

DOCSIS 4.0: Panzerband im Werkzeugschrank der Breitbandindustrie

Anmerkungen zur Einführung von DOCSIS 4.0-Technologie in Deutschland.

Im März 2020 wurde die DOCSIS-4.0-Spezifikation von CableLabs veröffentlicht. In den USA gibt es erste Feldtests, ein flächendeckender Roll-out ist in nächster Zeit nicht zu erwarten. In Deutschland ergeben sich durch die Netzstruktur zusätzliche Probleme. Doch dafür gibt es Lösungsansätze. Von Dr.-Ing. Alexander C. Adams

Wir Ingenieure und Techniker lieben „MacGyver“. Angus MacGyver, Protagonist der gleichnamigen amerikanischen TV-Serie aus den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts, dieser Archetypus des investigativen Ingenieurs, der seine Gegner stets mit einer Kombination aus hervorstechenden wissenschaftlichen Ansätzen und minimalen technischen Voraussetzungen zunächst verwirrt und letztendlich besiegt. Der eine oder andere von uns hat seinen Beruf unter dem Eindruck gewählt, dass ein Dutzend Büroklammern und eine Rolle „Panzerband“ ein ausreichendes Inventar für mindestens eine Weltenrettung darstellen. Und es lässt sich nicht leugnen: Wenn die alten Ägypter „Panzerband“ gehabt hätten, hätte die Sphinx vermutlich heute noch eine Nase.

Nun ist dieser oben erwähnte Eindruck sicherlich übertrieben, aber im Grundsatz nicht falsch. Ingenieurtechnik gießt Naturwissenschaft in Technologie, genauer gesagt in Technologie unter gegebenen technischen wie finanziellen Rahmenbedingungen. Im Falle der Breitbandkommunikation werden die

technischen Rahmenbedingungen maßgeblich durch die zur Verfügung stehenden technischen Komponenten und Infrastrukturen bestimmt, während sich die finanziellen Rahmenbedingungen aus den Geschäftsmodellen der beteiligten Parteien ableiten.

Seit dem Jahre 1997 verwendet die Breitbandkommunikationsindustrie die sogenannten Data-over-Cable-System-Interface-Specifications (DOCSIS), konzipiert von den CableLabs in Denver, Colorado, und von der Society of Cable Telecommunications Engineers (SCTE*ISBE) in den weltweit verwendeten Standard gegossen. Die Familie der verschiedenen DOCSIS-Spezifikationen stellt seitdem die prinzipiellen Verkehrsregeln für den Datentransport über die koaxialen Anteile von HFC-Netzen auf. Genau genommen handelt es sich bei DOCSIS um Schnittstellenspezifikationen für Systeme, die ursprünglich nicht für den Transport von digitalen bzw. digitalisierten Datensignalen konzipiert waren. Die Konzeption des Standards entstand aus wirtschaftlichen Notwendigkeiten, ermöglichte er doch den Kabelnetzbetreibern die Vermarktung

von Internetdiensten über ein bestehendes Netzwerk, das ursprünglich ein rein analoges Verteilnetz für TV- und Hörfunksignale im Frequenzbereich bis 300 MHz, später 450 MHz darstellte. DOCSIS ermöglicht die Übertragung digitalisierter Information über analoge Signale – ein Ansatz, der eines Angus MacGyvers würdig gewesen wäre.

Der DOCSIS-Standard

DOCSIS 1.0 wurde 1997 in der Breitbandindustrie eingeführt, nachdem 1996 der sogenannte Telecommunications Act in den USA die direkte Konkurrenz von Twisted-Pair und Koaxnetzen rechtlich ermöglichte – die allererste Arbeitsversion von DOCSIS 1.0 kam daraufhin auch bereits 1996 heraus. 2001 wurde mit DOCSIS 1.1 Quality-of-Service in den Standard integriert, hauptsächlich zur Einbindung von Voice-Daten, die priorisiert behandelt werden müssen. DOCSIS 2.0 (2001) und 3.0 (2006) nahmen sich des Problems des über die Jahre allgemein gestiegenen Datenbedarfs an, was im Konzept der Kanalbündelung (Channel-Bonding) resultierte, das den Datendurchsatz in Up- und Downstream steigert (siehe Abb. 1). Allen DOCSIS-Versionen bis DOCSIS 3.0 ist das technische Grundkonzept gemein, das auf der althergebrachten Kanalarasterung von 7 MHz/8 MHz (in den USA 6 MHz) beruht und jeweils einen schnell modulierten Träger pro Kanal verwendet.

DOCSIS 3.1: Bruch mit traditioneller Kanalarasterung

Mit der Veröffentlichung von DOCSIS 3.1 im Jahre 2013/2014 wurde mit dieser Tradition gebrochen und ein völlig



© Adams

Dr.-Ing. Alexander C. Adams

Dr.-Ing. Alexander C. Adams ist Geschäftsführer der Firma Adams Network Engineering, einem Unternehmen der Adams Group. Alex verfügt über 20 Jahre Erfahrung in der deutschen und internationalen Breitbandkommunikationsindustrie. Er ist europäischer Repräsentant der SCTE – Society of Cable Telecommunications Engineers (US) und wird weltweit als deren Lead Instructor für den Themenbereich DOCSIS eingesetzt. Zudem arbeitet er in der Proactive Network Maintenance Research Gruppe der CableLabs und ist Dozent an der Jade Hochschule Wilhelmshaven-Oldenburg-Elsfleth. Zudem ist er Auditor des Deutschen Instituts für Breitbandkommunikation (dibkom). Alex hält einen Bachelor- sowie Master-Abschluss in Elektrotechnik von der University of Hawai'i und hat an der TU Darmstadt promoviert.

neuer technologischer Ansatz fand im Kabel Anwendung. Anders als seine älteren Geschwister basiert DOCSIS 3.1 auf Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) und wird mit der bereits vertrauten Quadratur-Amplitudenmodulation (QAM) kombiniert. DOCSIS 3.1 OFDM-Kanäle brechen mit der traditionellen Kanalarasterung, sie können flexibel im Upstream bis zu 96 MHz und im Downstream bis zu 192 MHz weit sein und verwenden tausende sogenannter Subcarrier (OFDM-Träger). Jeder dieser Träger wird mit einer individuellen QAM moduliert, die Modulationsordnung kann dabei für jedes Modem individuell optimiert werden. Bei Nutzung der vollen Kapazitäten des Standards sind Datenraten von 10 Gbps im Down- und 1 Gbps im Upstream möglich. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass die Versionsbezeichnung 3.1 andeutet, hier wären nur einige Updates am Standard DOCSIS 3.0 vorgenommen worden. Doch vielmehr wurde mit DOCSIS 3.1 eine völlig neue aktive Übertragungsschicht (OSI Schicht 1: Physical Layer) in die Netze eingeführt, die allerdings mit der auf DOCSIS 3.0 und früheren Versionen basierenden kompatibel ist.

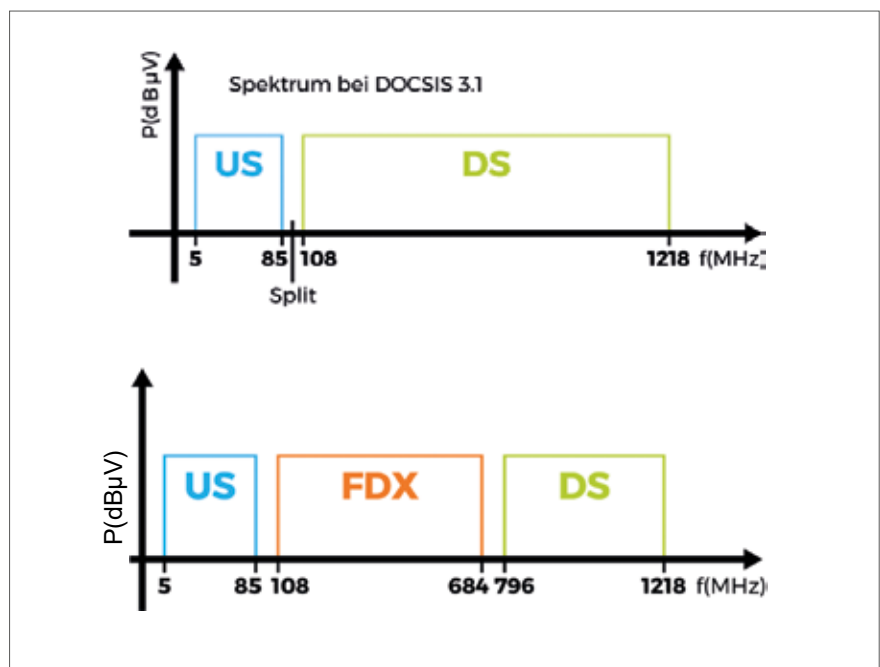
DOCSIS 4.0: ein technologischer Kompromiss

Der nunmehr jüngste Nachwuchs der DOCSIS-Family ist DOCSIS 4.0. Der Standard wurde im März 2020 von den CableLabs veröffentlicht. Die Version basiert auf der OFDM-Technologie, die bereits mit DOCSIS 3.1 in die Netze eingeführt wurde. DOCSIS 4.0 enthält als völlig neue Applikation Full-Duplex DOCSIS (FDX). Das ist eine Anwendung der OFDM-Technologie, die es ermöglicht, die Subcarrier im Frequenzbereich zwischen 108 MHz und 684 MHz bi-direktional für Up- und Downstreamsignale zu nutzen und somit der Realisierung symmetrischer Dienste zum und vom Kunden näher zu kommen, siehe Abbildung 2. Bi-direktionale Signale erzeugen zusätzliche Probleme, auf die weiter unten eingegangen wird. Zudem erweitert die neueste Version des Standards unter dem Arbeitsbegriff „Extended Spectrum (ESD)“ den zur Verfügung stehenden Frequenzbereich

	DOCSIS 1.0	DOCSIS 1.1	DOCSIS 2.0	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1	DOCSIS 4.0
Highlights	Initial cable broadband technology, high speed internet access	Added VoIP service, gaming, streaming	Higher upstream speed, capacity for symmetric services	Greatly enhances capacity, channel bonding, IPv6	Capacity and efficiency progression, OFDM, wideband channel	Symmetrical streaming and increased upload speeds
Downstream Capacity	40 Mbps	40 Mbps	40 Mbps	1 Gbps	10 Gbps	10 Gbps
Upstream Capacity	10 Mbps	10 Mbps	30 Mbps	100 Mbps	1–2 Gbps	10 Gbps
First Specification Issue Date	1996	1999	2001	2006	2013	2019*

Quelle: XXXXXXXXXX

Abbildung 1: Die DOCSIS-Familie



Quelle: XXXXXXXXXX

Abbildung 2: Spektre für DOCSIS 3.1 und DOCSIS 4.0 (FDX) für 1,2 GHz Systeme

im Downstream bis mindestens 1,794 GHz. Darüber hinaus gehende Frequenzen sind vorgesehen. Außerdem werden die Latenzzeiten im Netz reduziert und ein starker Fokus wird auf die System-sicherheit (Security) gelegt. Angestrebte Datenraten sind hierbei 10 Gbps im Downstream und 10 Gbps im Upstream. DOCSIS 4.0 ist ein Kompromiss in einer Diskussion großer US-amerikanischer Netzbetreiber in der Frage, wie 10 Gbps symmetrisch zu realisieren seien. Die eine Seite favorisiert Full-Duplex DOCSIS,

die andere Extended-Spectrum DOCSIS. In DOCSIS 4.0 sind beide Ansätze enthalten.

FDX: Signale auf Geisterfahrt?

Die klassische Breitbandkommunikationstechnik, wie sie bei DOCSIS bis einschließlich Version 3.1 Anwendung findet, beruht auf einem Prinzip, das der Angelsachse Frequency Division Duplex (FDD) nennt. Das bedeutet, dass Upstream und Downstream im

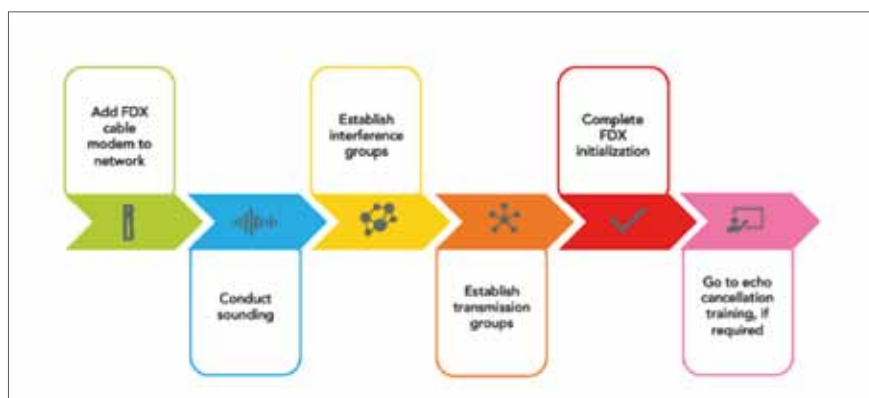
Frequenzspektrum ihren jeweils dezierten Frequenzbereichen zugeordnet sind. Dieses Prinzip kennt man aus dem Straßenverkehr: Autobahnen trennen den Straßenverkehr systematisch nach Richtungen. Morgens benutzt man die „Downstream-Richtung“ zur Arbeit, abends die „Upstream-Richtung“ zurück, ohne dabei physikalisch mit den Kollegen von der Nachtschicht zusammenzustoßen. Sobald man, wie in Abbildung 2 unten dargestellt, zusätzlich zu Up- und Downstream einen Full-Duplex-Bereich (FDX) im Spektrum definiert, gilt dieses Prinzip im FDX-Bereich selber nicht mehr. Full-Duplex bedeutet die gleichzeitige Verwendung dieses Teils des Spektrums für Übertragungen in Up- und Downstreamrichtung. Auf einer Auto-

bahn hätte das katastrophale Folgen – jede Menge Geisterfahrer. Weiterhin werden in DOCSIS-4.0-Systemen Teile des Spektrums für die klassischen Up- und Downstreams bereitgestellt, wie in Abbildung 2 ersichtlich, schon um DOCSIS-3.0- und DOCSIS-3.1-Equipment rückwärtskompatibel unterstützen zu können.

Störungen vorbeugen

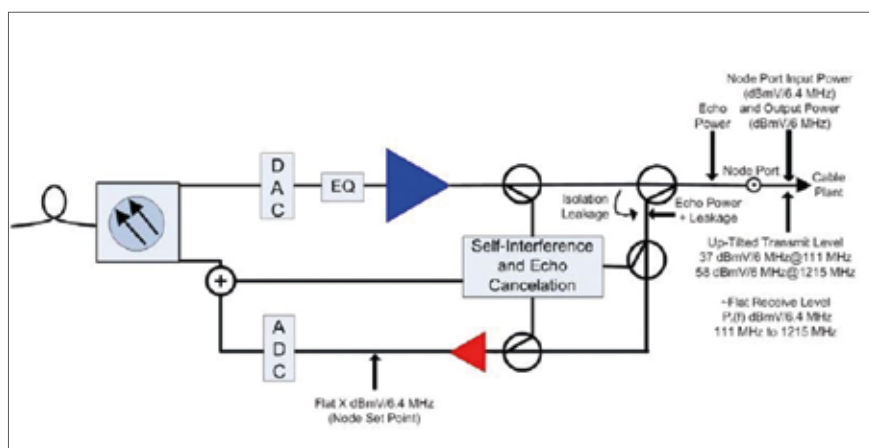
Nicht umsonst birgt dieser Ansatz den Albtraum eines jeden Ingenieurs der Nachrichtentechnik, denn die gleichzeitige Verwendung derselben Modulationsfrequenz (OFDM-Subcarrier) für verschiedene Signale resultiert in beträchtlichen gegenseitigen Störungen ebendieser Signale. Ähnliches gilt für

die Verwendungen von OFDM-Subcarriern, die im Spektrum sehr nahe beieinander liegen. Daher berechnet eine DOCSIS-4.0-CMTS die individuellen Störszenarien, indem sie durch einen „Sounding“ genannten Prozess feststellt, wie stark der Downstreamempfang aller Modems einer C-Linie durch die Upstreamübertragung eines bestimmten Modems dieser Linie auf definierten Subcarrier-Frequenzen gestört wird. Bei manchen Modem-Kombinationen sind die Störungen inakzeptabel, diese Modems werden von der CMTS in sogenannte Interference Groups (IG) eingeteilt. Die CMTS wird einem Modem einer IG keine Upstreamübertragung auf einer bestimmten Subcarrier-Frequenz gestatten, wenn ein anderes Modem dieser IG diese Frequenz gerade für einen Downstreamempfang nutzt. Bei Modem-Kombinationen, die akzeptable und durch Anpassung z.B. der Modulationsordnung korrigierbare Störungen aufweisen, erfolgt die Zuordnung in Übertragungsgruppen, sogenannte Transmission Groups. Abbildung 3 stellt diese DOCSIS-MAC-Prozesse grafisch dar. Man beachte, dass Sounding und die Zuordnung der Modems zu Interference und Transmission Groups ein Teil des FDX-Modem-Initialisierungsprozesses darstellen und im aktiven Netzbetrieb regelmäßig überprüft werden, vergleichbar dem Station-Maintenance-Prozess in DOCSIS 3.0 oder dem Probing-Prozess in DOCSIS 3.1.



Quelle: XXXXXXXXX

Abbildung 3: DOCSIS 4.0-MAC-Prozesse



Quelle: XXXXXXXXX

Abbildung 4: DOCSIS 4.0 FDX Fiber Node

Vorteile von DOCSIS 4.0

Full-Duplex ist also „full complex“. Warum möchte man sich auf diesen Pfad begeben, wenn er doch so störungsanfällig ist? Nun, durch diese Maßnahme wird der Upstream-Frequenzbereich von 5 MHz bis mindestens 684 MHz erweitert, und mit der zusätzlichen Verwendung von Extended Spectrum DOCSIS (ESD), das ebenfalls Teil des DOCSIS 4.0 Standards ist, wird ein Downstream zwischen 108 MHz und 1,794 GHz nutzbar. Zudem werden in DOCSIS 4.0 Systemen mehr OFDM- und OFDMA-Kanäle verwendet als in klassischen DOCSIS 3.1 Systemen. Das resultiert in einem flexiblen System mit höheren Datendurchsätzen, die durchaus 10 Gbps symmetrisch oder höher

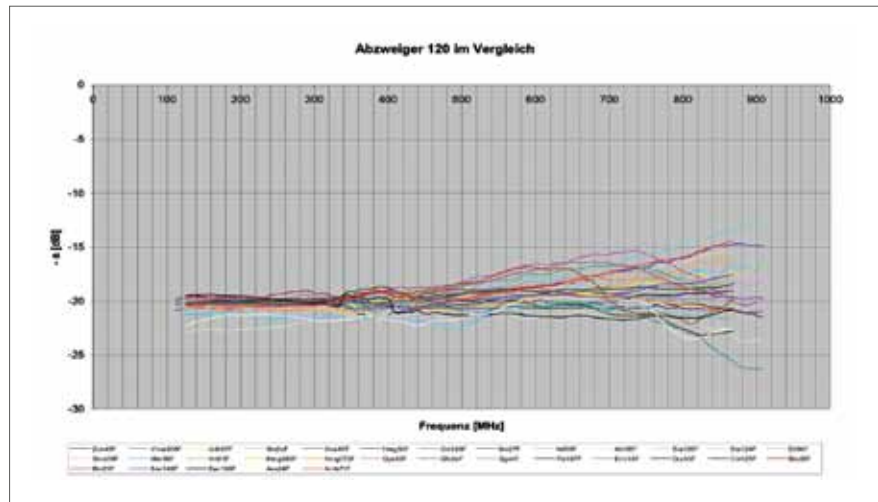
sein können, und das es den Netzbetreibern erlaubt, die koaxiale Infrastruktur in Kundennähe weiter zu verwenden.

Trennen von Signalrichtungen

Ein nicht unerhebliches Problem bei Full-Duplex DOCSIS als Teil des DOCSIS 4.0 Standards ist das Trennen der Signalrichtungen. In den klassischen DOCSIS-Systemen bedient man sich passiver Filter, um Up- und Downstream voneinander zu trennen. Passive Filter finden auch in DOCSIS-4.0-Systemen Verwendung, um dezidierte Upstream-, Downstream- und FDX-Bereiche im Spektrum voneinander zu trennen, wie sie in Abbildung 2 dargestellt sind. Jedoch funktioniert das Prinzip des Filterns nicht für das Trennen der Signalrichtungen innerhalb des FDX-Bereichs, in dem die OFDM-Subcarrier in beide Richtungen verwendet werden können. Innerhalb dieses Bereiches bedient man sich der Hilfe von Richtkopplern und Echo Cancellation im FDX-Node und Modem. Richtkoppler arbeiten aber nicht perfekt, so dass Teile der Signalenergie in unerwünschte Richtungen entweichen und Störungen verursachen können. Dieses Prinzip ist von den Entkopplungen der Tore eines Abzweigers bekannt. In Anbetracht des generell gestörten Ökosystems des FDX-Bereichs ist das nicht förderlich.

Echo Cancellation: Störsignale aufspüren

Um Störungen, die durch ungenügende Entkopplung der Ausgänge der Richtkoppler hervorgerufen werden, zu beheben, bedient man sich der Technik der „Self-Interference und Echo Cancellation“. Abbildung 4 stellt das Blockdiagramm eines FDX-Fiber Nodes dar. Er enthält einen Prozessor (zentraler grauer Kasten), der ein empfangenes Upstreamsignal mit einem Referenzsignal vergleicht, das zuvor aus dem Downstreamsignal generiert wurde. Das Upstreamsignal enthält Anteile des zuvor ausgesendeten Downstreams, da die Entkopplungen der Richtkoppler nicht perfekt sind und nunmehr Signalenergie des Downstreams den Upstream überlagert. Das System lernt die Parameter der Störung – ein Prozess, der etwas Zeit benötigt und Echo-Cancellation-Training heißt. Das System



Quelle: XXXXXX

Abbildung 5: 300-MHz-Abzweiger (120) Streuung bei höheren Frequenzen (Normalized Representation)

errechnet hieraus ein Korrektursignal, das mit dem empfangenen Upstream kombiniert wird und die Störung beseitigt. Das gleiche Verfahren findet bei Echos Anwendung, die durch Reflektionen an Abweichungen vom Systemwiderstand entstehen und zeitlich versetzt am Fiber Node ankommen.

N+0-Technologie

Diese Schwierigkeit der Trennung von Signalrichtungen mit Richtkopplern und der Einsatz von Echo-Cancellation macht DOCSIS 4.0 FDX zu einer sogenannten N+0 („N plus Null“) Technologie. N+0 bedeutet, dass hinter dem für DOCSIS 4.0 vorausgesetzten DAA-Node (Distributed Access Architecture) keine Verstärkung des elektrischen Signals mehr stattfindet. Das Konzept sieht also vor, dass ein digitales Ethernet-Signal den DAA-Node über die optische Strecke erreicht und dort in ein analoges elektrisches Signal gewandelt und verstärkt wird, woraufhin es auf die koaxiale C-Linie zum Kunden gebracht wird.

Unterschiedliche Netzarchitekturen in den USA und Deutschland

An dieser Stelle machen sich die verschiedenen Philosophien in den USA und Europa, speziell Deutschland, bemerkbar. Für einen amerikanischen Netzbetreiber stellt die N+0 Bedingung sicher-

lich auch insofern ein Problem dar, dass hierfür Lichtwellenleiter näher an den Kunden gebracht werden müssen. Jedoch gibt es in den USA keine Historie von getrennten Betreibern der verschiedenen Netzebenen. Ein US-amerikanischer Netzbetreiber hat generell Kontrolle über den gesamten Signalweg, von der Kopfstelle ins Wohnzimmer des Kunden und wieder zurück. In Deutschland wurden die ursprünglichen Kabelfernsehnetze von der Deutschen Bundespost gebaut und betrieben, die Inhausnetze jedoch waren größtenteils in Besitz privater NE4-Betreiber. Diese Trennung hatte politische, kaufmännische und rechtliche Gründe, signaltechnisch macht sie wenig Sinn. Der Betrieb und die Kontrolle eines Kommunikationsnetzes ist gerade dann effizient gestaltbar, wenn der Netzbetreiber Zugang zu und Einblick in alle technischen Parameter auf allen Ebenen des Netzes hat.

Maximal N+1

Die Netze der Bundespost waren gut konzipiert, was dadurch bestätigt wird, dass ihre Konzepte weiterhin Verwendung finden. Ein Netz, das mit Steuergeldern finanziert wurde und in der Regel ein Signal am Hausübergabepunkt (HÜP) an einen NE4-Betreiber abgab, wurde auf maximale Distanz konzipiert und der ankommende Signalpegel am HÜP ist

eher am unteren Rand des vorgegebenen Eingangsfenster zu finden, was eine Verstärkung im Haus in der Regel notwendig macht. Daher findet man in Deutschland hinter dem HÜP fast immer einen Inhausverstärker, um das Signal für die Weiterleitung zum Kunden im Haus wieder auf Pegel zu bringen. Für ein N+0-Szenario ist das denkbar schlecht. Der amerikanische Netzbetreiber gibt das Signal in der Regel nicht an einen anderen NE4-Betreiber ab. Daher sind die Netze so konzipiert, dass die Signale über Trunk-Line (C-Linie) und Drop-Line (D-Linie) mit genügend hohem Pegel beim Kunden ankommen und ein Inhausverstärker meistens nicht notwendig ist. Somit ist in den kommenden Jahren ein flächendeckender Einsatz von DOCSIS 4.0 in den USA wahrscheinlicher als in Deutschland, da das deutsche Netzkonzept gegenwärtig quasi per definitionem maximal nur N+1 sein kann, es bedingt mindestens einen Verstärker hinter dem DAA-Node.

Unberechenbare Abzweiger

Ein weiteres Problem bei der Einführung von DOCSIS-4.0-Technologie in Deutschland entsteht durch die im Standard vorgesehene Erweiterung des Downstream-Frequenzbereichs auf 1,794 GHz. Abbildung 5 stellt das hierbei entstehende Problem exemplarisch anhand des Verhaltens mehrerer 300-MHz-

Abzweiger (1 Abzweig, 20dB Dämpfung) bei Frequenzen außerhalb ihrer Spezifikation dar. Es handelt sich hierbei um Abzweiger, die im Zuge der großen Netzumrüstungen Anfang der 2000er Jahre vorgefunden wurden und gegebenenfalls auszutauschen waren. Man erkennt, dass die Abzweigdämpfungen mit steigender Frequenz immer stärker von dem Nominalwert von 20 dB abweichen (normalisierte Darstellung). Leider lässt sich dieses Verhalten stochastisch nur schwer beschreiben, daher ist es schwierig, hierzu verlässliche Aussagen zu machen, die in eine Netzberechnung einfließen könnten. Da bei einem Upgrade eines Netzes nur ein kleiner Anteil der Erdabzweiger und anderen passiven Equipments getauscht und somit an den neuen Frequenzbereich angepasst werden kann, verbergen sich im Erdreich bundesdeutscher Städte noch Repräsentanten aller Abzweigergenerationen der vergangenen 50 Jahre. In einer solch inhomogenen Umgebung wird man den beachtlichen Zuwachs an Downstreamspektrum nicht ganz komplikationslos nutzen können.

DAA-Node statt Inhausverstärker

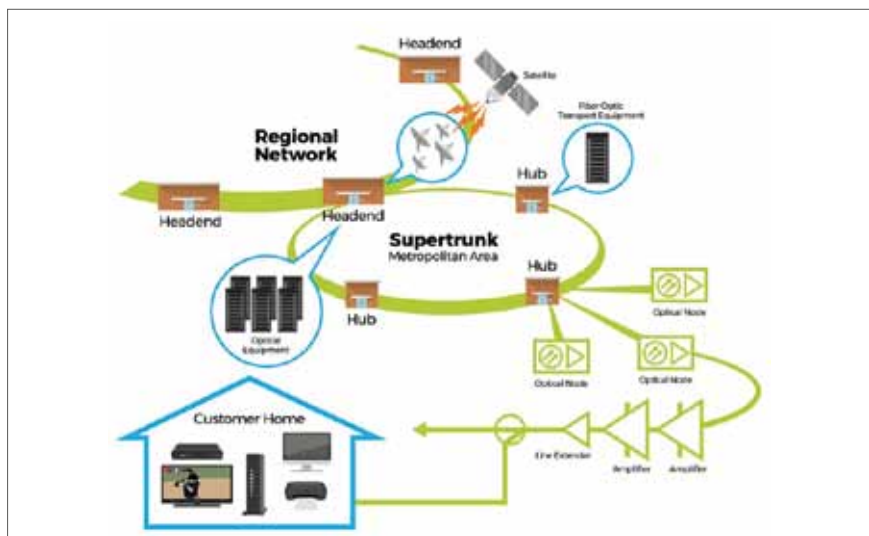
Hat DOCSIS 4.0 also keine Karrierechancen in Deutschland? Ist die Technologie hierzulande einfach nicht applikabel? Mitnichten, denn das oben angeführte Problem des Hausverstärkers hinter dem

HÜP lässt sich lösen, wenn ein Gebäude zum Beispiel mehrere Wohneinheiten unter einem Dach vereint. Nicht nur das Neuverlegen neuer Kabel in der NE3 ist aufwändig und teuer, dasselbe gilt auch für das Neuverkabeln einer NE4 Anstelle in einem großen Objekt Lichtwellenleiter zu verlegen, könnte man den Inhausverstärker im Keller durch einen DAA-Node ersetzen und die koaxiale Infrastruktur anstelle der NE4 mit DOCSIS 4.0 betreiben. So kann diese noch eine Weile weiterverwendet werden und die Kunden in den kommenden Jahren mit genügend Bandbreite versorgen. Dieser Ansatz wäre eine Option für die großen und kleinen Wohnbaugesellschaften des Landes, die möglicherweise bestehende koaxiale Inhausnetze in ihren Objekten bis zur nächsten anstehenden Objektrenovierung in ein paar Jahren ohne große Maßnahmen weiter betreiben möchten, bis sie sie dann durch Lichtwellenleiter auch im Haus ersetzen. Ein zusätzlicher Vorteil dieses Szenarios ist zudem, dass man Abzweiger in der NE4 sehr viel aufwandsärmer austauschen kann als in der NE3.

Zudem ist Hilfe in Gestalt der CableLabs bereits unterwegs, denn nicht nur in Deutschland gibt es konzeptionelle Probleme mit der N+0-Architektur. In den USA ist die DOCSIS-3.1-Einführung bei allen großen Netzbetreibern praktisch abgeschlossen. Jedoch hat eigentlich nur Comcast in diesem Zusammenhang auch genügend Fasern gezogen, um eine N+0-Architektur relativ zeitnah in Teilen ihres sogenannten „Footprints“ realisieren zu können. Durchschnittlich werden in amerikanischen HFC-Netzen zurzeit vier bis fünf elektrische Verstärker hinter den Fiber Nodes kaskadiert. Möchte man eine solche Architektur schlagartig auf N+0 umbauen, muss man durchaus viele zusätzliche Fasern ziehen, was die Frage aufwirft, ob man dann nicht gleich alle Objekte mit Lichtwellenleiter versorgen sollte. Eine Stärke von DOCSIS 4.0 ist die Flexibilität der Technologie, denn man kann FDX und EDS dort einsetzen, wo Bedarf besteht, und wo ein schneller Return-on-Investment zu erwarten ist.

Zwischenschritt N+2

Für die großen amerikanischen Netzbetreiber steht im Augenblick die attraktive



Quelle: XXXXXXXXXXXX

Abbildung 6: N+2 Architektur

Idee im Raum, den Weg zu einer N+0 Architektur über eine N+2 Architektur als Zwischenschritt zu gehen. Das hieße, nur ein Jahr nach der Einführung des auf N+0 basierenden DOCSIS 4.0-Standards eine grundsätzliche Erweiterung zu fordern. Es wäre also ein Weg zu finden, wie Verstärkungen des elektrischen Signals im FDX-Spektrum zumindest zweimal stattfinden können. Abbildung 6 illustriert diesen Gedanken. Ein Problem, das hierbei berücksichtigt werden muss, ist, dass Echo-Canceller aktive Elemente darstellen, die demzufolge zusätzliches Rauschen generieren, was wiederum die Signalqualität mindert. Zudem wird dieses zusätzliche Rauschen in die Verstärkung mit einbezogen, so dass die Verstärkung eines FDX-Signals hinter dem DAA-Node die Signalqualität erkennbar verschlechtert und somit möglicherweise höhere Modulationsordnungen in manchen Fällen nicht genutzt werden können. Nun ist es für einen Netzbetreiber eine Sache des Business Case, ob der Datendurchsatz mit einer N+2 Architektur als Zwischenschritt zu einer N+0-Architektur für einen gewissen Zeitraum genügt. Die oben angeführte Idee wurde bereits 2018 in einem Technical Paper von John Chapman und Hang Jin (beide Cisco) beschrieben. Die Liebe der Breitbandindustrie zum „Macgyver“ wurde bereits beleuchtet. Ein Inhausverstärker, der auf dieser Grundlage FDX-Signale verarbeiten kann, würde DOCSIS 4.0 zu einer in Deutschland großflächig einführbaren Technologie machen.

Flexible Technologie

Wir leben in einer schnellen Zeit. Technischer Fortschritt entsteht zurzeit schneller, als er ins Feld gebracht werden kann. So findet die Diskussion über DOCSIS 4.0 entschleunigter statt, als es vor einigen Jahren bei der Einführung von DOCSIS 3.1 der Fall war. Damals wurde der Standard aufgrund der Marktsituation schnell eingeführt, die Netzbetreiber hatten teilweise bereits das neue Equipment geliefert bekommen, noch bevor sie ihre Ingenieure und Techniker auf die neue Technologie schulen konnten. Bei DOCSIS 4.0 ist das anders, denn bisher gibt es weltweit noch keine aktiven DOCSIS-4.0-Netze. Die US-amerikanischen Netzbetreiber haben jeweils sehr kleine



Testbereiche eingerichtet, in denen sie die Technik auf ihre Feldtauglichkeit testen, aber ein flächendeckender Roll-out steht auch in den USA nicht direkt vor den Toren. Die Breitbandindustrie wächst dann über sich hinaus, wenn sie in Konkurrenz zu anderen Technologien steht. So hat sie es immer getan. DOCSIS 4.0 wird weltweit und auch in Deutschland in dem Bestreben Anwendung finden, unseren Kunden die Dienste und Gigabit-Bandbreiten zur Verfügung zu stellen, die sie in den kommenden Jahren und darüber hinaus benötigen. DOCSIS 4.0 ist eine flexible Technologie, die auf die Eigenheiten der verschiedenen Märkte angepasst werden kann, innerhalb dieser Märkte jedoch möglicherweise an unterschiedlichen Schwerpunkten eingesetzt wird. Es gibt also auch in Zukunft noch viel Technik, die konzipiert werden möchte. Als Breitbandindustrie können wir jedoch sagen: Wir werden immer eine brauchbare Lösung finden, denn wir haben begeistert „MacGyver“ geschaut. ■