

# DOCSIS 3.1 – des Netzbetreibers Zeitkaufprojekt

Von Dr.-Ing. Alexander C. Adams

Man erinnere sich an den Grund für die Existenz des DOCSIS-Protokolls. Der Name allein drückt den tieferen Sinn aus: DOCSIS = Data-over-Cable-System-Interface-Specifications. Also Schnittstellenspezifikationen für Systeme, die Daten über Kabel transportieren. Man könnte auch sagen, Schnittstellenspezifikationen für Systeme, die Daten über Netze transportieren, die nicht für einen Transport solcher Signale konzipiert wurden.

Die sogenannten „Kabelfernsehnetze“ 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. Die Übertragung von digital modulierter Information durch weiterhin analoge elektromagnetische Schwingung über koaxiale Infrastrukturen bedurfte eines neuen Ansatzes, zudem dieser bi-direktional sein musste. Das resultierende Ergebnis war 1997 das DOCSIS-Protokoll der US-CableLabs, von der US-amerikanischen Society of Cable Telecommunications Engineers (SCTE) in den DOCSIS-Standard gegossen, der auch in Deutschland angewendet wird. Die Konzeption des

Standards entstand aus wirtschaftlichen Notwendigkeiten, ermöglichte er doch den Kabelnetzbetreibern die Vermarktung von Internetdiensten über ein bestehendes Netzwerk.

## Die DOCSIS-Evolution

DOCSIS stellt also prinzipiell die Verkehrsregeln für den Datentransport in HFC-Netzen. 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 und 3.0 nahmen sich des Problems des über die Jahre allgemein gestiegenen Datenbedarfs an, was im Konzept des Channel-Bondings resultierte, das den Datendurchsatz in Up- und Downstream steigert. Abbildung 1 illustriert dies grafisch. Allen DOCSIS-Versionen bis DOCSIS 3.0 ist jedoch das technische Grundkonzept gemein, das auf der althergebrachten Kanalrasterung von 7 MHz/8 MHz (in USA 6 MHz) beruht und jeweils einen schnell modulierenden Träger pro Kanal verwendet.

DOCSIS 3.1 ist das jüngste Kind der großen DOCSIS-Familie. Es ist ein Kind, das im Vergleich zu seinen Geschwistern etwas aus der Art geschlagen ist, da es auf einem anderen technologi-

schen Ansatz beruht als diese. DOCSIS 3.1 basiert auf OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) und wird mit der bereits vertrauten QAM kombiniert. DOCSIS 3.1 OFDM-Kanäle brechen mit der Kanalrasterung, 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 Gbit/s im Down- und 1 Gbit/s im Upstream möglich.

Jedoch Vorsicht mit solchen Zahlen! Diese beziehen sich auf Erweiterungen des Frequenzbereichs in Up- und Downstream, die mit DOCSIS 3.1 möglich, jedoch nicht vorgeschrieben sind. 10 Gbit/s werden im Downstream erreicht, wenn dieser vorher auf 1,794 GHz erweitert wurde. Im Upstream sind nach einer Erweiterung des Frequenzbereichs auf 204 MHz 1 Gbit/s Datendurchsatz möglich. Eine Erweiterung des Downstreams auf zunächst 1,2 GHz ist ebenfalls eine Option, jedoch werden in diesem Fall keine 10 Gbit/s über das Spektrum transportiert. Abbildung 2 gibt hierzu einen groben Überblick.

## Herausforderungen beim DOCSIS 3.1-Upgrade

Hierin wird sich in Deutschland ein Unterschied zum US-amerikanischen Markt darbieten, da auch beim DOCSIS 3.1-Upgrade dasselbe Prinzip wie bei den vorherigen gelten wird: Möglichst wenig Tiefbau, denn Tiefbau beinhaltet 80 Prozent aller Kosten am Netz! Dem-

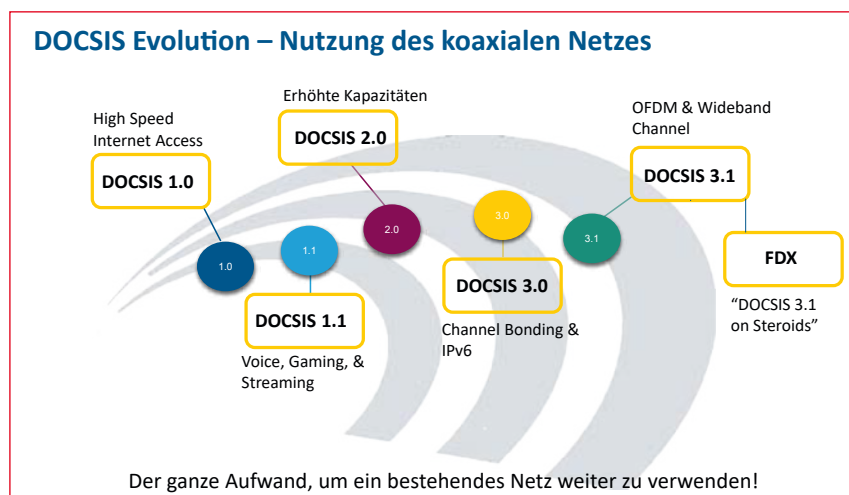


Abbildung 1: DOCSIS-Evolution

zufolge enthalten deutsche Netze auch heute noch ein „Sammelsurium“ an Abzweiger- und Splittergenerationen (300 MHz, 450 MHz, 606 MHz, 862 MHz, 1 GHz), während die an Masten verbauten Netze der Amerikaner einen einfachen Zugang zu allen passiven Komponenten gewähren und dementsprechend in jedes Upgrade einbezogen werden.

Es ist sehr fraglich, ob ein passives Element, das für einen bestimmten Frequenzbereich konzipiert worden ist, auch bei der Verdoppelung oder Verdreifachung dieses operativen Bereichs noch befriedigend funktioniert. Im Gegenteil, stochastische Analysen solcher Elemente haben ergeben, dass sich das Übertragungsverhalten oberhalb des Konzeptionsbereichs nur sehr schwer mathematisch beschreiben lässt. Daher ist in Deutschland zunächst eine Erweiterung des Downstreams auf 1,2 GHz zu erwarten. Der Upstream hat diesbezüglich (und ausnahmsweise) aufgrund seiner Lage im unteren Frequenzband weniger Probleme und es ist anzunehmen, dass er in Deutschland eine Erweiterung auf 204 MHz erfahren wird. Ansonsten ist jedoch ein Upgrade auf 204 MHz/1,2 GHz in der Durchführung nicht anders, als es bei den Vorgängerversionen auch war, denn die aktiven Komponenten müssen für Up- und Downstream ausgetauscht werden. Diese Prozesse werden sich nicht maßgeblich ändern.

Die hauptsächliche Hürde bei der Einführung von DOCSIS 3.1 ist jedoch die Technologie selbst. Der Einbau ist eine Sache, der Betrieb ein andere. DOCSIS

3.1 bringt praktisch eine zusätzliche Übertragungsschicht in die HFC-Netze, mit der Techniker und Ingenieure bisher noch keinen Kontakt hatten. Daher sind Messungen an OFDM-Signalen von solchen an DOCSIS 3.0-Kanälen grundverschieden, was die gemessenen Parameter betrifft. Abbildung 3 stellt die Sequenz der Messungen eines DOCSIS 3.1-Messgerätes dar, wenn es initialisiert. Nun muss der Messtechniker in der Lage sein zu interpretieren, was z. B. eine PHY-Link-Channel-Messung beinhaltet, was ein Next Codeword Pointer ist und was sich hinter den angeführten Profilen verbirgt. Ingenieure und NOC-Techniker sollten die Technologie zudem wissenschaftlich verstehen, denn OFDM beruht auf Präzision und ständiger Optimierung. Daher ist, beruhend auf Erfahrungen bei der Ausbildung von US-Ingenieuren und Technikern in DOCSIS 3.1-Schulungen der SCTE, eines der Hauptprobleme bei der DOCSIS 3.1-Aufrüstung die zeitnahe und flächendeckende Vermittlung der Funktionsprinzipien von DOCSIS 3.1 an die für die Systeme verantwortlichen Techniker und Ingenieure. Ein tiefes Verständnis für die betriebene Technologie ist der Schlüssel zu ihrem erfolgreichen Betrieb!

### Software-Codes, DAA und PNM

Der Standard ist seit 2015 eines der Hot-Topics des Kabelgeschäfts. Die Initiative dazu ging stark vom US-amerikanischen Markt aus, da hier die Konkurrenz durch Glasfasernetzbetreiber besonders groß war und ist. DOCSIS 3.1 ist ein Projekt, dem Netzbetrei-

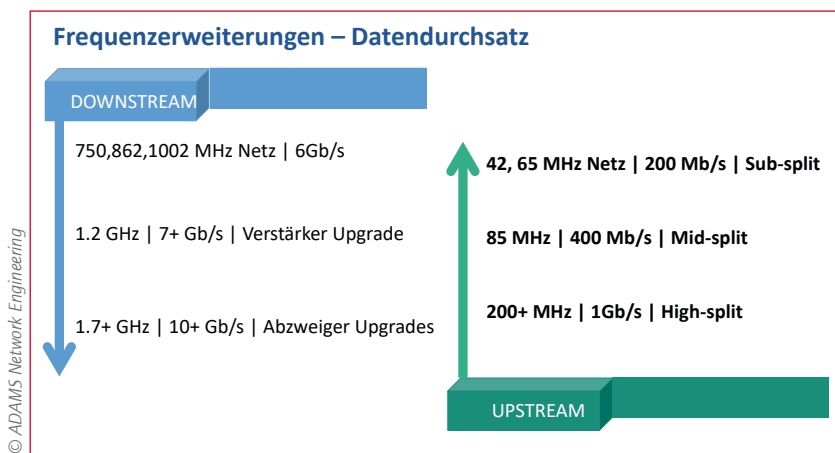


Abbildung 2: Frequenzerweiterungen DOCSIS 3.1 und Datendurchsatz

GENEXIS

## FIBERTWIST



BESUCHEN SIE UNS AUF DER  
ANGA COM HALLE 7 STAND E50

### Genexis erweitert kontinuierlich die FiberTwist-Produktserie

Die Erschließung von Gebäuden stellt Netzbetreiber immer wieder vor neue Herausforderungen. Kostensenkende Installationskonzepte in der Netzebene 3 und 4 bei gefördertem aber auch bei eigenwirtschaftlichem Ausbau werden benötigt.

Die FiberTwist-Plattform mit aktuell 12 Varianten der passiven Faserablage und 12 Varianten der aktiven Netzwerkterminierung unterstützt Netzbetreiber dabei, Projekte schnell, flexibel und effektiv umzusetzen.

### Merkmale

- » PtP, GPON, RFoG
- » CATV Option
- » 1 und 4 LAN Ports
- » Layer 2 und Layer 3
- » Flexible Faserablage
- » auch für den geförderten Ausbau zugelassen
- » Kompaktes Design (11 x 11 x 4,6 cm)

ber ein Zeitfenster von fünf bis zehn Jahren zu gewähren, die er nutzen kann, um seine Infrastruktur weiter in den optischen Bereich zu entwickeln, ohne sich dabei von Konkurrenten am Markt den Takt diktieren lassen zu müssen. Tatsächlich hat z. B. der US-Netzbetreiber Comcast mittlerweile ca. 90 Prozent des Netzes auf DOCSIS 3.1 umgerüstet und besteht sehr gut gegen die Konkurrenz am Markt. Hilfreich ist hierbei auch, dass mittlerweile die großen Hersteller der westlichen Welt auf Software-Codes zugreifen können, die die Operation der Hardware des DOCSIS 3.1 Upstreams ermöglichen. Bis vor einigen Monaten noch war das einzige operative DOCSIS 3.1-System in Up- und Downstream weltweit eines des chinesischen Herstellers Huawei, das seit über zwei Jahren bei Netzbetreibern in Dänemark und Spanien sehr zufriedenstellend im Einsatz ist.

In Kombination mit Distributed-Access-Architecture-Ansätzen, bekannt unter den Begriffen Remote-PHY und Remote MAC/PHY (Abbildung 4), bleibt unter Zugrundlegung von „Nielsen's Law“ (nach der sich die Bandbreite eines High-End-Nutzers um 50 Prozent pro Jahr erhöht) die HFC-Infrastruktur für das anvisierte Zeitfenster den rein optischen Netzen ebenbürtig, was den benötigten Datendurchsatz angeht.

Digitale Systeme arbeiten effizienter als analoge, sie sind zudem oft billiger in der Anschaffung und im Betrieb sowie

### DOCSIS 3.1 Parameter ... Eine zweite PHY-Layer

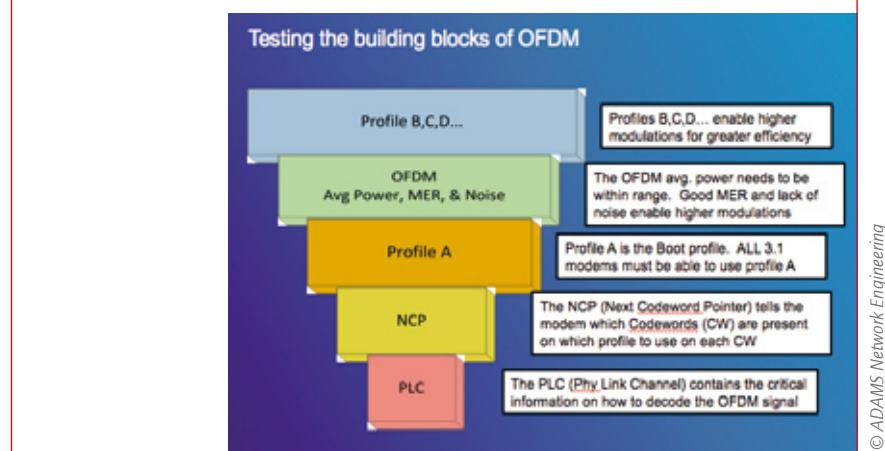


Abbildung 3: Testschritte bei der Messung von DOCSIS 3.1

in der Wartung. Das Problem mit koaxialen Kabeln ist die Verwendung analoger Signale, um digital modulierte Information zu übertragen. Die Verwendung von Distributed Access Architecture verlagert die eigentliche Modulation weiter in Richtung Kunde, die Kommunikation zwischen übergeordneten Netzabschnitten und dem Optical Node erfolgt dann über digitale Laser, sie wird praktisch zu einem digitalen Ethernet-Link. Somit wird der digitale Netzanteil weiter zum Kunden getrieben.

Der erhöhte Bandbreitenbedarf durch z.B. 4K- und IP-Video macht zudem eine weitere Netzsegmentierung not-

wendig, Distributed Access Architectures erhöhen in Kombination mit DOCSIS 3.1 die Leistung des Netzes durch Dezentralisierung und Virtualization des Headends und der Netzfunktionen. Der Betrieb von digitalen Ethernet-Links wirkt sich positiv auf Bandbreite und Fiber Effizienz (Wellenlänge, Distanz) aus, er erlaubt den Einsatz zentralisierter Datencenter und ein flexibles Bandbreitenmanagement.

Ein weiterer Vorteil von DOCSIS 3.1 ist die Möglichkeit, technische Parameter aus dem Netzwerk auszulesen, was in den Vorgängerversionen komplizierter war. DOCSIS 3.1 ist somit ideal für

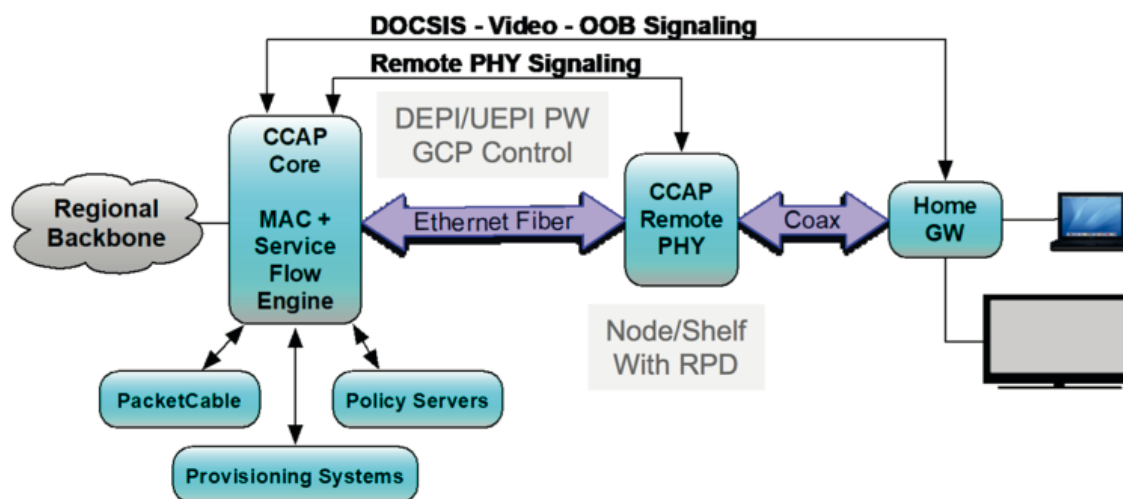


Abbildung 4: Distributed Access Architecture



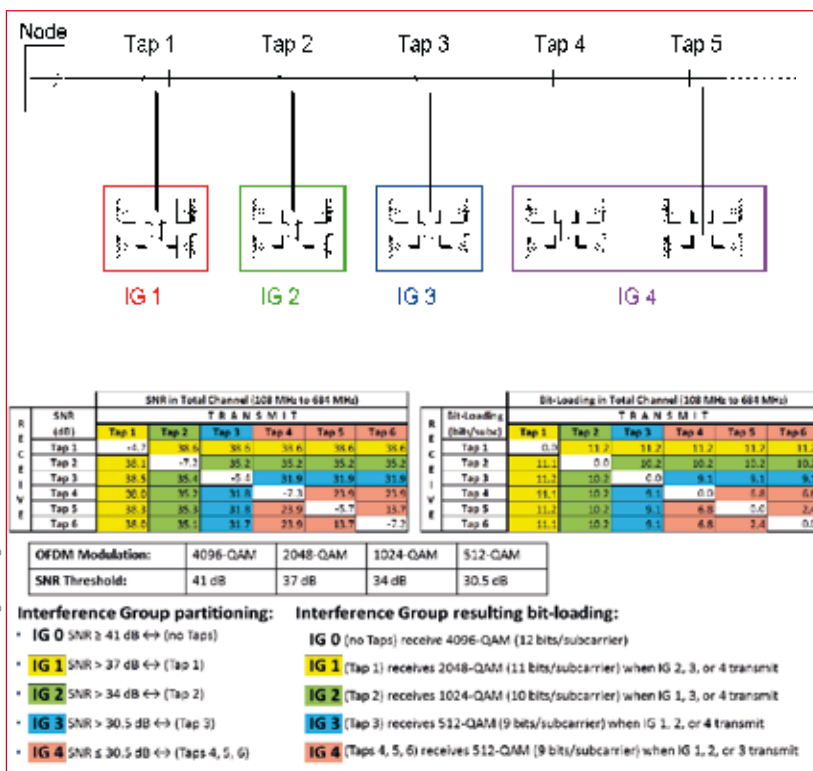


Abbildung 5: Full Duplex Docsis: Interference Groups

den Einsatz von Proactive-Network-Maintenance-Systemen (PNM). PNM basiert auf der Analyse von Pre-Equalization Coefficients, die in jedem DOCSIS-Netz als Teil des Ranging-Prozesses zwischen CM und CMTS ausgetauscht werden. Die Analyse dieser Daten in speziellen Softwareapplikationen versetzt einen Netzbetreiber in die Lage, Störungen im Netz auf 2 m genau vorherzusagen und zu beheben, bevor sie zur vom Kunden bemerkten Störung werden. Ein Netzbetreiber, der in die Zukunft schauen kann! Diese Technologie kommt bei US-Netzbetreibern bereits seit einigen Jahren sehr erfolgreich zum Einsatz und hat bereits viele Millionen Dollar in nicht erfolgten Truck-Rolls alleine eingespart. DOCSIS 3.1 macht diese Systeme noch sehr viel mächtiger, da es sehr viel mehr Daten zu diesem Zweck zur Verfügung stellt. Alleine aus betriebswirtschaftlichen Gründen ist daher PNM ein Thema der näheren Zukunft für jeden Netzbetreiber.

### Der nächste Standard: FDX: Full Duplex DOCSIS

DOCSIS 3.1 in Kombination mit Distributed Access Architecture und

PNM gibt den HFC-Netzbetreibern ein überaus leistungsfähiges Werkzeug an die Hand, mit dem sie ihre Konkurrenzfähigkeit am Markt für die nächsten Jahre behaupten können. Aber was kommt danach? Der nächste Schritt könnte FttH sein, und in der Tat haben einige US-Netzbetreiber beim Upgrade auf DOCSIS 3.1 bereits Faser mit an die Masten gehängt. Andererseits arbeiten die CableLabs zurzeit an einer Erweiterung des DOCSIS 3.1-Standards, genannt FDX: Full Duplex DOCSIS. Diese Erweiterung ermöglicht nunmehr bis zu 10 Gbit/s symmetrischen Datendurchsatz im Up- und Downstream. Hierzu wird neben dem klassischen Up- und Downstream ein ca. 500 MHz breiter Frequenzbereich für Datenübertragung in beide Richtungen, unter gewissen Randbedingungen sogar auf derselben Frequenz, vorgesehen: Dieses Verfahren ist sehr kompliziert, es beinhaltet viel Computerleistung, um bei diesen Übertragungen die gegenseitigen Beeinträchtigungen der Signale untereinander zu kontrollieren. Hierzu müssen Modems konstant in sogenannte Interference Groups eingeteilt werden, wie in Abbildung

## DOCSIS Fibre Solutions for CATV Networks

### Optical Broadband Network Equipments



Rückweg: 65 / 85 / 204 MHz  
Vorwärtsweg: 1.2 GHz

OBI free

### PON-1000 Solution

#### Powerful Optical Network highway

- Volle Kompatibilität mit DOCSIS 3.1 und G-PON Welt
- Vermeidung von DOCSIS 3.1 Netzrevolution Haken
- Optimale Glasfaser Erschliessung von Neubauten

# EMC



Electronic Media Communication SA  
6592 S. Antonino  
Switzerland

Tel. +41 91 823 88 35  
www.emc-web.com

5 dargestellt. Die Komplexität und der beachtliche Datendurchsatz geben FDX den Spitznamen „DOCSIS on Steroids“.

FDX beruht auf einer N+0 Architektur, es finden also keine weiteren Verstärkungen hinter dem Optical Node statt. Die deutsche Netzstruktur beruht auf einer NE3, einem HÜP (Hausübergabepunkt) und meist einem nachfolgenden Hausverstärker, weist also diesbezüglich Unterschiede zu US-Netzen auf. Für einen großflächigen Einsatz von FDX in deutschen Netzen wird dieser strukturelle Unterschied nicht unbedeutend sein.

Auf den Ingenieur in der Breitband-

kabelindustrie kommen noch interessantere Zeiten zu, denn für einen HFC-Netzbetreiber mit substantiellem Koaxialanteil macht DOCSIS 3.1 unbedingt Sinn, um sich den Anforderungen des Marktes stellen zu können. Wenn man aber bedenkt, wie kurz die Anstände zwischen technischen Neuerungen werden, dann bekommt man das Gefühl, es gäbe bereits etwas grundlegend Neues, bevor die letzte Neuerung überhaupt ausgerollt wurde. Die digitale Kommunikation entwickelt sich immer weiter und die Breitbandindustrie steht dabei an vorderster Front. In diesem Geschäft darf man sich über Langeweile nicht

beklagen ... und auch nicht über Probleme, denn Ingenieure lösen Probleme.

### DOCSIS 3.1-Schulung

Die SCTE/ISBE bietet am 11. Juni 2018 eine eintägige kostenfreie DOCSIS 3.1-Schulung „DOCSIS Essentials Boot Camp“ in englischer Sprache an. Dozent ist Alexander Adams. Der Veranstaltungsort ist das Dorint-Hotel an der Messe in Köln. An der Teilnahme Interessierte müssen sich dafür bei der SCTE registrieren: [http://scte.informz.net/scte/page/ISBE\\_DOCSIS31\\_Essential\\_Boot\\_Camp](http://scte.informz.net/scte/page/ISBE_DOCSIS31_Essential_Boot_Camp)



## Drei Fragen an Dr.-Ing. Alexander C. Adams

### 1. Welchen Weg werden die deutschen Kabelnetzbetreiber bei der Spektrumserweiterung im Down- und Upstream hauptsächlich gehen?

Ich gehe davon aus, dass deutsche Netzbetreiber mit substantiellem koaxialen Netzanteil den Upstream auf 204 MHz erweitern, jedoch beim Ausbau des Downstreams nicht auf 1,794 GHz, sondern auf 1,2 GHz setzen werden. Da die passive Infrastruktur hauptsächlich unterirdisch verlegt ist und nicht für die von DOCSIS 3.1 verwendeten Frequenzbereiche konzipiert wurde, ist das physikalische Verhalten dieser Bauteile in hohen Frequenzbereichen nicht präzise vorherzusagen. Die Alternative wäre, die Abzweiger und Verteiler auszutauschen, aber das bedeutet Tiefbau, der bekanntlich kostenintensiv ist.

### 2. Was ist die größte technische Herausforderung bei der Einführung von DOCSIS 3.1?

Die größte Herausforderung dürfte DOCSIS 3.1 selbst darstellen. Es handelt sich nicht um eine Erweiterung eines bekannten Konzepts, vielmehr stellt es ein im Breitbandkabel neues Konzept vor, das mit dem existierenden optimal zusammenwirkt. Ingenieure und Techniker müssen auf diese neuen ingenieurtechnischen Ansätze geschult werden, denn das Verständnis der Technologie ist der Schlüssel zu einer erfolgreichen Einführung und zum optimierten Betrieb eines DOCSIS 3.1-Systems. Eine Analogie aus dem Automo-

bilbereich wäre ein Ingenieur oder Mechaniker, der bisher an reinen Verbrennungsmotoren gearbeitet hat und sich nun auf einmal mit elektrischen Hybridfahrzeugen beschäftigen soll. Auch in diesem Fall ist eine Schulung auf die Funktion von Hybridfahrzeugen zielführend in der Optimierung der Kundenzufriedenheit.

### 3. Wann wird die Einführung von DOCSIS 3.1 in Deutschland abgeschlossen sein, was kommt danach?

Eine schwierige Frage, es lässt sich nicht genau sagen. Tatsache ist, dass die großen deutschen Netzbetreiber Vodafone/KDG, Unitymedia und PŸUR an der Einführung von DOCSIS 3.1 und DAA arbeiten und Pilotprojekte fahren. Von einer weiträumigen Einführung ist auszugehen. Ich denke, das Thema wird in den kommenden zwei bis drei Jahren in Deutschland aktuell sein. Die weitere Entwicklung in der geplanten Akquisition von europäischen Liberty-Netzen durch Vodafone kann sich auf den Zeitplan und die Strategien auswirken, das wird man abwarten müssen. Was den Einsatz von FDX angeht, so gehe ich nicht von einer flächendeckenden Anwendung in Deutschland aus, sondern eher in solchen Bereichen, in denen die Infrastruktur eine N+0-Architektur betriebswirtschaftlich sinnvoll erscheinen lässt. Aber alte HFC-Hasen wissen: Die Faser kommt und DOCSIS kauft uns nur Zeit und spart uns dabei Geld.

### Dr.-Ing. Alexander C. 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) in Europa sowie ihr Subject Matter Expert und Dozent für das Thema DOCSIS 3.1. 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.