

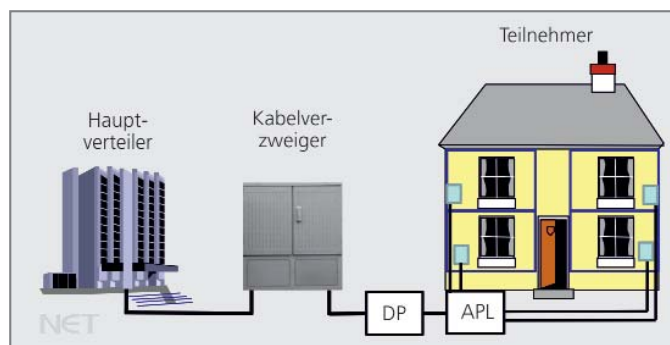
# Erweiterter Frequenzbereich

## Performance von G.fast-212a-Systemen bei Verwendung von in Deutschland üblichen Kabeln

Jonathan Plenske, Paul Necvetaev,  
Kristof Obermann

Die DSL-Projektgruppe der Technischen Hochschule Mittelhessen untersucht bereits seit mehreren Jahren die Performance von G.fast-Systemen sowie das Zusammenspiel von VDSL- (VDSL2 17a und VDSL2 35b, sog. Supervectoring) und G.fast-Systemen. So wurde die Performance eines G.fast-106a-Systems (Frequenzbereich 2,2-106 MHz) und der Einfluss auf Supervectoring-Systeme bereits ausführlich analysiert. Anlass für die im vergangenen Jahr durchgeführten Messungen ist die Erweiterung des G.fast-Frequenzbereichs in der zweiten Generation auf 212 MHz (G.fast 212a).

Bild 1: Einspeisung von VDSL und G.fast



In der Praxis werden das G.fast- und das VDSL2 35b-System in vielen Fällen in demselben Endkabel geführt, wobei VDSL2 35b am Kabelverzweiger (KVz) bzw. am Multifunktionsgehäuse (MFG) und G.fast am Abschlusspunkt Linientechnik (APL) eingespeist wird (Bild 1).

Frühere Untersuchungen zeigten bereits, dass es aufgrund von Übersprechen, d.h. sowohl FEXT (Far End Crosstalk) als auch NEXT (Near End Crosstalk) zu massiven Störungen beider Systeme kommen kann, sobald sich die Frequenzbereiche überschneiden (bis 17,7 MHz bei VDSL2 17a, bis 35 MHz bei VDSL2 35b). Motivation für die aktuellen Messungen war die Ermittlung der Performance von G.fast im erweiterten Frequenzbereich bis 212 MHz sowie die wechselseitigen Störeinflüsse mit einem VDSL2-35b-System.

Die Eckdaten für das G.fast-212a-Verfahren sind:

- Frequenzbereich: 2,2 – 212 MHz;
- Sendeleistung: 4 dBm;
- Trennlageverfahren: TDD (Time Division Duplex).

Zusätzlich wurde die Performance beider Systeme im Mischbetrieb anhand eines typischen Use Cases untersucht.

Um bei den Messungen möglichst realistische Ergebnisse zu erzielen, wurden Kabeltypen verwendet, die bei Installationen in Deutschland üblich sind [1]:

- Verzweigerkabel: A-02YSF(L)2Y 50x2x0,5 St III BD, Längen 100 bis 400 m;
- Endkabel, Variante 1: J-Y(St)Y 10x2x0,6 LG, Längen 50 bis 250 m;
- Endkabel, Variante 2: J-2Y(St)Y 10x2x0,6 St III BD, Längen 50 bis 100 m.
- Endkabel, Variante 3: J-2Y(St)Y 2x2x0,6 St III BD, Längen 50 bis 200 m;
- Endkabel, Variante 4: J-Y(St)Y 2x2x0,6, Längen 50 bis 100 m;
- Endkabel, Variante 5: VER Yv 2x0,5, Längen 50 bis 100 m.

Das Endkabel VER Yv 2x0,5 wird auch als „Klingeldraht“ bezeichnet. Hierbei handelt es sich um ein verdrehtes, ungeschirmtes, zweiadriges Kupferkabel. Der Name rührt daher, dass solche Kabel früher als Signalleitung zwischen Signalgeber und Signalempfänger, wie z.B. einer Klingel, verwendet wurden und daher hauptsächlich noch in Steigleitungen alter Gebäude vorhanden sind. Da diese Kabel als Stromleitungen für Niederspannungen ausgelegt sind, können sie auch als Datenleitung für DSL oder G.fast verwendet werden.

### G.fast 212a only

Die Performance eines G.fast-Systems ist stark abhängig vom verwendeten Kabeltyp. Dies wurde bereits durch frühere Untersuchungen bestätigt [1]. Dabei sind Parameter wie Kabeldämp-

Jonathan Plenske und Paul Necvetaev sind Bachelor-Studierende, Kristof Obermann ist Professor für Informations- und Kommunikationstechnik und Leiter der DSL-Projektgruppe an der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM) in Giessen

fung, Kabellänge, Verseilart und Isolierung entscheidend für die Performance des G.fast-Systems.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die nachfolgenden Messergebnisse nicht die maximal mögliche Performance der G.fast-212a-Hardware darstellen. Es sind lediglich die maximalen Performance-Werte unter Verwendung der aufgeführten Kabeltypen dargestellt.

Zunächst wurden die Tests ausschließlich mit einem G.fast-System mit Übertragung über unterschiedliche Kabeltypen durchgeführt (G.fast only). Im Single-Line-Betrieb (SL) war nur ein G.fast-System im Kabel über Doppelader 1 (DA) aktiv. Im Multi-Line-Betrieb (ML) erfolgten vier Übertragungen parallel über die benachbarten DA1 bis DA4 der jeweiligen Kabel. Bei Multi Line wird stets die mittlere Summendatenrate (Upstream plus Downstream) der vier Systeme angegeben. Es wurde die maximal mögliche Übertragungsbandbreite von 212 MHz verwendet sowie eine SNR-Target-Margin (Signal to Noise Ratio Target-Margin) von 6 dB. Bild 2 zeigt die erzielte Datenrate für den Single- und Multi-Line-Betrieb als Funktion der Übertragungslänge.

Bei den Messergebnissen wird der Einfluss der kabelspezifischen Dämpfungswerte deutlich. So beträgt z.B. die Performance im Single-Line-Betrieb bei einer Kabellänge von 50 m mit einem Kabel des Typs J-2Y(St)Y 2x2x0,6 St III BD (Dämpfung bei 1 MHz: 32 dB/km) noch über 1,9 Gbit/s, wohingegen die Performance unter Verwendung des Kabels vom Typ J-Y(St)Y 10x2x0,6 LG (Dämpfung bei 1 MHz: 48 dB/km) bei gleicher Länge auf ca. 1,6 Gbit/s sinkt. Dies entspricht einer relativen Verminderung der Performance von etwa 15,8 %.

Ähnlich verhält es sich im Multi-Line-Betrieb. Bei 50 m Kabellänge und unter Verwendung derselben Kabeltypen verringert sich die Performance um ca. 11,8 % (J-2Y(St)Y 10x2x0,6 St III BD ca. 1,7 Gbit/s Summendatenrate, J-Y(St)Y 10x2x0,6 LG ca. 1,5 Gbit/s Summendatenrate).

Die Messwerte des Verzweigerkabels vom Typ A-02YSF(L)2Y 50x2x0,5 St III BD sollen nur zum Vergleich und der

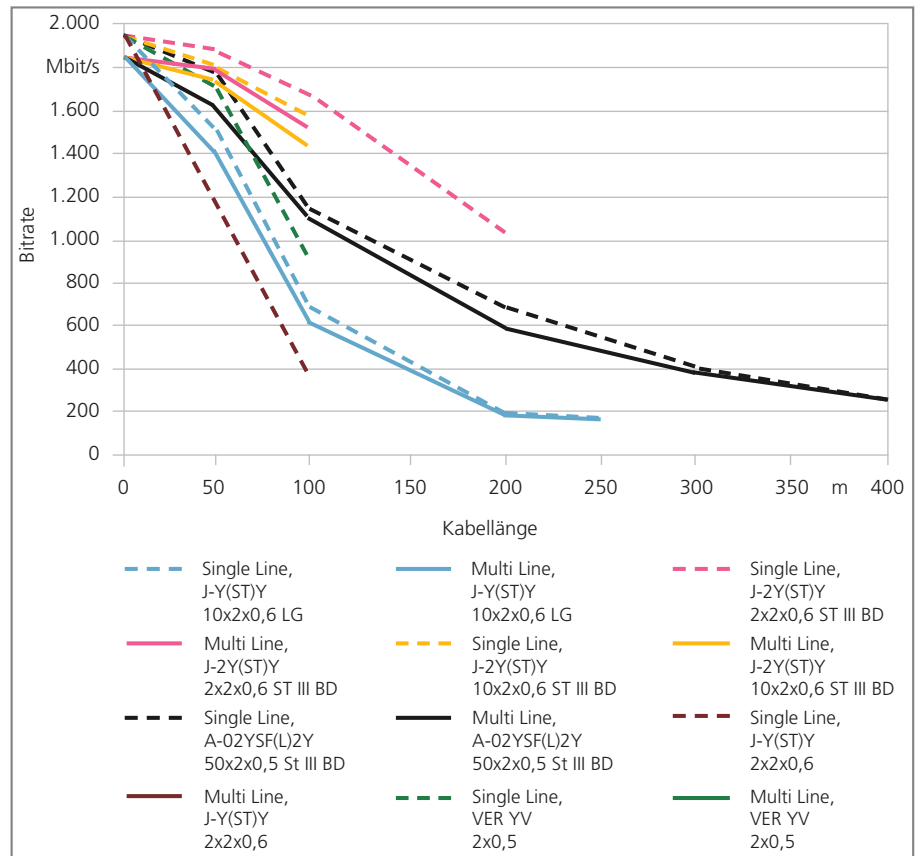


Bild 2: Datenraten im Single- und Multi-Line Betrieb bei unterschiedliche Kabeltypen. Für die Kabel VER YV 2x0,5 und J-Y(St)Y 2x2x0,6 standen keine vier Doppeladern zur Verfügung, so dass hier die Multi-Line-Messergebnisse nicht dargestellt werden können

Einordnung der Performance-Werte dienen. Sie zeigen, dass bei Verwendung eines Kabels mit deutlich geringeren Dämpfungswerten (16 dB/km bei 1 MHz) die Reichweite des G.fast-Systems deutlich über 250 m hinausgeht. Die Verwendung eines solchen Kabels für G.fast-Übertragungen ist in der Praxis jedoch nicht üblich, da es sich um ein Außenkabel handelt.

Aus den Messergebnissen geht ebenfalls hervor, dass bei dem gegebenen Testaufbau und unter Verwendung eines stark dämpfungsbelasteten Kabels der Einsatz von G.fast 212a über eine Distanz von über 150 m hinaus aufgrund der geringen Summendatenrate (ca. 400 Mbit/s mit J-Y(St)Y 10x2x0,6 LG, ML-Betrieb) als wenig sinnvoll erscheint.

### G.fast 212a im APL-Szenario

Im zweiten Teil der Tests wurde das Verhalten des G.fast-Systems unter Ausblendung verschiedener Frequenzbereiche bei Einspeisung am APL untersucht.

G.fast ermöglicht die softwareseitige Konfiguration der Start- und Stopptöne, aus denen sich die Start- und Stopffrequenzen ableiten lassen. Das Ausblenden unterschiedlicher Frequenzen kommt bei Verwendung von G.fast im Mischbetrieb zusammen mit fremden Übertragungssystemen (Aliens), wie z.B. VDSL2 17a oder VDSL2 35b, zum Tragen.

Daher wurden bei den Tests die Frequenzbereiche bis 17,7 MHz (VDSL2 17a) und bis 35 MHz (VDSL2 35b) sowie zusätzlich die Frequenzen bis 23 MHz und bis 40 MHz ausgeblendet. Getestet wurde über ein Kabel vom Typ J-Y(St)Y 10x2x0,6 LG in unterschiedlichen Kabellängen, dass trotz seiner vergleichsweise schlechten Übertragungseigenschaften ein häufig verwendetes Kabel in deutschen Wohngebäuden ist. Die Ergebnisse zeigt Bild 3.

Die Messungen zeigen, dass eine Erhöhung der Startfrequenz erwartungsgemäß zu einer Verminderung der Datenrate führt. So beträgt z.B. die Datenrate im Multi-Line-Betrieb

bei 50 m Kabellänge im Frequenzbereich von 2,2 MHz bis 212 MHz ca. 1,4 Gbit/s und sinkt hingegen bei gleicher Kabellänge im Frequenzbereich 40 MHz bis 212 MHz auf ca. 1,1 Gbit/s. Dies entspricht einer relativen Verminderung der Datenrate um ca. 21,4 %.

Deutlich problematischer als die Degradation der Datenrate durch Erhöhen der G.fast-Startfrequenz ist, dass die G.fast-Systeme bei einer entsprechend hohen Startfrequenz gar nicht mehr synchronisieren:

- Bereits bei einer Startfrequenz von 2,2 MHz haben bei einer Übertragungslänge von 250 m nicht mehr alle Systeme synchronisiert.
- Bei einer Startfrequenz von 23 MHz oder höher und einer Übertragungslänge von 200 m oder mehr hat kein G.fast-System mehr synchronisiert.

Was bedeuten die diskutierten Messungen nun für den Use Case? Wie verhält sich das G.fast-System in einem Inhouse-Szenario und wie werden andere DSL-Systeme, wie z.B. Supervectoring, beeinflusst?

Um diese Fragen zu beantworten, wurde in einem abschließenden Test die Koexistenz von G.fast und Supervectoring in einem typischen Mehrfamilienhauszenario näher untersucht.

### Mischbetrieb mit Supervectoring

Um eine möglichst realitätsnahe Abbildung der Ergebnisse zu erzielen, wurde ein Use Case nach Bild 4 aufgebaut.

Im Anwendungsfall ist ein Szenario, in dem ein Gebäude von mehreren Providern verwaltet wird, die wiederum unterschiedliche VDSL- bzw. G.fast-Techniken einsetzen, durchaus denkbar. Mit welchen wechselseitigen Beeinflussungen dabei zu rechnen ist, soll nachfolgend dargestellt werden. Die Einspeisung von G.fast erfolgte am APL, der mithilfe von LSA+-Leisten aufgebaut wurde, über ein Innenkabel vom Typ J-2Y(ST)Y 10x2x0,6 ST III BD (Kabel 3). Im Best-Case-Szenario betrug die Kabellänge 0 m (d.h., die G.fast-DPU wurde mit einem Patchkabel direkt mit dem APL verbunden),

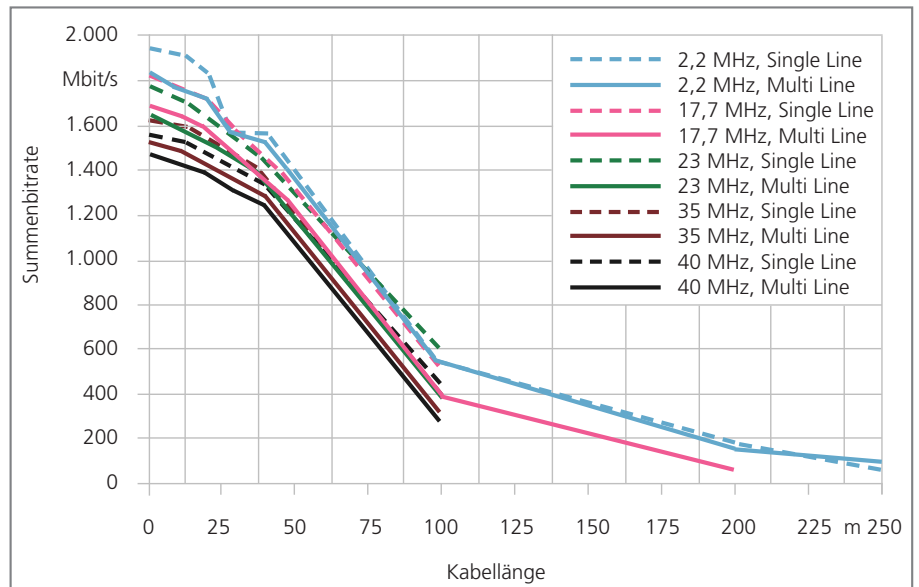


Bild 3: G.fast-212a-Performance in Abhängigkeit von Kabellänge und Startfrequenz für das Kabel J-Y(ST)Y 10x2x0,6 LG

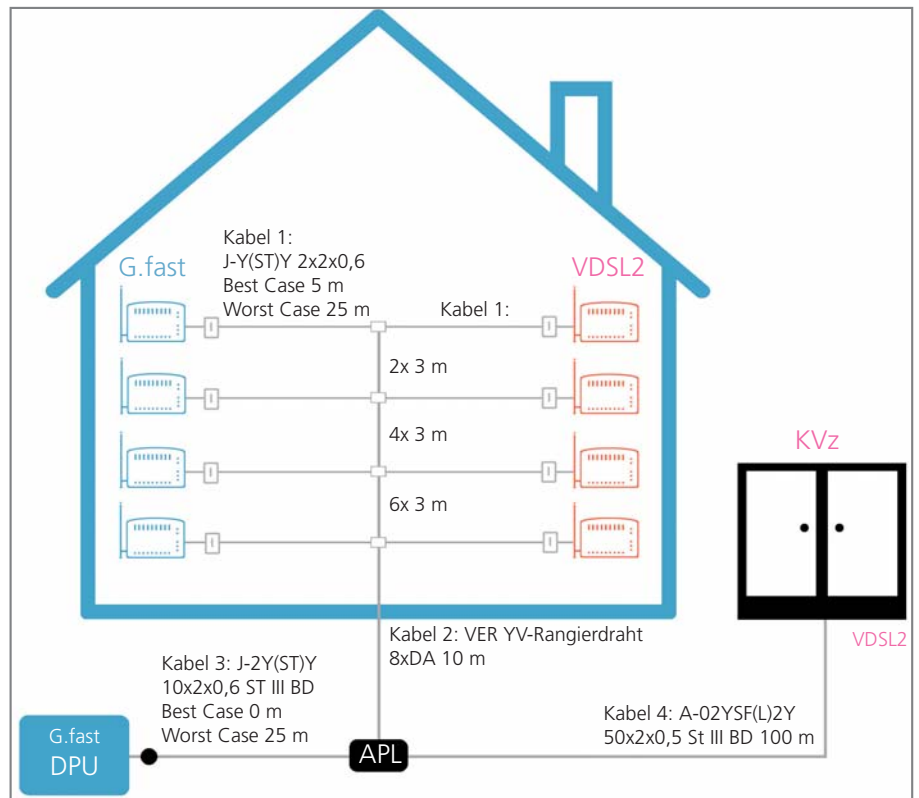


Bild 4: Testaufbau Use Case „Mehrfamilienhaus“

im Worst-Case-Szenario 25 m. Darüber hinaus wurde das VDSL2-35b-Signal ebenfalls am APL über ein Außenkabel vom Typ A-02YSF(L)2Y 50x2x0,5 ST III BD (Kabel 4) mit einer fixen Kabellänge von 100 m eingespeist.

Die Gebäudeverkabelung erfolgte ab dem APL über eine Steigleitung mithilfe von Rangierdraht in die jeweiligen Stockwerke (Kabel 2). An den je-

weiligen Stockwerksknotenpunkten wurde zur Verkabelung der Wohneinheiten ein Kabel vom Typ J-Y(ST)Y 2x2x0,6 (Kabel 1) verwendet, das von einer TAE-Dose abgeschlossen wurde. Von der TAE-Dose wurde das G.fast- bzw. VDSL2-35b-Signal in die jeweiligen CPEs (CPE – Customer Premises Equipment) gespeist. Die Kabellänge in den Stockwerken betrug jeweils 5 m (Kabel 1). Zusätzlich wurde ein

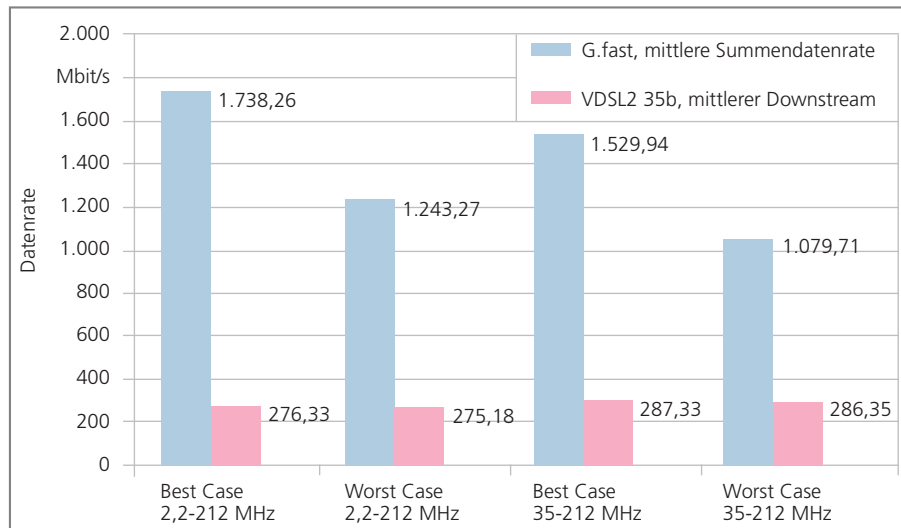


Bild 5: G.fast und Supervectoring im Use Case „typisches Mehrfamilienhaus“

Worst-Case-Szenario definiert, indem die Länge des G.fast-geführten Kabels im obersten Stockwerk auf 25 m erhöht wurde.

Daraus ergibt sich für den Best Case im obersten Stock eine maximale Kabellänge für das G.fast-geführte Kabel von 24 m (19 m Kabel 2 + 5 m Kabel 1) und für den Worst Case 69 m (25 m Kabel 3 + 19 m Kabel 2 + 25 m Kabel 1). Die maximale Kabellänge des VDSL2-35b-Systems betrug 124 m (100 m Kabel 4 + 19 m Kabel 2 + 5 m Kabel 1).

Für die Messungen wurde das G.fast-System sowohl im vollen Frequenzbereich (2,2 – 212 MHz) als auch unter Ausblendung der Frequenzen bis 35 MHz betrieben.

Für eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse wurden die gemessenen Datenraten für G.fast und VDSL2 35b über die entsprechenden Wohneinheiten (vier für G.fast und vier für VDSL2 35b) gemittelt und den entsprechenden Testszenerien und Frequenzbereichen zugeordnet. Die Ergebnisse der Messungen sind in *Bild 5* dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass unter Verwendung des vollen G.fast-Übertragungsbereichs im Best Case eine mittlere Summendatenrate von bis zu ca. 1,7 Gbit/s erreicht werden kann. Das parallel betriebene Supervectoring-System erreicht eine mittlere Downstream-Rate von ca. 276 Mbit/s. Betrachtet man das Worst-Case-Szenario, wird deutlich, dass die mittlere Summendatenrate des G.fast-Systems

aufgrund der höheren Gesamtkabellänge auf ca. 1,2 Gbit/s sinkt. Das Supervectoring-System hingegen bleibt nahezu unbeeinflusst und liefert eine mittlere Downstream-Übertragungsrate von ca. 275 Mbit/s.

Betrachtet man die Messergebnisse unter Ausblendung der unteren Frequenzen bis 35 MHz, ist festzustellen, dass die mittlere Downstream-Rate des Supervectoring-Systems auf ca. 287 Mbit/s im Best Case und ca. 286 Mbit/s im Worst Case steigt. Dies entspricht einer relativen Leistungssteigerung von ca. 3,9 %. Die mittlere Summendatenrate des G.fast-Systems hingegen sinkt, aufgrund der geringeren, zur Verfügung stehenden Bandbreite, auf ca. 1,5 Gbit/s im Best Case und auf ca. 1,1 Gbit/s im Worst Case. Mit einer G.fast-Startfrequenz von 40 MHz synchronisiert kein G.fast-System mehr im dargestellten Mischbetrieb G.fast und VDSL2 35b.

Wird die G.fast-Performance mit den Messergebnissen aus *Bild 3* verglichen, so ist keine Beeinflussung durch das Supervectoring-System festzustellen. Die verminderte Performance ist lediglich auf die höhere Gesamtlänge der Übertragungskabel sowie auf die verringerte Bandbreite zurückzuführen.

Bei der Betrachtung der Performance des Supervectoring-Systems zeigt sich eine Beeinflussung durch G.fast, sobald sich die Frequenzbereiche überschneiden. Die VDSL2-35b-Bitraten werden durch G.fast allerdings nur moderat (ca. 3,9 %) degradiert.

## Fazit

Die durchgeführten Messungen zeigen die Leistungsfähigkeit eines G.fast-212a-Systems unter Verwendung in Deutschland üblicher Kabel. Mit diesen lassen sich mit einer Startfrequenz von 2,2 MHz Summendatenraten von bis zu 1,8 Gbit/s erzielen. Dies zeigt das große Potenzial von G.fast für FTTH-Anwendungen.

Eine höhere Startfrequenz ergibt naturgemäß eine deutlich geringere G.fast-Bitrate. So führt eine Erhöhung der G.fast-Startfrequenz von 2,2 auf 40 MHz auf in Deutschland üblichen Inhouse-Kabeln (J-Y(ST)Y 10x2x0,6 LG) bei einer Übertragungslänge von 50 m zu einer Reduktion der Summendatenrate von ca. 1,4 auf etwa 1,1 Gbit/s. Wesentlich problematischer ist jedoch, dass in diesem Fall die G.fast-Systeme ab einer bestimmten Übertragungslänge (bei den vorgenommenen Untersuchungen waren es 100 m) gar nicht mehr synchronisieren.

Im Use Case „typisches Mehrfamilienhaus“ zeigte sich eine moderate Degradation der Bitraten (G.fast durch VDSL2 35b um 5 bis 6 %, VDSL2 35b durch G.fast um 4 %), wenn beide Systeme den vollen Frequenzbereich verwenden. Wenn G.fast nur den Frequenzbereich ab 35 MHz verwendet, stören sich beide Systeme nicht mehr. Aufgrund der geringeren Bandbreite reduziert sich die G.fast-Bitrate jedoch um rund 200 Mbit/s. Bei einer G.fast-Startfrequenz von 40 MHz synchronisieren die G.fast-Systeme nicht mehr. (bk)

## Literatur

- [1] Buth, J., Aschenbrenner, K., Obermann, K.: Auf dem Prüfstand. G.fast-Performance bei Verwendung von in Deutschland üblichen Innen- und Außenkabeln. NET 6/2016
- [2] Kuhlins, M., Obermann, K.: Bitraten-Boost mit VDSL2 35b. Untersuchung der Performance unter Berücksichtigung üblicher Innen- und Außenkabel sowie typischer Störszenarien. NET 12/2016
- [3] Obermann, K.: Spannungsfeld VDSL2 35 b und G.fast. Wer stört wen, und wie stark? NET 12/2017
- [4] Necvetaev, P.: Performance-Messungen an kommerziellen G.fast-212-MHz-Übertragungssystemen. Bachelor-Arbeit, Technische Hochschule Mittelhessen, April 2019