

Auf dem Weg zu 10 Gbps symmetrisch

DOCSIS 4.0 – Pimp my DOCSIS

Während die Netze noch weltweit auf DOCSIS 3.1 aufgerüstet werden, haben die CableLabs Ende März bereits die Spezifikationen für den Nachfolger DOCSIS 4.0 veröffentlicht. Dr.-Ing. Alexander C. Adams stellt den neuen Kabelstandard vor und ordnet ihn in Reihe seiner Vorgänger ein.

Das Internet in seiner für die Allgemeinheit zugänglichen Form feiert seinen 25. Geburtstag, jedenfalls so ungefähr. Auf ein Menschenleben projiziert entspricht das einem Lebensalter, in dem Kindheit und Pubertät einigermaßen abgeschlossen sein sollten und man langsam ins geregelte Familien- und Berufsleben hinübergleitet. Ein altes Studentenlied beleuchtet das Thema unverblümt: „O quae mutatio rerum“ – wie sich die Dinge doch ändern. Zeit also, für Mensch und Maschine eine reflektierende Betrachtung des Erreichten anzustoßen und einen Ausblick auf das Kommende zu wagen.

Die Breitbandkabelindustrie kann durchaus stolz sein, denn sie hat einen großen Anteil an den technischen Entwicklungen der letzten Jahrzehnte im Bereich Kommunikation und der damit einhergehenden Digitalisierung des Lebens. Die Kabelindustrie ist weltweit einer der großen Treiber kommunikationstechnischer Innovationen, und das aus gutem Grund: Sie muss es sein! Von Anfang an stand sie im Wettbewerb mit konkurrierenden Netzwerkarchitekturen und nur technische Innovationen ermöglichten es, die im Laufe der Jahre immer höheren benötigten Datenraten in Up- und Downstream zu realisieren. Die Ausgangssituation war wohl gemerkt alles andere als optimal, denn die zur Verfügung stehenden koaxialen Netze waren für die breitbandige Übertragung von Daten nicht vorgesehen.

Aus der Not geboren

Die sogenannten „Kabelfernsehtetze“ der Deutschen Bundespost übertrugen hauptsächlich analoge Signale als Verteildienst zum Kunden, diese waren FM- oder restseitenbandmodulierte AM-Signale im Frequenzbereich bis 300 MHz und später 450 MHz zur Übertragung von Hörfunk

und Fernsehen. Möchte man grundsätzlich solche koaxialen Netze weiterhin für die Übertragung von nunmehr digital modulierten Diensten verwenden, wird diese Information immer noch über analoge elektromagnetische Wellen zwischen Außen- und Innenleiter des Koaxkabels übertragen. Die „digitalen“ Informationen in Datentransporten über koaxiale Kabelstrecken sind eigentlich „digitalisierte“ Informationen, die über analoge Schwingungen transportiert werden. Diese Problematik führte 1997 zu der Geburtsstunde des DOCSIS-Protokolls, konzipiert von den US-amerikanischen CableLabs in Colorado, und von der amerikanischen Society of Cable Telecommunications Engineers (SCTE) in den weltweit anerkannten DOCSIS-Standard gegossen. DOCSIS steht für Data-over-Cable-System-Interface-Specifications, also Schnittstellenbeschreibungen für Systeme, die Daten über Kabel transportieren. Genau genommen sind es Schnittstellenspezifikationen für Systeme, die ursprünglich nicht für den Transport von digitalen Datensignalen konzipiert waren. Die Konzeption des Standards entstand aus wirtschaftlichen Notwendigkeiten, ermöglichte er doch

den Kabelnetzbetreibern die Vermarktung von Internetdiensten über ein bestehendes Netzwerk. Am Ende ist's halt immer das liebe Geld.

Die DOCSIS-Evolution

DOCSIS stellt also prinzipiell die Verkehrsregeln für den Datentransport über die koaxialen Anteile von HFC-Netzen auf. 1997 wurde die erste Version DOCSIS 1.0 veröffentlicht. 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 (2002) 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 Abbildung 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.

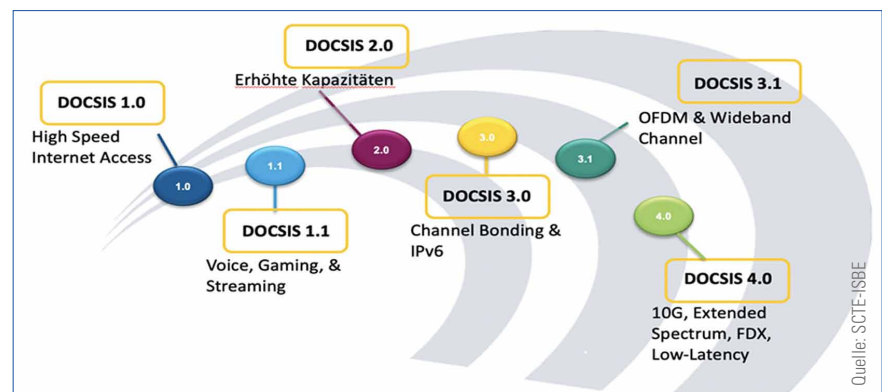


Abbildung 1: Die DOCSIS-Evolution

Ein neuer technologischer Ansatz

Mit der Veröffentlichung von DOCSIS 3.1 im Jahre 2015 wurde mit dieser Tradition gebrochen und ein völlig 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 Kanalarstellung, 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. OFDM in Kombination mit einer neuen Fehlerkorrektur namens LDPC, die fast am physikalisch machbaren Shannon Limit arbeitet, stellt eine sehr robuste Basis für das DOCSIS 3.1-Protokoll und verbessert die spektrale Effizienz des Systems um bis zu 50 Prozent. 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. Dies ist mitnichten der Fall, vielmehr wurde mit DOCSIS 3.1 eine zweite aktive Übertragungsschicht in die Netze eingeführt, die mit der auf DOCSIS 3.0 und früheren Versionen basierenden kompatibel ist. Das nunmehr jüngste Kind der reproduktionsfreudigen DOCSIS-Familie ist DOCSIS 4.0, der Standard wurde im März dieses Jahres von den CableLabs veröffentlicht. Die Version basiert auf der OFDM-Technologie, die mit DOCSIS 3.1 in die Netze eingeführt wurde. DOCSIS 4.0 beinhaltet Full-Duplex DOCSIS (FDX), eine Spezialanwendung der DOCSIS 3.1-Technologie, die es ermöglicht die Subcarrier im Frequenzbereich zwischen 108 MHz und 684 MHz bidirektional zu nutzen und somit der Realisierung symmetrischer Dienste zum und vom Kunden näher zu kommen. Bidirektionale Signale erzeugen zusätzliche

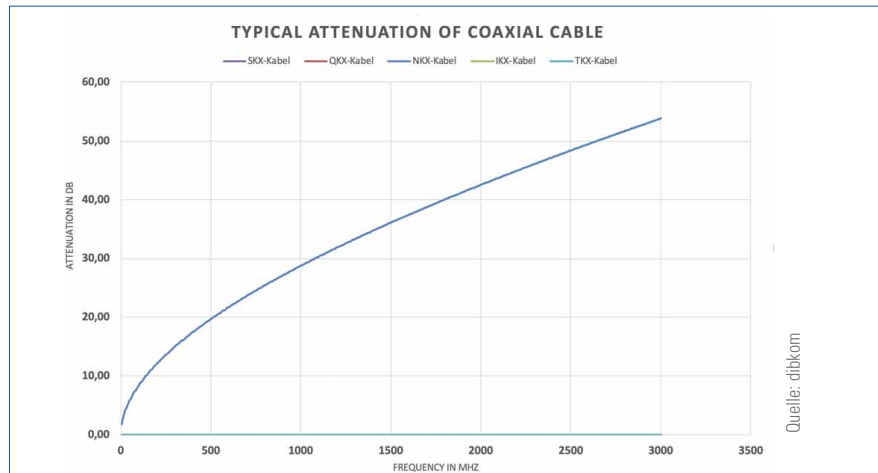


Abbildung 2: Typischer Dämpfungsverlauf eines coaxialen Kabels, näherungsweise $F(f)=A \cdot \sqrt{f}$

Probleme, auf die weiter unten eingegangen wird. Zudem erweitert die neueste Version des Standards unter dem Arbeitsbegriff „Extended Spectrum“ den zur Verfügung stehenden Frequenzbereich im Downstream bis 1,794 GHz. Außerdem werden die Latenzzeiten im Netz reduziert und ein starker Fokus wird auf die Systemsicherheit (Security) gelegt.

Nicht unsterblich, aber noch sehr lebendig

DOCSIS war von Anfang an ein „Zeitkaufprojekt“ und das ist es geblieben. Über die Jahre ist ein ohnehin schon komplexes Problem noch komplexer geworden, aber es ist nach wie vor ein Projekt, das den Netzbetreibern weltweit ermöglicht, die bestehende kundenseitige koaxiale Infrastruktur hinter den RemotePhy-Nodes zu verwenden, ohne einen wirtschaftlichen Nachteil gegenüber der Konkurrenz zu erfahren. Solange die Technologie und die zur Verfügung stehenden Protokolle einen Datendurchsatz zum und vom Kunden über koaxiale Kabel ermöglichen, der den mittelfristigen Bandbreitenbedarfen gerecht wird, wird deren Einsatz sehr wahrscheinlich kostengünstiger sein als das flächendeckende Verlegen neuer Glasfasernetze. Faser hat eine enorme Bandbreite und ist das Medium der Zukunft, aber die bestehenden Koaxnetze haben einen Riesenvorteil: Sie sind größtenteils bezahlt und verfügbar, außerdem haben sie sich bewährt. DOCSIS wurde im Jahre 1997 ursprünglich konzipiert, die Laufzeit der

koaxialen Infrastruktur um etwa zehn Jahre zu verlängern. Nach einem Vierteljahrhundert des Einsatzes hat sich der Ansatz offensichtlich etabliert. DOCSIS wird nicht ewig leben, aber es steht noch gut im Saft.

DOCSIS 4.0 – Pimp my DOCSIS 3.1

Nun also DOCSIS 4.0, noch während Netze weltweit auf DOCSIS 3.1 aufgerüstet werden. DOCSIS 4.0 bündelt Verfeinerungen und Zusätze des DOCSIS 3.1 Standards und fügt noch einige neue und wichtige Funktionen wie Low-Latency und Security hinzu. Angestrebte Datenraten sind hierbei 10 Gbps im Downstream und 6 Gbps im Upstream. Es handelt sich bei DOCSIS 4.0 sozusagen um einen „Pimp-my-DOCSIS 3.1“-Ansatz unter Berücksichtigung der technologischen Rahmenbedingungen der kommenden Jahre. 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, der klassische Kompromiss. Da bei symmetrischem 10G-Datendurchsatz in jedem Fall mehr Daten pro Sekunde in beide Richtungen verschickt werden als heute, kann man entweder das in Up- und Downstream getrennte Spektrum erweitern, um weitere Inhalte modulieren zu können, oder aber man unterlässt

die Trennung in Up- und Downstream und erlaubt Datenverkehr auf gleicher Frequenz in unterschiedliche Richtungen. Beide Ansätze erhöhen den Datendurchsatz, beide sind jedoch auch problembehaftet.

Extended Spectrum DOCSIS

Eine Erweiterung des Spektrums stößt unter anderem auf das Problem, dass koaxiale Kabel Tiefpässe darstellen und somit tiefere Frequenzen weniger bedämpfen als höhere. Abbildung 2 stellt den angenäherten Dämpfungsverlauf eines koaxialen Kabels exemplarisch für einen Frequenzbereich bis 862 MHz dar. Die Dämpfung in Dezibel (dB) steigt mit der Wurzelfunktion der Frequenz, die Schräglagen in den Einspeisepegeln der Verstärker dienen zum Ausgleich der steigenden Dämpfungen über Frequenz. Im Vergleich zur Dämpfung bei 1 GHz wäre sie bei 1,8 GHz ungefähr 40 Prozent höher. Dementsprechend muss aktives und passives Equipment auf diesen Frequenzbereich konzipiert sein. Höhere Dämpfungswerte bei höheren Frequenzen bedeuten höhere Einspeisepegel,

um diese Dämpfungen überwinden zu können. Dementsprechend erhöhen sich auch lineare sowie nichtlineare Verzerrungen, was im Standard Berücksichtigung finden muss.

DOCSIS 4.0 beinhaltet Extended-Spectrum DOCSIS, der Standard erweitert das Downstream-Spektrum bis 1,794 GHz. Nun war schon DOCSIS 3.1 auf eine optionale Frequenzbanderweiterung bis 1,794 GHz konzipiert, allerdings wurde von allen großen Netzbetreibern die weitaus populärere Option einer Erweiterung des Downstreams auf 1,216 GHz bevorzugt und auch bei weitem nicht alle Hersteller am Markt entwickelten ihr DOCSIS 3.1-Equipment auf einen Downstream von 1,794 GHz hin. Jedoch beinhaltet die Idee Potential, denn bei 1,794 GHz soll noch nicht Schluss sein. Gegenwärtig werden Ansätze diskutiert, das Spektrum in den nächsten Jahren im Rahmen des DOCSIS 4.0-Standards erheblich weiter auszudehnen, bis zu 3 GHz oder sogar bis zu 6,4 GHz, wie kürzlich in einem Research Paper von Commscope vorgeschlagen, siehe Abbildung 3. Demnach würde ein solcher Ansatz den Datendurchsatz über das

Frequenzband um ungefähr 35 Gbps im Vergleich zu einem DOCSIS 3.1-System bis 1,794 GHz erhöhen. Man darf also auf die Zukunft gespannt sein.

Full-Duplex DOCSIS

Neben Extended-Spectrum DOCSIS stellt Full-Duplex DOCSIS (FDX) eine weitere Säule des DOCSIS 4.0-Standards dar. Full-Duplex DOCSIS ist eine Erweiterung von DOCSIS 3.1, es wird in dessen Annex F beschrieben. Diese Erweiterung ermöglicht nunmehr theoretisch bis zu 10 Gbps symmetrischen Datendurchsatz im Up- und Downstream, allerdings spricht man in diesem Zusammenhang in letzter Zeit eher von Datenraten von 10 Gbps im Downstream und 6 Gbps im Upstream als im Felde realisierbar. Hierzu wird wie in Abbildung 4 dargestellt neben dem klassischen Up- und Downstream der Frequenzbereich zwischen 108 MHz und 684 MHz für Datenübertragung in beide Richtungen – unter gewissen Randbedingungen sogar auf derselben Frequenz – vorgesehen. Dieses Verfahren ist sehr kompliziert, es beinhaltet viel Rechenleistung, um bei diesen Übertragungen die gegenseitigen Beeinträchtigungen der Signale untereinander kontrollieren und die Modulationsordnungen dementsprechend anpassen zu können. Zudem basiert FDX auf einer N+0-Architektur, also finden keine Verstärkungen des elektrischen Signals hinter dem RemotePHY-Node statt.

Signalstörungen

Das Problem bei simultanen Übertragungen auf der gleichen Frequenz oder auf Subcarriern, die im Frequenzbereich sehr nah beieinander liegen ist, dass sich die Signale auf diesen Subcarriern gegenseitig stören. Wenn in einem auf DOCSIS 3.1-Technologie basierenden FDX-System ein Modem auf einem Subcarrier eine Upstream-Übertragung sendet, während gleichzeitig das unglücklicherweise am selben Abzweiger angeschlossene Modem im Haus nebenan auf dieser oder einer benachbarten Frequenz ein Downstream-Signal empfängt, wird der Downstream-Empfang praktisch pulverisiert. Man muss sich die Pegelunterschiede vergegenwärtigen, die bei einer solchen Störung vorherrschen. HFC-Netze sind so

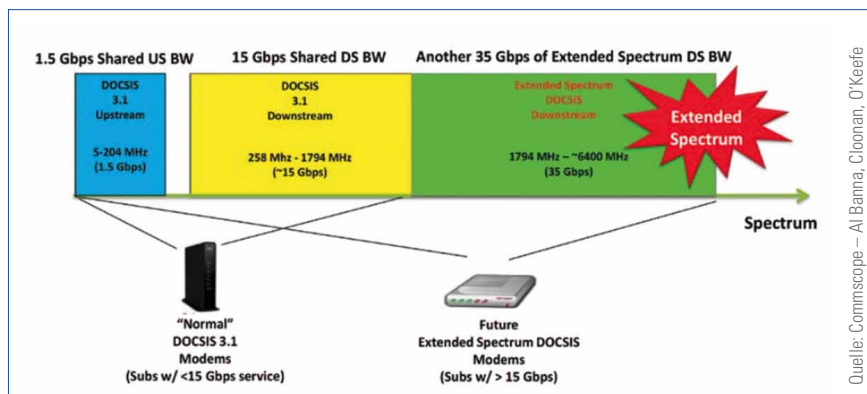


Abbildung 3: Extended Spectrum DOCSIS

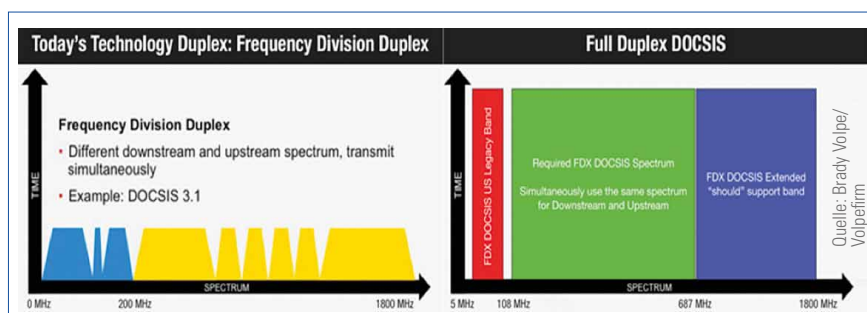


Abbildung 4: Spektren bei klassischem DOCSIS 3.1 und bei FDX

konzipiert, dass ein Signal zwischen Sender und Empfänger zwischen 50 dB und 60 dB Dämpfung erfährt. 60 dB Dämpfung entspricht einem Leistungsverhältnis von 1000. Abbildung 5 illustriert dieses Verhältnis anhand von Wasserwellen. Eine Upstream-Übertragung stünde analog zur 20-m-Welle auf der linken Seite der Abbildung, ein Downstream-Empfang analog zur 2-cm-Welle rechterhand. Weil FDX-Systeme einen Teil des Frequenzbereichs für bi-direktionalen Datenverkehr nutzen, werden Richtkoppler eingesetzt, da klassisches Filtern von Up- und Downstream im FDX-Band nicht möglich ist. Richtkoppler arbeiten aber nicht perfekt, so dass ein Teil der Energie der Upstream-Übertragung das Downstream-Signal überlagern wird. Je weiter die sendenden und empfangenden Modems an einer C-Linie voneinander entfernt sind, desto weniger stören sie sich gegenseitig. Stellt man sich also vor, dass nur ein bisschen der Wassermenge der großen Welle in Abbildung 5 die kleine überlagert, so wird von der kleinen Welle nichts Erkennbares übrigbleiben. Das bezeichnet man als einen negativen Signal-Störabstand ... mehr Stör- als Signalleistung.

Sounding

Um in solcher Umgebung einen optimalen Datendurchsatz zu generieren, muss die (das) CMTS in sehr regelmäßigen Zeitabständen feststellen, wie stark die Modems an einer C-Linie von einer Upstream-Übertragung eines einzelnen Modems gestört werden. Hierzu wird in Full-Duplex DOCSIS der sogenannte Sounding-Prozess verwendet, der in Abbildung 6 exemplarisch für das Sounding eines Modems an einer C-Linie dargestellt ist. Der Sänger an Tap 1 (Emoji mit kreisförmig geöffnetem Mund) sendet ein Upstream Sounding-Signal, die einzelnen Modems berichten der CMTS, wie stark dieses Signal ihren Downstream-Empfang auf dieser Frequenz beeinträchtigt hat. Dementsprechend muss die Modulationsordnung für diese Szenarien angepasst werden. Hierzu werden die Modems einer C-Linie konstant in sogenannte Interference Groups eingeteilt, wie ebenfalls in Abbildung 6 dargestellt. Die Komplexität und der beachtliche Datendurchsatz geben FDX

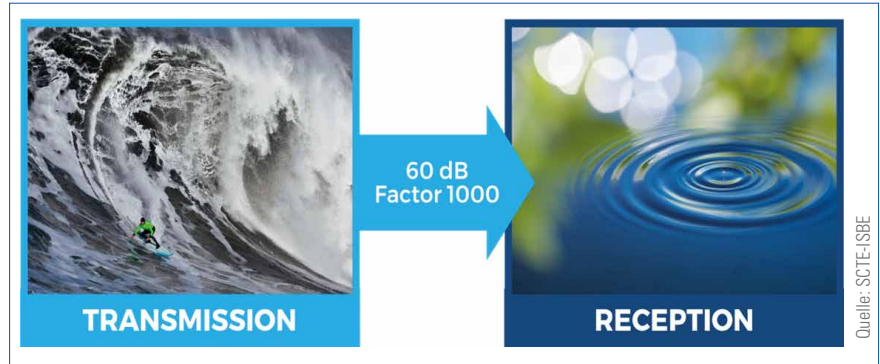


Abbildung 5: Pegelunterschied von 60 dB

in den USA den Spitznamen „DOCSIS on Steroids“. Der US-amerikanische Netzbetreiber Comcast unternimmt seit einiger Zeit Feldversuche mit Full-Duplex DOCSIS Technologie in Connecticut und Colorado, um technische Stresstests in gefühlsechtem Umfeld durchführen zu können. Die ersten Ergebnisse seien sehr zufriedenstellend, so Comcast.

Low-Latency DOCSIS and Security

Low-Latency DOCSIS (LLD) ist ein wichtiger Bestandteil des DOCSIS 4.0-Standards. Eine durchschnittliche Latenzzeit in einem DOCSIS 3.1-System beträgt ca. 10 ms. Low Latency DOCSIS reduziert diese Latenz auf 1 ms, was eine enorme Auswirkung auf die Qualität von Videosignalen und Online-Gaming sowie die Verarbeitungsgeschwindigkeit hat. Der Datenverkehr im Internet besteht aus verschiedenen Arten unterschiedlicher Datenströme. Einige brauchen viel Bandbreite, sind aber relativ unempfindlich gegen Latenzprobleme. Andere wiederum brauchen kaum Bandbreite, müssen aber schnell ans andere Ende und dürfen nicht lange im Netz verweilen. Ein Beispiel für die ersten sind Video-Streams oder Application-Downloads, für die zweiten Gaming-Signale. Diejenigen Eltern, die staunend vor der Fingerfertigkeit ihres Nachwuchses an der Playstation stehen, kennen das aus der Anschauung. „Garantiert war ich schneller und dann hat das Netz gehakt!“ Ein klassisches Latenzproblem. (Anmerkung des Autors: Sollte Ihren Kindern bekannt sein in welcher Industrie sie beruflich ansässig sind, suchen Sie in

diesem Moment besser augenblicklich das Weite.) Low-Latency DOCSIS differenziert die Datenströme nach Latenzempfindlichkeit, denn manche sind anfälliger hierfür als andere. So werden Latenz-Gegenmaßnahmen nur an solchen Datenströmen durchgeführt, die sie benötigen, was die Gesamtdatenrate erhöht sowie optimiert und hilft, das volle Potential des Spektrums auszuschöpfen. LLD-Technologie kann durch Software Updates in existierende DOCSIS 3.1-Systeme kosteneffizient integriert werden und ist integraler Baustein der DOCSIS 4.0-Technologie.

Ein weiterer Fokus verstärkter Aufmerksamkeit widmet DOCSIS 4.0 dem Thema Sicherheit gegen Fremdeinwirkung, wobei hier nicht im Detail auf einzelne Ansätze und Algorithmen eingegangen werden soll. Ein Blick auf das digitale Ökosystem der nahen Zukunft dient als gutes Beispiel für die wachsende Komplexität, mit der sich die Kabelindustrie in dieser Beziehung konfrontiert sieht. Wir leben in einer vernetzten Welt und dieser Trend wird anhalten und sich beschleunigen. Nicht nur wird der Bedarf an Bandbreite weiterhin steigen, auch werden Milliarden von Internet-of-Things-Applikationen in Kombination mit der Einführung des 5G-Standards Signale auf die Upstreams senden. Das können industrielle Applikationen sein, aber auch alltägliche Dinge wie Thermostate oder der berühmte Kühlschrank, der sein eigenes Bier bestellt. Ein solcher IoT-Thermostat oder Kühlschrank ist über WLAN mit dem Kabelmodem verbunden und von dort geht es weiter in des Netzbetreibers Netz. Potentiell kann sich ein in Computer- und Netzwerkdingen

Fachkundiger in beispielsweise dieses Thermostat oder den intelligenten Kühlschrank hacken und von dort das übergeordnete Netz angreifen. Ein Ansatz der Kontrolle dieser Zugänge kann durch Aggregation über ein hierfür vorgesehenes und besonders gesichertes Gateway geschehen. Die Sicherung des Zugangs zum Netz ist unter den Bedingungen eines Internet-of-Things sehr komplex und hat eine hohe Priorität, denn es ist ein Prozess, der niemals abgeschlossen ist. Netzbetreiber müssen konstant potentiell neue Bedrohungen analysieren und auf diese in ihren Systemen reagieren.

10G-Initiative der CableLabs

Man kann nicht über DOCSIS 4.0 sprechen, ohne es in den Zusammenhang mit der 10G-Initiative der CableLabs zu sehen, die im Januar 2019 offiziell vorgestellt wurde. 10G ist ein Köcher mit verschiedenen Technologien, die im Verbund miteinander dem Kunden der Zukunft das bescheren sollen, was als „seamless experience“ bezeichnet wird und 10 Gbps symmetrischen Datendurchsatz zur Verfügung stellt. Der Kunde dieser gar nicht so weit entfernten Zukunft lebt in der vorab beschriebenen sehr komplexen Welt, in der Virtual Reality Daten durch die Netze geschickt werden und es zahllosen Internet-of-Things-Applikationen in unseren Haushalten nach Bandbreite dürrt. Die 10G-Initiative beinhaltet neben DOCSIS 4.0 auf koaxialen Netzen auch Neuerungen im optischen Bereich, wie die Nutzung von bisher nur für die optische Langstreckenübertragung verwendeten Coherent Optics Ansätzen in den Access-Netzen. Covid19 hat die Weltwirtschaft wie ein Asteroid getroffen. Auch die Breitband-

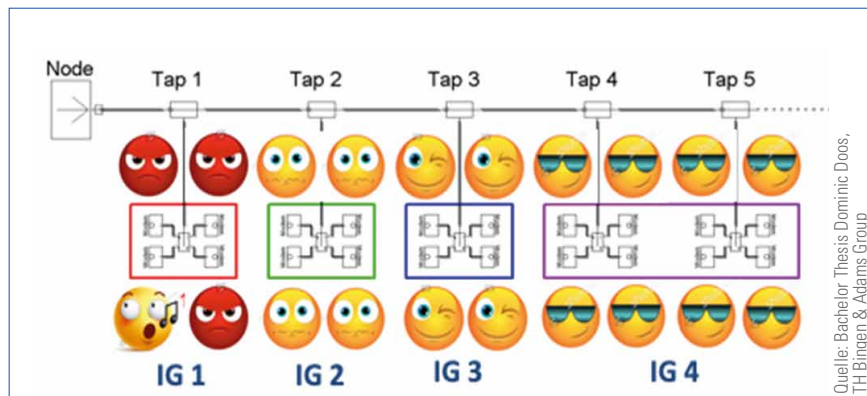


Abbildung 6: Der DOCSIS Sounding-Prozess

industrie ist davon betroffen, jedoch bei weitem nicht so stark wie andere Bereiche der Wirtschaft. Die Einsätze von Störungstechnikern erreichen momentan Höchstzahlen und Ingenieure arbeiten fieberhaft an der weiteren Segmentierung und Aufrüstung der Netze. Die sozialen Beschränkungen haben dazu geführt, dass ein guter Teil der Bevölkerung von zuhause arbeitet. Dabei hat sich eines herausgestellt: Es funktioniert! Außerdem hat sich die Kabelindustrie als systemrelevant erwiesen. Es ist anzunehmen, dass nach Abebben der Pandemie ein Arbeitsleben mit höherem Home-Office-Anteil zur Regel wird, da somit auch Reisezeit und Bürofläche eingespart wird. Hierfür wird Bandbreite benötigt. Das Problem, das sich den Kabelnetzbetreibern nach dem sprunghaft angestiegenen Einsatz von Videokonferenzen mit Beginn der Pandemie stellt, liegt hauptsächlich im Upstream. Die Upstream-Kapazitäten werden durch die Live-Bilder, die ein jeder gleichzeitig aus seinem Wohnzimmer Richtung Internet streamt, sehr belastet. Bisher steht in den weltweiten

HFC-Netzen mehr Downstream- als Upstream Bandbreite zur Verfügung. Symmetrische Datenraten von 10 Gbps kämen besonders dem Upstream zugute,



um den wachsenden Bedarfen gerecht zu werden. Somit trifft die 10G-Initiative durchaus den Geist der Zeit. Covid19 hat jedoch auch gezeigt, dass noch eine Menge Ingenieurarbeit vor uns liegt, um die systemrelevante kabelgebundene Kommunikationsindustrie für die kommenden Jahre wetterfest zu machen. DOCSIS 4.0 im Zusammenspiel mit der 10G-Initiative der Kabelindustrie ist ein handfestes Werkzeug, um diese Arbeit auf dem koaxialen Anteil der Netze zu verrichten. ■



© Adams Group

Dr.-Ing. Alexander C. Adams

ist Geschäftsführer der Firma Adams Network Engineering, einem Unternehmen der Adams Group. Alex verfügt über 19 Jahre Erfahrung in der deutschen und internationalen Breitbandkommunikationsindustrie. Er ist europäischer Repräsentant der SCTE – Society of Cable Telecommunications Engineers (US), arbeitet in der Proactive Network Maintenance Research Gruppe der CableLabs und ist Dozent an der Jade Hochschule in Wilhelmshaven. Alex hält einen Bachelor- sowie Master Abschluss in Elektrotechnik von der University of Hawai'i und hat an der TU Darmstadt promoviert.