

# Full-Duplex DOCSIS: DOCSIS on Steroids

Von Dr.-Ing. Alexander C. Adams

Man muss nur saubere Überzeugungsarbeit leisten. Mit den richtigen ingenieurtechnischen Argumenten kann man ein koaxiales Kabel durchaus in den Glauben versetzen, es sei eine Glasfaser. Diese Argumente finden sich in der neuesten Erweiterung des DOCSIS-Standards, in der Industrie bekannt als FDX – Full-Duplex DOCSIS. Nun basiert Glauben auf einer gewissen Selbsterkenntnis, die breitbandigen Kabeln hoffentlich abgeht. Auch erinnert die Bezeichnung „Full-Duplex DOCSIS“ zunächst stark an Zahnpasta-Werbung. Worum geht es hier also?

## Neues Prinzip bei FDX

Bei Full-Duplex DOCSIS geht es um Symmetrie, um die Unterstützung einer symmetrischen Bandbreite in koaxialen Kabeln, wie es in Glasfaserkabeln traditionell möglich ist. Bisher waren die Frequenzbereiche des Upstreams und des Downstreams strikt voneinander getrennt, und es stand wesentlich mehr Bandbreite im Downstream zur Verfügung als es im Upstream der Fall war. Dieses Prinzip hält für alle DOCSIS-Versionen bis hin zu DOCSIS 3.1 mit 204 MHz Upstream- und 1.2/1.8 GHz Downstream-Bandbreite. In der FDX-Version wird erstmals hiermit gebrochen. Basierend auf DOCSIS 3.1-Kanä-

len, können in FDX unter gewissen Rahmenbedingungen im Augenblick nicht verwendete Downstream-Subcarrier für Upstream-Ubertragungen quasi „ausgeliehen“ werden. Dieser mathematisch höchst anspruchsvolle Ansatz resultiert in symmetrischen Bandbreiten von bis zu 10 Gbps in beide Richtungen (unter optimalen Bedingungen) und somit in einem erheblich erweiterten Upstream. Es ist fast so, als setzte man DOCSIS auf Steroide.

## Keine neue Spezifikation

Zum Verständnis des Full-Duplex-Ansatzes gilt es zunächst, einige fundamentale Konzepte zu erläutern. FDX-DOCSIS ist eine Erweiterung der CableLabs DOCSIS 3.1-PHY-Spezifikationen (Annex F, Oct. 2017, [bit.ly/d31\\_specs](http://bit.ly/d31_specs)), es handelt sich also nicht um einen neuen Standard oder eine neue Spezifikation. FDX basiert auf DOCSIS 3.1, was bedeutet, dass es rückwärts-kompatibel mit DOCSIS 3.0 Geräten ist. Weiterhin basiert FDX auf einer sogenannten N+0 Architektur, es finden also hinter dem Optical Node keine Verstärkungen des Signals mehr statt und Service Groups werden kleiner. Auch ist der Einsatz von Diplexfiltern mit FDX nicht mehr sinnvoll, da sich Upstream und Downstream nunmehr Teile des Frequenzspektrums teilen. Ein wesent-

licher Unterschied zu bisherigen DOCSIS-Systemen liegt in der Arbeitsweise der Kabelmodems. Im Gegensatz zu allen vorherigen Versionen bis DOCSIS 3.1 kann ein FDX-Kabelmodem nicht gleichzeitig auf dem Downstream Signale empfangen, während es auf dem Upstream sendet. Entweder es sendet oder es empfängt, aber nie zur gleichen Zeit. Intuitiv fragt man sich, ob ein solches System nicht zwangsläufig langsamer als bisher laufen müsste? Die Antwort ist: Nicht wenn man schnell genug zwischen Upstream- und Downstream-Übertragungen schaltet, und genau das ist der Fall. FDX ist hoch komplex, es bedarf einer Menge Rechenleistung für die notwendigen Berechnungen der zu verwendenden Frequenzen und des anzuwendenden Bit-Loadings der Subcarrier. Dementsprechend ist eine FDX-kompatible CMTS (potentiell unter Einsatz von DAA) ein Supercomputer, der in Sachen Multitasking zumindest meiner Frau Gemahlin fast Konkurrenz machen könnte.

## Flexibles Aktivieren

Section F.72 der DOCSIS 3.1 Spezifikationen definiert den Operationsbereich des Full-Duplex Frequenzbands zwischen 108 MHz und 684 MHz, mit Option der Erweiterung (Abbildung 1). Das Band beginnt über bestehenden

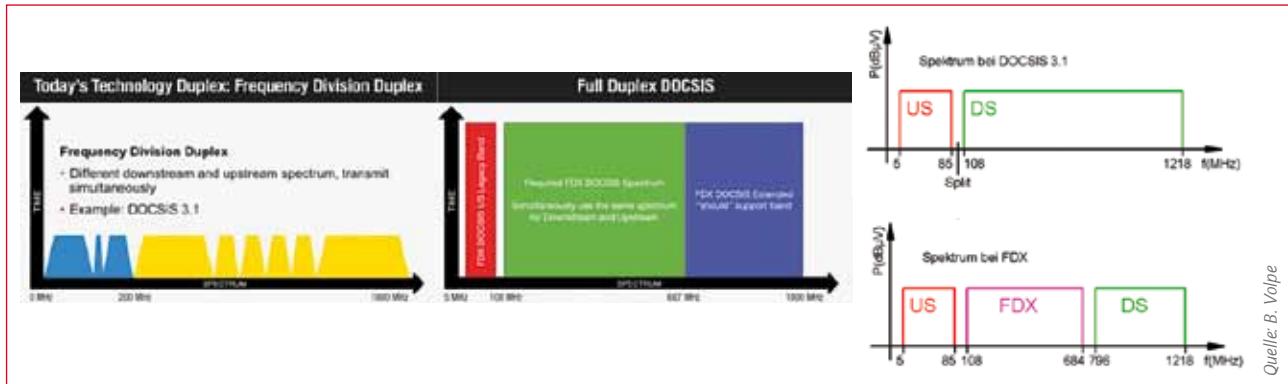


Abbildung 1: Frequenzbereiche DOCSIS 3.1 und FDX



Abbildung 2: Flexibles Aktivieren von FDX-Spektrum

Mid-split Systemen und über den FM-Frequenzen. Das FDX-Band muss mindestens 3 OFDM-Kanäle von maximal 192 MHz Bandbreite im Downstream und 7 OFDMA-Kanäle von maximal 96 MHz Bandbreite im Upstream unterstützen. Abbildung 2 veranschaulicht die flexible Aktivierung von FDX-Spektrum in einem DOCSIS 3.1 Netz. Der Bereich des Spektrums, der für FDX-Übertragungen genutzt wird, lässt sich einfach und flexibel erweitern und an den Bedarf anpassen.

Mit Full-Duplex DOCSIS wird also ein Bereich im Frequenzspektrum eingeführt, der für Verkehr in beide Richtungen gleichzeitig genutzt wird. Der geübte Autofahrer erkennt sofort, dass diese Gegenverkehr-Situation Komplikationen hervorrufen kann ... und genau das geschieht auch hier in Form von Interferenzen. Der Trick liegt darin, möglichst viele Interferenzen zu bestimmen und an den entsprechenden Stellen im System aus den Nutzsignalen herauszurechnen. Das ist schlicht und einfach kompliziert.

### Interferenzstörungen

Man erinnere sich, ein FDX-Kabelmodem kann nicht gleichzeitig senden und empfangen. Es ergibt sich aber oftmals die Situation, dass ein Modem ein Signal auf einer Upstream-Frequenz überträgt und gleichzeitig ein Modem in dessen näherer Umgebung ein Signal auf derselben oder einer benachbarten Downstream-Frequenz empfängt. In dieser Situation stören sich die Modems gegenseitig und diese Interferenzstörungen werden in die folgenden drei Klassen unterteilt:

- Co-Channel Interference (CCI)
- Adjacent-Leakage-Interference (ALI)
- Adjacent Channel Interference (ACI)

Full-Duplex DOCSIS funktioniert nur dann, wenn diese Störungen u.a. durch Einsatz von Echo-Cancellation weitestgehend neutralisiert werden, da ihre Effekte dramatisch sein können.

Ein Signal, das den Verstärker verlässt, hat einen Signalpegel von über 100 dBuV. Nachdem es das Netz durchlaufen hat und am Empfänger angekommen ist, ist der Pegel in der Regel um 50 bis 60 dB bedämpft worden. Nun

ist Dezibel-Rechnung nur bedingt geeignet, das reale Verhältnis zwischen diesen beiden Signalpegeln intuitiv zu veranschaulichen. 60 dB entspricht einem Faktor 106, wenn man die Leistungen in Watt ausdrückt. Und einem Faktor von 103, also 1000, wenn man selbige in Volt und Systemimpedanz darstellt.

Am besten erläutert man das Problem anhand einer Analogie. In Abbildung 3 ist linkerhand eine Welle von ca. 25 m dargestellt. Die Welle rechterhand hat eine Höhe von ein paar Zentimetern. Dies ist eine Surferanalogie des Faktors 1000, oder eben 60 dB (Spannungen). Wendet man diese auf das Breitbandkabel an, so entspricht der Kawenzmann linkerhand dem Signal am Verstärkerausgang, das Rippelchen rechts dem empfangenen Signal. Das war bisher kein Problem, lagen doch die Frequenzbereiche für Up- und Downstream weit voneinander getrennt. Versucht jedoch im FDX-Szenario ein Modem auf einer Downstream-Frequenz ein Signal der Amplitude „Ripple“ zu empfangen, während gleichzeitig das Modem im Nachbarhaus auf derselben oder einer benachbarten Frequenz ein Signal mit Amplitude „Kawenzmann“ in den Upstream schickt, werden sich die beiden Signale gegenseitig stören. Die Auswirkungen dieser Störungen sind sehr unterschiedlich, je nach Standpunkt. Die Upstream-Übertragung wird durch den geringen Signalpegel des Downstream-Empfangs nicht sonderlich gestört, während anders herum die Störungen des Downstream-Empfangs durch die Upstream-Übertragung ganz erheblich sind und in einem negativen Signal-Rauschabstand des Downstream-Signals resultieren. Auf dieser Analogie aufbauend, lassen sich im Folgenden die drei Störungen CCI, ACI und ALI erklären.

**Co-Channel-Interference (CCI)** entsteht, wenn ein Modem auf einer Upstream-Frequenz sendet, die ein anderes Modem in dessen Umgebung für einen Downstream-Empfang nutzt. Hierin alleine liegt schon eine bedeutende Neuerung, die mit FDX einhergeht, denn das gleichzeitige Nutzen derselben Frequenz für unterschiedliche Übertragungen ist in der Kommunikationstechnik von jeher problematisch. Da keine signalrichtungsbezogene Dämp-

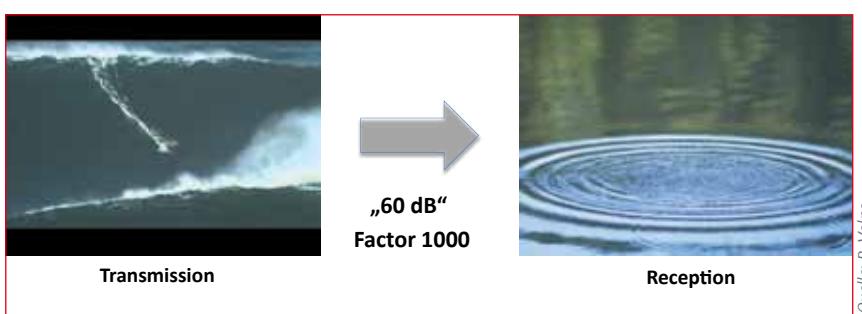


Abbildung 3: Analogie zu 60 dB Unterschied zwischen Signalpegeln

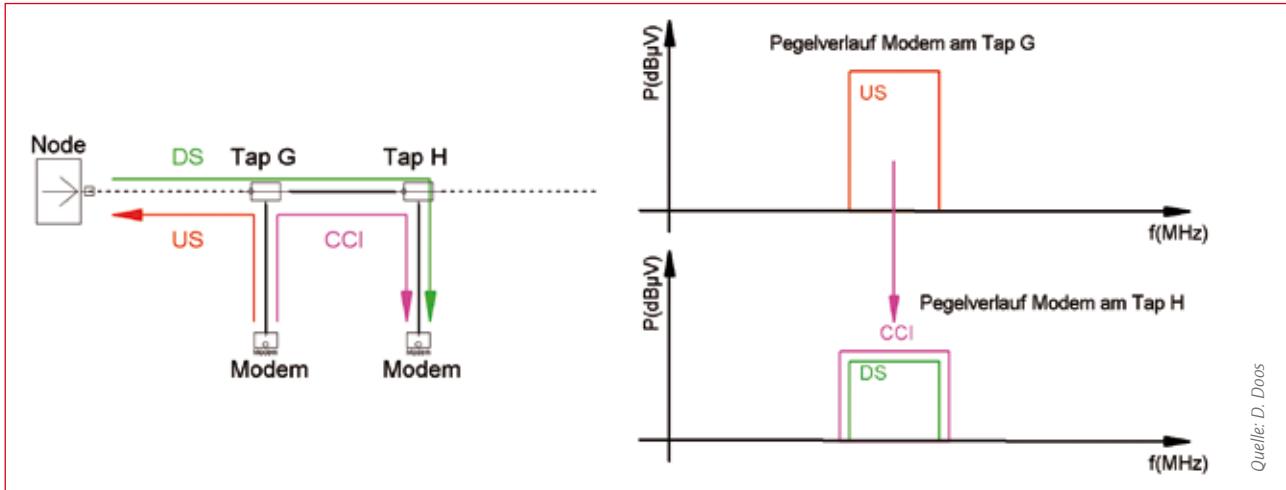


Abbildung 4: Co-Channel-Interference (CCI)

fung in einem Kabelmodem (und auch sonst) ideal ist, wird immer etwas Signalenergie eines Upstream-Signals des einen Modems in den Downstream-Kanal der selben Frequenz des anderen Modems gelangen. Dieses Konzept ist in Abbildung 4 grafisch dargestellt. Je weiter die beiden Modems voneinander entfernt sind, desto geringer der Effekt der CCI.

Die zweite Art von Störung in FDX-Systemen ist **Adjacent-Leakage-Interference (ALI)**. Während CCI eine Beschreibung des „Cross-Talks“ auf derselben Frequenz darstellt, beschreibt ALI den „Cross-Talk“ zwischen benachbarten Subcarriern, die jedoch nicht unbedingt direkt nebeneinander liegen müssen, siehe Abbildung 5. Adjacent-Leakage-Interference ist eine Beschreibung für die Beeinflussung einer Downstream-Übertragung

(Tap H, Abb. 5) auf einer bestimmten Frequenz durch die Upstream-Übertragung auf einer benachbarten, aber nicht unbedingt nächstliegenden, Subcarrier-Frequenz (Tap G, Abb. 5). In Abbildung 5 ist ersichtlich, dass ALI über einen breiteren Frequenzbereich streut als CCI.

Wenn man den ALI-Ansatz, der sich auf mehrere benachbarte Subcarrier bezieht, auf die direkt nächstliegenden Subcarrier verengt, spricht man von **Ajacent-Channel-Interference (ACI)**.

Die Störungen, die mit CCI, ACI und ALI beschrieben werden, sind dem gleichzeitigen Übertragen von Signalen in beide Richtungen im FDX-Band geschuldet. Neben diesen neuen Störungen gibt es selbstverständlich auch noch die alten ehrwürdigen Gegner, wie zum Beispiel Reflektionen an Stel-

len des Netzes, die von der 75-Ohm Systemimpedanz abweichen. Die gibt es in Hülle und Fülle, denn alleine jeder Tap produziert schon eine Reflektion eines gewissen Grades. Reflektionen sind Signale, die von der Position der Taps innerhalb der Übertragungslinie abhängen. Hierbei muss unterschieden werden, ob Reflektionen im Downstream oder im Upstream betrachtet werden. Downstream-Reflektionen von jedem Tap in der Linie erreichen den Fiber Node bedämpft und zeitlich versetzt, wie in Abbildung 6 dargestellt. Der Pegel der Reflektion nimmt mit zunehmender Frequenz aufgrund der Schräglage des Ursprungssignals zu.

## Echobetrachtung am Modem

Für die Echobetrachtung am Modem gilt diese Betrachtung in gleicher Weise.

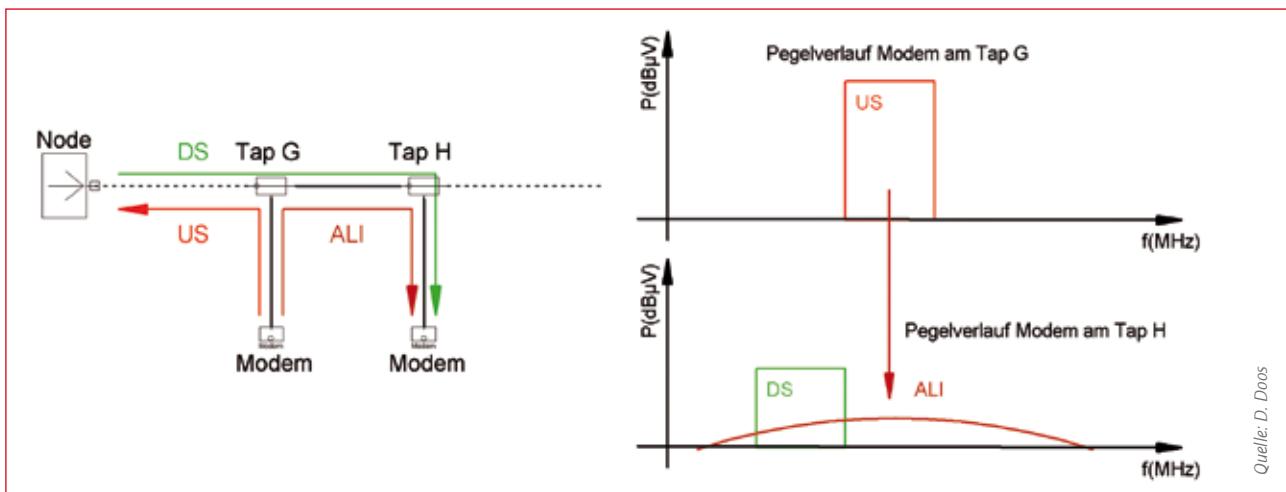


Abbildung 5: Adjacent-Leakage-Interference (ALI)

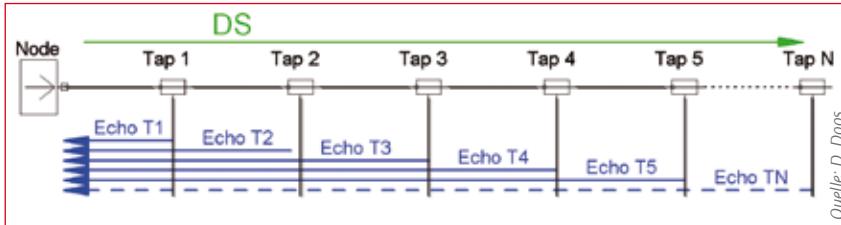


Abbildung 6: Reflektionen an Taps durch Downstream-Übertragung

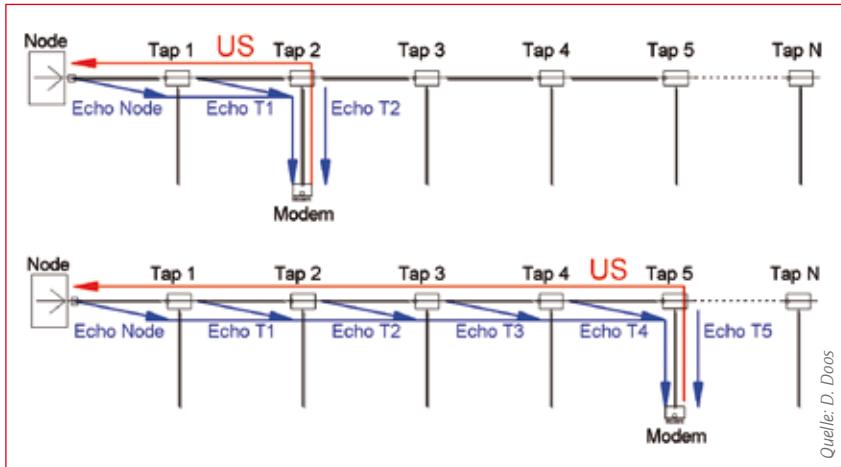


Abbildung 7: Reflektionen an Taps durch Upstream-Übertragung

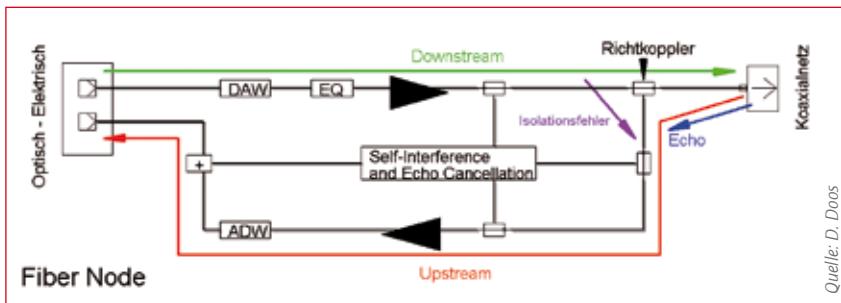


Abbildung 8: Full-Duplex DOCSIS Fiber Node

Für die Anzahl der eintreffenden Echos ist es von zentraler Bedeutung, an welchem Tap in der Übertragungslinie das Modem angeschlossen ist, wie in Abbildung 7 dargestellt. Eine Upstream-Übertragung eines Modems an Tap 2 erfährt Reflektionen des eigenen Taps 2, sowie von Tap 1 und von dem Fiber Node. Betrachtet man nunmehr eine Upstream-Übertragung an Tap 5, so erfährt dieses Signal Reflektionen von allen vorherigen Taps sowie dem Fiber Node. Reflektionen können neu berechnet und durch Echo-Cancellation im Fiber Node und im Kabelmodem unter gewissen Voraussetzungen berechnet, invertiert und damit neutralisiert werden. Ein solcher ist in der schemati-

chen Darstellung eines FDX-Fiber Nodes in Abbildung 8 dargestellt.

Die Verbindung bzw. Trennung von Upstream und Downstream im Fiber Node geschieht in den FDX-Spezifikationen mittels eines Richtkopplers, der den bisher eingesetzten Diplexfilter ersetzt, siehe Abbildung 8. Durch den bauteilbedingten Isolationsfehler dieses Richtkopplers gelangt ein Teil der Energie des gesendeten Downstream-Signals in den Empfangsweg des Upstreams. Der Pegel dieser „Self-Interference“ entspricht dem um die Isolationsdämpfung des Richtkopplers abgesenkten Downstream-Signalpegels, inklusive dessen Schräglage. Self-Interference kann sogar einen höheren Pegel als das

zurückkommende Echo aus dem Koaxialnetz haben, wodurch insgesamt das Verhältnis zwischen dem Upstream-Signal und diesen beiden Störsignalen sehr schlecht ist, und aufgrund der Schräglagen mit zunehmender Frequenz noch schlechter wird.

Solange sich Sender und Empfänger am gleichen Ort befinden, ist es möglich, mit Hilfe der Referenz des gesendeten Signals die Störungen durch Self-Interference und Reflektionen aus dem Nutzsignal „herauszurechnen“. Andernfalls, beispielsweise wenn sich Sender und Empfänger in unterschiedlichen Kabelmodems befinden, ist dies aufgrund fehlender Referenz unmöglich und das empfangende Modem wird aufgrund der Störungen aus CCI und ALI keine Möglichkeit haben, das benötigte Downstream-Signal zu korrigieren.

### Sounding-Prinzip

Bisher mutet Full-Duplex DOCSIS also eher wie Full-Complex-DOCSIS an... es basiert auf sehr rechenintensiven Mechanismen, die präzise aufeinander abgestimmt sind. Welche Parameter müssen jedoch aufeinander abgestimmt werden und wie bestimmt man diese Parameter unter realistischen Bedingungen?

Offensichtlich hat man es bei FDX mit Signalen zu tun, die sich stören, wenn Downstream- und Upstream-Übertragungen zu nahe beieinander liegen, sowohl im Frequenzspektrum wie auch lokal im Netz. Also muss systemtechnisch dafür gesorgt werden, dass solche Übertragungen entweder gar nicht oder nur unter kontrollierten Umständen vonstatten gehen. Hier ist der CMTS-seitige Teil des Netzes mit seinen Multitasking-Fähigkeiten gefragt.

Das Organisationsprinzip, das die CMTS zur Bestimmung von gegenseitigen Störeinflüssen verwendet, ist in Abbildung 9 dargestellt. Man stelle sich ein mehrstöckiges Haus vor, in dessen Erdgeschoss lauthals gesungen wird. Der Sänger stehe für eine Upstream-Übertragung. Den Nachbarn direkt über dem Sänger trennt von dessen Gesang nur eine Zimmerdeckendämpfung, er wird möglicherweise dadurch erheblich in einem Telefonat oder einer anderen Tätigkeit gestört, die Hören voraussetzt. Hören entspricht wiederum dem Emp-

fang einer Downstream-Übertragung. Zwei Stockwerke über dem Sänger trennen zwei Deckendämpfungen den Nachbarn von dessen gesanglichem Auswurf, er wird weniger gestört als der Nachbar direkt unter ihm. Sein Telefonat verläuft weniger störungsintensiv. Je höher man im Gebäude steigt, desto weniger kann man den Opernfreund im Erdgeschoss wahrnehmen.

Diese Erkenntnis lässt sich auch auf DOCSIS-Netze anwenden. Die CMTS plant für jedes Modem regelmäßig sogenannte Sounding-Codewords in Upstream-Grants auf ausgewählten Subcarrier-Frequenzen ein, wobei „Sounding“ ein passender Begriff ist, steht er doch im Englischen u.a. für den Einsatz eines Echolots. Dies ist eine gute Beschreibung, denn die CMTS instruiert alle anderen Modems einer Linie, auf das Sounding-Signal eines einzelnen Modems zu hören und zu messen, wieweit sie durch dieses Testsignal gestört werden (Messung von CCI, ALI, ACI). Diese Messergebnisse senden die Modems an die CMTS-Funktionen des Systems, wo sie weiterverarbeitet werden. Dieser Prozess findet regelmäßig und häufig statt und ist prinzipiell mit der aus früheren DOCSIS-Versionen bekannten „Station Maintenance“ vergleichbar.

Abbildung 10 stellt das Sounding-Prinzip auf ein DOCSIS-Netz angewandt dar. In diesem Beispiel sendet ein Modem am Tap 1 ein Sounding-Signal, repräsentiert durch den bereits bekannten Sänger, während alle anderen Modems der Linie diesem lauschen. Alle Modems, die über den Tap des sendenden Modems an das Netz angeschlossen sind, hören das Sounding-Signal sehr stark. Man erinnere sich an die Surferanalogie. Je mehr Taps zwischen Sounding-Modem und lauschendem Modem liegen, desto geringer werden die Interferenzen, vergleichbar mit den Stockwerken im Beispiel des besungenen Hauses.

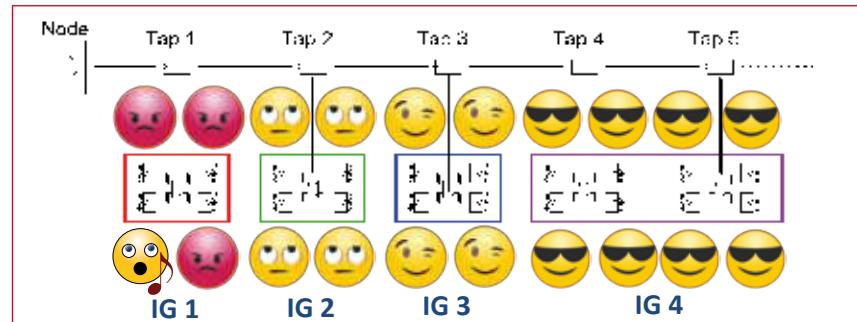
### Einteilung in Interference Groups

Dieser Vorgang wird für alle Modems durchgeführt und die CMTS teilt die Modems einer Linie in sogenannte Interference-Groups (IG) ein, wie in der Tabelle in Abbildung 11 exemplarisch dargestellt. Hierdurch werden die Auswirkungen von CCI sowie ALI/ACI reduziert. Die CMTS plant Signalübertragungen von und an Modems innerhalb derselben Interference-Group so ein, dass vermieden wird, eine Upstream-Übertragung innerhalb der IG anzutragen, wenn ein anderes Modem der IG in diesem Frequenzbereich und zu diesem Zeitpunkt ein Downstream-



Quelle: Adams

Abbildung 9: Das Sounding-Prinzip



Quelle: Adams

Abbildung 10: Das Sounding-Prinzip und Einteilung in Interference-Groups

SNR in Total Channel (108 MHz to 888 MHz) TRANSMIT						Bit-Loading in Total Channel (108 MHz to 888 MHz) TRANSMIT							
R	SNR (dB)	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Tap 4	Tap 5	Tap 6	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Tap 4	Tap 5	Tap 6
R	-4.7	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	0.0	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
E	-4.7	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	11.6	0.0	11.6	11.6	11.6	11.6
C	-4.7	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	11.6	11.6	0.0	11.6	11.6	11.6
E	-4.7	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	11.6	11.6	11.6	0.0	11.6	11.6
I	-4.7	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	11.6	11.6	11.6	11.6	0.0	11.6
V	-4.7	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	0.0
V	-4.7	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	0.0
E	-4.7	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	0.0
E	-4.7	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	0.0
OFDM Modulation: 4096-QAM 2048-QAM 1024-QAM 512-QAM													
SNR Threshold: 41 dB 37 dB 34 dB 30.5 dB													
Interference Group partitioning: IG 0 SNR ≥ 41 dB ↔ (no Taps)													
IG 1 SNR ≥ 37 dB ↔ (Tap 1)													
IG 2 SNR ≥ 34 dB ↔ (Tap 2)													
IG 3 SNR ≥ 30.5 dB ↔ (Tap 3)													
IG 4 SNR ≤ 30.5 dB ↔ (Taps 4, 5, 6)													
Interference Group resulting bit-loading:													
IG 0 (no Taps) receive 4096-QAM (12 bits/subcarrier)													
IG 1 (Tap 1) receives 2048-QAM (11 bits/subcarrier) when IG 2, 3, or 4 transmit													
IG 2 (Tap 2) receives 1024-QAM (10 bits/subcarrier) when IG 1, 3, or 4 transmit													
IG 3 (Tap 3) receives 512-QAM (9 bits/subcarrier) when IG 1, 2, or 4 transmit													
IG 4 (Taps 4, 5, 6) receives 512-QAM (9 bits/subcarrier) when IG 1, 2, or 3 transmit													

Quelle: Afis

Abbildung 11: Einteilung in Interference Groups nach IG-Discovery

larisch dargestellt. Hierdurch werden die Auswirkungen von CCI sowie ALI/ACI reduziert. Die CMTS plant Signalübertragungen von und an Modems innerhalb derselben Interference-Group so ein, dass vermieden wird, eine Upstream-Übertragung innerhalb der IG anzutragen, wenn ein anderes Modem der IG in diesem Frequenzbereich und zu diesem Zeitpunkt ein Downstream-

Signal empfängt. Im Allgemeinen werden alle Kabelmodems eines Taps derselben IG zugeordnet. Am Ende der Linie häufen sich Störprodukte aller Art, so dass Taps am Ende der Linie oftmals in eine IG zusammengefasst werden, wie in Abbildung 10 dargestellt.

Es ist also die Position der Kabelmodems bzw. der Taps im Verhältnis zueinander, die einen bedeutenden

Einfluss auf die Auswirkungen von Störprodukten in FDX-Systemen hat. Es gilt dabei wie schon bisher: Je größer die Interferenz zwischen den Übertragungen zweier Modems, desto geringer der Signal-Rauschabstand (SNR) zwischen ihnen. Der Signal-Rauschabstand ist ausschlaggebend für das Bitloading, also die Höhe der auf die entsprechenden Subcarrier angewandte QAM-Modulationsordnung, in Abhängigkeit von der Positionierung von gleichzeitigen Übertragungen in Up- und Downstream auf der Übertragungslinie und im Frequenzspektrum. In diesem Verfahren kann die CMTS so konfiguriert werden, dass sie die jeweils höchste Modulationsordnung für jedes Störungs-Szenario in Abhängigkeit von sendenden und empfangenen Modems fährt, was maximalen Datendurchsatz in Up- und Downstream bedeutet. Über den IG-Discovery Prozess kann man drei pauschale Aussagen treffen:

- Kabelmodems am gleichen Tap weisen den geringsten SNR auf.
- Außerdem verringert sich der SNR stark zu Ende der Linie hin.
- SNR zwischen zwei Taps bleibt ungefähr gleich, gleichgültig ob gesendet oder empfangen wird.

### Einsatzmöglichkeiten

Abschließend eine Betrachtung der Einsatzmöglichkeiten von FDX. Die Technologie kommt im Verbund mit Distributed Access Architecture und DOCSIS 3.1 und sie basiert auf einer

N+0 Architektur, was bedeutet, dass hinter dem Optical Node keine HF-Verstärkungen mehr vorgenommen werden. In den USA mit ihren oberirdischen Netzen und der US-spezifischen Infrastruktur ist ein großflächiger Einsatz eher denkbar als in Deutschland. Die historisch gewachsene deutsche Netzstruktur in definierten Netzebenen hat zur Folge, dass praktisch flächendeckend der Übergang von der NE3 zur NE4 über einen Hausübergabepunkt und einen Hausverstärker läuft. Somit ist der FDX-Ansatz in einer deutschen Infrastruktur nicht ohne Anpassung übernehmbar. Allerdings denken auch die Amerikaner zurzeit eher über eine Anwendung von FDX in größeren Mehrfamilienhäusern nach, indem der Optical Node über DAA in den Keller gelegt wird und von dort die koaxiale Inhausnetzstruktur für die Übertragung von FDX-Signalen genutzt wird. Somit erspart man sich die sofortige Umrüstung großer NE4-Anlagen. In Deutschland würde dieser Ansatz ebenso anwendbar sein und bietet eine Option besonders für Netzbetreiber mit großem NE4-Anteil, die hierauf eine zukunfts-fähige Planung für die nächsten Jahre aufbauen können.

Full-Duplex DOCSIS ist eine ingenieurtechnische Meisterleistung. Es stellt ein hoch komplexes System dar, das HFC-Kabelnetzbetreibern die Möglichkeit bietet, die vorhandene koaxiale Infrastruktur in Kundennähe einige Jahre weiter zu nutzen und gleichzeitig

die eigene Glasfaser-Infrastruktur auszubauen.

Mit DOCSIS 3.1, DAA, digitaler Technik und FDX geben die CableLabs Netzbetreibern weltweit einen Köcher technischer Möglichkeiten an die Hand, die an die Grenze des zurzeit technologisch Machbaren gehen. Wenn sie die Pfeile dieses Köchers richtig einsetzen, behalten HFC-Netzbetreiber in den kommenden Jahren ihre Wettbe-werbsfähigkeit gegenüber allen anderen Access-Technologien. Die Zukunft ist in gläsernes Licht getaucht, den Weg dorthin jedoch beschreiten wir in koaxialer Manier, auf Straßen aus Kupfer, die nur glänzen schimmern. (CBT) ■

### Dr.-Ing. Alexander C. Adams



Foto: Alexander Adams

ist Geschäftsführer der Adams Network Engineering mit Hauptsitz in Büttelborn (Frankfurt/M.). Das Unternehmen ist auf Netzplanung, die Konzeption und Ausführung von Netzwerk-Upgrade-Projekten (HFC) sowie auf Installation und Wartung von Breitbandnetzwerken auf den NE 2 bis 4 spezialisiert. Alexander Adams verfügt über 17 Jahre Erfahrung in der deutschen und internationalen Breitbandkabelindustrie. Die Schwerpunkte seiner Arbeit sind Kommunikationssysteme, Geoinformationssysteme, Proactive Network Maintenance und DOCSIS 3.1. Er ist Repräsentant der US-amerikanischen Society of Cable Telecommunications Engineers (SCTE/ISBE) in Europa sowie ihr Subject Matter Expert und Dozent für das Thema DOCSIS. Zudem arbeitet er in der Proactive Network Maintenance Research Group der US-CableLabs als GIS-Experte. Alexander Adams hat an der TU Darmstadt promoviert und einen Bachelor & Master of Science Degree in Electrical Engineering an der University of Hawai'i abgelegt.