

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Eigenschaften der 2. Generation PLC.....	2
1.1	Einleitung .....	2
1.2	Eigenschaften .....	2
2	Labor-Messungen in Fribourg.....	3
2.1	Messaufbau für die 2. Generation PLC-Modem von ILEVO .....	3
2.2	Messaufbau für die EMV-Funktionalitäten ohne Störsender.....	4
2.3	Messaufbau für die EMV-Funktionalitäten mit Störsender .....	12

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbild 01:	4 Bandbreiten für 12 Frequenzbereiche (Bild von Groupe EEF.ENSA) .....	2
Abbild 02:	Foto vom Messaufbau PLC 2. Generation.....	3
Abbild 03:	Allgemeiner Messaufbau PLC 2. Generation.....	4
Abbild 04:	Mode 6 (Frequenzbereich 4 – 34 MHz) .....	5
Abbild 05:	Mode 4 (Frequenzbereich 3 – 23 MHz) .....	5
Abbild 06:	Mode 1 (Frequenzbereich 3 – 13 MHz) .....	6
Abbild 07:	Mode 8 (Frequenzbereich 7.85 – 12.85 MHz) .....	6
Abbild 08:	Mode 6 (Frequenzbereich 4 – 34 MHz) .....	6
Abbild 09:	Nutzträger von Kurzwellen- und ISM-Stationen im PLC – Band.....	7
Abbild 10:	Verschiedene Notches über den gesamten Frequenzbereich von 4 -34 MHz ..	7
Abbild 11:	Notch von 100 kHz mit 10 dB Notchtiefe .....	8
Abbild 12:	Spektrumsaufnahme nach einem Notching von 1 MHz.....	8
Abbild 13:	Notch von 300 kHz mit 30 dB Notchtiefe .....	9
Abbild 14:	Notch von 5 MHz mit rund 40 dB Notchtiefe.....	9
Abbild 15:	Flankenstruktur der ausgelassenen Träger .....	9
Abbild 16:	Ausgangsleistung geregelt durch Kurzdistanz und Empfangsbändern .....	10
Abbild 17:	Verschiedene programmierte Amplituden.....	10
Abbild 18:	Ausschnitt bei 7.15 MHz .....	11
Abbild 19:	Verhältnis Übertragungsrate / Eingangsdämpfung .....	11
Abbild 20:	Messaufbau PLC 2. Generation mit Störsender .....	12
Abbild 21:	Ausgangsleistung geregelt mit dem gemessenen S/N-Verhältnis.....	12
Abbild 22:	Übertragungsrate zur Ausgangsleistung eines schmalbandigen Trägers .....	13
Abbild 23:	Übertragungsrate zur Ausgangsleistung eines breitbandigen Trägers.....	14

# 1 Eigenschaften der 2. Generation PLC

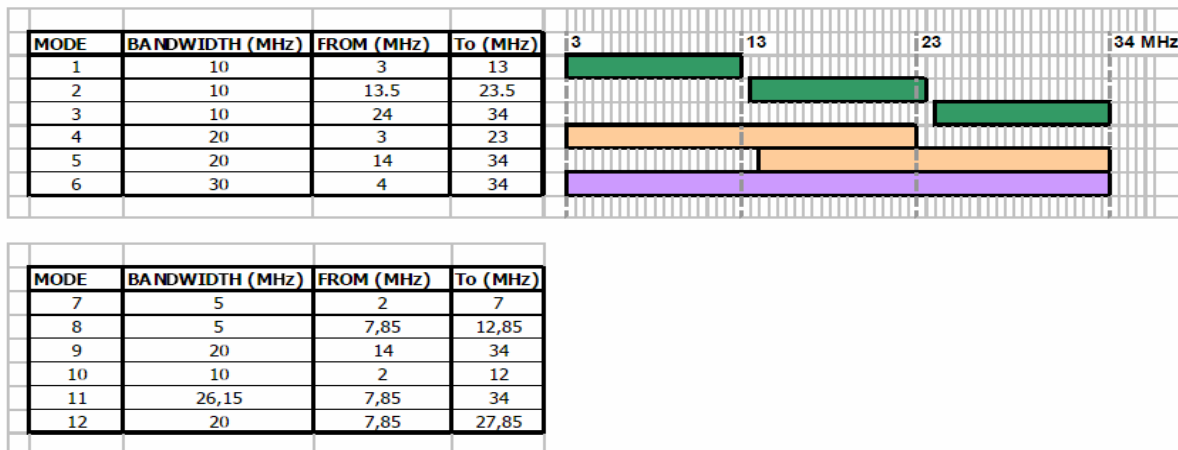
## 1.1 Einleitung

Die 2. Generation PLC, basierend auf der DS2-Technologie von ILEVLO, verspricht eine Verbesserung aller EMV-Funktionalitäten. Jeder Parameter in Amplitude und Frequenz kann **zentral** für jedes einzelne Modem **gesteuert** werden.

Das BAKOM hat vor allem die EMV-Funktionalitäten bei Störungen gegenüber Radiosystemen interessiert. Labor- und Feldmessungen sollen diese Funktionalitäten bestätigen.

## 1.2 Eigenschaften

Mit einer Anzahl von **1536 Trägern in OFDM** moduliert, ist bei einer Bandbreite von 30 MHz eine maximale **Datenübertragung** von **204Mbit/s** theoretisch möglich. In der Praxis können rund 180 Mbit/s erreicht werden. Mit 4 verschiedenen Frequenzbandbreiten (5, 10, 20 und 30 MHz) werden **12 verschiedene Frequenzbereiche** (Modi) im Frequenzbereich von 4 – 34 MHz generiert (siehe Abbild 01). Diese werden je nach Länge der Verbindungen auf dem Netz entsprechend programmiert.



Abbild 01: 4 Bandbreiten für 12 Frequenzbereiche (Bild von Groupe EEF.ENSA)

Für die Übertragung der Daten in OFDM werden **2 verschiedene digitale Prozesse** angewandt. Je nach Zustand der elektrischen Leiter oder störende Fremdsignale wird der entsprechende Prozess aktiviert.

### 1 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

Nach dem Messen des Signal-Rausch-Verhältnisses (S/N) auf dem elektrischen Netz, entscheidet die Software, ob es nun mit 10 bit/Träger oder mit je 2 bit weniger operieren soll. Werden nur noch 2 bit/Träger übertragen, wird zur zweiten Modulationsart (HURTO) umgeschaltet.

### 2 HURTO (High-performance Ultra-Redundant Transmission OFDM)

Diese Methode wird angewandt, wenn das S/N-Verhältnis sehr tief ist. Dieses Verfahren ist sehr robust gegen Störungen. Jedoch werden hier maximal 2bit/Träger übertragen. Entsprechend wird auch die Übertragungsrate auf ein Minimum reduziert.

Die **Ausgangsleistungsdicht** ist mit -50dBm/Hz zu den alten Systemen (z.B. Ascom oder HomePlug) gleich geblieben.

## 2 Labor-Messungen in Fribourg

### 2.1 Messaufbau für die 2. Generation PLC-Modem von ILEVO

Der Aufbau der Mess-Schaltung wurde so ausgelegt, dass die EMV-Funktionalitäten in der Amplitude sowie in der Frequenz überprüft werden konnte. Die Messungen wurden im 50Ω-System durchgeführt ohne je mit dem 230V-Netz in Berührung zu kommen.



**Abbild 02:** Foto vom Messaufbau PLC 2. Generation

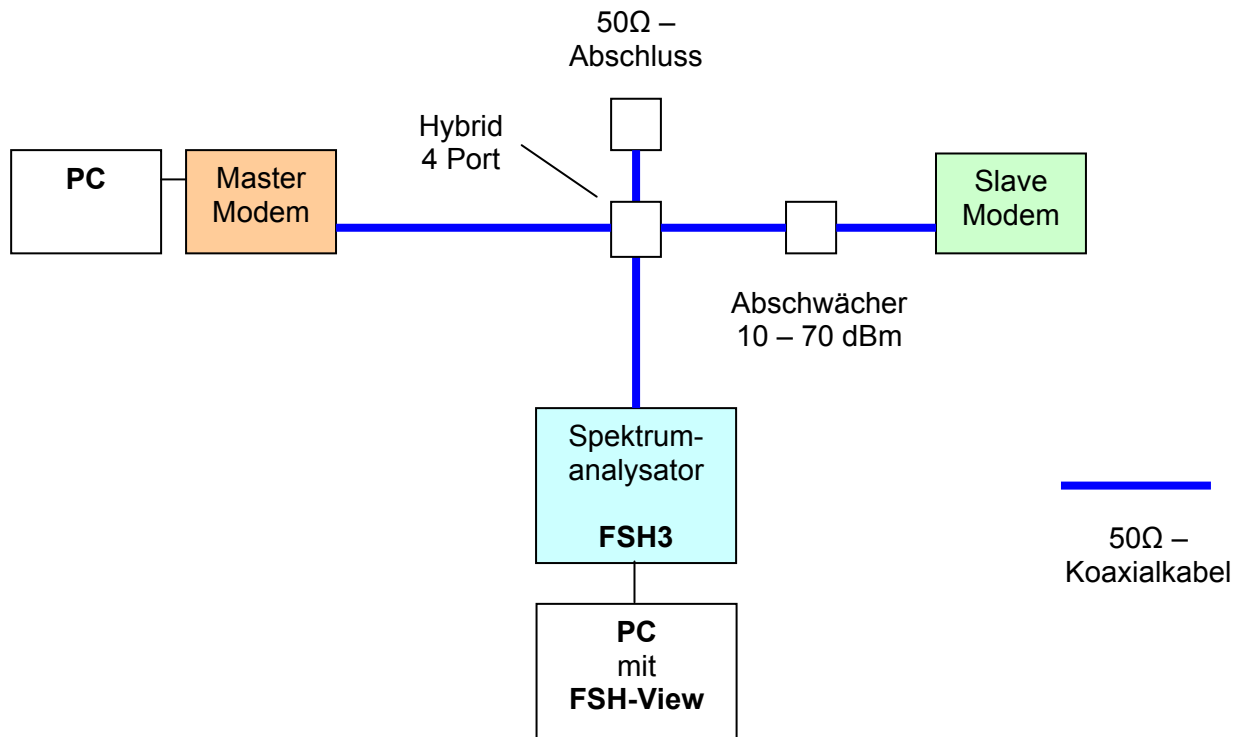
Alle Messungen wurden mit dem **Spektrumanalysator** FSH3 (Rohde & Schwarz) durchgeführt und mit dem FSHView-Programm von derselben Firma aufgezeichnet.

Wir möchten darauf hinweisen, dass nur die Funktionalität der 2. Generation PLC von ILEVO im Labor geprüft wurde.

## 2.2 Messaufbau für die EMV-Funktionalitäten ohne Störsender

Die gesamte Abschwächung des Signalpfades vom Master- zum Slave-Modem beträgt 20 dB. Der Abschwächer hat bei der Stellung 0 dB bereits eine Dämpfung von 10 dB. Das Verzweigungsstück besitzt von Port zu Port eine Dämpfung von 10 dB.

Angeschlossen am Hybrid (Verzweigungsstück) sind der Spektrumanalysator FSH3 (Rohde & Schwarz), das Mastermodem (ILEVO), der variable Abschwächer ( ) und der Abschlusswiderstand von 50 Ohm.



**Abbild 03:** Allgemeiner Messaufbau PLC 2. Generation

Für eine Störbehebung, verursacht durch die Abstrahlung von PLC-Signalen, sind folgende einstellbare Parameter wichtig:

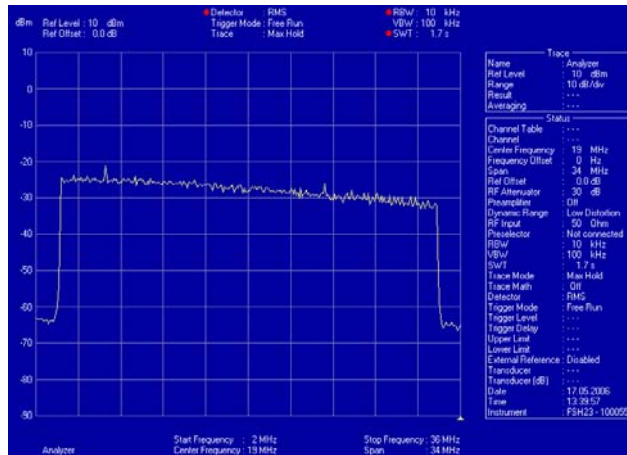
- Wahl des Frequenzbereiches (Mode)
- Wahl der auszuschliessenden Frequenzen (Notching)
- Wahl der Amplitudeneinstellung (Pro Träger, pro Frequenzbereich)

Die Messungen wurden darauf ausgelegt, dass die oben genannten Parameter im Störfall so einzustellen sind, damit keine abgestrahlten Signale über dem Grenzwert der NB 30 entstehen können.

Die Machbarkeit der oben erwähnten Einstellungen sollen später mit Feldmessungen bestätigt werden.

## 2.2.1 Wahl des Frequenzbereiches (Mode)

Der Mode 6 (siehe Figur 01) deckt den gesamten Frequenzbereich ab und ist mit der Bandbreite von 30 MHz der grösste Frequenzbereich der mit der 2. Generation überhaupt möglich ist. Der Frequenzbereich von 4 – 34 MHz liegt deutlich höher als der Vorgängermodelle. Zudem sind die 1536 bzw. cirka 20 kHz breiten Träger dauernd aktiv.



**Abbild 04:** Mode 6  
(Frequenzbereich 4 – 34 MHz)

**Die nachfolgenden Erläuterungen zeigen diese Möglichkeiten von EMV-Werkzeugen auf.**

Die Modi 4 (Siehe Figur 01) und 5 überschneiden sich sogar im gesamten Frequenzbereich 3 – 34 MHz mit einer Bandbreite von 20 MHz.



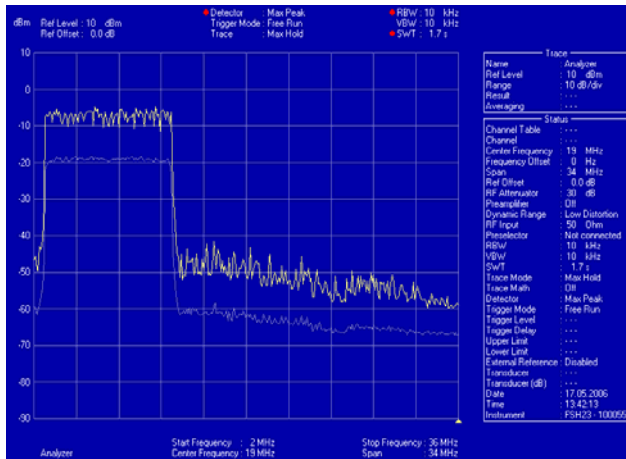
**Abbild 05:** Mode 4  
(Frequenzbereich 3 – 23 MHz)

Das Ascom- sowie das HomePlug-System liegen etwa 10 MHz tiefer zur oberen Frequenz des ILEVO-Systems. Bei beiden Systemen wurde darauf geachtet, dass die Amateurbänder umgangen wurden. Beim IVELO-System sind diese Vorkehrungen nicht getroffen, da erst im Störfall EMV-Werkzeuge angewandt werden. Diese EMV-Werkzeuge, oben erwähnt, wurden im Labor ausgemessen und sollen ihre Wirkungen bei Feldmessungen bestätigen.

Die Überschneidung erfolgt im Bereich 14 – 23 MHz und ist 9 MHz breit.

Es ist also bedingt möglich, einen Wechsel im Frequenzbereich (Mode) vorzunehmen, um im Störfall eine Ausweichmöglichkeit zu haben. Hierzu stehen zwar 12 verschiedene Frequenzbereiche mit den dazugehörigen Bandbreiten zur Verfügung. Jedoch sind die Bandbreiten im Normalfall zwischen 10 und 30 MHz zu suchen. Schmalbandige Trägerfrequenzen können mit dieser Methode kaum umgangen werden.

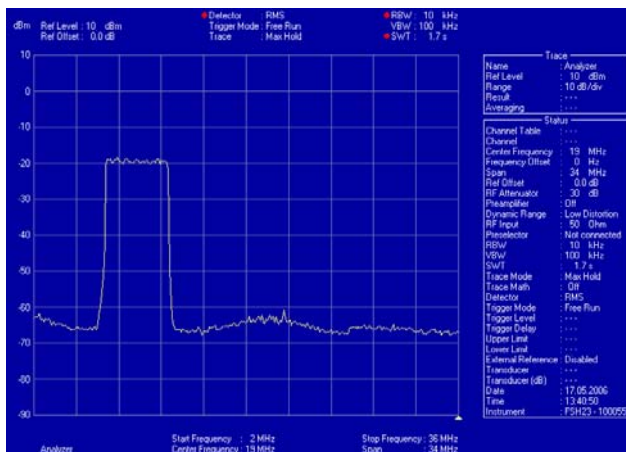
Die Modi 1 - 3 (siehe Figur 01) decken den ebenfalls den gesamten Frequenzbereich von 3 – 34 MHz mit einer Bandbreite von 10 MHz ab.



**Abbild 06:** Mode 1  
(Frequenzbereich 3 – 13 MHz)

Mit der Bandbreite von 10 MHz ist die letzte Aufteilung des gesamten zur Verfügung stehenden Frequenzbandes von 31 MHz möglich. Die Aufteilung erfolgt mit einer Lücke zwischen den Bändern von 500 kHz. Das heisst, dass schlussendlich wiederum ein maximales genutztes Frequenzband von 30 MHz entsteht. **Hier sind Ausweichmöglich-keiten bei Störungen von einzelnen Frequenzen mit der Wahl des richtigen Modes machbar.**

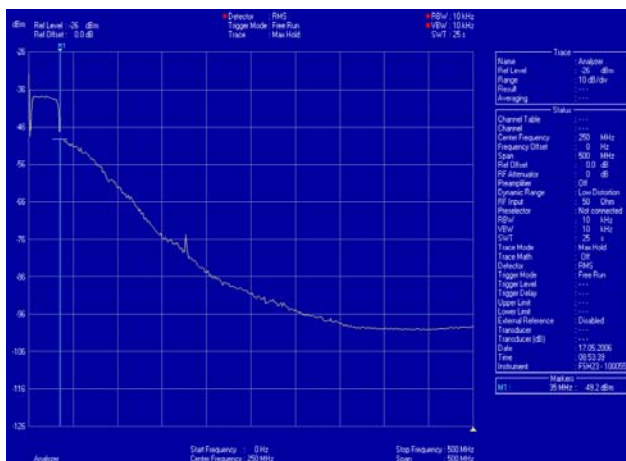
### 2.2.1.1 Mode 7 und 8 der spezielle Frequenzbereich mit der Bandbreite von 5 MHz



**Abbild 07:** Mode 8  
(Frequenzbereich 7.85 – 12.85 MHz)

Mit diesen Modi ist es möglich einen tieferen Frequenzbereich, als 4 MHz zu erhalten. Der Mode 7 lässt sogar eine untere Grenzfrequenz von 2 MHz zu und hört bei 7 MHz auf. Der Mode 8 (siehe Figur 01) ist oberhalb des 7 -7.2 MHz Amateurbandes zu finden. Er beginnt bei 7.85 MHz und hört bei 12.85 MHz auf. Mit dem Ausfall eines Frequenzbandes im Amateurfrequenzbereich kann mit grösster Wahrscheinlichkeit keine zufrieden stellende Lösung sein. Im Störfall sind doch meistens mehrere Amateurbänder betroffen.

### 2.2.1.2 Oberwellenmessung bis 500 MHz im Mode 6 (4 – 34 MHz)



**Abbild 08:** Mode 6  
(Frequenzbereich 4 – 34 MHz)

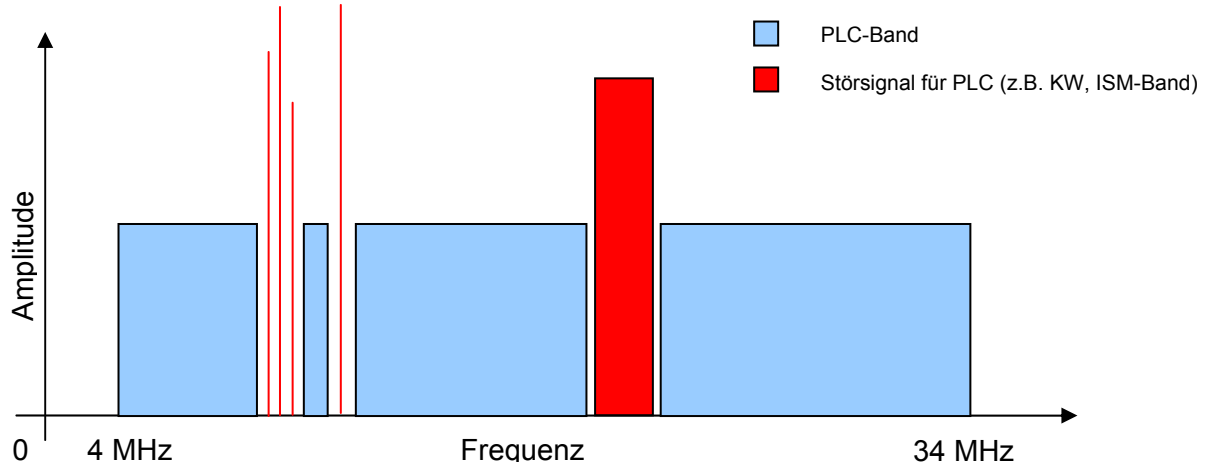
Das PLC-Frequenzband sollte sich nur zwischen 2 und 34 MHz bewegen. Ausserhalb dieses Frequenzbandes darf keine weitere Frequenz von PLC auftreten. Wir haben eine Messung bis 500 MHz durchgeführt. Für diese Messungen der Oberwellen wurde der Mode 6 die gewählt. Dieser Mode ist im ganzen Frequenzbereich von 4 – 34 MHz aktiv. Die Messung hat ergeben, dass nur die 1536 Träger vorhanden sind und keine Mischung auf der Hochfrequenzebene stattfindet. Bei allen anderen Modi ist die Oberwellen-messung identisch.



## 2.2.2 Wahl der auszuschliessenden Frequenzen (Notching)

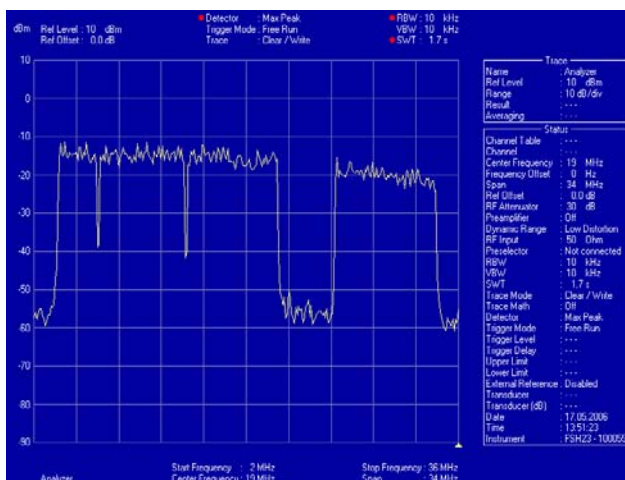
Auch bei der 2. Generation PLC ist es möglich einzelne oder mehrere Nutzträger im Frequenzbereich 4 – 34 MHz wegzulassen und damit ein Notching für Träger im Kurzwellenbereich zu erzielen. Für den PLC-Betreiber sind solche Massnahmen nicht unbedingt gewünscht, da die Datenraten durch den Wegfall von Trägern gesenkt wird.

Das heisst, diese Massnahmen sind nur im Störfall anzuwenden.



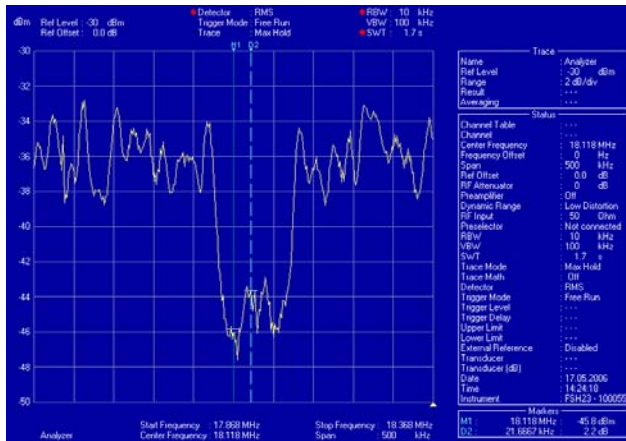
**Abbild 09:** Nutzträger von Kurzwellen- und ISM-Stationen im PLC – Band

Vorerst galt es die Spektrumsmaske von 4 – 34 MHz mit schmalbandigem und breitbandigem Notch auszustatten. Diese EMV-Funktionalität ist zentral programmierbar und wurde im Notchbereich mit maximaler Dämpfung (90dB) durchgeführt.



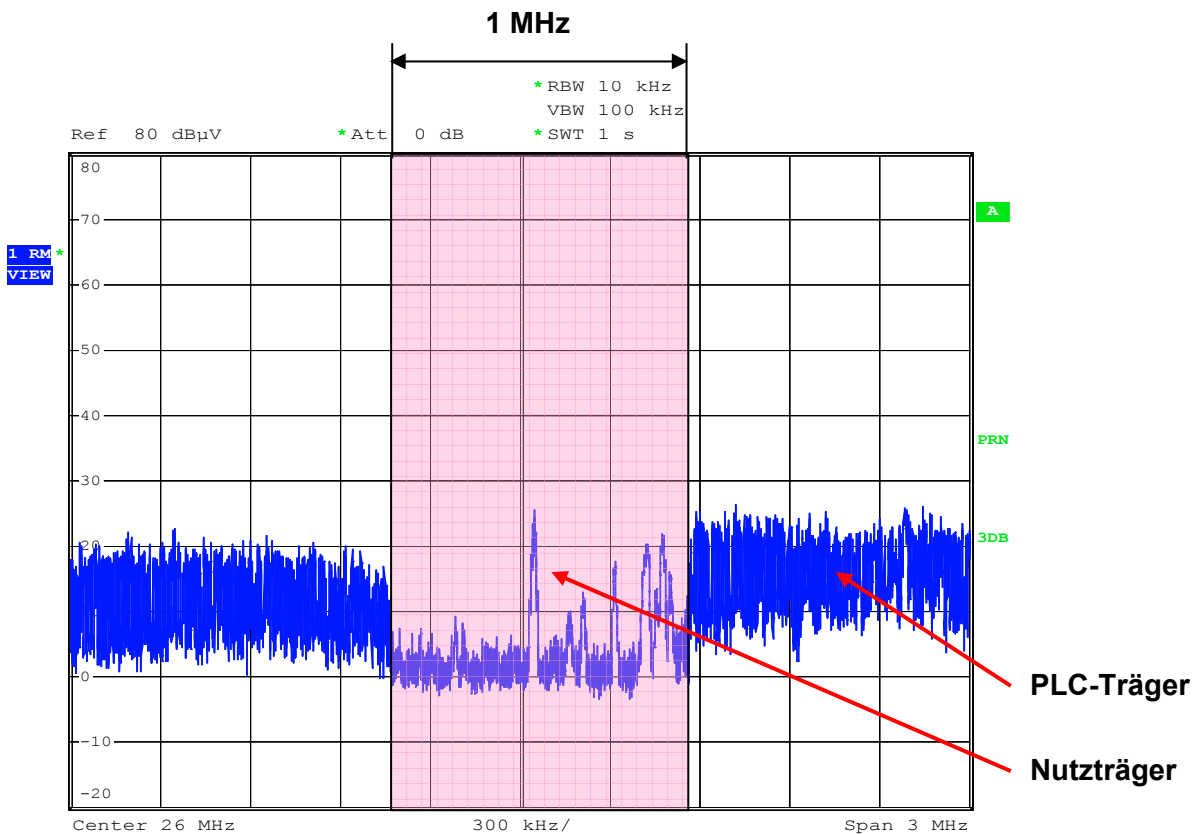
**Abbild 10:** Verschiedene Notches über den gesamten Frequenzbereich von 4 -34 MHz

### 2.2.2.1 Schmalbandiges Notching



Um einen Nutzträger genügend ausklammern zu können, haben wir die Bandbreite der ausfallenden Träger in Kombination der zu messenden Notchtiefe gesetzt. Dabei hat sich herausgestellt, dass mit einer Bandbreite von 100 kHz nur 10 dB Abschwächung erreicht wurden. Für einen schmalbandigen Sender in der Nähe der Rauschgrenze wird eine solche Dämpfung in den wenigsten Fällen ausreichend sein. Die PLC-Signalträger werden die Nutzträger sicher überdecken.

Abbild 11: Notch von 100 kHz mit 10 dB Notchtiefe

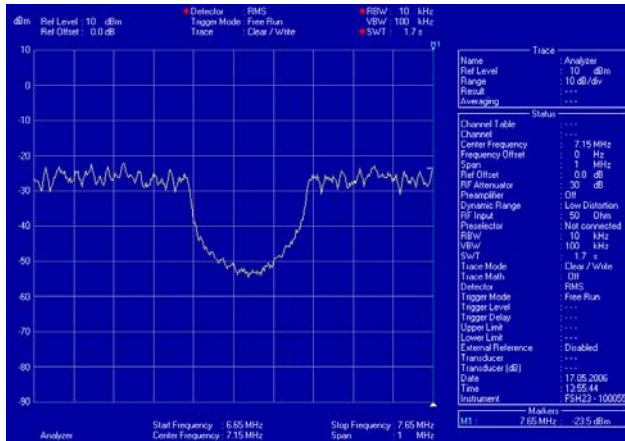


Date: 14.JUN.2006 11:21:10

Abbild 12: Spektromaufnahme nach einem Notching von 1 MHz

Bei 26 MHz Mittenfrequenz und einem Notch von 1 MHz werden die Nutzträger deutlich wieder sichtbar. Vorher wurde das ganze Spektrum in diesem Abschnitt durch die einzelnen PLC-Träger überdeckt. Es war kaum möglich einen diskreten Nutzträger zu ermitteln.

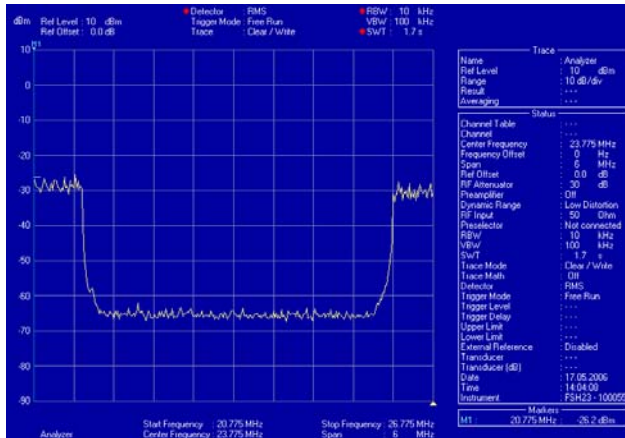




Abbild 13: Notch von 300 kHz mit 30 dB Notchtiefe

Mit einer Bandbreite von 300 kHz kann bereits eine Abschwächung von 30 dB erreicht werden. Doch auch ein mit dieser Bandbreite erzeugter Notch ist die Systemgrenze noch nicht erreicht. Messungen haben ergeben, dass mindestens eine Bandbreite von 500 kHz bestehen muss, um eine Dämpfung > 40 dB zu erhalten. Die Flanken sind erstaunlicherweise nicht senkrecht.

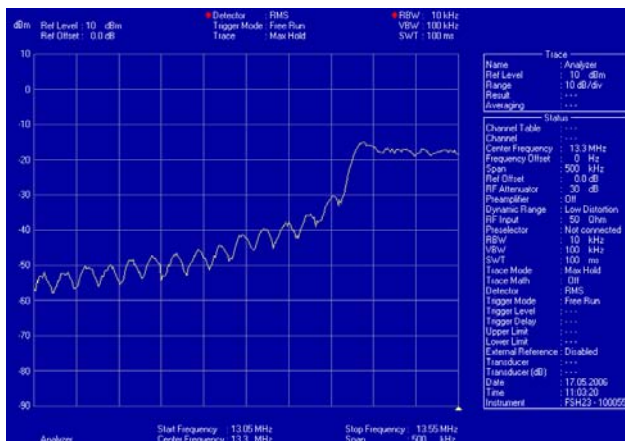
### 2.2.2.2 Breitbandiges Notching



Abbild 14: Notch von 5 MHz mit rund 40 dB Notchtiefe

Beim breitbandigen Notch in der neben stehenden (Figur 14) sind die nicht steil abfallenden Flanken auch zu sehen.

### 2.2.2.3 Flankenbetrachtung

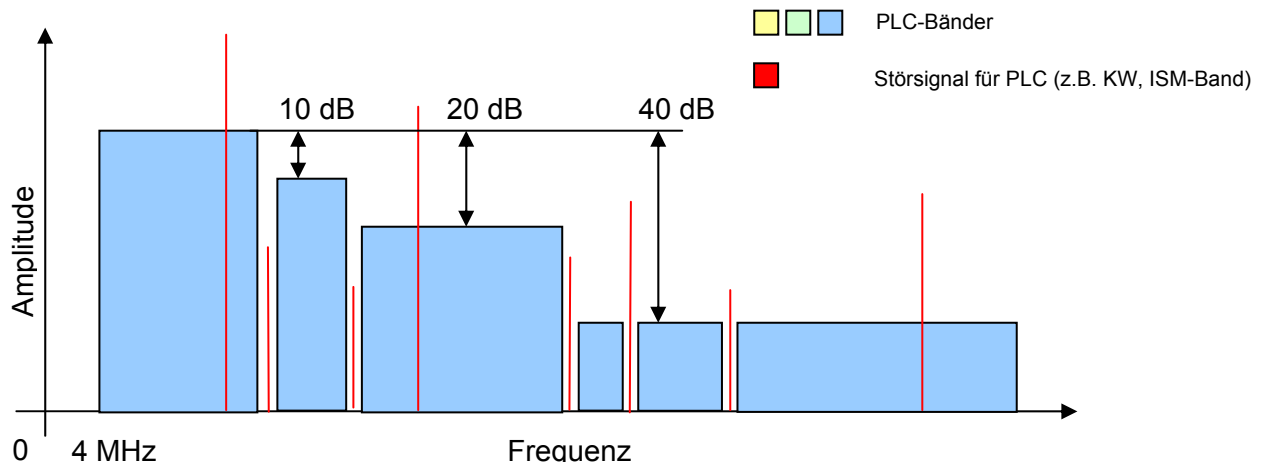


Abbild 15: Flankenstruktur der ausgelassenen Träger

Mit dem Wegfallen von einzelnen Trägern des PLC-Signals erwartet man einen steilen Abfall der Flanke. Der Dynamikbereich der Amplitudensteuerung jedes einzelnen Trägers ist laut Steuerprogramm bei 90 dB zu suchen. Erst ab circa 250 kHz vom letzten aktiven PLC-Träger zeigt sich eine Glättung an die Messgrenze. Somit ist auch im neuen System 40 dB mit einer Bandbreite von rund 500 kHz die untere Grenze.

### 2.2.3 Wahl der Amplitudeneinstellung (Pro Träger, pro Frequenzbereich)

Die Ausgangsleistung sollte je nach Anwendung und Distanz reduziert werden können. So soll zum Beispiel eine Verbindung die durch eine Mauer gemacht wird, deren Leistung verkleinert werden, um eine unnötige Abstrahlung des Datenstroms zu vermeiden. Durch die richtige Wahl eines Frequenzbereiches könnten die Bänder im Kurzwellenbereich und Amateurbereich umgangen werden. Oder es kann durch messen des S/N-Verhältnisses eine selektive Verminderung der Amplitude erreicht werden. Diese Massnahmen sind auch für PLC-Übertragungen nützlich, d.h. es treten keine Störungen für einen reibungslosen Betrieb auf.



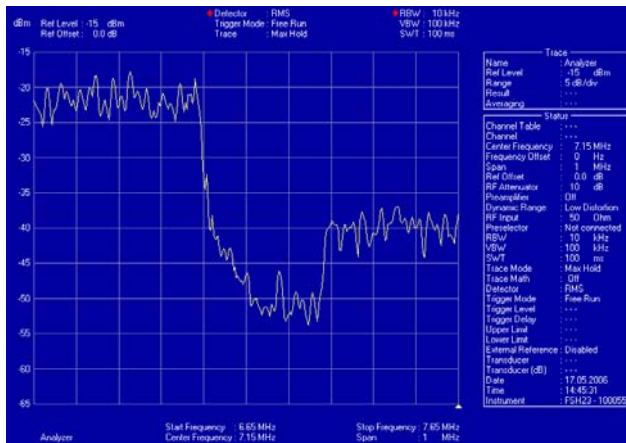
Abbild 16: Ausgangsleistung geregelt durch Kurzdistanz und Empfangsbändern

#### 2.2.3.1 Programmierte Amplitudendämpfung



Abbild 17: Verschiedene programmierte Amplituden

Über den gesamten Frequenzbereich wurden verschiedenen Amplitudenwerte programmiert. Die Levels befinden sich 20, 10, 10 und 5 dB unter dem Eingangsspiegel. Auch wurden die Frequenzbereiche verschieden gewählt, damit die wichtigsten Parameter, die zur Störungsbehebung beitragen sollen, verstellt wurden. Kaum ersichtlich ist der zusätzlich Notch nach der ersten Dämpfung von 20 dB.



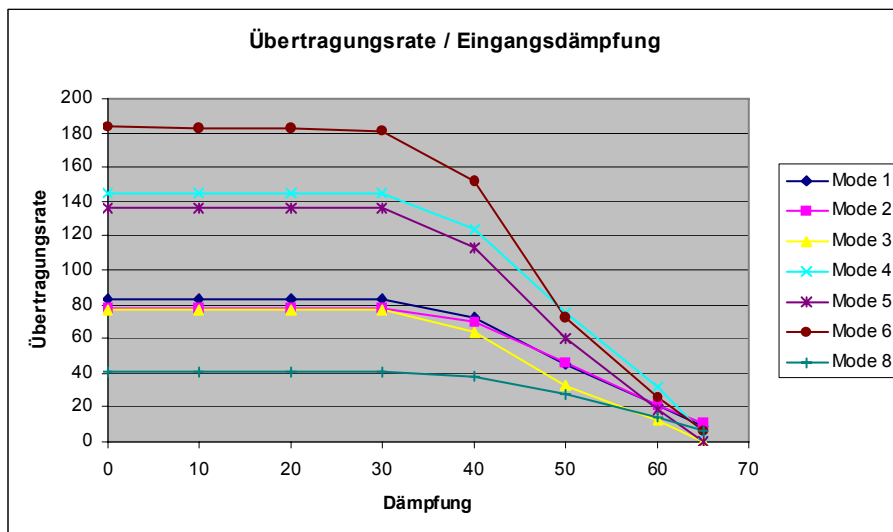
Abbild 18: Ausschnitt bei 7.15 MHz

In der nebenstehenden Figur XX ist mit der besseren Auflösung der zusätzliche Notch gut ersichtlich. Er wurde mit der Centerfrequenz 7.15 MHz so platziert, dass er genau zwischen zwei Amplitudenwerten zu liegen kommt. Der Notch wurde mit 300 kHz Bandbreite programmiert. In der Figur XX ist deutlich ersichtlich, dass diese Bandbreite nicht ausreicht die Rauschgrenze von rund -60 dBm zu erreichen. Ein Minimum von 500 kHz ist mindestens erforderlich, um die Rauschgrenze mit den abfallenden Flanken zu erreichen.

## 2.2.4 Verhältnis Übertragungsrate und Dämpfung des Signalweges

Für all die nachfolgenden Messungen ist es gut zu wissen, ab wann die Übertragungsrate durch die Abschwächung des Signals einen Einbruch erleidet. Eine Abschwächung kann durch mehrere Faktoren beeinflusst werden. Einerseits werden die physikalischen Grenzen durch das Elektrizitätsnetz (Länge der Verbindung, Aufbau des Stromkabels) und andererseits sind gewollte programmierte Abschwächungen (Amplitudendämpfung, Notches) gegeben. Alle Messungen wurden mittels 50Ω-Koaxialkabel durchgeführt. Die Resultate sind in dem Sinne als ideal anzuschauen.

Der Messaufbau bringt mit dem Abschwächer und der Durchgangsdämpfung des 4-Port-Hybrid

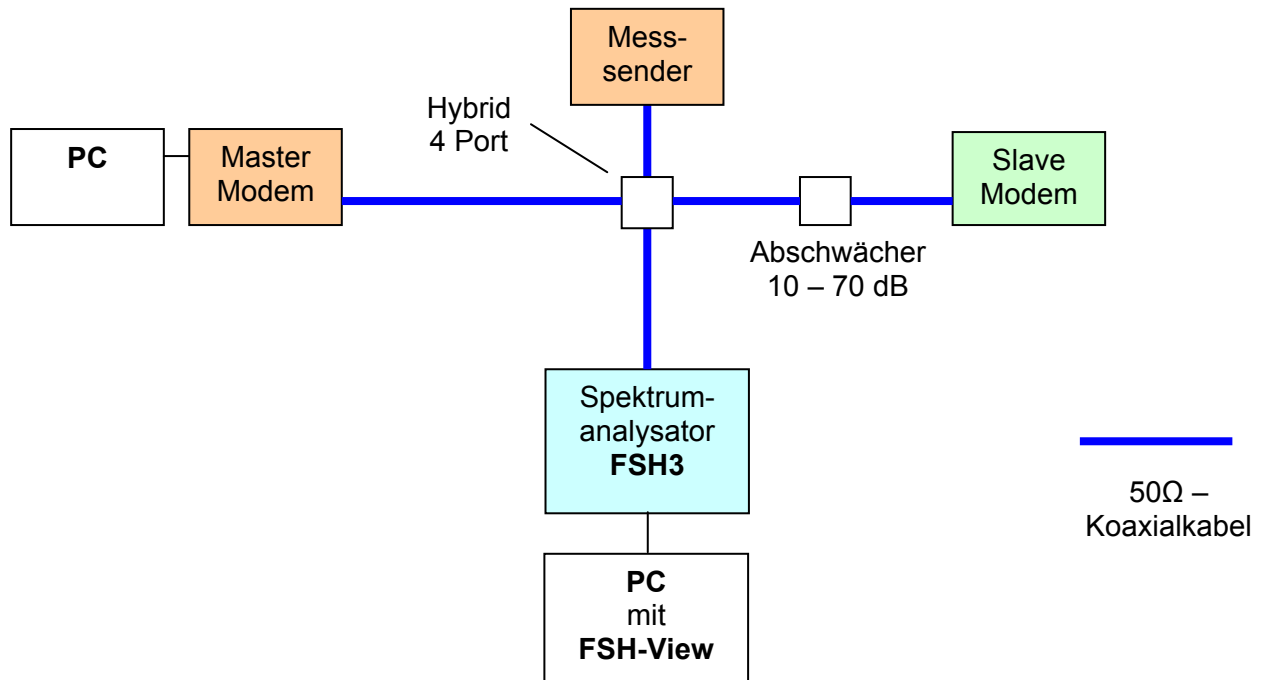


bereits eine Dämpfung von 20 dB. Die volle Datenübertragungsrate des jeweiligen Modus wird mit einer Dämpfung von 50 dB (30+20 dB Durchgangsdämpfung) nicht beeinträchtigt. Selbst bei einer Dämpfung von 70 dB ist noch rund mit der halben Übertragungsrate zu rechnen.

Abbild 19: Verhältnis Übertragungsrate / Eingangsdämpfung

### 2.3 Messaufbau für die EMV-Funktionalitäten mit Störsender

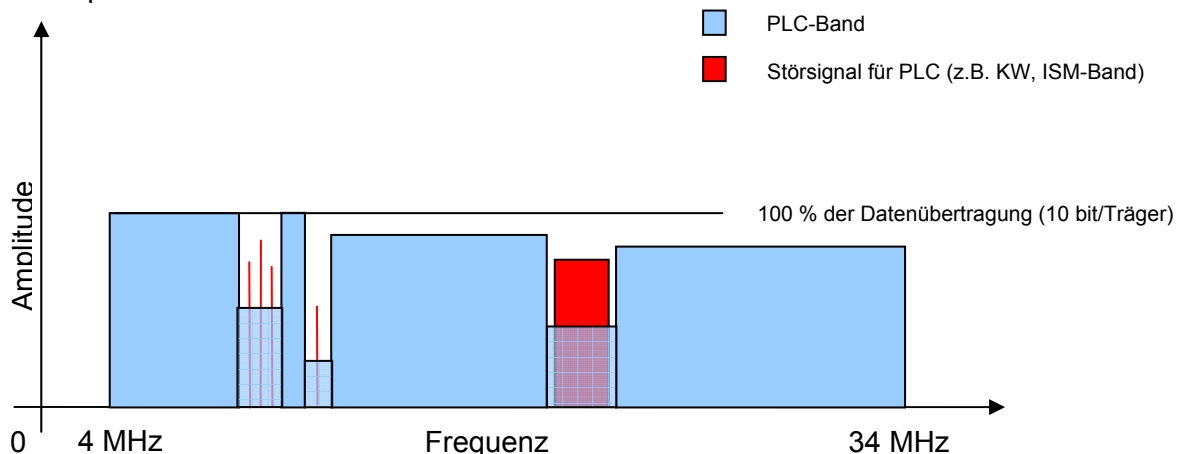
Anstelle des  $50\Omega$  – Abschluss wurde ein Messender angeschlossen, der ein schmalbandiges und breitbandiges Störsignal generieren soll.



Abbild 20: Messaufbau PLC 2. Generation mit Störsender

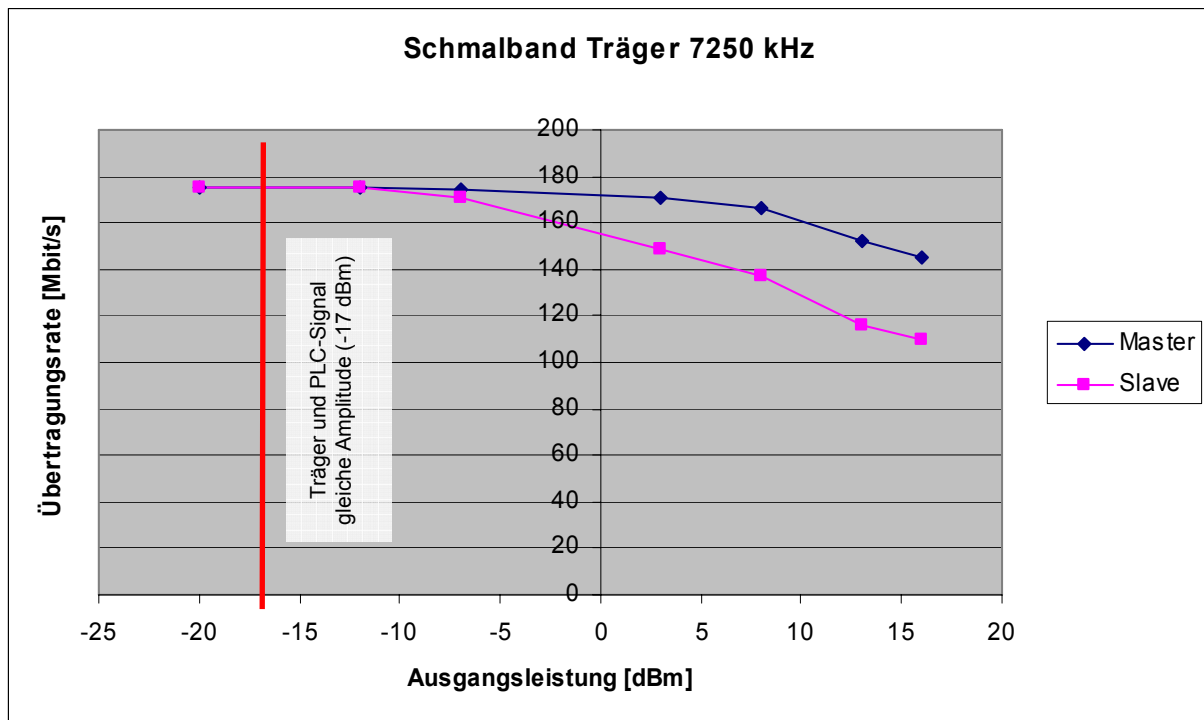
Grundsätzlich wird auf einem PLC-Netz automatisch eine Anpassung des PLC-Signals vorgenommen. Die Amplituden werden je nach vorhandenen Trägern im Frequenzbereich von 4 – 34 MHz entsprechen dem S/N-Verhältnis des PLC-Signals reduziert. Das S/N-Verhältnis des PLC-Signals kann durch verschiedene Sachen beeinflusst werden. So sind störende, starke Nutzträger sowie schlechte Stromkabelverbindungen für die Hochfrequenz.

Um eine Ahnung zu haben, wann ein schmalbandiges, respektive ein breitbandiges Signal einen Einfluss auf die Datenrate haben könnten, hat man diese Situation mit einem Mess-Sender simuliert. Die Figur XX zeigt den Amplitudenverlauf mit den verschiedenen Nutzträgern, die sich im PLC-Spektrum aufhalten.



Abbild 21: Ausgangsleistung geregelt mit dem gemessenen S/N-Verhältnis

### 2.3.1 Beeinträchtigung der Datenrate durch einen schmalbandigen Träger



Abbild 22: Übertragungsrate zur Ausgangsleistung eines schmalbandigen Trägers

Mit einem Mess-Sender (SME 3 von Rohde & Schwarz) wurde ein schmalbandiges AM Signal bei 7250 kHz mit der Bandbreite von 1kHz generiert und dieses über den 4-Port-Hybrid im Mode 6 eingespielen. Die Ausgangsleistung des schmalbandigen Trägers wurde von -20 dBm bis 16 dBm erhöht und dabei die Datenrate des Systems aufgezeichnet. Bei -17 dBm hat das Trägersignal die gleiche Amplitude wie das PLC-Signal. Mit dieser Einstellung wurde keine Beeinträchtigung der Datenrate festgestellt.

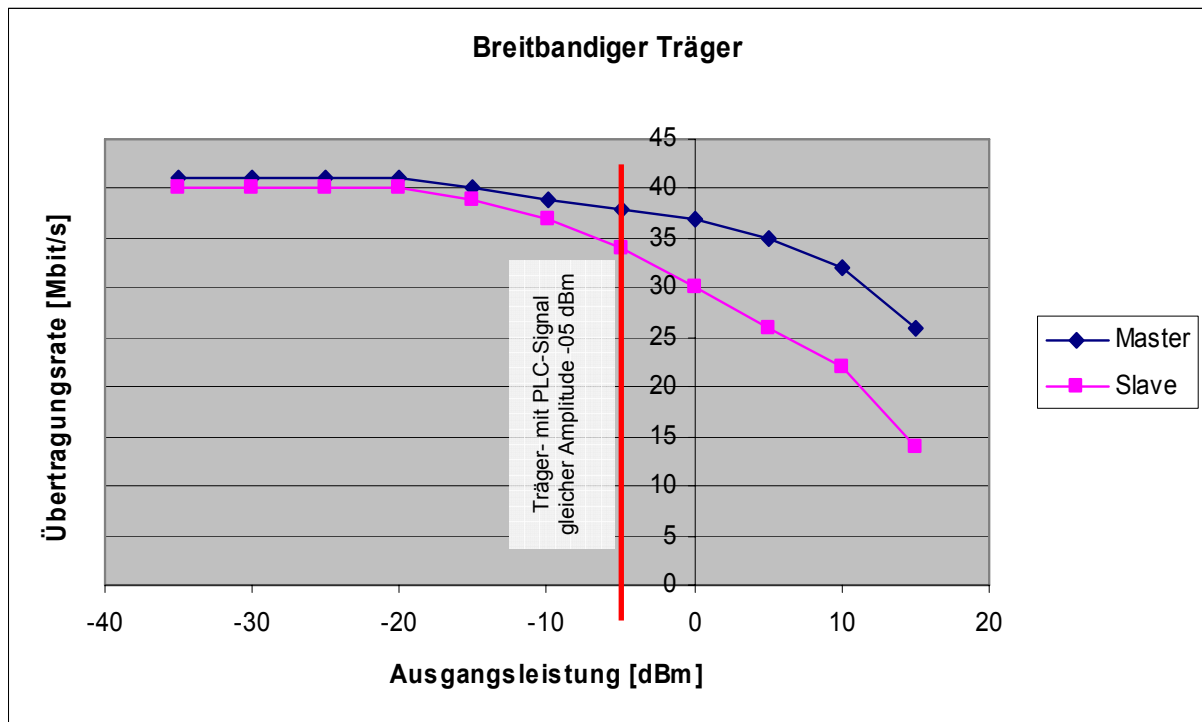
Bei rund 20 dB über dem PLC-Signal treten die ersten Einbussen der Datenrate beim Master-Modem ein. Von der ursprünglichen Datenrate 175 Mbit/s werden beim Master-Modem mit 30 dB über dem PLC-Signal immer noch über 140 Mbit/s übertragen.

Bei rund 15 dB über dem PLC-Signal treten die ersten Einbussen der Datenrate beim Slave-Modem ein. Von der ursprünglichen Datenrate 175 Mbit/s werden beim Slave-Modem mit 30 dB über dem PLC-Signal immer noch über 110 Mbit/s übertragen.

**Bei gleichem Pegel** von Master- und Slave-Modem wie PLC-Signal bei -17 dBm werden immer noch **175 Mbit/s** beim Master- und **175 Mbit/s** beim Slave-Modem von ursprünglichen 175 Mbit/s übertragen.

**Bei 33 dB über dem PLC-Signal** sind die übertragenen Daten beim Master- **145 Mbit/s** und beim Slavemodem noch **110 Mbit/s**.

### 2.3.2 Beeinträchtigung der Datenrate durch einen breitbandigen Träger



Abbild 23: Übertragungsrate zur Ausgangsleistung eines breitbandigen Trägers

Mit einem Mess-Sender (SME 3 von Rohde & Schwarz) wurde ein breitbandiges GMSK Signal mit der Bandbreite von 300kHz generiert und dieses über den 4-Port-Hybrid im Mode 8 eingespielen. Die Ausgangsleistung des schmalbandigen Trägers wurde von -35 dBm bis 15 dBm erhöht und dabei die Datenrate des Systems aufgezeichnet. Bei -35 dBm ist das Trägersignal 30 dB unter dem PLC-Signal.

Bei rund 10 dB unter dem PLC-Signal treten die ersten Einbussen der Datenrate beim Master-Modem ein. Von der ursprünglichen Datenrate 41 Mbit/s werden beim Master-Modem mit gleicher Amplitude wie das PLC-Signal immer noch über 40 Mbit/s übertragen.

Bei rund 10 dB unter dem PLC-Signal treten die ersten Einbussen der Datenrate beim Slave-Modem ein. Von der ursprünglichen Datenrate 41 Mbit/s werden beim Master-Modem mit gleicher Amplitude wie das PLC-Signal immer noch über 39 Mbit/s übertragen.

**Bei gleichem Pegel** von Master- und Slavemodem wie PLC-Signal bei -5 dBm werden immer noch **39 Mbit/s** beim Master- und **35 Mbit/s** beim Slave-Modem von ursprünglichen 41 Mbit/s übertragen.

**Bei 20 dB über dem PLC-Signal** sind die übertragenen Daten beim Master- **26 Mbit/s** und beim Slavemodem noch **14 Mbit/s**.