

# Virtual Segmentation ... Überholen auf der rechten Spur

Von Dr.-Ing. Alexander C. Adams

Wussten Sie, dass es auch in Amerika Breitbandkommunikationsnetze gibt? Das stimmt in der Tat. Überhaupt gibt es in Amerika die meisten Dinge, die man aus Europa kennt. Das ist den ältergedienten unter uns spätestens seit Quentin Tarantinos Film „Pulp Fiction“ bekannt, wie auch die Tatsache, dass die Dinge dort dann doch ein wenig anders sind. Diese feinen Unterschiede sind durchaus auch in der Breitbandkommunikation zu finden.

In den USA sind breitbandige kabelgebundene Netze überwiegend oberirdisch verlegt, also an Masten gehängt. Für das mitteleuropäische Auge sieht das manchmal so aus, als hätte man es gestern aufgestellt, um es morgen wieder abzubauen, aber hier hat der amerikanische Pragmatismus die Oberhand behalten. Der Vorteil eines oberirdisch zugänglichen Netzes ist eben der, dass man die Kabel und Bauteile sehen und diese leicht und kostengünstig bei jedem Upgrade austauschen kann. Außerdem ist es einfach, neue Glasfaserleitungen an die bestehenden Masten zu hängen, um Fasern weiter in Richtung Kunden zu treiben und dabei doch einen Anteil der koaxialen Infrastruktur zu erhalten. Das lohnt sich, denn die bestehende Infrastruktur ist bezahlt, neue kostet Geld. Dieser Ansatz wird zurzeit weltweit durch die Einführung von Distributed Access Architecture (DAA) und DOCSIS 3.1 verfolgt, um Cluster zu verkleinern und die Datendurchsätze zum und vom Kunden zu erhöhen.

## Unterirdisch verlegte Netze – Licht und Schatten

In Europa entsteht uns jedoch ein Problem aus den oben erwähnten kleinen Unterschieden, denn in der Alten Welt verlegen wir unsere Netze gerne unter der Erde. Das hat den Vorteil, dass sie die Wahrnehmung unserer lieblichen mitteleuropäischen Umwelt nicht stören wie gigantische Wäscheleinen,



## „Virtual Fiber“: Koaxkabel wird virtuell zur Glasfaser

Wenn Probleme der Lösung bedürfen, schlägt die Stunde der Ingenieure. Diese gehen von einfachen Ansätzen aus, wenn sie sich an die Arbeit machen. In diesem Fall ist es prinzipiell folgender: Wenn kein Glasfaserkabel an einen Remote-Phy Node zu legen ist, weil das aus irgendeinem Grund unrentabel oder nicht möglich ist, dann muss man eben die an diesen Punkt führende koaxiale A/B-Linie sozusagen als Ersatz-Glasfaser oder virtuelle Glasfaser verwenden. Man „befördert“ also das koaxiale Kabel zur Glasfaser, ohne dass es eine wäre ... das ist unter Kabeln vergleichbar mit der Verleihung eines neuen Jobtitels ohne gleichzeitige Anhebung des Gehalts. Dieser Ansatz wird durch „Virtual Fiber“ realisiert, unter Verwendung eines auf Ethernet-over-Coax basierenden Verfahrens (IEEE 802.3) in der NE3, das den bekannten Anwendungen dieser Technologie in der NE4 nicht unähnlich ist. Virtual-Fiber-Ansätze sind daher besonders in unterirdisch verlegten Netzen eine sehr attraktive Lösung, um DAA-Technologie wie Remote-PHY (R-PHY) oder Flexible-MAC-Architecture (FMA) ohne kostenintensive Tiefbaumaßnahmen zeitnah ins Feld zu führen. In Deutschland und Europa finden sie besonders im Zusammenhang mit Node Splits als „Virtual Segmentation“ Anwendung.

Dr.-Ing. Alexander Adams ist Geschäftsführer der Adams Network Engineering



und dass sie unter der Erde dem Biss des gemeinen Eichhorns entzogen sind (siehe Abbildung 1).

Es gibt aber auch erhebliche Nachteile dieser Bauweise. Zum einen ist ein unterirdisches Netz teuer zu verlegen und zu warten, etwa 80 Prozent aller Netzkosten entfallen auf den Tiefbau. Auch ist ein Upgrade eines solchen Netzes grundsätzlich verschieden von seinem amerikanischen Pendant, da bei jedem Upgrade aufgrund der Kosten nur ein Teil der passiven Elemente ausgetauscht werden kann, was wiederum Auswirkungen auf die Einsatzfähigkeit neuer Technologien hat. Außerdem gestaltet sich das Ziehen neuer Fasern für den Einsatz von DAA-Technologie schwierig ... es ist kostenintensiv und zeitaufwändig aufgrund der nötigen Genehmigungsverfahren, beides ist traditionell problematisch in der Kabelindustrie.



© CableLabs, InGeNeOs-Group

Abb. 1: Probleme oberirdischer Netze – ein Eichhörnchen hat nie Feierabend

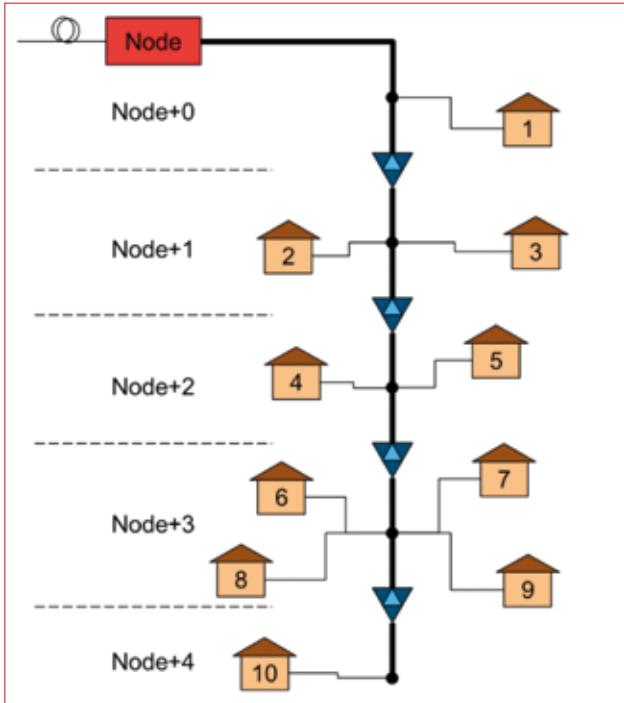


Abb. 2: HFC-Netz hinter dem Optical Node

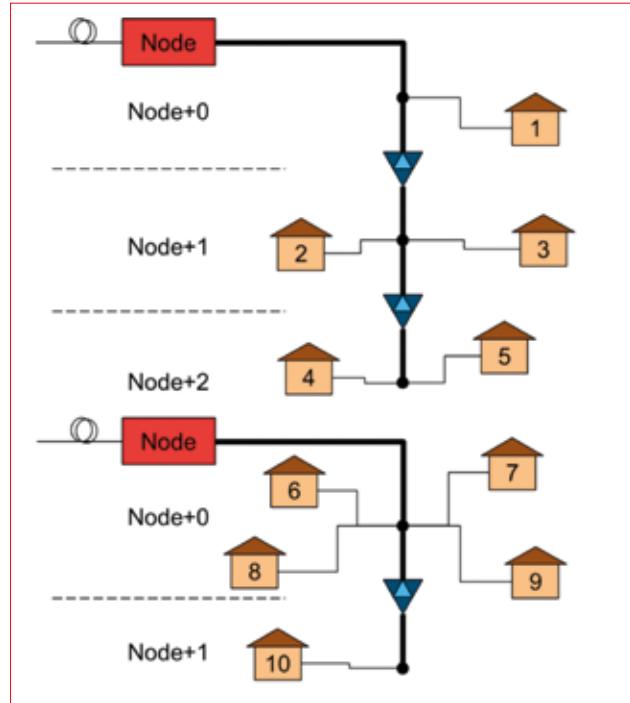


Abb. 3: HFC-Netz, klassischer Node-Split

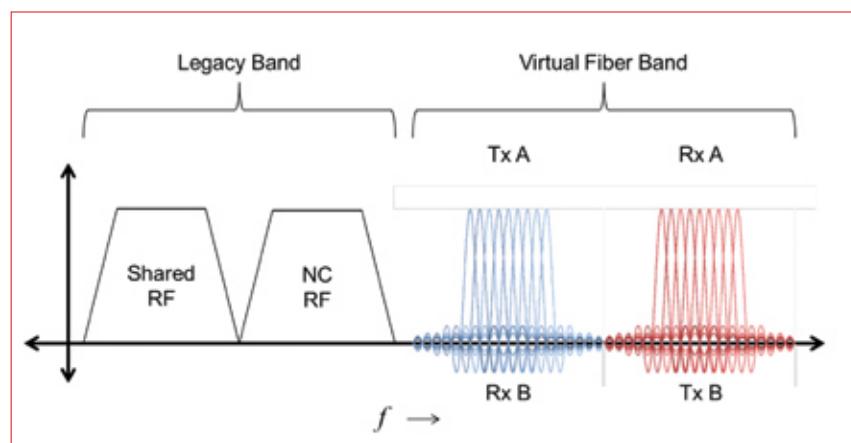
Ein Netzbetreiber erwägt einen sogenannten Node- oder Cluster-Split, wenn der Datendurchsatz für die an einen Optical Node (optisch-elektrischer Wandler) angeschlossenen Kunden unbefriedigend ist oder droht solches zu werden. Prinzipiell werden in diesem Fall die an einen Optical Node angeschlossenen Kunden auf zwei Nodes oder Cluster verteilt, indem ein weiterer Node neben dem bereits bestehenden eingerichtet wird, was die Service Groups effektiv halbiert. Bei einem Node-Split wird hierfür ein bestehender Verstärkerpunkt zum Optical Node umgerüstet, der in den meisten Fällen mit neuverlegten Glasfasern angeschlossen werden muss, wie in Abbildung 2 und 3 illustriert.

### „Überholspur“ auf dem koaxialen Frequenzband

Der Virtual-Segmentation-(VS)Ansatz geht nunmehr davon aus, dass diese zusätzlichen Fasern unter Umständen gar nicht notwendig sind. Vielmehr spart man sich kostspieligen Tiefbau, indem man die koaxialen A/B-Linien im praktischen Sinne als Glasfaser gebraucht, was den Transport von digitalen Ethernet-Paketen angeht. Hierzu verwendet man den Frequenzbereich von 1 GHz/1.2 GHz bis zu 3 GHz,

oder auch höher, indem man neben dem traditionellen HFC-Band bis 1 GHz ein deziertes Downstream- sowie Upstream-Spektrum für die simultane bi-direktionale VS-Übertragung zur Verfügung stellt. Dieses ist im normalen HFC-Frequenzband unbelegt und kann problemlos für diesen Zweck in Kombination mit der bestehenden Kanalbelegung verwendet werden. Das Prinzip ist in Abbildung 4 erläutert. Der VS-Frequenzbereich funktioniert als „Ersatzfaser“, um einen weiteren Optical Node anzusteuern, indem man im koaxialen Frequenzband eine „Überholspur“ definiert, die anstelle neu verlegter Glas-

faser die digitalen Signale an den neu definierten Node über die bestehende A/B-Line transportiert, bzw. von ihm weg ins übergeordnete Netz. Dies ist in Abbildung 5 dargestellt. In diesem Fall spricht man von einem „Virtual Node Split“ oder „Virtual Segmentation“, da die Teilung des ursprünglichen Clusters elektrotechnisch, und nicht physikalisch durch Verlegung einer Glasfaser-Verbindung an den neuen Optical Node erfolgt. Das Virtual Fiber Band ist hoch moduliert, er befindet sich im Frequenzspektrum weit rechts ... hier wird in großem Stil auf der rechten Fahrspur überholt.



© S. Krapp, MaxLinear

Abb. 4: Frequenzbelegungsprinzip Virtual Segmentation

© Broadband Library

## Die Distributed Access Architecture

Man erinnere sich an den Hintergrund der Distributed-Access-Architecture-(DAA)Technologie. DAA verlegt die Funktionen der 1. Schicht des OSI-Modells, der Übertragungsschicht (Physical Layer, PHY), von der CCAP in die Remote-PHY Nodes im Netz, also in die Optical Nodes nahe am Kunden. Dies sind die Funktionen der Modulation und der eigentlichen Signalübertragung und in diesem Fall spricht man von Remote-PHY. Verlegt man zusätzlich weitere Funktionen der 2. Schicht des OSI-Modells (Data Link Layer, DOCSIS MAC & LLC) in die Optical Nodes, spricht man von Remote MACPHY oder auch Flexible MAC Architecture (FMA). Der zweite Fall verteilt die meisten Funktionen der CCAP oder CMTS sowie der übergeordneten Logistik des Datenverkehrs im Netz und aggregiert nur noch die notwendigsten Informationen im CCAP-Core im Headend.

Dies resultiert in mehreren Vorteilen. Einer der wichtigsten ist die Tatsache, dass die Remote-PHY Nodes im Netz nunmehr mit digitalen Lasern über digitale Signale angesteuert werden können. Die Kommunikation zwischen Headend und den Remote-PHY Nodes geschieht über Ethernet-Frames, klassische digitale Datenkommunikationspakete, die z.B. auch zwischen Computern und Kabelmodems ausgetauscht werden. Die Faser ist zu einer leistungsfähigen 10G-Ethernet-Leitung bis an den Remote-PHY Node geworden. Bisher wurde die Datenkommunikation über analoge Laser gesteuert, die eine analoge Lichtintensitätsmodulation durchführen und wesentlich kostenintensiver zu warten sowie störanfälliger und weniger leistungsfähig sind.

Hier kommt man nunmehr an ein logisches Problem: Wenn digitale Datenpakete basierend auf Ethernet-Frames über die Glasfasern an die Remote-PHY Nodes geschickt werden, wie kann dann eine A/B-Linie diese Faser virtuell ersetzen? Koaxiale Kabel sind hervorragend für die Datenkommunikation geeignet, sie weisen eine hohe verfügbare Bandbreite und eine relativ geringe Signaldämpfung im Vergleich zu anderen Technologien auf. Außerdem ist das Signal im Koax-Kabel im Idealfall durch

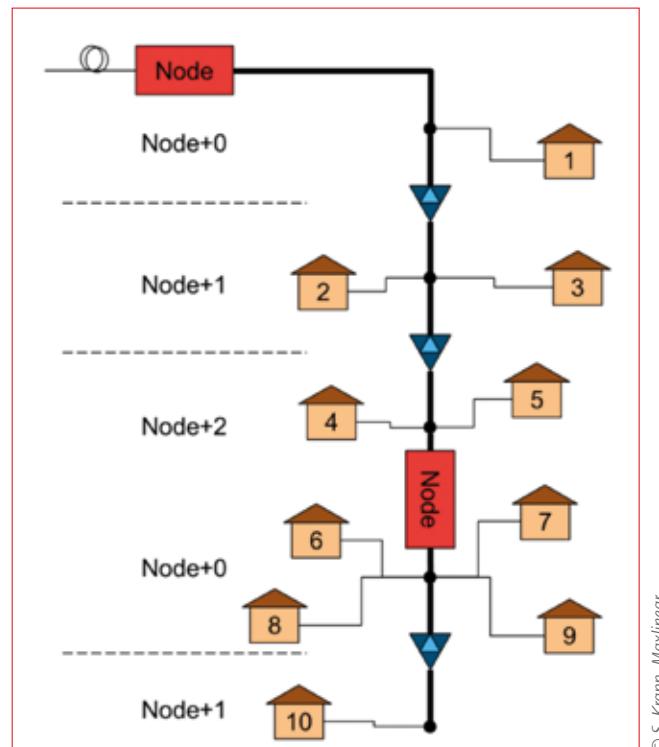


Abb. 5: Virtual Node Split, Virtual Segmentation

den Faradaykäfig des Außenleiters vor Einstrahlung geschützt. Allerdings verwendet man in Breitbandkommunikationsnetzen koaxiale Kabel als analoges Medium, denn die HF-Signale, die sich im Dielektrikum zwischen Innen- und Außenleiter fortbewegen, sind analoge Signale mit Amplitude, Frequenz und Phase. Dabei entsprechen definierte Amplituden- und Phasenkombinationen der Quadratur-Amplitudenmodulation bestimmten binären Zahlenfolgen von null und eins. Unsere Koax-Kabel übertragen keine digitale, sondern digitalisierte Information auf analogen Schwingungen.

## Im Huckepack durchs Koax-Kabel

Wie drückt man also digitale Ethernet-Frames durch ein analoges Koax-Kabel? Die Antwort ist: Man lässt sie Huckepack fahren. Abbildung 6 stellt eine Virtual-Segmentation-Verbindung zwischen einem CCAP-Core und einem Remote-PHY Node mit einem zusätzlichen Transmitter dar. Man beachte die gelb eingefärbten koaxialen Verbindungen (A/B-Linie) zwischen den einzelnen Baugruppen. Innerhalb der einzelnen Transmitter und Receiver muss zwischen Ethernet- und HF-Protokollen gewandelt werden. DOCSIS regelt die

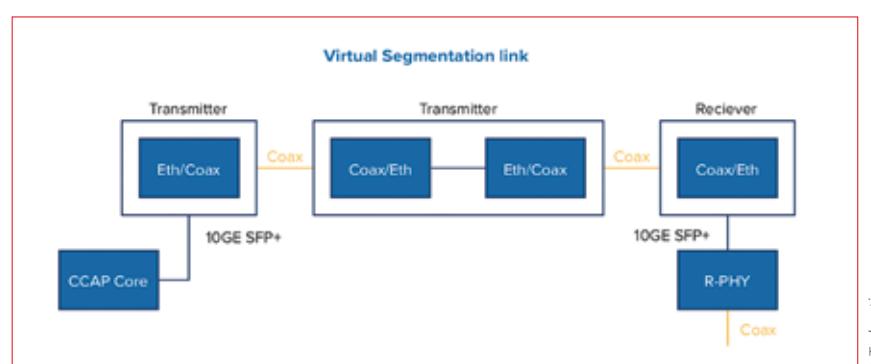


Abb. 6: Virtual Segmentation Link

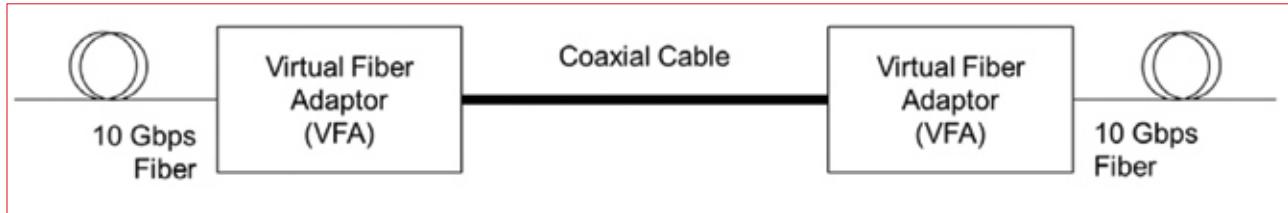


Abbildung 7: 10 Gbps Punkt-zu-Punkt-Ethernet-Verbindung über Koax

HF-Datenkommunikation über koaxiale Kabel. DOCSIS steht für „Data-over-Cable-System-Interface-Specifications“, der Name ist Programm.

Die Wandlung findet in einem Virtual Fiber Adaptor (VFA) statt, wie in Abbildung 7 schematisch dargelegt. Ein VFA ist ein Media Converter oder eine Bridge zwischen Ethernet- und HF-Netzen, die einen digitalen Ethernet-Eingang in ein HF-Ausgangssignal verwandeln, und umgekehrt. Abbildung 7 stellt eine 10 Gbps Ethernet-Punkt-zu-Punkt-Verbindung mit zwei VFAs dar.

Eine Konfrontation verschiedener Datenformate an einer Schnittstelle im Netz ist durchaus nichts Ungewöhnliches und geschieht in der Kommunikationstechnik häufiger. Das Problem lässt sich lösen, indem man Datenpakete eines Formats praktisch als Payload in die Datenpakete eines anderen Formats integriert, wobei ein Paketformat eine

Struktur der gesendeten Information in definierten Informationsabschnitten vorgibt. Ethernet-Frames werden also in DOCSIS-Frames verpackt, bevor sie auf den hohen VS-Frequenzen auf der A/B-Linie an einen weiteren Optical Node geschickt werden ... sie fahren Huckepack. Am Receiver werden die Ethernet-Frames wieder aus der DOCSIS-Information gewonnen. Man kann sich als Analogie ein Auto vorstellen, dass man für die Fahrt durch einen Alpentunnel auf einen Autozug lädt. Das Eisenbahnnetz ist ein anderes Netzwerk als das Straßennetz, das Paket „Auto“ ist nicht dafür geeignet, auf einer Eisenbahnschiene zu fahren, es sei denn es wird in ein Paket „Eisenbahn“ verwandelt. Das geschieht durch die Verladung des Autos auf den Zug. Am Zielort fährt das Auto von dem Autozug herunter und ist wieder ein Paket „Auto“ im Straßenverkehr.

### Virtual Segmentation in der praktischen Anwendung

Das Prinzip hinter Virtual Segmentation und dem dafür verwendeten Ethernet-over-Coax-Ansatz ist also gar nicht so kompliziert. Der HFC-Fuchs weiß aber, der Teufel ist bekanntlich ein im Detail verhaftetes Eichhörnchen mit scharfen Zähnen, und so gestaltet sich auch VS in der praktischen Anwendung durchaus komplizierter. Die meisten HFC-Netze verwenden eine Kombination aus Broadcast- und Narrowcast-Signalen. Broadcast-Signale sind für mehrere Downstream Service Groups an verschiedenen Nodes identisch und werden von allen auf den gleichen Frequenzen empfangen. Narrowcast-Signale sind je nach Service Group unterschiedlich. Ein Beispiel für ein Broadcast-Signal ist das klassische TV-Programm, während der Internet-Datenverkehr unterschiedlicher Benut-

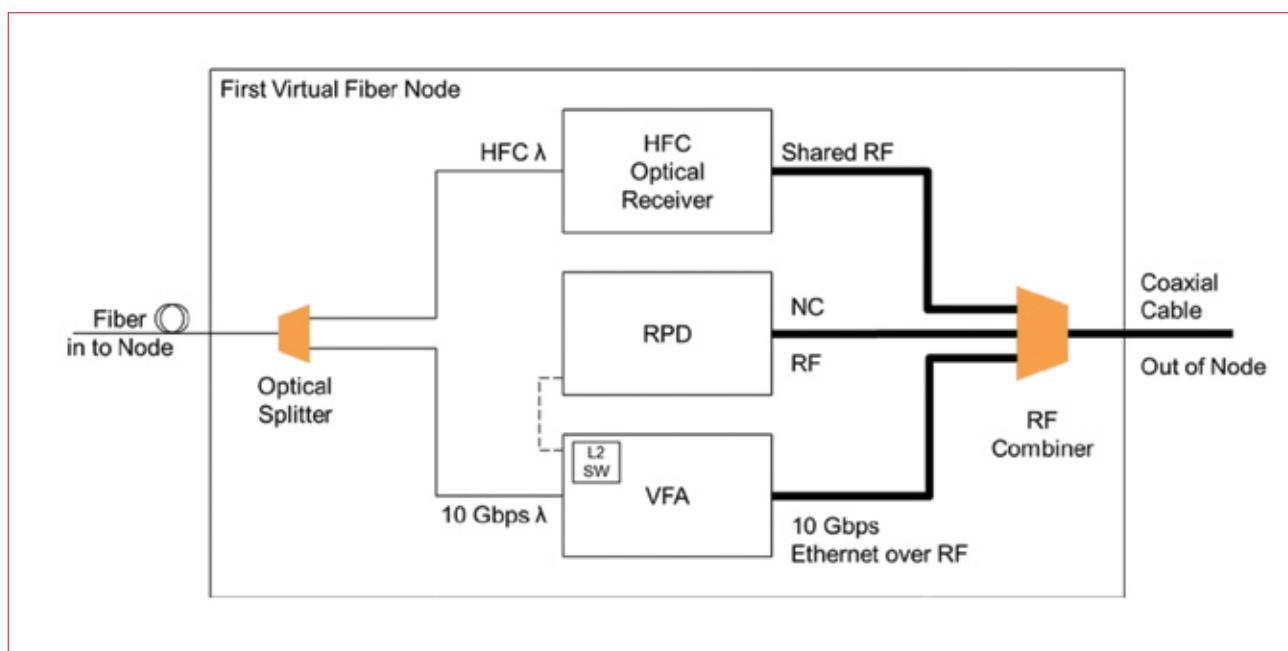


Abb. 8: Virtual Fiber Node Blockdiagramm (First in Line)

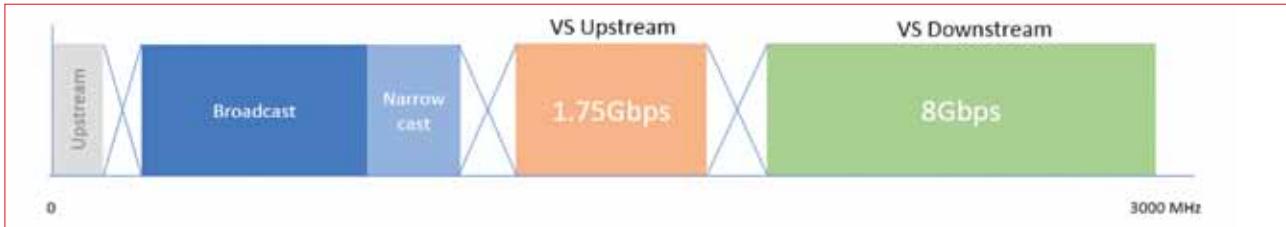


Abb. 9: Frequenzbelegung für Virtual Segmentation

zer sich jeweils voneinander unterscheidet und ein Beispiel für Narrowcast darstellt.

Node-Splits werden durchgeführt, wenn die Narrowcast-Kapazität eines Optical Nodes an ihre Grenzen stößt, wenn also der Bedarf an Datendurchsatz zu groß wird. Virtual Fibers werden verwendet, um sich dem steigenden Bedarf an Bandbreite flexibel anpassen zu können, indem man Broadband-Signale mit für jede Downstream Service Group verschiedenen Narrowband-Signalen kombiniert.

Abbildung 8 stellt das Blockdiagramm eines Virtual Fiber Nodes (First in Line) dar, wie von S. Krapp, Maxlinear, 2017 dargestellt. Das optische Eingangssignal wird durch einen optischen Splitter geschickt und dient auf verschiedenen Wellenlängen einem Virtual Fiber Adapter sowie einem HFC Optical Receiver als Eingangssignal. Der VFA wandelt die Ethernet- in HF-Signale. In den VFA ist ein Layer 2 Switch integriert, der Pakete entweder direkt auf das traditionelle HFC-Band senden kann, oder auf einen zweiten 10 Gbps-Port, an den in Abbildung 8 ein Remote-PHY Device (RPD) angeschlossen ist. Hierüber läuft der Narrowcast-Datenverkehr an nachgeordnete Nodes, dies ist sozusagen die Auffahrt zur oben metaphorisch angeführten „Überholspur“. Die Abbildung zeigt ebenfalls einen HFC Optical Receiver, dessen Eingang inhaltlich aus den analogen Broadcast-Diensten besteht und die in HF-Signale für die Übertragung auf der koaxialen Leitung gewandelt werden. Dieser optische Receiver fällt weg, wenn alle Broadcast-Signale in digitalem Format vorliegen, denn der Remote-PHY Device kann sowohl Broadcast- wie auch Narrowcast-Signale generieren.

Virtual Segmentation ist eine ingenieurtechnische Anwendung, die die

Einführung von Remote-PHY-Technologie in HFC-Netzen zeitnah und kostengünstig ermöglicht, ohne zusätzliche Glasfaser legen zu müssen. Die hierdurch erzielbaren Datendurchsätze können je nach Belegung des traditionellen HF-Spektrums bis zu 10 Gbps symmetrisch betragen.

Virtual Segmentation wird besonders in Deutschland mit besonderem Interesse betrachtet, da dieser Ansatz hierzulande einen großen Markt hat. Tiefbau ist traditionell teuer, aber die Clustergrößen müssen schnell angepasst werden, da Datendienste immer umfangreicher werden. Im Endeffekt interessiert es den Kunden meistens nicht, mit welcher Technologie er seine Daten empfängt ... er fängt aber verstärkt an, sich dafür zu interessieren, wenn er sie gar nicht oder nicht schnell genug empfängt. VS-Lösungen können für gewöhnlich binnen zwei Tagen implementiert werden, während Tiefbauarbeiten in der Durchführung alleine oftmals ein bis zwei Wochen in Anspruch nehmen.

Abbildung 9 zeigt schematisch die Frequenzbelegung für Virtual-Segmentation- und HFC-Signale (Broadcast- und Narrowcast) am Beispiel der aktuellen VS-Lösung der Firma Technetix. Sie erhält das traditionelle HFC-Spektrum und verwendet die Frequenzen zwischen 1 GHz und 3 GHz zur Übertragung von VS-Signalen bi-direktional in unterschiedlichen Frequenzbereichen als Up- und Downstream. Im VS-Upstream werden hierbei Datendurchsätze von bis zu 1.75 Gbps erreicht, im VS-Downstream sind es bis zu 8 Gbps.

Ein weiterer Vorteil von Virtual Segmentation Ansätzen ist eine geringe Latenzzeit des Systems. Low Latency ist ein Schlüsselfaktor in modernen Kommunikationsnetzen, Signale dürfen nicht lange im Netz verweilen. Die

typische Latenzzeit für z.B. DOCSIS 3.1 Signale liegt bei unter 10 ms.

### Zusammenfassung

Virtual Segmentation ist ein weiterer Ansatz, die bestehende und in den meisten Fällen bezahlte koaxiale Infrastruktur dort zu erhalten und weiter zu verwenden, wo es Sinn macht. Selbstverständlich werden HFC-Netzbetreiber den optischen Anteil ihrer Netze über die kommenden Jahre weiter an den Kunden bringen – zunächst an weitere Optical Nodes und dann auch an die Gebäude. Der weiterhin wachsende Bandbreitenbedarf der Kunden wird diese Entwicklung zwangsläufig fördern. Es ist jedoch einfach nicht möglich, in kurzer Zeit all die im Augenblick notwendigen Node-Splits physikalisch durchzuführen. Genehmigungsverfahren nehmen viel Zeit in Anspruch, die Projektplanungen sind kompliziert und es mangelt an hierfür ausgebildeten Tiefbauern. Virtual Segmentation füllt diese Lücke und gibt dem Netzbetreiber zusätzliche Flexibilität an die Hand, die technischen, organisatorischen und finanziellen Probleme besonders beim Ausbau eines unterirdisch verlegten Breitbandkommunikationsnetzes zu bewältigen. (CBT) ■