

Aktive Kompensation des Nebensprechens bei der DSL-Übertragung in praxisnahen Szenarien

Dipl.-Ing. Roman Tzschoppe, Prof. Dr.-Ing. Johannes Huber, Lehrstuhl für Informationsübertragung, Universität Erlangen-Nürnberg, Cauerstr. 7, D-91058 Erlangen

Dipl.-Ing. Georg Herrmann, VIERLING Communications GmbH, Pretzfelder Str. 21, D-91320 Ebermannstadt

Kurzfassung

Im rasant wachsenden Markt von DSL, steigt die Nachfrage nach immer größeren Datenraten. Gleichzeitig wächst die Zahl der Kunden, denen nicht genügend Datenrate bzw. überhaupt kein DSL-Anschluss garantiert werden kann. Nebensprechen in Zusammenhang mit einer großen Entfernung von der Vermittlungsstelle ist meist der Grund dafür. Mittels aktiver Kompensation — Interference Cancellation (IFC) — kann Nebensprechen mit einem ersten Prototypen bis zu 20 dB unterdrückt werden. In drei im Labor nachgestellten Szenarien wird aufgezeigt, welche Gewinne in Reichweite und Datenrate in der Praxis erreichbar sind. Reichweiten-Verlängerungen um bis zu 40% und Datenraten-Vervielfachungen zeigen das hohe Potential von IFC. Feldtests bei einem europäischen Netzbetreiber haben die Effektivität des Systems bestätigt. Darüberhinaus könnte durch den Einsatz von IFC auf Frequenzgetrenntlage von Upstream und Downstream verzichtet werden, und somit ein Weg zu hochratigen symmetrischen Verfahren eröffnet werden.

1 Einleitung

Der DSL Markt wächst weiterhin rasant, jedoch sind dem Wachstum technische Grenzen gesetzt. Das Marketing der DSL-Provider verspricht möglichst vielen Kunden ein DSL-Anschluss mit möglichst hoher Datenrate zur Verfügung zu stellen. Auf der anderen Seite gibt es viele potentielle Kunden, denen ein DSL-Anschluss entweder nur mit verringerter Datenrate, oder überhaupt nicht angeboten wird. Hintergrund ist meist eine zu große Entfernung des häuslichen Teilnehmeranschlusses des potentiellen Kunden von der Vermittlungsstelle (Central Office (CO)).

So limitiert die Kabeldämpfung bei hohen Frequenzen die Reichweite der ADSL-Übertragung auf maximal 5 km; in der Praxis meist deutlich darunter. Störungen durch *Nahnabensprechen (Near-end Crosstalk (NEXT))* im Fernmeldekabel, z.B. durch andere DSL Systeme, führen zu Einschränkungen bezüglich der Beschaltung im Kabel und können die Zuverlässigkeit und die erzielbaren Datenraten von ADSL-Diensten reduzieren. Bei ADSL selbst wird die NEXT-Problematik durch *Übertragung in Frequenzgetrenntlage (Frequency Division Duplex, FDD)* umgangen. Dies führt allerdings zu einer Asymmetrie der erzielbaren Datenraten in Upstream (US) bzw. Downstream (DS). Andererseits resultiert aus neuen Multimedia- und VoIP-Anwendungen verstärkt die Forderung nach symmetrischen Breitband-Angeboten. Ansätze, die Nebensprechproblematik durch eine gemeinsame Optimierung der Übertragungssysteme innerhalb des Fernmeldekabels zu vermeiden, sind unter dem Begriff *Dynamic Spectrum Management (DSM)*

bekannt [1], [2]. Diese sind jedoch abhängig von einer speziellen Übertragungstechnologie und Systemtechnik, und lassen sich daher nicht mit bereits existierende Systemen kombinieren.

Nach dem Ansatz *Interference Cancellation (IFC)* wird das Nebensprechen im Fernmeldekabel — unabhängig von der Übertragungstechnik — durch aktive Einkopplung von Kompensationssignalen unterdrückt [3].

In Abschnitt 2 wird kurz auf das zugrundeliegende Systemmodell der aktiven Kompensation von Nebensprechen eingegangen, sowie die prinzipielle Funktionsweise des IFC-Prototypen erläutert. Eine ausführliche Darstellung der Umgebung, unter denen praxisnahe Szenarien nachgestellt werden, folgt in Abschnitt 3. Messergebnisse für drei verschiedene Szenarien werden im Abschnitt 4 dargestellt und diskutiert. Eine Zusammenfassung und einen Ausblick gibt Abschnitt 5.

2 Systemmodell und Prototyp

Der folgende Abschnitt vermittelt die grundlegenden Konzepte des IFC-Ansatzes nur soweit sie für das Verständnis der nachfolgenden Abschnitte unmittelbar relevant sind. Für eine ausführlichere Darstellung, insbesondere der zugrundeliegenden Algorithmen, verweisen wir auf [3].

Das IFC-System wird hochohmig an die Doppeladern eines zu entstörenden Kabelbündels geschaltet. Ein Auftrennen der Doppeladern ist daher nicht notwendig, was einige Nachteile mit sich bringen würde [3]. Typischerweise wird das IFC-System am Hauptverteiler platziert, da hier zum einen der Abstand zum Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM) ge-

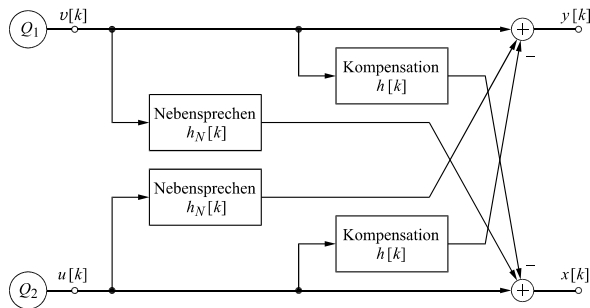


Abbildung 1 Systemmodell der Kompensation von Nebensprechen zwischen zwei Doppeladern

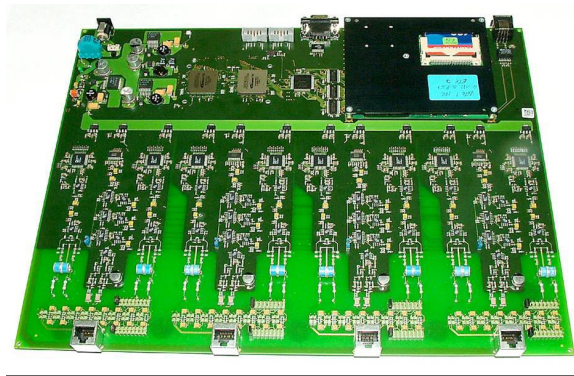


Abbildung 2 IFC-Prototyp mit 4 Kanälen

ring ist, und zum anderen benachbarte Doppeladern im Fernmeldekabel auch räumlich benachbart zugänglich sind. Ein alternativer bzw. zusätzlicher Einsatzort des IFC-Systems ist am Kabelverzweiger.

Abbildung 1 zeigt das zeitdiskrete Systemmodell des wechselseitigen Nebensprechens zwischen zwei Doppeladern und dessen Kompensation durch adaptive Filter. Das Signal $v[k]$ der Quelle Q_1 auf der einen Doppelader spricht auf die andere Doppelader über und überlagert sich mit dem Signal $u[k]$ der Quelle Q_2 . Da ein Fernmeldekabel ein passives System darstellt, spricht umgekehrt $u[k]$ auf $v[k]$ mit derselben Übertragungsfunktion bzw. Impulsantwort $h_N[k]$ über. Liefern die Quellen unkorrelierte Signale, so lässt sich aus den Auto- und Kreuzkorrelationsfunktionen der Signale $x[k]$ und $y[k]$ die Impulsantwort $h_N[k]$ schätzen, und damit die adaptiven Kompensationsfilter mit der Impulsantwort, bzw. den Filterkoeffizienten, $h[k]$ einstellen [3].

Das Konzept lässt sich bei unkorrelierten Quellensignalen durch paarweise Anwendung prinzipiell auf beliebig viele Doppeladern erweitern. Allerdings müssen für eine vollständige Kompensation zwischen N Aderpaaren $N(N - 1)/2$ Impulsantworten geschätzt, und $N(N - 1)$ adaptive Filter implementiert werden. Der IFC-Prototyp ist auf eine vollständige Kompensation von vier Aderpaaren beschränkt (siehe Abb. 2).

3 Messumgebung

Alle im Abschnitt 4 beschriebenen praxisnahen Szenarien werden im Messlabor nachgestellt. Der prinzipielle Aufbau des Messlabor ist in Abb. 3 veranschaulicht. CO-seitig steht ein DSLAM mit SHDSL, ADSL (Annex B), sowie ADSL2+ (Annex A) Linecards zur Verfügung. Über zwei Patchpanel können die einzelnen Ports der Linecards mit den einzelnen Adern des Fernmeldekabels verschalten werden. Der IFC-Prototyp kann wahlweise ans Patchpanel, bzw. über Vt71-Stecker mit 4 Doppeladern des Fernmeldekabels verbunden werden. Das Fernmeldekabel besteht aus 10 Aderpaaren mit 0,5 mm Querschnitt (Typ: A-02YSF(L)2Y 10x2x0,5 StVIBd). Aufgetrommelt auf 5 Trommeln, lässt sich durch ein Verschalten der 5 Trommeln für jedes Aderpaar separat eine gewünschte Länge zwischen 200 m und 4,8 km (in ca. 0,5 km bzw. ca. 1,0 km Schrittweiten) einstellen.

Die Kundenseite des Fernmeldekabels endet ebenfalls an einem Patchpanel, über welches die entsprechenden Teilnehmer-Endgeräte (Customer Premises Equipment (CPE)) angeschlossen werden können.

In einem Szenario werden auch Kabellängen größer als 4,8 km nachgestellt. In diesen Fällen ist das zu verlängernde Aderpaar direkt von der CPE-Seite nochmals zur CO-Seite geführt, und mit einem anderen Aderpaar des 10-paarigen Fernmeldekabels verschalten. Durch diese Maßnahme wird zwar ein künstliches NEXT geschaffen, das aber durch die Dämpfung des NEXT erzeugenden Signals über 4,8 km zu vernachlässigen ist.¹

4 Messergebnisse

Um die Leistungsfähigkeit des IFC-Ansatzes, und im speziellen auch die des IFC-Prototypens, zu testen, werden Messungen in drei verschiedenen Szenarien durchgeführt. Zwei der Szenarien liefern direkt praxisrelevante Aussagen, während ein Szenario eher künstlicher Natur ist, aber das hohe Potential des IFC-Ansatzes klar demonstriert.

Als direktes Maß für die erfolgte Reduktion des Nebensprechens durch den IFC-Prototypen, werden Vergleichsmessungen mit einem Netzwerkanalysator durchgeführt. Die Übertragungsfunktion des Nebensprechens wird einmal mit und einmal ohne IFC-System gemessen.

Zur Evaluierung der praxisrelevanten Verbesserungen durch den Einsatz des IFC-Systems, werden die Übertragungsparameter der Modems und der Linecards vom DSLAM ausgelesen. Je nach verwendetem Profil (fixe/variable Datenrate) lässt sich der Gewinn in einer Steigerung der Datenrate, bzw. des Noise Margins messen. Dabei ist zu beachten, dass der Parameter Noise Margin nur in ganzzahligen deziBel (dB) Werten

¹Künstlich erzeugtes Fernnebensprechen kann hier auch vernachlässigt werden.

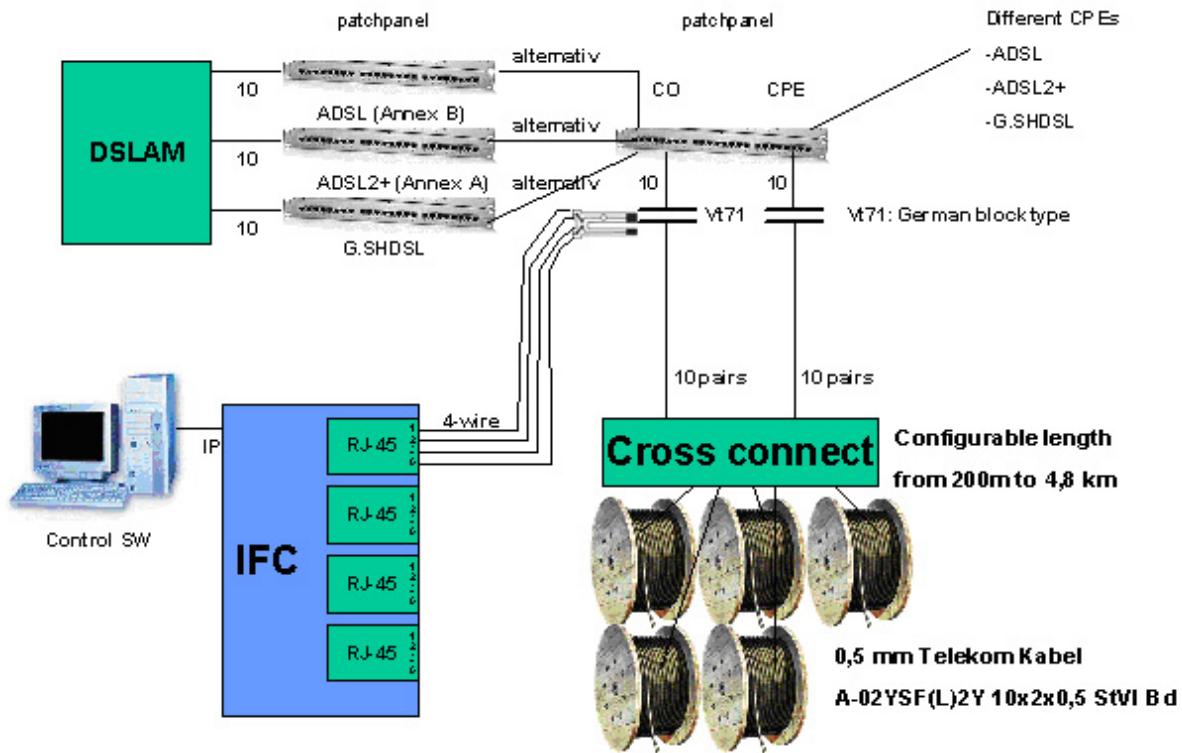


Abbildung 3 Aufbau des Messlabors

ausgegeben wird, und bei wiederholten Messungen unter gleichen Bedingungen Schwankungen von mehr als ± 1 dB aufweisen kann. Daher sollte bei der Beurteilung der Ergebnisse viel mehr Wert auf die generelle Tendenz der Messwerte, als auf einzelne Messwerte gelegt werden.

In allen drei Szenarien werden jeweils zwei Aderpaare gewählt, deren NEXT stärker als im Durchschnitt war. Bei Paarbeziehungen mit schwächerem NEXT fallen die erzielbaren Gewinne natürlicherweise geringer aus. Doch gerade Paarbeziehungen mit stärkeren NEXT sind in der Praxis sehr störend, und eine Verbesserung ist gerade hier erforderlich.

4.1 kNEXT bei SHDSL

Im erstes Szenario wird das NEXT zwischen gleichartigen Systemen (*kindred NEXT* (kNEXT))², im speziellen zwischen zwei SHDSL Systemen betrachtet. Da bei SHDSL die Leistungsdichtespektren von US und DS gleich sind, tritt die NEXT-Problematik auch auf der CPE-Seite auf, falls dort die CPE-Modems am gleichen Ort angeschlossen sind. Um die NEXT-Problematik auf der CPE-Seite zu vermeiden, werden die CPE-Modems örtlich getrennt und über unterschiedlich lange Leitungen CO-seitig angeschlossen (siehe Abb. 4). Dadurch

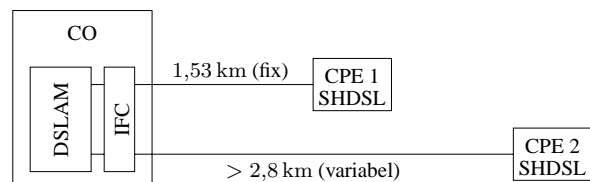


Abbildung 4 Szenario 1: kNEXT bei SHDSL

wird das NEXT zwischen den CPE-Modems stark gedämpft. Alternativ zur örtlichen Trennung kann ein zweites IFC-System CPE-seitig angeschlossen werden. Da bei SHDSL für den Noise Margin nur ein einzelner Wert, und keine spezifischen Werte für US und DS vom DSLAM ausgegeben werden, ist eine bessere Beurteilung im Falle der örtlichen Trennung der CPE-Modems möglich. Daher wurde dieses Szenario an Stelle des beidseitigen Einsatzes von IFC-Systemen ausgewählt. Abbildung 5 zeigt die mit einem Netzwerkanalysator gemessene NEXT-Übertragungsfunktion im Frequenzbereich von 10 kHz bis 2,5 MHz mit und ohne IFC-System. Das NEXT wurde im Frequenzband von SHDSL um ca. 10 dB gedämpft. Außerhalb davon konnte die NEXT-Übertragungsfunktion mangels Anregung nicht geschätzt werden. In Folge dessen findet hier auch keine Reduktion des NEXT statt.

Der Einfluss dieser Reduktion des Nebensprechens auf den Einsatz in der Praxis wurde mit zwei SHDSL Systemen (ITU G.991.2 Annex B, 2056 kbit/s, fixed ra-

²Üblicherweise wird die Bezeichnung self NEXT verwendet. Da damit nicht das NEXT auf eine andere Leitung und wieder zurück gemeint ist, sondern das NEXT zwischen gleichartigen Systemen, wird die Bezeichnung kindred NEXT, gemäß dem Vorschlag in [4] verwendet.

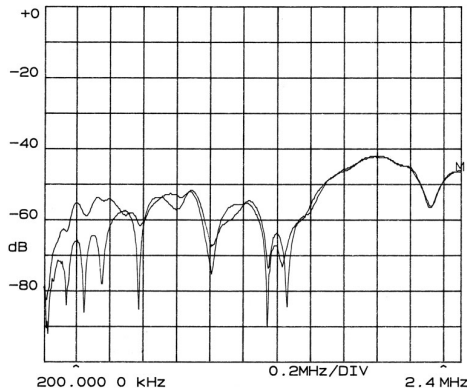


Abbildung 5 Betrag der NEXT-Übertragungsfunktion in Szenario 1 (obere Kurve: ohne IFC, untere Kurve: mit IFC)

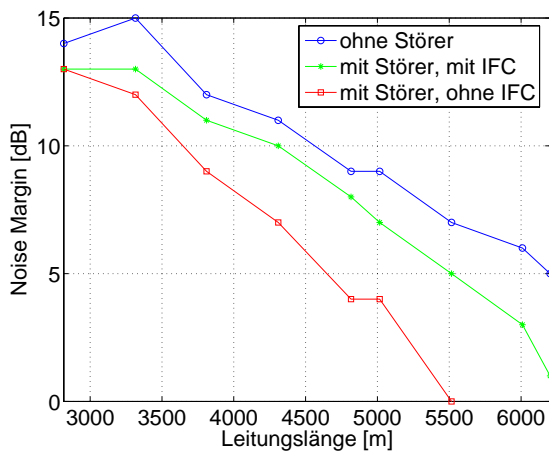


Abbildung 6 SHDSL Noise Margin bei kNEXT (Szenario 1)

te), ermittelt. Abbildung 6 zeigt den Noise Margin des zweiten SHDSL-Systems aus Szenario 1 (vgl. Abb. 4). Durch den Einsatz des IFC-Systems lässt sich in diesem Fall die Reichweite um etwa 500–1000 m verlängern, was einem Reichweitengewinn von etwa 10–20% entspricht.³

4.2 aNEXT bei SHDSL und ADSL

Im zweiten Szenario wird NEXT zwischen verschiedenartigen Systemen (*alien NEXT (aNEXT)*) betrachtet, im speziellen zwischen einem SHDSL System und einem ADSL System. Da bei hochratigem SHDSL (> 2 Mbit/s) das Leistungsdichtespektrum bis ca. 300 kHz signifikante Anteile besitzt, ist eine spektrale Überlappung sowohl mit dem US, als auch mit dem DS von ADSL gegeben. Prinzipiell tritt also auch hier bei benachbarten CPE-Modems die NEXT-Problematik auf. Diese kann jedoch bei ADSL direkt aus den vom DSLAM getrennt ausgegebenen Noise

³Der Gewinn ist vom geforderten Noise Margin abhängig.

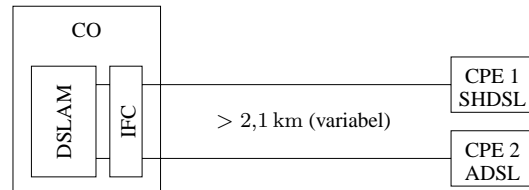


Abbildung 7 Szenario 2: aNEXT bei SHDSL und ADSL

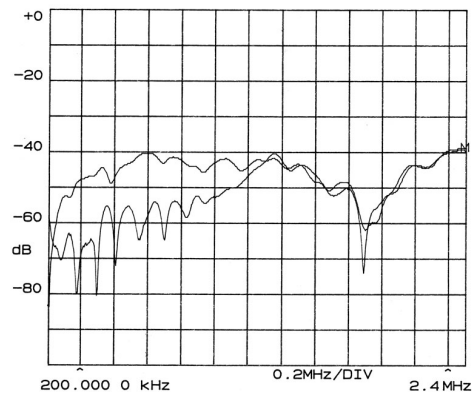


Abbildung 8 Betrag der NEXT-Übertragungsfunktion in Szenario 2 (obere Kurve: ohne IFC, untere Kurve: mit IFC)

Margin Werten für US und DS erkannt werden. Da im verwendeten Aderpaar das NEXT auf der CO-Seite deutlich überwiegt, ist eine örtliche Trennung der CPE-Modems nicht erforderlich (siehe Abb. 7). Bereits die Reduktion des CO-seitigen NEXT liefert eine signifikante Verbesserung in Reichweite bzw. Datenrate.

Die Messung der NEXT-Übertragungsfunktion (siehe Abb. 8) lässt erkennen, dass das IFC-System das vorhandene NEXT sehr stark unterdrückt. Die Nebensprecherunterdrückung beträgt hier über große Bereiche mehr als 15 dB und liegt hier deutlich über den Werten des im Szenario 1 gewählten Aderpaartupels.

Zur Messung des Noise Margins sind wiederum Profile für fixe Datenraten, sowohl für SHDSL, als auch für ADSL verwendet: SHDSL (ITU G.991.2 Annex B, 2056 kbit/s) und ADSL (ITU G.992.1, DS: 7616 kbit/s, US: 640 kbit/s). Die Abb. 9 und 10 zeigen den Noise Margin des ADSL US bzw. von SHDSL. Ohne Kompensation fällt der Noise Margin bei einer Leitungsverlängerung von 2,1 km auf 2,6 km, vor allem bei SHDSL, sehr drastisch. Bereits bei 3,1 km lassen sich beide Systeme nicht mehr gemeinsam betreiben. Mit Kompensation dagegen, laufen beide Systeme bei einer Leitungslänge von 3,8 km noch mit ausreichender Systemreserve (7 bzw. 9 dB Noise Margin), allerdings beträgt der Noise Margin des ADSL DS nur noch 3 dB⁴. Der geringe Noise Margin des ADSL DS ist auch der Grund dafür warum bei 4,3 km, trotz der sehr guten

⁴Der ADSL DS Noise Margin ist nicht abgebildet.

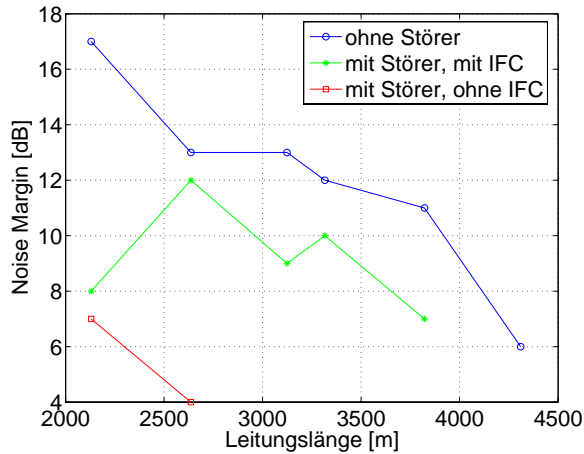


Abbildung 9 ADSL US Noise Margin bei aNEXT von SHDSL (Szenario 2)

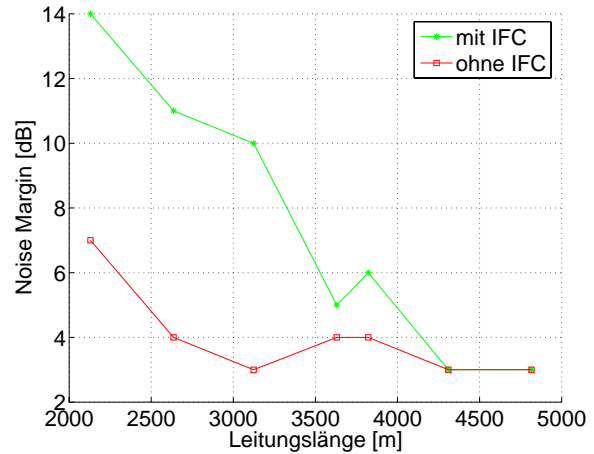


Abbildung 11 ADSL US Noise Margin bei aNEXT von SHDSL (Szenario 2)

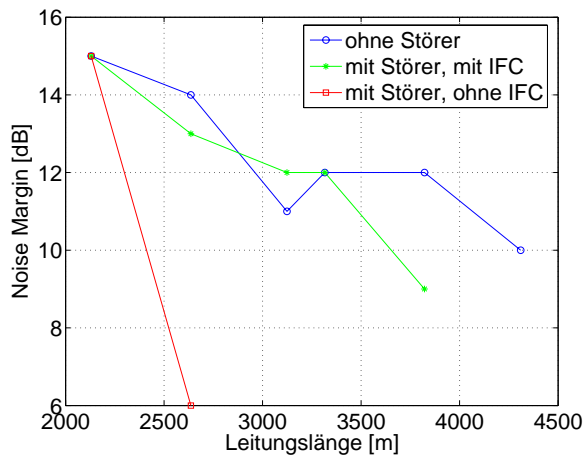


Abbildung 10 SHDSL Noise Margin bei aNEXT von ADSL DS (Szenario 2)

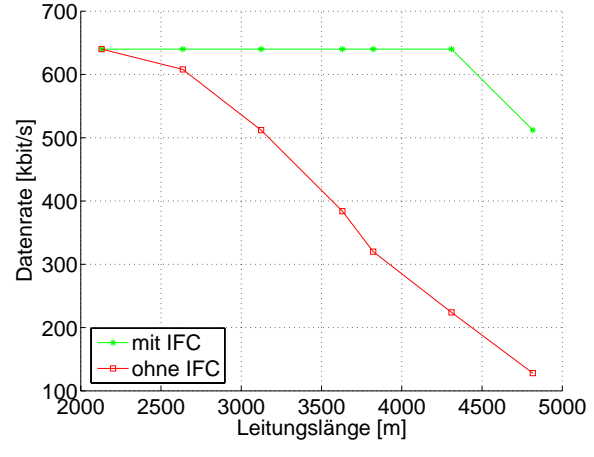


Abbildung 12 ADSL US Datenrate bei aNEXT von SHDSL (Szenario 2)

Unterdrückung des CO-seitigen NEXT, beide System nicht mehr gleichzeitig betrieben werden können. Ein zweites CPE-seitiges IFC-System könnte die Reichweite vermutlich noch weiter verbessern. Doch auch ohne CPE-seitige Kompensation kann die Reichweite hier um fast 1 km gesteigert werden. Nimmt man eine CPE-seitige Kompensation an, so kann der Gewinn an Reichweiten auch am geforderten Noise Margin gemessen werden. Bei 6 dB Noise Margin lässt sich die Reichweite um deutlich über 1 km (bzw. 40%) steigern. Ein direkter Vergleich des Noise Margins ohne Störer und des mittels IFC kompensierten Störers zeigt, dass hier das IFC-System das zur Verfügung stehende Potential bereits sehr gut ausnutzt.

Verwendet man für ADSL ein Profil mit variablen Datenraten, so kann der Gewinn durch die Kompensation des NEXT als eine Erhöhung der US Datenrate gemessen werden. Die Abb. 11 und 12 zeigen den Noise Margin und die Datenrate des ADSL US. In dem

verwendeten Profil ist als Target Margin 3 dB vorgegeben, sowie die max. US Datenrate auf 640 kbit/s begrenzt. Ohne Kompensation erreicht der US nur bei 2,1 km die max. Datenrate, bei 4,8 km werden nur noch 128 kbit/s erreicht. Mit Kompensation ist für Leitungslängen kleiner als 4,3 km aufgrund der Begrenzung der max. Datenrate der Gewinn nur in einer Vergrößerung des Noise Margin zu messen. Erst ab ca. 4,5 km wird die Datenrate reduziert, um den vorgegebenen Target Margin noch einhalten zu können. Bei 4,8 km beträgt die DS Datenrate aber immer noch 512 kbit/s und ist damit vier mal so hoch als ohne Kompensation.

4.3 Künstliches kNEXT bei ADSL

Das dritte und letzte Szenario ist ein rein hypothetisches Szenario; in der Praxis tritt es aus gutem Grund nicht auf. ADSL wurde als FDD Verfahren gerade so spezifiziert, dass NEXT weder auf der CO-, noch auf

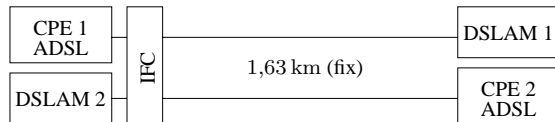


Abbildung 13 Szenario 3: Künstliches kNEXT bei ADSL

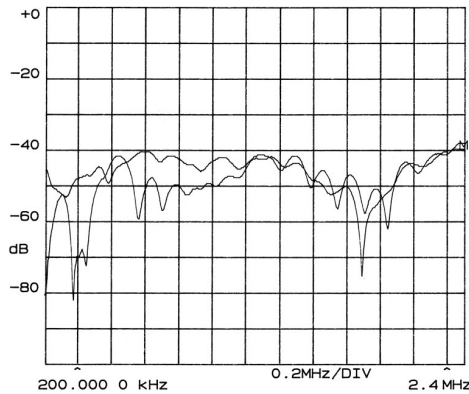


Abbildung 14 Betrag der NEX-Übertragungsfunktion in Szenario 3 (obere Kurve: ohne IFC, untere Kurve: mit IFC)

der CPE-Seite auftritt. Dafür können aber entsprechende Frequenzbänder entweder ausschließlich für den US oder ausschließlich für den DS verwendet werden, was letztlich die zur Verfügung stehende Bandbreite und damit auch die Datenrate begrenzt. SHDSL besitzt als einziges DSL-Verfahren völlig überlappende Spektren — allerdings in einem Frequenzbereich in dem NEX typischerweise relativ schwach ausgeprägt ist. Durch eine ausreichend gute NEX-Kompensation ist die Notwendigkeit zu FDD nicht mehr gegeben.

Um trotz FDD bei zwei ADSL Systemen künstlich kNEXT zu Erzeugen, wird bei einem ADSL System CO- und CPE-Seite vertauscht (siehe Abb. 13). Dadurch sprechen sowohl die US, als auch die DS Signale jeweils ineinander über, so dass die vom fernen Ende kommenden, gedämpften Signale, jeweils durch das Übersprechen der starken Signale vom nahen Ende gestört werden.

Messungen der NEX-Übertragungsfunktion zwischen den zwei ausgewählten Doppeladern mit und ohne Kompensation zeigt Abb. 14. Vor allem im Bereich des US wird NEX bis zu 20 dB unterdrückt. Im Übergangsbereich zwischen US und DS tritt eine leichte Verstärkung des NEX ein. Im höheren DS Bereich findet jedoch wieder eine deutliche Unterdrückung des NEX statt.

Für den praxisrelevanten Test ist für ADSL ein Profil variabler Datenrate mit einem Target Margin von 6 dB verwendet. Tabelle 1 zeigt Noise Margin und Datenrate für die relevanten (durch den einseitigen Einsatz von IFC gemäß Abb. 13 prinzipiell verbesserba-

System	Parameter	ohne IFC	mit IFC
ADSL DS (System 1)	Noise Margin	6 dB	6 dB
	Datenrate	2.592 kbit/s	3.936 kbit/s
ADSL US (System 2)	Noise Margin	10 dB	18 dB
	Datenrate	640 kbit/s	640 kbit/s

Tabelle 1 Übertragungsparameter mit und ohne IFC im Szenario 3

ren) Übertragungsrichtungen. Der Gewinn der NEX-Kompensation drückt sich beim System 1 in einer Erhöhung der DS Datenrate um etwas über 50% und beim System 2 durch eine Erhöhung des Noise Margins um 8 dB aus. Angesichts solcher Gewinne, könnte der IFC-Ansatz hochratige symmetrische Dienste ohne FDD prinzipiell ermöglichen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In drei verschiedenen Szenarien ist beispielhaft gezeigt, wie durch Kompensation von NEX mittels IFC Reichweite und Datenrate von verschiedenen DSL-Systemen verbessert werden kann. Dabei sind je nach Szenario und weiteren Bedingungen Reichweitengewinne bis zu 40% und Datenraten-Vervielfachungen möglich.

Die Wirksamkeit des IFC-Prototyps wurde neben den Messungen im Labor auch bei einem großem europäischen Netzbetreiber erfolgreich nachgewiesen.

In einigen praktischen Anwendungsfällen ist eine Kompensation von Fernnebensprechen (FEXT) ebenfalls wünschenswert, z. B. will durch FDD NEX vermieden wird und nur FEXT auftritt. Inwiefern der IFC-Prototyp hierbei eingesetzt wirksam werden kann, ist noch zu untersuchen.

Prinzipiell könnte die NEX-Kompensation durch IFC den Weg zu höherratigen symmetrischen Verfahren ohne FDD eröffnen.

6 Danksagung

Die Autoren danken der Bayerischen Forschungsstiftung (BFS) für die Unterstützung im Rahmen des IFC-DSL Projekts.

7 Literatur

- [1] K. B. Song, S. T. Chung, G. Ginis, and J. M. Cioffi: Dynamic Spectrum Management for Next-Generation DSL Systems. IEEE Communications Magazine, pp. 101–109, Oct. 2002.
- [2] J. Verlinden, T. Bostoen, and G. Ysebaert: Dynamic Spectrum Management for Digital Subscriber Lines — Edition 2. Technology White Paper, Alcatel, 2005.
- [3] A. Busboom, G. Herrmann, R. Tzschoppe, and J. B. Huber: IFC — Aktive Kompensation des Nahnebensprechens für die DSL-Übertragung. In

Proceedings of 12. ITG-Fachtagung Kommunikationskabelnetze, Köln, Dezember 2005.

- [4] J. A. C. Bingham: ADSL, VDSL, and Multicarrier Modulation. Wiley Series in Telecommunications and Signal Processing, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000.

8 Autoren



Roman Tzschoppe 1975 geboren in Bayreuth, studierte Elektrotechnik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Nachdem er im Jahr 2001 das Studium absolviert hat, arbeitet er als wissenschaftlicher Assistent bei Prof. Huber am

Lehrstuhl für Informationsübertragung der Universität Erlangen-Nürnberg. Seine Promotion ist dem Thema aktive Kompensation des Nebensprechens für die DSL-Übertragung gewidmet.



Johannes Huber studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität München und promovierte an der Universität der Bundeswehr in München. Dort habilitierte er sich auch zum Thema Trellis-codierte Modulation. Seit 1991 ist er

Inhaber des Lehrstuhls für Informationsübertragung an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Seine Forschungsschwerpunkte liegen auf den Gebieten Informations- und Codiertheorie, Modulationsschemata, hochratige Basisbandübertragung, Algorithmen zur Signaldetektion und adaptiven Entzerrung von Kanälen mit starker Intersymbolinterferenz und von MIMO-Kanälen sowie verkettete Codes und iterative Decodierung. Johannes Huber ist Preisträger des ITG-Literaturpreises 1988 und 2000 sowie des Vodafone-Innovationspreises 2004.



Georg Herrmann ist seit Anfang 2003 als Business Line Director bei der VIERLING Communications GmbH für Projekte und Produkte im Bereich Messtechnik verantwortlich. Sein Schwerpunkt liegt in der Messtechnik für DSL und für die optische Übertragungstechnik. Von 2001 bis 2003 war er als Senior Manager bei Nortel Networks für Netzmanagementlösungen und IP-Applikationen zuständig. Davor war Georg Herrmann bei Alcatel in Stuttgart und in Belgien tätig, zuletzt in leitender Funktion im Produktmanagement für Vermittlungssysteme. Georg Herrmann hat an der RWTH Aachen Elektrotechnik studiert.