eén 'reverse' ADSL-aderpaar (hoge datasnelheid 'up-stream' en lage datasnelheid 'down-stream') veroorzaakt een aanzienlijke vermindering op het bereik van ADSL.
- Het 'legacy'-systeem PDL is storend voor ADSL.
- Het 'legacy'-systeem BME veroorzaakt geen storing op andere technieken maar wordt zelf door de meeste xDSL-technieken gestoord.

De bij ETSI en ANSI in ontwikkeling zijnde standaarden voor spectraal management zijn gericht op het opstellen van een lijst van toegestane spectrummaskers voor xDSL-technieken. Nieuwe xDSL-technieken kunnen aan de lijst worden toegevoegd indien deze spectraal compatibel zijn en voordelen bieden ten opzichte van de bestaande technieken.

Ook in Oostenrijk, het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten van Amerika worden beperkingen aan de combinatie van xDSL-technieken gesteld. In het in het Verenigd Koninkrijk opgestelde '*Access Network Frequency Plan*' is de toegestane combinatie van xDSL-technieken afhankelijk van de kabelklasse, die met name wordt bepaald door de lengte van de kabel.

De andere marktpartijen in Nederland naast KPN stellen verschillende combinaties van xDSL-technieken voor. Naast POTS en ISDN zijn ADSL over POTS en in de toekomst SDSL de technieken die alle partijen noemen.

## 10. Referenties

- [1] FCC Verenigde Staten; FCC Report FCC 99-48; June 1999.
- [2] National Telecom Agency Denmark; *The Nationaal Telecom Agency's Report on New Possibilities for Access to the Network Society via Fixed Telecommunications Networks*, August 1999.
- [3] Wolfswinkel, Ir. R.N. van, Drs. C. Ponsioen; *De ontwikkeling van distributie- en telecommunicatie-infrastructuren: Toegangsnetwerken voor multimediale diensten*; TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium; 's-Gravenhage; TNO-rapport FEL-99-C223; september 1999.
- [4] KPN; Presentatie FIST MDF; *Spectraalmanagement 3: spectraaleisen*; november 1999.
- [5] FCC Verenigde Staten; FCC Report FCC 99-355; December 1999.
- [6] Telekom Control Austria; E-mail voor OPTA; januari 2000; (Confidential).
- [7] KPN; Presentatie; *Spectraalmanagement 4: achtergrond en ontwikkelingen inzetbeleid*; 7 januari 2000.
- [8] RegTP Duitsland; E-mail voor OPTA; *ULL and Spectral management*; 12 januari 2000.
- [9] KPN; dr.ir R.F.M. van den Brink, ing. R.M. van Maurik, ing. J.S. Kooiman, dr. B.M. van den Heuvel; *xDSL deployment rules for the Dutch access network (technical edition)*; KPN Research; RA-00-32278; March 2000; (KPN Confidential).
- [10] KPN; *Verificatie van de simulatie met betrekking tot spectraalmanagement door middel van metingen te Rt-MDW*; Rapportnr. BN-VM-Acc99-017.
- [11] KPN; *Infrastructuur: Conventioneel net, STAPN 58, STAPN 68*.
- [12] KPN; *Offer for MDF access services, technical manual*; 10 mei 2000.
- [13] ETSI, TM6; *Laboratory Performance tests for SDSL and ADSL systems*; STC TM6(98)10 revision 4, May 2000.
- [14] Gesprekken met KPN; KPN Stichthage; 30 juni en 10 juli 2000.
- [15] OFTEL UK; *Access to Bandwidth: Proposed Solution for the Access Network Frequency Plan (ANFP) for BTs Metallic Access Network*; OFTEL; June 2000.
- [16] RegTP Duitsland; E-mail voor OPTA; 6 juli 2000.
- [17] Telekom Control Austria; E-mail voor OPTA; 10 juli 2000.
- [18] Telekom Control Austria; E-mail voor OPTA; 11 juli 2000.
- [19] ETSI, TM6; *Spectral management on metallic access networks; Part 1: Definitions and signal library*; DTS/TM-06016 (TR 101 830-1), 13 July 2000.
- [20] KPN; Fax aan TNO; *Spectraal management*; 18 juli 2000.
- [21] Interviews met FIST-deelnemers CLEC (BaByXL), MCI Worldcom, Novaxess en VersaPoint; 25 juli 2000.
- [22] Schriftelijke beantwoording vragen door FIST-deelnemers Cistron, CLEC (BaByXL), Colt, Novaxess en VersaPoint; juli/augustus 2000.

- 
- [23] ANSI, Committee T1, Working Group T1E1.4; *Draft proposed American National Standard, Spectrum Management for Loop Transmission Systems*; ANSI T1E1.4/2000-002R3; Vancouver, Canada; 14 August 2000.

## 11. Ondertekening

.....  
Ir. J.P. Dezaire  
Groepsleider

.....  
Ir. P.J. van Vliet  
Namens auteurs



## Distributielijst

- 1-10. OPTA, t.a.v. Ing. B.Y. Hilberts
11. DM&P TNO-DO
12. Directeur TNO-FEL
13. Adjunct-directeur TNO-FEL, daarna reserve
14. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan MPC, daarna reserve
15. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ir. F.G.J. van Aken
16. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ir. J.P. Dezaire
17. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ir. P.J. van Vliet
18. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ir. P.H. Trommelen
19. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan I. Fernández Díaz, M.Sc.
20. Documentatie TNO-FEL
21. Reserve

Indien binnen de krijgsmacht extra exemplaren van dit rapport worden gewenst door personen of instanties die niet op de verzendlijst voorkomen, dan dienen deze aangevraagd te worden bij het betreffende Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek of, indien het een K-opdracht betreft, bij de Directeur Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling.

\*) Beperkt rapport (titelblad, managementuittreksel, RDP en distributielijst).