

Auswirkungen von DOCSIS 3.1 auf die nächste Generation HFC-Netze

von Thomas Metzger, Leiter Technik Helltec Engineering AG Schweiz



HFC- contra FTTH- Netze

Mit dem Aufbau von Glasfasernetzen durch die Swisscom und die Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) in der Schweiz stellt sich für die Kabelnetzbetreiber die Frage, ob mittel- und langfristig über HFC-Netze noch konkurrenzfähige Dienste erbracht werden können. Die Antwort sei vorweggenommen: moderne Kabelnetze lassen sich mit DOCSIS 3.1 hinsichtlich ihrer Performance so weiterentwickeln, dass diese bezüglich Endkundendienstleistungen in keiner Art und Weise den reinen Glasfasernetzen nachstehen. Kabelnetze unterliegen seit je her einer einzigartigen evolutionären Entwicklung, welche im neuen DOCSIS-Standard ihre Fortsetzung findet. Der punktuelle Ausbau der HFC-Netze auf FTTH im Bereich von Neuerschliessungen oder Geschäftskundenanbindungen kann aus Gründen der herrschenden Konkurrenzsituation sinnvoll sein, ist aber nicht zwingend notwendig.



DOCSIS 3.1 – Alternative zu FTTH

Dass der Aufbau eines reinen Glasfasernetzes um Faktoren mehr kostet als die Weiterentwicklung der bestehenden HFC-Netze hat auch die Industrie erkannt und im Herbst 2013 mit CableLabs die Spezifikationen eines neuen DOCSIS-Standards veröffentlicht. Dieser als DOCSIS 3.1 bezeichnete Nachfolger des heutigen DOCSIS 3.0 ist zu einem hohen Grad rückwärtskompatibel. DOCSIS 3.1 beruht grundlegend auf der Forderung nach einer besseren spektralen Nutzung der vorhandenen Bandbreite, der Anwendung von wesentlich robusteren und effizienteren Modulationsverfahren und Fehlerkorrekturmechanismen, sowie

einer generellen Erweiterung des Frequenzbereichs im Vorwärts- und Rückweg (DS und US). Damit soll die Leistungsfähigkeit der zum Teil über 15 Jahre alten Übertragungsstandards so gesteigert werden, dass das brachliegende Leistungspotential der



Abb. 1: Thomas Metzger, Leiter Technik Helltec Engineering AG

heutigen HFC-Netze vollumfänglich genutzt werden kann. Mit DOCSIS 3.1 können bei Bedarf Datenanschlüsse mit einer Geschwindigkeit von $n \times 1 \text{ Gb/s}$ im DS sowie 1 Gb/s im US realisiert werden, ohne die gleichzeitige Übertragung der heutigen DVB-C Programmpalette einzuschränken.



Facts zu DOCSIS 3.0

Die Netze in der Schweiz verfügen grösstenteils über 862 MHz Bandbreite im DS. Mit der momentan stattfindenden Migration der analogen Programmpalette zu einer rein digitalen sind die Voraussetzungen geschaffen, um einen weiteren Ausbau der DS-Kapazität voran zu treiben. Zudem stellen die durchschnittlichen Zellgrössen von 150-

250 Nutzungseinheiten grösstenteils (noch) keine Einschränkung für den Ausbau der DS- und US-Kapazität dar. Auch im Bereich der Hubs ist nach wie vor Potential für eine Kapazitätserhöhung vorhanden, indem die Zuordnung von Lasersender zu Node von heute 1:4 sukzessive auf 1:1 reduziert wird. Dasselbe gilt auch für die US-Verschaltung. Dieses Vorgehen ist mit einem parallelen Ausbau der CMTS-Infrastruktur verbunden.

Messungen an Cable Modems (CM) mit 16x8 Konfiguration (16 DS + 8 US) haben ergeben, dass Nettodatenraten (Nutzdaten) im DS von 750 Mb/s und im US von 140 Mb/s erreicht werden können. Im DS wurde die Konstellation QAM-256 und im US QAM-64 gefahren. Der Nettodatendurchsatz im Verhältnis zur theoretischen Kanalkapazität im DS liegt somit bei ungefähr 85% (15% Verlust durch Protokollrahmen) und im US bei 58% (42% Verlust durch Protokollrahmen und Effizienz des CMTS-Schedulers). Hochgerechnet auf die neusten auf dem Markt erhältlichen 24x8 CM ergeben sich folgende Werte:

- Kanalkapazität DS: 1325 Mb/s
- Kanalkapazität US: 245 Mb/s
- Nutzdatenrate DS ¹⁾: 1125 Mb/s
- Nutzdatenrate US: 140 Mb/s

Aus diesen Zahlen ist die Asymmetrie von DOCSIS 3.0 bezüglich DS- zu US-Kapazität ersichtlich, bedingt durch die maximale obere Eckfrequenz des Rückwegs von 85 MHz nach Standard. Dabei wird der 140 Mb/s Nutzdatendurchsatz nur durch das Bündeln von 8 US Kanälen erreicht. Strikt nach DOCSIS 3.0 Standard sind allerdings nur 4 Kanäle spezifiziert.

1) Ethernet Interface CM max. 1 Gb/s

Alle Abbildungen: Helltec Engineering AG



Facts zu DOCSIS 3.1

Die Einführung von DOCSIS 3.1 ist gleichbedeutend mit einem Quantensprung und vervielfacht die heutige Übertragungskapazität in einem HFC-Netz. Dabei ist es dem einzelnen Netzbetreiber freigestellt, was und wieviel er von den gesamten Möglichkeiten des neuen Standards nutzen möchte. Es gilt die Regel: je mehr Vorteile von DOCSIS 3.1 genutzt werden

sollen, desto genauer muss das bestehende HFC-Netz analysiert werden, um die richtigen Anpassungen vorzunehmen. Aber auch für den Fall, dass der Netzbetreiber vorläufig keine Änderungen an seinem HFC-Netz vornehmen möchte, können einige wichtige Merkmale des neuen Standards bereits genutzt werden. So können beispielsweise dank effizienten Fehlerkorrekturmechanismen höhere QAM-Konstellationen gefahren werden. DOCSIS 3.1 ist zudem vollumfänglich rückwärtskompatibel zu DOCSIS 3.0. Dies erlaubt eine sanfte Migration – also zeitlich etappiert und geografisch segmentiert.



Gründe für die Entwicklung von DOCSIS 3.1

Die seit Herbst 2013 veröffentlichten Spezifikationen für DOCSIS 3.1 basieren grundlegend auf der Forderung nach generell mehr Übertragungskapazität, Entschärfung der starken Asymmetrie zwischen DS und US und einer besseren spektralen Nutzung der zur Verfügung stehenden Frequenzbereiche. Hierbei ist wichtig zu wissen, dass bezüglich der heutigen Limitierung der Datenübertragungskapazität nicht primär das HFC-Netz und seine Komponenten als solche verantwortlich sind,

Schlüsselmerkmale DOCSIS 3.1	
Eigenschaften	Wert
Bandbreitenerweiterung im DS Bandbreitenerweiterung im US	1218 MHz 204 MHz
QAM-Konstellationen DS und US	QPSK ... QAM-4096
OFDM im DS OFDMA im US	25 / 50 kHz Kanalabstand 25 / 50 kHz Kanalabstand
Modernste Fehlerkorrektur - Inner FEC - Outer FEC	- LDPC (Low Density Parity Check) - BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem)
MMP (Multiple Modulation Profiles)	DS und US
Rückwärtskompatibilität zu DOCSIS 3.0: - DS - US	- 2x 192 MHz OFDM + 24x SC-QAM - 2x 96 MHz OFDM + 8x SC-QAM

Abb 2: Schlüsselmerkmale DOCSIS 3.1

sondern die veralteten Fehlerkorrekturmechanismen und Modulationsverfahren, welche seit Beginn von DOCSIS vor über 15 Jahren eingesetzt werden.



Schlüsselmerkmale DOCSIS 3.1

Die relevanten Merkmale des DOCSIS 3.1-Standards sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst. Diese beinhaltet die Themen Frequenzbereichserweiterung, Multi-carrier-QAM (OFDM), LDPC-Fehlerkorrektur, Multiple Modulation Profiles (MMP) und Rückwärtskompatibilität.



Frequenzbereichserweiterung

Mit der neusten DOCSIS-Spezifikation werden die nutzbaren Bandbreiten im US und DS erweitert. So müssen DOCSIS 3.1-fähige CMTS (Cable Modem Termination System) und CM (Cable Modem) im DS den Bereich 85-1'218 MHz abdecken (DOCSIS 3.0: 108-862 MHz) und im US 5-204 MHz (DOCSIS 3.0: 5-85 MHz). Die Frequenzerweiterung im US

geht dabei zu Lasten des verfügbaren DS-Bereichs, welcher um 150 MHz reduziert wird. Dieser Verlust kann durch eine entsprechende Bandbreitenerweiterung von 862 MHz auf 1 GHz nahezu kompensiert werden.



Einführung von OFDM

Wie schon bei DVB-T, LTE oder WLAN hält bei DOCSIS 3.1 eine Modulationstechnik namens „Orthogonal Frequency Division Multiplex“ Einzug. OFDM, auch Multi-Carrier-QAM genannt, wird gleichermassen im DS wie im US eingesetzt. Ein OF-

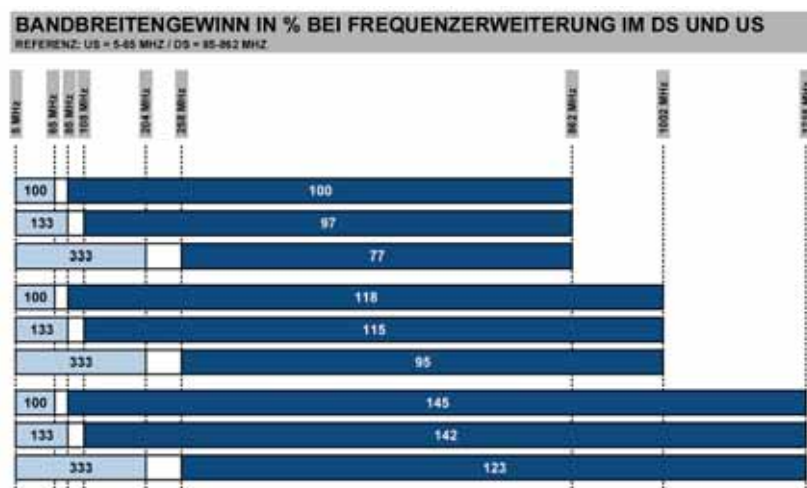


Abb 3: Bandbreitengewinn bei verschiedenen Frequenzerweiterungen

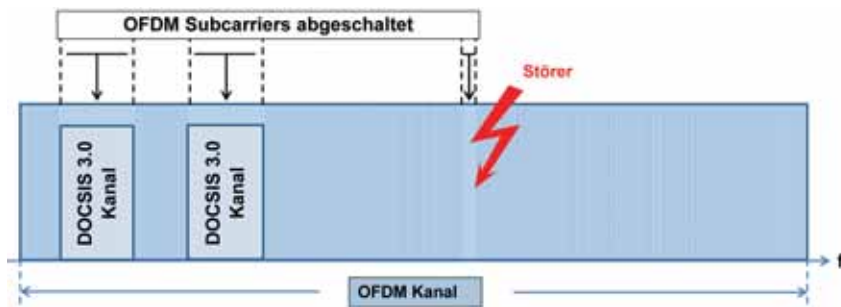


Abb 4: OFDM Kanal im Parallelbetrieb mit DOCSIS 3.0 Kanälen

DM-Kanal besteht im Gegensatz zu einem heutigen Single-Carrier-QAM-Kanal aus vielen einzelnen Trägern, oder auch „Subcarriers“ genannt. Die einzelnen Subcarriers eines Kanals können dynamisch und unabhängig voneinander unterschiedliche Modulationsarten von QPSK bis QAM-4096 annehmen („adaptive bit loading“ genannt), dies in Abhängigkeit des CINR-Wertes des Übertragungskanals. OFDM kennt in der DOCSIS 3.1-Welt zwei verschiedene Kanalabstände der Subcarriers, nämlich 25 kHz oder 50 kHz. Im Fall von 25 kHz sind 40 Subcarriers pro MHz untergebracht, im 50 kHz-Modus deren 20. Der zu übertragende Datenstrom wird über sämtliche Subcarriers verteilt, wodurch eine hohe Immunität gegenüber frequenzselektiven Störern entsteht. Im Gegensatz zu Single-Carrier-QAM unter DOCSIS 3.0 hat OFDM den grossen Vorteil, dass bei auftretenden Störungen immer nur eine kleine Anzahl Subcarriers, nie aber der ganze Übertragungskanal betroffen ist. Einzelne Subcarriers können auch ganz abgeschaltet werden - sei es, um permanent gestörte Frequenzbereiche von der Datenübertragung auszuschliessen, oder aber um DOCSIS 3.0-Kanäle nicht zu stören, welche sich mitten in einem OFDM-Block befinden können. Dies ist die Voraussetzung für einen erfolgreichen Parallelbetrieb zwischen altem und neuem DOCSIS-Standard.

Bezüglich OFDM werden an CMTS und CM hohe Anforderungen gestellt. Beide müssen im DS mindestens zwei OFDM Blöcke (Kanäle) mit einer variablen Breite von 24 - 192 MHz verarbeiten können. Im US sind es mindestens zwei variable Blöcke mit einer Breite von 6.4 - 96

MHz. Zusätzlich müssen aus Gründen der Rückwärtskompatibilität zeitgleich 24 DOCSIS 3.0-Kanäle im DS und deren 8 im US übertragen werden können.

Effiziente Fehlerkorrektur dank LDPC

Bei DOCSIS 3.0 basiert die FEC (Forward Error Correction) auf dem Reed-Solomon Code, was im DS die Anwendung von maximal QAM-256 und im US von QAM-64 erlaubt. Bei DOCSIS 3.1 wurde eine neue FEC-Technik namens LDPC (Low Density Parity Check) verwendet, welche u.a. auch beim neusten Mobile Standard LTE eingesetzt wird. Dank LDPC sinken die CINR-Anforderungen an den Übertragungskanal für eine bestimmte QAM-Konstellation um rund 6 dB.

Beispiel: für 64-QAM im US erfordert DOCSIS 3.0 in der Praxis rund 32 dB Störabstand (CINR), während DOCSIS 3.1 mit 26 dB auskommt. Umgekehrt gilt die Aussage, dass beim Einsatz von DOCSIS 3.1 dank LDPC 2 Bits pro Symbol mehr übertragen werden können als bei DOCSIS 3.0, ohne die Qualität des Übertragungskanals steigern zu müssen. Beispiel: wenn heute im US eines Netzes auf Grund der vorhandenen Störungen maximal QAM-16 gefahren werden kann, so erlaubt DOCSIS 3.1 den Betrieb mit QAM-64. Der entsprechende Kapazitätsgewinn liegt bei 56%, ohne dass eine Frequenzerweiterung oder Massnahmen zur Steigerung der Qualität des Übertragungskanals vorgenommen werden müssen.

Multiple-Modulation Profiles (MMP)

Eine weitere Optimierung der Übertragungskapazität ist bei DOCSIS 3.1 über die Definition von verschiedenen Modulationsprofilen gegeben. Dabei werden CM mit ähnlichen Kanalbedingungen in Profilen zusammengefasst. Auswertungen von über 2 Millionen CM eines grossen Kabelnetzbetreibers haben ergeben, dass die Übertragungsbedingungen

Modulation	CNR Ziel HF-Planung Upstream [dB] inkl. 3 dB Betriebsreserve		Verbesserung MAC-Layer Kapazität US (LDPC contra RS) bei gleichen CNR Anforderungen	DOCSIS 3.1 CNR Spezifikationen @1.2 GHz @AWGN [dB]	
	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1		DS	US
QPSK	20	14	---	---	11
8-QAM	23	17	---	---	14
16-QAM	26	20	108%	15	17
32-QAM	29	23	74%	---	20
64-QAM	32	26	56%	21	23
128-QAM	35	29	46%	24	26
256-QAM	---	32	39%	27	29
512-QAM	---	35.5	34%	30.5	32.5
1024-QAM	---	38.5	30%	34	35.5
2048-QAM	---	42	27%	37.5	39
4096-QAM	---	46	25%	41.5	43

← Δ 6 dB →

Abb 5: Kapazitätsgewinn bei DOCSIS 3.1 durch OFDM und LDPC



Intelligent DOCSIS® 3.1 networks



Richer experience of broadband services enabled by the gigabit speed

Teleste's DOCSIS 3.1-compatible network products take 1.2 GHz downstream capacity everywhere in the cable network, and enable operators to guarantee their subscribers broadband connections with gigabit speed.

We are now introducing new products to our portfolio:

- Intelligent 1.2 GHz fibre optic nodes AC9100 and AC8710
- ACE3, an intelligent and compact broadband amplifier to our ACE family
- HDO921, a space saving dual CATV fibre transmitter with high density and dynamic segmentation
- 1.2 GHz indoor and outdoor passives for a variety of housings

ANGA COM 2015 takes place in
Cologne, Germany, June 9 – 11.
You will find us at stand E19 in hall 10.2.

für diese CM einer gewissen Streuung unterliegen. Das heisst, gewisse CM haben bessere, andere schlechtere Übertragungsbedingungen. Bei DOCSIS 3.0 muss die Modulationskonstellation pro physikalischen Port der CMTS festgelegt werden. Somit richtet sich diese notwendigerweise nach dem CM mit den schlechtesten Übertragungsbedingungen, was eine Ineffizienz für alle anderen CM zur Folge hat, welche bessere Kanalbedingungen vorfinden. Die Vorteile von MMP können wie folgt zusammengefasst werden:

- CM mit denselben CINR-Bedingungen können einem Profil zugeordnet werden
- Bei DOCSIS 3.0 bestimmt das CM mit den schlechtesten CINR Bedingungen die Modulationskonstellation von allen CM, welche über dasselbe CMTS Port versorgt werden
- Bei DOCSIS 3.1 kann jedes CM die höchst mögliche Modulationskonstellation nutzen, welche unter den gegebenen CINR Bedingungen möglich ist

Somit ist die Modulationskonstellation neu nicht mehr an ein physikalisches Port der CMTS gebunden.



Rückwärtskompatibilität

Da bei einem Systemwechsel von DOCSIS 3.0 auf 3.1 nicht alle CM zeitgleich ausgewechselt werden können, ist eine möglichst hohe Rückwärtskompatibilität gefordert. Erste Priorität hat dabei die CMTS, welche sowohl DOCSIS 3.0 Sing-

le-Carrier-QAM-Kanäle wie auch DOCSIS 3.1 OFDM-Kanäle parallel verarbeiten können muss. Somit ist gewährleistet, dass am selben Port sowohl alte wie auch neue CM betrieben werden können, was eine Mischung von DOCSIS 3.0 und 3.1 Endgeräten in derselben physikalischen Netzzelle erlaubt. Aus logistischen und migrationstechnischen Gründen ist es ebenso wichtig, dass auch endgeräteseitig die neuen DOCSIS 3.1 CM den alten 3.0-Standard parallel beherrschen. Die Rückwärtskompatibilität wurde jedoch noch weiter gefasst. So kann ein CM im gemischten Modus herkömmliche DOCSIS 3.0-Kanäle mit OFDM-Kanälen bündeln, was entsprechend hohe Übertragungsgeschwindigkeiten erlaubt. DOCSIS 3.1 Modems kennen drei Betriebszustände:

- Reiner DOCSIS 3.0 Betrieb (mind. 24 DS- und 8 US-Kanäle)
- Reiner DOCSIS 3.1 Betrieb (mind. 2 OFDM-Kanäle mit 24-192 MHz Breite im DS und mind. 2 OFDM-Kanäle mit 6.4-96 MHz Breite im US)
- Gemischter Betrieb DOCSIS 3.0/3.1 (gleichzeitige Erfüllung der minimalen Anforderungen an den reinen DOCSIS 3.0 und reinen DOCSIS 3.1 Betrieb)



Übertragungskapazitäten mit DOCSIS 3.1

Zurzeit sind auf dem Markt weder DOCSIS 3.1 Modems noch Equipment zur Erzeugung und Messung von OFDM-Signalen bis 1218 MHz

erhältlich. Deshalb wird für die Abschätzung der unter DOCSIS 3.1 maximal möglichen Datendurchsätze eine Interpolation aus der DOCSIS 3.0-Welt herangezogen. Anhand dieser lassen sich die nachfolgenden Werte ableiten. Dabei wird angenommen, dass im DS QAM-1024 und im US QAM-256 angewendet wird - sozusagen das Pendant zu QAM-256 resp. QAM-64 im DOCSIS 3.0 Betrieb.

- Kanalkapazität DS: 3300 Mb/s
- Kanalkapazität US: 1230 Mb/s
- Nutzdatenrate DS ¹⁾: 2800 Mb/s
- Nutzdatenrate US: 715 Mb/s

Die Werte zeigen einerseits die stark erhöhte Zunahme der US-Kapazität um Faktor 5 gegenüber DOCSIS 3.0, und andererseits die um Faktor 2.5 gestiegene Kapazität im DS. Wenn man durch gezielte Investitionen ins HFC-Netz die höchstmögliche QAM-Konstellation 4096 fahren kann, klettern obige Faktoren auf 7.5 für den US und 5.0 für den DS. Damit wären pro CM sogar symmetrische Nutzdatendurchsätze von bis zu 1 Gb/s möglich. Welche Werte in der Praxis erreicht werden können, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Auf jeden Fall setzen sie Anpassungen in den heutigen Netzen voraus, allem voran im Rückweg.



Neue Anforderungen an Netztopologie, Zellgrößen und Technologie

Die Einführung von DOCSIS 3.1 stellt neue Anforderungen an das Design von HFC-Netzen. Im DS haben zwei Faktoren einen relevanten Einfluss auf die Planungsparameter. Dies ist einerseits die mögliche Erweiterung des Frequenzbereichs bis 1218 MHz, und andererseits die Möglichkeit, Modulationskonstellationen bis QAM-4096 zu nutzen. Um QAM-4096 überhaupt übertragen zu können, muss auf Grund der hohen CINR-Anforderungen auf die heute übliche Absenkung der digitalen Kanäle von 6 dB verzichtet werden. Das heisst, dass digitale Kanäle künf-

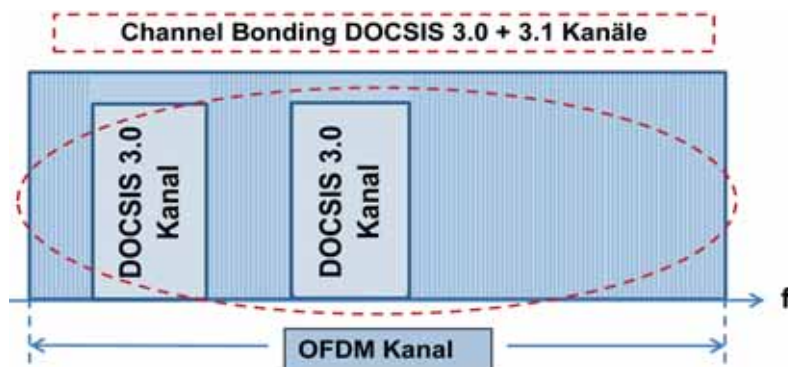


Abb 6: Channel Bonding von DOCSIS 3.0 und 3.1 Kanälen

1) Ethernet Interface CM max. 1 Gb/s

tig annähernd gleich gepegelt werden wie die heutigen analogen PAL-Kanäle. Dies führt zu einer höheren Gesamtlast an Lasersendern wie auch Verstärkern. Für eine zusätzliche Erhöhung der Gesamtlast sorgt die Erweiterung des Frequenzbereichs im DS auf 1218 MHz (Steigerung der Kanalkapazität gegenüber den heutigen 862 MHz Netzen um rund 25%). Um eine Übersteuerung der Aktivkomponenten auf Grund dieser neuen Lastverhältnisse zu vermeiden, muss der OMI-Wert (optischer Modulationsindex) der Lasersender und der Ausgangspegel der Verstärker reduziert werden. Eine Reduktion des Ausgangspegels steht jedoch wiederum im Widerspruch zu den höheren Kabeldämpfungen bei 1218 MHz. Aus diesem Grund sind neue Hybrid-Generationen für Verstärker gefordert, welche auch bei einer digitalen Vollbelegung möglichst hohe Aussteuerpegel garantieren. Im Laufe dieses Jahres werden solche Komponenten auf dem Markt verfügbar sein, welche die Herstellung von Verstärkern mit einer maximalen Aussteuerbarkeit von rund 112 dBuV bei 120 digitalen Kanälen bis 1218 MHz erlauben. Bei einer Kaskadierung von mehreren Verstärkern und unter Berücksichtigung der erforderlichen Reserven wird der Betriebspegel eines Distributionsverstärkers voraussichtlich in der Größenordnung von 109 dBuV (@ 1218 MHz) liegen.

Schwachstelle analoge Optik

Obwohl ab 2016 in der Schweiz die meisten Kabelnetzbetreiber nur noch digitale Kanäle verbreiten (DVB-C und DOCSIS), wird im optischen Netzteil immer noch eine

analoge Übertragungstechnologie eingesetzt (amplitudenmodulierte Lasersender). Im Kontext der erforderlichen Senkung des OMI der Lasersender reduziert sich auch der maximal erreichbare CNR-Wert der optischen Strecke. Die Höhe dieses Wertes wiederum ist aber ausschlaggebend für die maximal nutzbare QAM-Konstellation. Das Gesagte gilt nicht nur für den DS, sondern auch für den US. Mit annähernd 200 MHz Rückwegbandbreite unter DOCSIS 3.1 wird die Last am Rückweglaser bei Vollbelegung gegenüber heute um mehr als Faktor 3 steigen, was dieselben Folgeeffekte hat wie im DS.

Erste Messungen an 1.2 GHz Kaskaden

Erste praktische Erfahrungen bezüglich der Aussteuerbarkeit von Verstärkern konnte Helltec mittels ausführlichen Messungen an einer typischen 1.2 GHz-HFC-Kaskade machen. Dabei wurde der Frequenzbereich von 258-1218 MHz mit 120 QAM-Kanälen belegt, welche eine OFDM-Last unter DOCSIS 3.1 simulieren. Bezüglich der nutzbaren QAM-Konstellationen konnte nachgewiesen werden, dass in Abhängigkeit der Anzahl kaskadierter Verstärker im DS typischerweise QAM-2048 und im US QAM-1024 genutzt werden kann. Die Tabelle unter Abb. 7 zeigt zudem, dass ein analoges optisches System nicht in der Lage sein wird, QAM-4096 zu übertragen. Bezüglich Verstärkerkaskade sollten typischerweise nicht mehr als je ein Trunk-Verstärker (Linie) und ein Distribution-Verstärker (Stamm) kaskadiert werden, um QAM-2048 zu erreichen.

Zellgrößen und QAM-Konstellationen im US

Messungen bei 204 MHz Rückwegbandbreite und einer Vollbelegung des Übertragungsspektrums zeigen dieselben Einschränkungen punkto analoger Optik wie im DS. Dabei spielt die Anzahl der Verstärker pro Netzzelle eine entscheidende Rolle (Gesamtrauschen aller Verstärker). Geht man approximativ von 8 Nutzungseinheiten aus, welche ab einem Distributionsverstärker versorgt werden können, so ist aus der Tabelle unter Abb. 8 zu entnehmen, dass bei einer angestrebten QAM-Konstellation von 1024 die Zellgröße auf 128 Nutzungseinheiten zu beschränkt ist (16 Verstärker à 8 Nutzungseinheiten). Dabei wird davon ausgegangen, dass jede Netzzelle direkt auf ein US-Port der CMTS geführt wird. Die Festlegung der Größe der physikalischen Netzzellen unter DOCSIS 3.1 hat einen direkten Einfluss auf die maximal mögliche Übertragungskapazität des Netzes einerseits, und die Höhe der Investitionen in die CMTS-Infrastruktur andererseits. Ein gutes Netzdesign hat zum Ziel, diese beiden Werte in einem vernünftigen Verhältnis zu halten. Grundsätzlich gilt:

- je kleiner die physikalischen Netzzellen, desto höher die Übertragungskapazität eines HFC-Netzes
- je kleiner die physikalischen Netzzellen, desto höher die Investitionskosten in die CMTS-Infrastruktur

Erfahrungen aus Vorprojekten haben gezeigt, dass unter DOCSIS 3.1

Kaskade	Pegel Out Node	Pegel Out Linie	Pegel Out Stamm	CINR Optisch	CINR Koaxial	CINR Total
Sender + Node + 1 Stamm	105 dBuV	---	109 dBuV	42 dB	52.9 dB	41.7 dB
Sender + Node + 1 Linie + 1 Stamm		---			47.2 dB	40.8 dB
Sender + Node + 2 Linie + 1 Stamm		105 dBuV			44.8 dB	40.2 dB
Sender + Node + 3 Linie + 1 Stamm		43.2 dB			39.6 dB	
Sender + Node + 4 Linie + 1 Stamm		42.1 dB			39.0 dB	

QAM-1024: >37.0 dB	QAM-2048: >40.5 dB	QAM-4096: >44.5 dB	Werte inkl. 3 dB Betriebsreserve
--------------------	--------------------	--------------------	----------------------------------

Abb 7: Mögliche QAM-Konstellationen bei 1218 MHz DS Bandbreite

Anzahl Verstärker pro Netzzelle	Pegel In Node	Pegel In Verstärker	CINR Optisch	CINR Koaxial	CINR Total	
1 Verstärker	65 dBuV	65 dBuV	45 dB	53 dB	44.4 dB	QAM-128: >29.0 dB
4 Verstärker				47 dB	42.9 dB	QAM-256: >32.0 dB
8 Verstärker				44 dB	41.5 dB	QAM-512: >35.5 dB
16 Verstärker				41 dB	39.5 dB	QAM-1024: >38.5 dB
32 Verstärker				38 dB	37.2 dB	QAM-2048: >42.0 dB
64 Verstärker				35 dB	34.6 dB	QAM-4096: >46.0 dB
128 Verstärker				32 dB	31.8 dB	
256 Verstärker				29 dB	29.0 dB	

Werte inkl. 3 dB Betriebsreserve

Abb 8: Mögliche QAM-Konstellationen bei 204 MHz US Bandbreite

Zellgrößen im Bereich von 60-120 Nutzungseinheiten anzustreben sind. Einerseits sind die erforderlichen Verstärkerkaskaden bei dieser Zellgröße kurz (2 Verstärker), andererseits entstehen keine überproportional hohen Kosten bezüglich CMTS-Infrastruktur. Tatsache ist, dass im Gegensatz zu heutigen Netzen mit 65 MHz Rückwegbandbreite, ein 204 MHz breiter Rückweg keine passive Zusammenschaltung von mehreren Netzzellen zulässt, wenn möglichst hohe QAM-Konstellation genutzt werden sollen. Das bedeutet, dass jeder Rückwegempfänger direkt auf ein US-Port der CMTS geführt werden muss.

Ausblick

Es wird eine „Next Generation“ von HFC-Netzen geben, deren Leistungsfähigkeit dank DOCSIS 3.1 massiv gesteigert werden kann. Diese Netze werden bei theoretischen Übertragungsgeschwindigkeiten von grösser 1 Gb/s in beiden Richtungen ein wesentlich besseres Kosten-/Nutzenverhältnis aufweisen als jedes bekannte FTTH-Netz. Gleichzeitig können darauf eine Vielzahl von digitalen Fernseh- und Radio-kanälen transportiert werden – ein Alleinstellungsmerkmal, welches Endkundenprodukte ermöglicht, die von Providern auf FTTH-Netzen nur mit grossem Zusatzaufwand angeboten werden können. Die Industrie



Abb 9: Neuer Geschäftssitz der Helltec Engineering AG in Rothenburg/Luzern

ist daran, den DOCSIS 3.1-Standard bis 2016 in Produkte umzusetzen, dies sowohl bei den aktiven und passiven HFC-Komponenten wie auch im Bereich CMTS und CM. Zudem stehen neue Technologieansätze wie „Remote PHY“, „Distributed CMTS“ oder „Remote CCAP“ vor der Markteinführung, welche eine mögliche Option zur Substitution der heutigen Schwachstelle „analoge Optik“ darstellen, da sie auf eine rein digitale Übertragung der Signale im optischen Netzteil setzen.

Helltec Engineering AG

Helltec Engineering AG hat sich im Bereich der „Next Generation Networks“ ein fundiertes theoretisches und praktisches Wissen erarbeitet. Ein Engineering Team von ausgewiesenen Netzwerkspezialisten ist daran, die ersten „DOCSIS 3.1 kompatiblen“ Netze in der Schweiz zu realisieren. Die Helltec hat ihren Sitz in Rothenburg bei Luzern und beschäftigt über 20 Mitarbeiter.