

## *Application Note*

**C/N  
bei tiefen Trägerfrequenzen  
im SFQ**

### *Products:*

*TV Test Transmitter*      *SFQ*

# C/N bei tiefen Trägerfrequenzen im SFQ

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort .....	3
2	Diskussion der Bereiche .....	6
2.1	Bereich A .....	6
2.2	Bereich B .....	10
2.3	Bereich C .....	12
3	Wie wird der C/N Korrekturbetrag berechnet? Hier: der Fall A2 .....	13
4	Beispiele .....	15
5	Spezielle Einstellungen bei DVB-T .....	16
6	Toleranzbetrachtung .....	17

# Einstellung von C/N im SFQ

## 1 Vorwort

Der wichtigste Parameter zur Bestimmung der Übertragungsqualität ist das Verhältnis C/N. C steht dabei für die Trägerleistung im Übertragungskanal und N für die dem ZF/HF-Signal überlagerte Rauschleistung, die im Normalfall eine Gaußverteilung besitzt und als "weiß" betrachtet werden kann. Da das Rauschen während der Übertragung auf die gesamte Kanalbandbreite addiert wird, besteht keine Korrelation zwischen den Rauschanteilen im oberen und unteren Seitenband bei DVB. Nach der Demodulation entsteht wieder ein Rauschen das "weiß" ist.

Doch was passiert bei der Simulation von Übertragungskanälen, wenn über das DVB Nutzsignal der Bandbreite  $f_{\text{NUTZ}}$  Rauschen der Bandbreite  $f_{\text{RAUSCH}}$  überlagert wird und dieses Signalgemisch anschliessend auf einen Träger umgesetzt wird? Solange die Trägerfrequenz  $f_{\text{T}}$  hoch genug ist -  $f_{\text{T}} > f_{\text{RAUSCH}}$  und  $f_{\text{T}} \gg f_{\text{NUTZ}}$  - ist kein unbeabsichtigter Effekt zu erwarten.

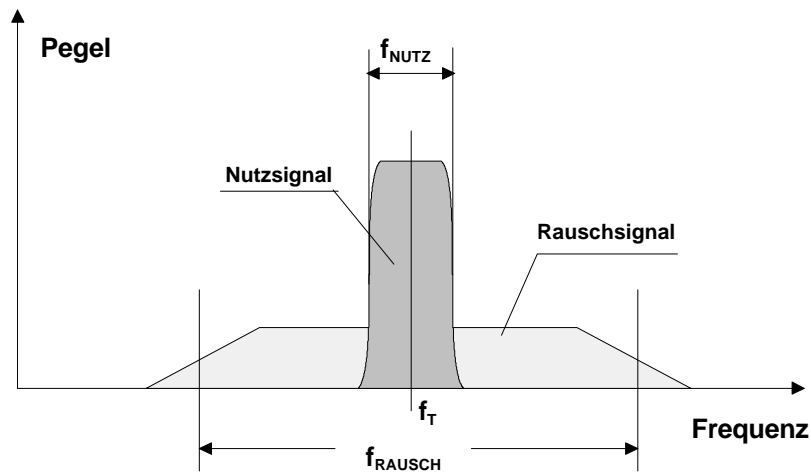


Bild 1 Das verrauschte DVB Spektrum

Das C/N Verhältnis soll aber mit einem TV Meßsender in weiten Bereichen veränderbar sein, egal welche Bandbreite  $f_{\text{NUTZ}}$  gewählt wird. Bei DVB sind unterschiedliche Bandbreiten  $f_{\text{NUTZ}}$  bekannt:

Bei DVB-C und DVB-S ist die Nutzbandbreite an die gewählte Symbolrate gekoppelt, während bei DVB-T genau definierte Bandbreiten je nach terrestrischer Kanalbreite existieren. Bei DVB-C sind Nutzbandbreiten von 0.5....6.95 MHz denkbar und bei DVB-S ist der Bereich noch größer und von 0.5....60 MHz realistisch.

Das Verhältnis C/N sollte auf die jeweilige Nutzbandbreite bezogen sein um eindeutige wiederholbare Bedingungen zu schaffen.[1] Für konstanten mittleren Pegel von C ist der Absolutpegel von C natürlich von der Bandbreite abhängig. Entsprechende Bandbreiten und Pegel müssen auch für das Rauschen verfügbar sein. Deshalb enthält der TV Meßsender SFQ neben dem Rauschen mit 100 MHz Bandbreite (von denen nur die zentralen 60 MHz genutzt werden um in dem Bereich weißes Rauschen zu garantieren) für breitbandige Signale auch ein Rauschsignal mit 15 MHz Bandbreite (von denen nur die zentralen 10 MHz genutzt werden) mit entsprechendem Pegelausgleich (ca.  $10 \times \log(60/10) = 7.8$  dB) für schmalbandige Signale.

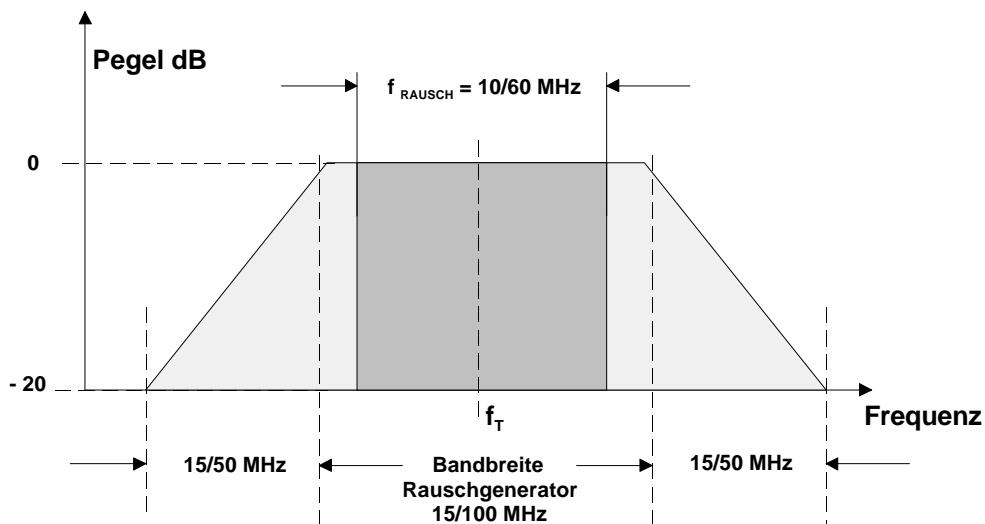


Bild 2 Die Spektren des SFQ Rauschgenerators

Die Umschaltswellen zwischen beiden Bandbreiten liegen bei den Bezugsbandbreiten für C/N  $f_{\text{BEZUG}} \geq 10.1$  MHz für 60 MHz genutzte Rauschbandbreite und bei  $f_{\text{BEZUG}} \leq 10.0$  MHz für 10 MHz genutzte Rauschbandbreite.

Liegt die benutzte Trägerfrequenz  $f_T$  niedriger als die halbe Bandbreite des Rausch- oder Nutzspektrums werden Teile des Spektrums an 0 Hz gespiegelt.

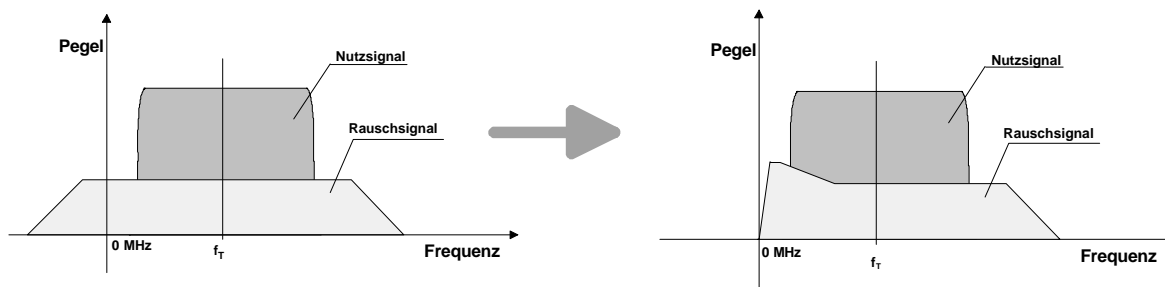


Bild 3 Die Frequenzspiegelung an 0 Hz

Die Spiegelung wird am Beispiel verdeutlicht: Der Teil des Spektrums bei negativen Frequenzen im linken Teilbild wird zu positiven Frequenzen hin umgeklappt. Da eine Spiegelung im Modulator immer mit einem Hochpasseffekt verbunden ist, entsteht ein Spektrum wie im linken Teilbild gezeigt.

Dadurch ergeben sich im Spektrum Bereiche, die bei niedrigen Trägerfrequenzen  $f_T$  wegen der spektralen Spiegelung des Rauschens an 0 Hz genau zu untersuchen sind.

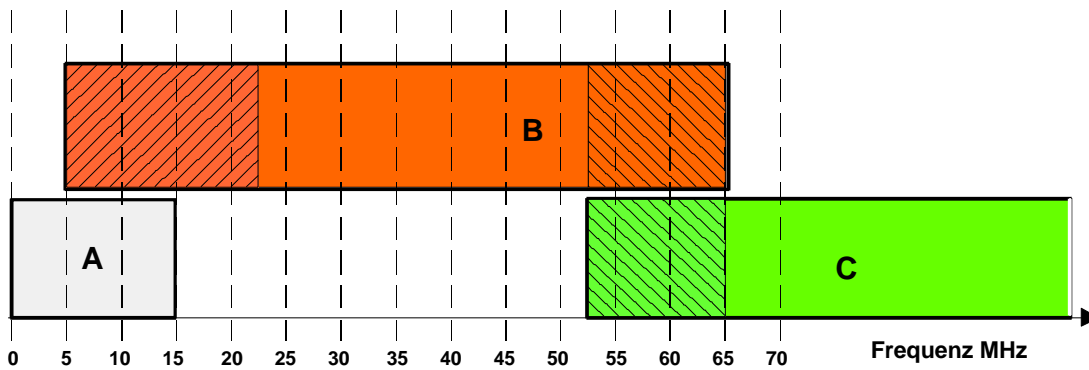


Bild 4 Die kritischen Bereiche zur C/N Einstellung im SFQ

Ziel dieser Betrachtungen ist es trotz der Rauschspiegelungen am TV Meßsender SFQ die Anzeige der exakten C/N Werte zu erhalten.

Der Bereich A:

Bei Trägerfrequenzen  $f_T < 15$  MHz sind zwei Fälle zu untersuchen und zu beschreiben:

A1: C/N Bezugsbandbreite ist gleich der Symbolbandbreite und  $\leq 10.0$  MHz

A2: C/N Bezugsbandbreite wird auf die doppelten Symbolbandbreite gesetzt und ist  $\geq 10.1$  MHz

Aus beiden Fällen abgeleitet ergeben sich spezielle Einstellungen bei DVB-T.

Der Bereich B:

Bei Trägerfrequenzen  $5 < f_T < 65$  MHz sind alle C/N Werte für Bezugsbandbreiten

$f_{\text{BEZUG}} \leq 10.0$  MHz ohne Einschränkungen möglich.

Bei Bezugsbandbreiten  $f_{\text{BEZUG}} \geq 10.1$  MHz sind drei Fälle zu untersuchen:

**B1.** Frequenzbereich  $5 < f_T < 22.5$  MHz: In einem begrenzten Bereich ist die C/N Bezugsbandbreite auf die doppelte Symbolbandbreite zu setzen

**B2.** Frequenzbereich  $22.5 < f_T < 52.5$  MHz: Wegen der spektralen Spiegelung des breitbandigen Rauschens an 0 Hz entsteht in diesem Bereich ein undefiniertes Spektrum.

**B3.** Frequenzbereich  $52.5 < f_T < 65$  MHz: Ob ein definiertes weißes Rauschspektrum entsteht hängt von der vorhandenen Symbolrate ab

Der Bereich C:

**C1:** Im Bereich  $52.5 < f_T < 65$  MHz hängt das resultierende Rauschspektrum wie im Bereich B3 von der vorhandenen Symbolrate ab.

**C2:** Bei Trägerfrequenzen  $f_T > 65$  MHz sind alle C/N Werte für beide Bezugsbandbreiten ohne Einschränkungen möglich.

(Anmerkung: Die Frequenzangaben für die drei Bereiche sind "circa" Angaben)

## 2 Diskussion der Bereiche

### 2.1 Bereich A

#### A1: C/N Bezugsbandbreite ist gleich Symbolbandbreite bei $f_T < 15$ MHz und $f_{\text{BEZUG}} \leq 10.0$ MHz

Speziell in DVB-T wird das Nutzsignal auf eine vergleichsweise niedrige ZF umgesetzt und danach demoduliert. Die Trägerfrequenz  $f_T$  ist sehr häufig die halbe FFT Abtastfrequenz.

Im 8 MHz Kanal liegt diese bei  $f_T = \frac{1}{2} * \frac{64}{7} \approx 4.57$  MHz.

Das zu überlagernde Rauschsignal ist aber breitbandiger.

Die Ungleichung  $f_T > f_{\text{RAUSCH}}$  ist durch die Bandbreite des zu überlagernden Rauschsignals nicht erfüllt. Das Rauschen soll ja einen "Rauschteppich" bilden und muß deshalb mindestens zwei mal die Nutzsignalbandbreite  $f_{\text{NUTZ}}$  haben:  $f_{\text{RAUSCH}} > 2 \times f_{\text{NUTZ}}$

Die Nutzsignalbandbreite  $f_{\text{NUTZ}}$  ist im 8MHz DVB-T Kanal 7.607 MHz und die Rauschbandbreite sollte daher mindestens  $f_{\text{RAUSCH}} \geq 2 \times 7.607 \approx 15$  MHz betragen.

Um sicherzustellen, daß das überlagerte Rauschen auch "weiß" ist, verwendet der TV Meßsender SFQ nur die zentralen 10 MHz des 15 MHz breiten (optionalen) Rauschspektrums, wenn die Bezugsbandbreite des C/N Verhältnisses  $f_{\text{BEZUG}} \leq 10.0$  MHz beträgt.

Das erzeugt folgendes fiktives Spektrum:

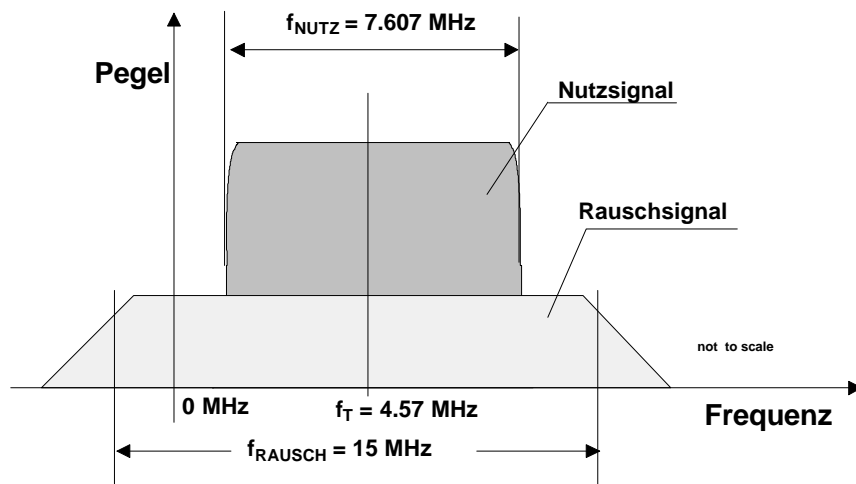


Bild 5 Fiktives Spektrum

Bei der Ummischung auf die Trägerfrequenz  $f_T = 4.57$  MHz spiegeln sich die Spektralanteile des "negativen" Frequenzbereichs um 0 MHz ins Positive.

Es entsteht das reale Spektrum:

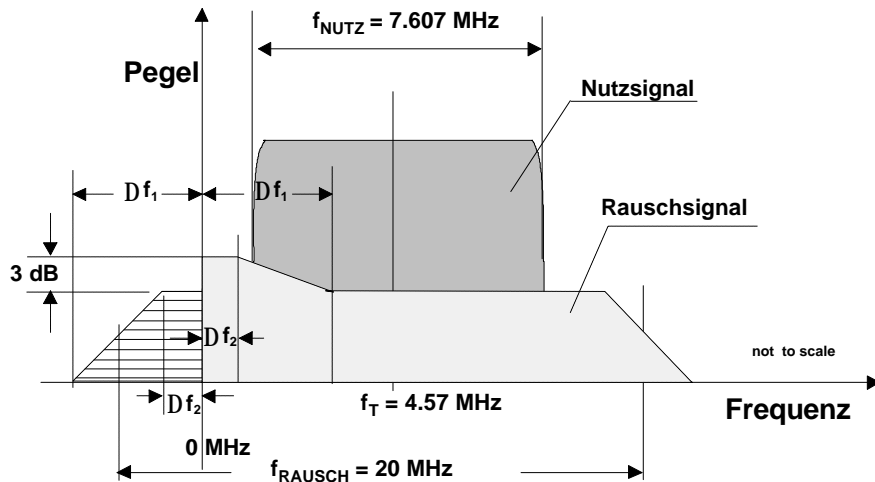


Bild 6 Reales Spektrum mit Spiegelung des Rauschens

Mit Berücksichtigung des Hochpasseffekts beim Mischprozess erhält man:

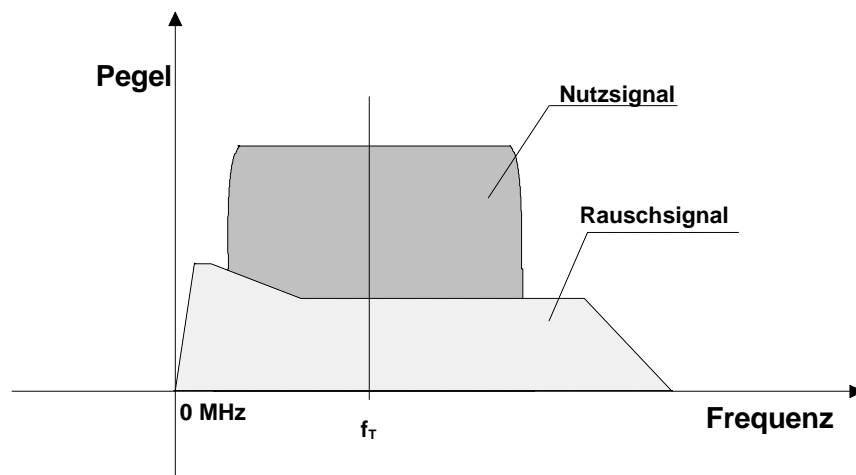


Bild 7 Reales Spektrum

Je nach Spektrum des Rauschsignals, das bestimmt ist durch die Bandbreite und die Steilheit der Begrenzungsfiler an den Bandgrenzen, wird das resultierende Spektrum mehr oder weniger komplex. Das dem Nutzsignal überlagerte Rauschen wird farbig und ist im Pegel nur unzureichend zu bestimmen.

Die Kurven zur Bestimmung des Bitfehlerverhältnisses BER in Abhängigkeit von S/N (wobei gilt  $C/N = S/N + k_{\text{roll off}}[1]$ ) sind nicht mehr gültig, weil die theoretische Berechnung von weißem Rauschen ausgeht.

Der aktuelle C/N Wert und die Anzeige am SFQ sind zwar miteinander verknüpft, aber nur schwer ineinander umzurechnen.

**A 2: C/N Bezugsbandbreite wird auf die doppelten Symbolbandbreite gesetzt bei  $f_T < 15$  MHz und  $f_{\text{BEZUG}} \approx 10.1$  MHz**

Welche Möglichkeit besteht jetzt die Systemgrenzen bei sehr niedrigen Trägerfrequenzen (wie bei der DVB-T Umsetzung eines 7.607 MHz bzw. 6.656 MHz Kanales in die ZF 4.57 MHz) mit Hilfe von Rauschen und BER zu vermessen?

Einen möglichen Weg zeigt der TV Meßsender SFQ von R&S mit dem (optionalen) Rauschgenerator der realen Bandbreite 100 MHz, wenn die C/N Bezugsbandbreite  $f_{\text{BEZUG}} \geq 10.1$  MHz gewählt ist. Die Umschaltung von 10 MHz Nutzrauschbandbreite auf die größere Nutzrauschbandbreite 60 MHz erfolgt an dieser Frequenzgrenze im SFQ automatisch (siehe Bild2). Im Falle von DVB wird diese Forderung erfüllt, wenn als Bezugsbandbreite die doppelte Nutzbandbreite gewählt wird.

Damit ändern sich die Spektralbetrachtungen wie folgt:

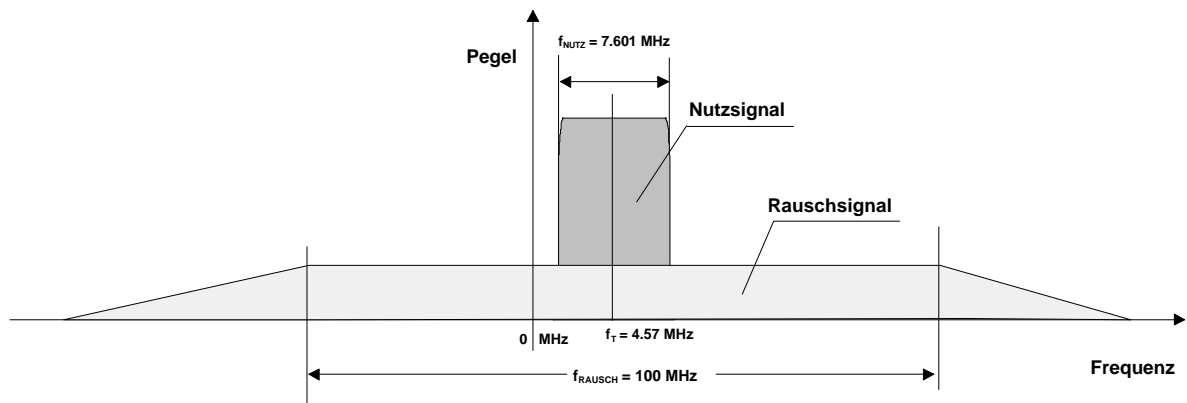


Bild 8 Fiktives Spektrum mit breitbandigem Rauschspektrum

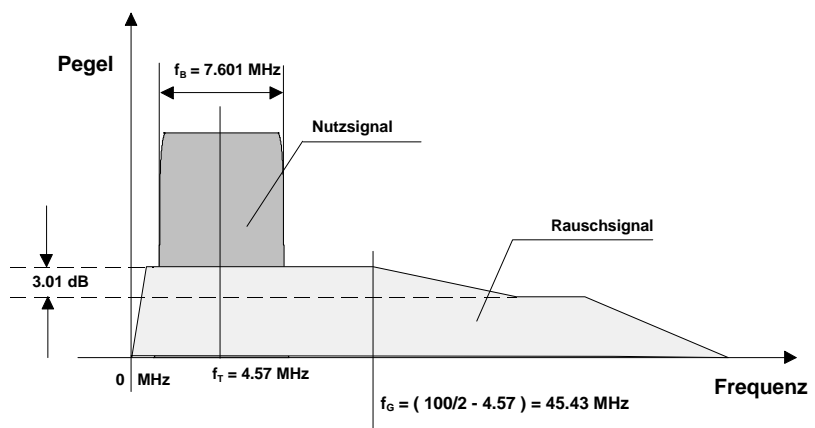


Bild 9 Reales Spektrum mit breitbandigem Rauschspektrum

Man erkennt, daß

- die Summe des direkt überlagerten Rauschens und des um 0 MHz gespiegelten Rauschens im Nutzfrequenzbereich wieder weiß ist,
- das Rauschen aber einen um  $k_{\text{SPIEGEL}} = 3.01$  dB höheren Pegel aufweist, solange die doppelte Symbolbandbreite  $\geq 10.1$  MHz ist.



Die theoretischen Kurven "BER in Abhängigkeit von S/N" gelten wieder, wenn der Rauschpegel korrigiert wird.  
 Das ist in diesem Falle einfach auszuführen: Man wählt die doppelte Symbolbandbreite als Rauschbezugsbandbreite. Dadurch wird die Rauschdichte um eben diese 3.01 dB verringert und die C/N Anzeige am SFQ ist wieder exakt.

Bei welcher Trägerfrequenz  $f_T < 15$  MHz welche Rauschbezugsbandbreite für resultierendes weißes Rauschen zulässig ist zeigt Bild 10:

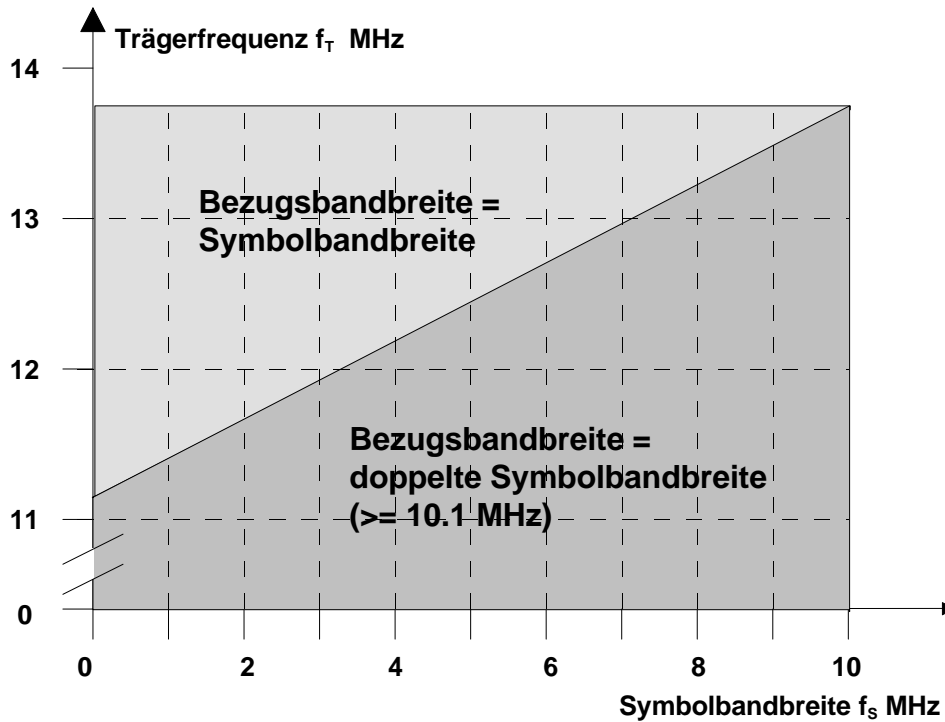


Bild 10 Trägerfrequenz  $f_T < 15$  MHz als Funktion der Symbolbandbreite  $f_s \leq 10.0$  MHz bzw. der Bezugsbandbreite für C/N für weißes Rauschen und richtige C/N Anzeige am SFQ

Ist dagegen die doppelte Symbolbreite  $\leq 10.0$  MHz muß die Korrektur der SFQ Anzeige berechnet werden. Die Abschnitte 3 und 4 zeigen dazu einige Beispiele.

## 2.2 Bereich B

**B1** Frequenzbereich  $5 \text{ MHz} < f_T < 22.5 \text{ MHz}$ , Symbolbandbreite  $f_S \geq 10.1 \text{ MHz}$   
MHz:

**In einem begrenzten Bereich ist die C/N Bezugsbandbreite auf die doppelte Symbolbandbreite zu setzen**

Im Frequenzbereich  $5 \text{ MHz} < f_T < 16.7 \text{ MHz}$  ist die mögliche Symbolbandbreite  $f_S = 2 \times f_T$  MHz. Wird die Symbolbandbreite bei diesen niedrigen Trägerfrequenzen größer gewählt, so spiegelt sich das Symbolspektrum an 0Hz und ist damit nicht zulässig.

Betrachtet man den Bereich  $16.7 < f_T < 22.5 \text{ MHz}$  so bestimmt das weiße Spektrum des gespiegelten 100 MHz Rauschens mit der 50 MHz breiten Filterflanke bis zur Pegelabsenkung auf -20 dB die Begrenzung der Symbolrate. Die größtmögliche Symbolbandbreite mit  $f_S = 33.3 \text{ MHz}$  wird bei der Trägerfrequenz  $f_T = 16.7 \text{ MHz}$  erreicht.

Die Summe des gespiegelten und direkt überlagerten Rauschens bildet im gesamten Bereich wieder weißes Rauschen, aber mit 3.01 dB höherem Pegel als am SFQ Display angezeigt wird. Wählt man als C/N Bezugsbandbreite die doppelte Symbolbandbreite, so wird die Pegeldifferenz kompensiert. Am SFQ erscheint die richtige C/N Angabe.

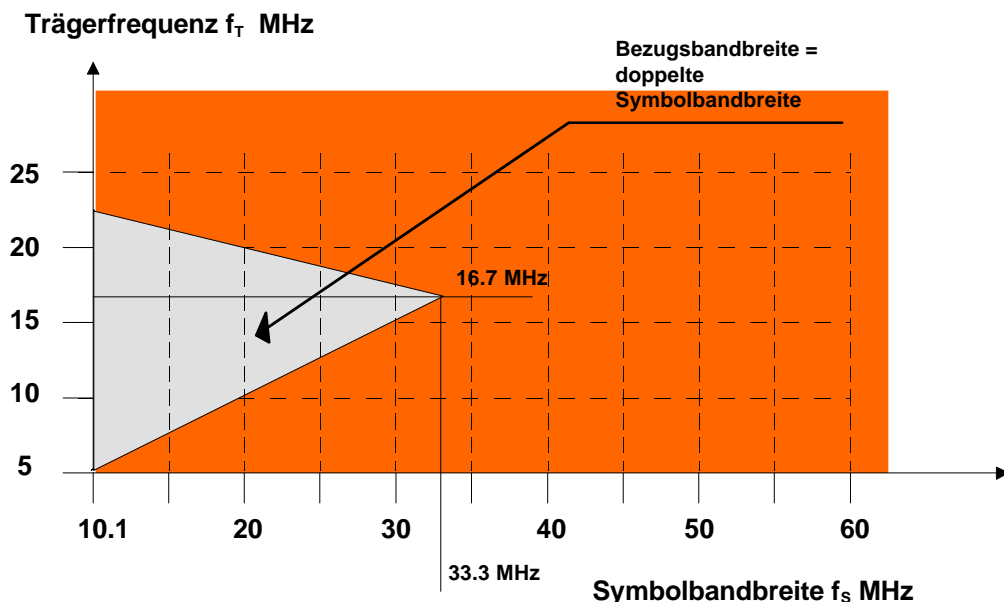


Bild 11 Trägerfrequenz  $5 < f_T < 22.5 \text{ MHz}$  als Funktion der Symbolbandbreite  $f_S \geq 10.1 \text{ MHz}$

Außerhalb des grauen Bereiches ist im Fall B1 die Bedingung "weißes Rauschen" nicht erfüllt und daher für  $f_S \geq 10.1 \text{ MHz}$  nicht zur C/N Einstellung am SFQ geeignet. Dagegen sind bei Bezugsbandbreiten (Symbolbandbreiten)  $\leq 10.0 \text{ MHz}$  keinerlei Grenzen gesetzt.

**B2    Frequenzbereich  $5 \text{ MHz} < f_T < 52.5 \text{ MHz}$ , Symbolbandbreite  $f_s \approx 10.1 \text{ MHz}$ :**

Wie im Fall B1 ist außerhalb des grauen Dreieckbereiches die Bedingung "weißes Rauschen" nicht erfüllt. Das Rauschen, das bis zur -20 dB Absenkung eine Bandbreite von etwa 200 MHz besitzt, spiegelt sich in diesen Frequenzbereich, erzeugt "farbiges" Rauschen und ist daher nicht zur C/N Einstellung am SFQ geeignet. Als Grenze ist die Bandbreite bis zur -20 dB Absenkung gewählt, weil ab hier die Beeinflussung der Rauschdichte durch das gespiegelte Signal  $< 0.05 \text{ dB}$  ist. Dieser Wert ist auch bei der Messung des BER in Abhängigkeit vom Rauschen zu vernachlässigen.

Für Bezugsbandbreiten (Symbolbandbreiten)  $\leq 10.0 \text{ MHz}$  sind dagegen keinerlei Grenzen gesetzt.

**B3    Frequenzbereich  $52.5 \text{ MHz} < f_T < 65 \text{ MHz}$ ,  
Symbolbandbreite  $f_s \approx 10.1 \text{ MHz}$  :**

Bei der Trägerfrequenz  $f_T = 52.5 \text{ MHz}$  ist der Einfluss des gespiegelten Rauschens bei einer Symbolbandbreite von  $f_s = 10.1 \text{ MHz}$  schon vernachlässigbar. Größere Symbolbandbreiten fallen aber schon wieder in den Bereich farbigen Rauschens. Die Grenzlinie für farbiges Rauschen zieht sich linear bis  $f_T = 65 \text{ MHz}$  und erreicht dort die Symbolbandbreite  $f_s = 60 \text{ MHz}$  (siehe Bild 12). Überhalb dieser Grenzlinie entsteht in jedem Falle weißes Rauschen. Dort bestehen keinerlei Einschränkungen mehr.

## 2.3 Bereich C

### C1 Frequenzbereich $52.5 \text{ MHz} < f_T < 65 \text{ MHz}$ , Symbolbandbreite $f_s \cong 10.1 \text{ MHz}$ :

Der Fall C1 liegt überhalb der Grenzlinie die unter B3 beschrieben ist und hat damit keinerlei Einschränkungen in der nutzbaren Symbolbandbreite. Bei Symbolbandbreiten  $> 60 \text{ MHz}$  ist die Grenzlinie linear zu verlängern um das Diagramm anzupassen.

### C2 Frequenzbereich $f_T > 65 \text{ MHz}$ , Symbolbandbreite $f_s \cong 10.1 \text{ MHz}$ :

Bei Trägerfrequenzen  $f_T > 65 \text{ MHz}$  sind alle C/N Werte für beide Bezugsbandbreiten ohne Einschränkungen möglich. Die SFQ Anzeige ist in jedem Fall im Rahmen der zulässigen Toleranz richtig

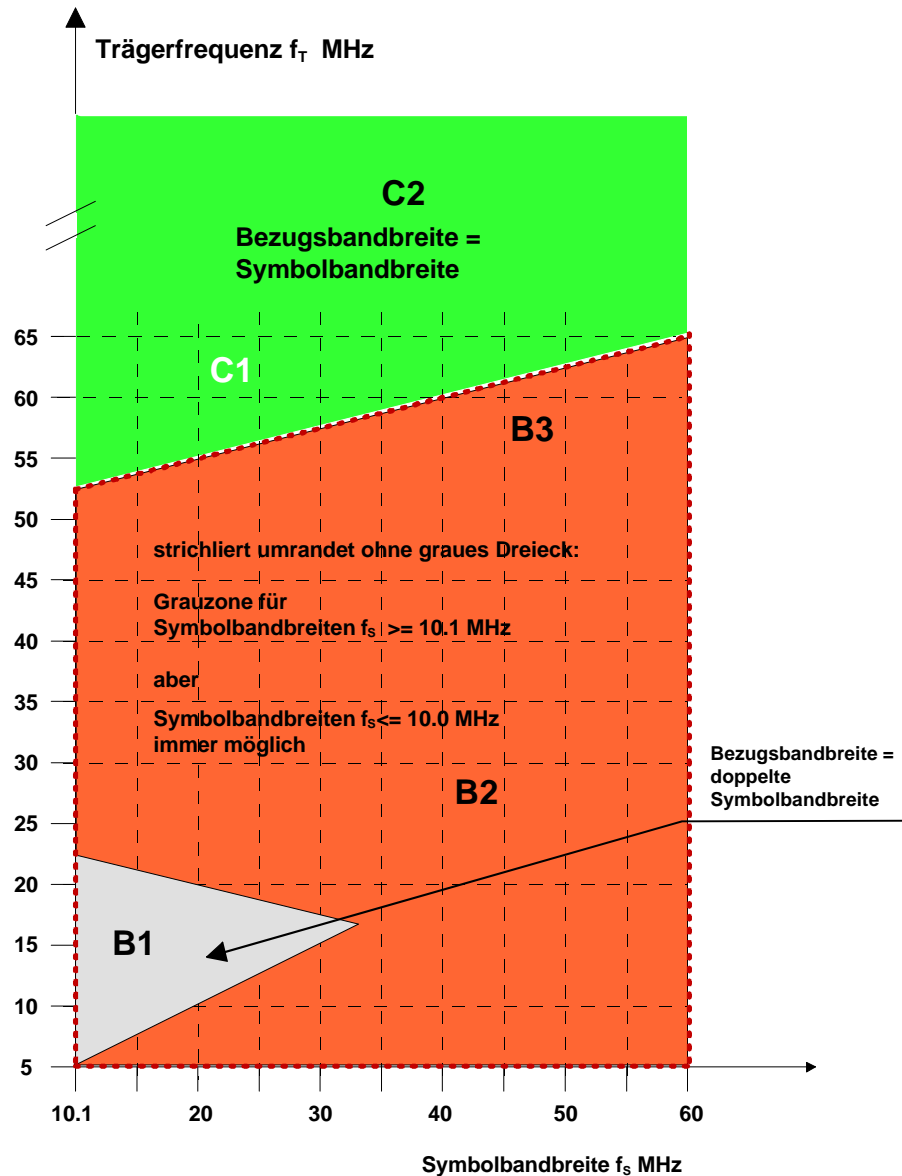


Bild 12 Die Bereiche B und C:  $f_T$  als Funktion von  $f_s \geq 10.1 \text{ MHz}$  bzw. der Bezugsbandbreite für C/N für weißes Rauschen und richtige C/N Anzeige am SFQ

### 3 Wie wird der C/N Korrekturbetrag berechnet?

#### Hier: der Fall A2

Überlagert man Rauschen auf ein DVB - Nutzsignal sollte für die C/N Bestimmung immer die Nutzsignalbandbreite der Bezug sein. Zur Einhaltung der Bedingung "weißes Rauschen" ist die Rauschbandbreite  $f_{\text{RAUSCH}} > f_{\text{BEZUG}}$  zu wählen.

Die genutzte SFQ Rauschsignalbandbreite  $f_{\text{RAUSCH}} = 60$  MHz erfüllt die Ungleichung, wenn die Bezugsbandbreite für C/N  $f_{\text{BEZUG}} = 10.1$  MHz gewählt wird. 10.1 MHz ist die niedrigste Bezugsbandbreite für C/N bei der automatisch auf die Rauschbandbreite  $f_{\text{RAUSCH}} = 60$  MHz im SFQ umgeschaltet wird. Wegen der spektralen Spiegelung um 0 MHz ist damit der Korrekturfaktor  $k_{\text{SPIEGEL}} = 3.01$  dB im Frequenzbereich  $f < 25$  MHz bei Trägerfrequenzen  $f_T \leq 10$  MHz (siehe Bild 12).

Zur C/N Einstellung wird der Rauschpegel mit Hilfe der Eichleitung im Rauschgenerator angepasst, um bei verschiedenen Nutzsignalbandbreiten die gewünschten C/N Werte zu erreichen.

Geht man von einer heute maximalen Nutzbandbreite von 7 MHz (6.95 MHz im DVB-C Kabelkanal mit 64 QAM) aus, so ist im SFQ das C/N Verhältnis durch die maximale Rauschdichte im 60 MHz Rauschen auf -1.4 dB begrenzt, aber durch die geringere Nutzbandbreite verringert sich der Rauschanteil um  $g = 10 * \log_{10}\left(\frac{10.1}{7}\right) = 1.59$  dB, d.h. der reale

Wert am SFQ ZF/HF Ausgang liegt zunächst bei  $C/N = -1.4 + 1.59 = 0.19$  dB. Weil aber das gespiegelte Rauschen noch addiert wird, erreicht man ein  $C/N = 0.19 - 3.01 = -2.82$  dB. Verringert man dagegen die Nutzbandbreite auf 1 MHz, so müßte das Rauschen um den Faktor  $g = 10 * \log_{10}\left(\frac{10.1}{1}\right) - 3.01 = 7.03$  dB verstärkt werden um den realen Wert  $C/N = -1.4$  dB

zu erreichen. Tatsächlich läßt sich im Fall A2 am SFQ nur  $C/N = -1.4 + 7.03 = 5.63$  dB einstellen, weil die maximale Rauschdichte des 60 MHz Rauschens nicht mehr zuläßt. Die theoretische Grenze bei 64 QAM im Kabelkanal liegt aber bei 24 dB für eine "QEF" Übertragung (Quasi Error Free bei  $BER \leq 2 * 10^{-4}$ ) und somit sehr weit von dieser Begrenzung entfernt.

Ist die gewählte Bezugsbandbreite für C/N  $f_{\text{BEZUG}} < 10$  MHz wird sich bei Trägerfrequenzen  $f_T < 10$  MHz der oben beschriebene Fall A1 ergeben. In dieser Betriebsart werden daher die theoretisch berechneten Kurven für BER in Abhängigkeit von S/N ungültig sein.

Ist aber die Trägerfrequenz  $f_T < 10$  MHz (siehe Tabelle 2) und wird die Bezugsbandbreite für C/N  $f_{\text{BEZUG}} = 10.1$  MHz gewählt, so erreicht man den oben beschriebenen Fall A2 mit gültigen theoretischen Kurven.

Wie schon an Beispielen gezeigt, muß zu der Korrektur  $k_{\text{SPIEGEL}} = 3.01$  dB ein weiterer Korrekturfaktor  $k_{\text{NUTZ}}$  berücksichtigt werden, weil gilt:  $f_{\text{BEZUG}} \cdot f_{\text{NUTZ}}$

$$k_{\text{NUTZ}} = 10 * \log_{10}\left(\frac{f_{\text{BEZUG}}}{f_{\text{NUTZ}}}\right) = 10 * \log_{10}\left(\frac{10.1 * 10^6}{f_{\text{NUTZ}}}\right) \text{ dB .}$$

Tabelle 1

Korrekturwerte  $k_{\text{NUTZ}}$  bei verschiedenen Nutzbandbreiten:

$f_{\text{NUTZ}}$ MHz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k_{\text{NUTZ}}$ dB	10.043	7.033	5.272	4.023	3.054	2.262	1.592	1.012	0.501	0.043

und speziell für DVB-T

$f_{\text{NUTZ}}$ MHz	7.607	6.656
$k_{\text{NUTZ}}$ dB	1.231	1.81

Tabelle 2

Nutzbandbreiten  $f_{\text{NUTZ}}$  in Abhängigkeit von der Trägerfrequenz  $f_{\text{T}}$

Trägerfrequenz $f_{\text{T}}$ in MHz	Nutzbandbreite $f_{\text{NUTZ}}$ in MHz
1	2 - $\Delta f$
2	4 - $\Delta f$
3	6 - $\Delta f$
4	8 - $\Delta f$
5	10 - $\Delta f$
6	12 - $\Delta f$
7	14 - $\Delta f$
8	16 - $\Delta f$
9	18 - $\Delta f$
10	20 - $\Delta f$
12	24 - $\Delta f$
14	22 - $\Delta f$

- $\Delta f$  berücksichtigt den Hochpasseffekt bei 0 MHz
- die C/N Bezugsbandbreite  $f_{\text{BEZUG}}$  die symmetrisch zum Träger  $f_{\text{T}}$  liegt, darf die Grenzfrequenz  $f_{\text{WEISS}} \approx 25$  MHz nicht überschreiten.

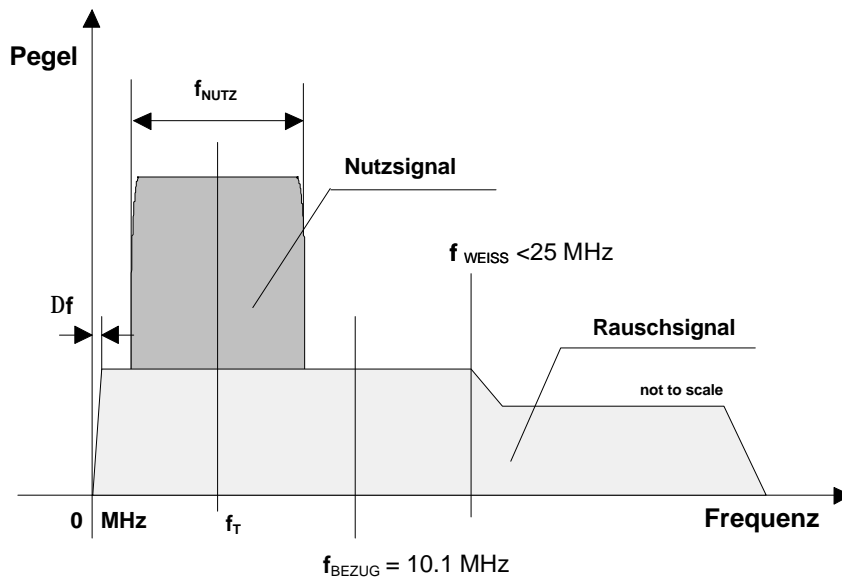


Bild 12 Nutzbandbreiten  $f_{\text{NUTZ}}$  in Abhängigkeit von  $f_{\text{T}} < 15$  MHz für weißes Rauschen

Da das Rauschspektrum mit  $f_{\text{RAUSCH}} = 100$  MHz an den Bandgrenzen schon abfällt, sollte der Fall A2 nur bis  $f_{\text{BEZUG}} < 25$  MHz genutzt werden.

Die **Gesamtkorrektur** ist gemäß folgender Gleichung, solange die SFQ Einstellungen die Bedingungen der Tabelle 2 einhalten:

$$k = k_{\text{NUTZ}} - k_{\text{SPIEGEL}} = 10 * \log_{10} \left( \frac{10.1 * 10^6}{f_{\text{NUTZ}}} \right) - 3.01 \text{ dB}$$

## 4 Beispiele:

### Beispiel 1: DVB-T VHF Kanal

Zur Demodulation von DVB-T im 7MHz VHF Kanal mit einer Nutzbandbreite

$f_{\text{NUTZ}} = 6.656 \text{ MHz}$  liegt der ZF Träger nach der Umsetzung bei

$f_{\text{T}} = (64/8) \times 0.5 = 4 \text{ MHz}$ .

Die Bezugsbandbreite für C/N ist  $f_{\text{BEZUG}} = 10.1 \text{ MHz}$  (Fall A2).

Der Pegelkorrekturfaktor berechnet sich zu:

$k = k_{\text{NUTZ}} - k_{\text{SPIEGEL}} = 1.81 - 3.01 = -1.2 \text{ dB}$

Ist am SFQ ein C/N Verhältnis von 25 dB gewählt, so liegt der wahre C/N Wert bei

$C/N = 25 - 1.2 = 23.8 \text{ dB}$

### Beispiel 2: DVB-C Rückkanal

Der Frequenzbereich für den DVB-C Rückkanal liegt zwischen 5 und 45 MHz.

Die Bezugsbandbreite für C/N ist  $f_{\text{BEZUG}} = 10.1 \text{ MHz}$  (Fall A2).

Unter der Annahme, daß die Trägerfrequenz  $f_{\text{T}} = 7.5 \text{ MHz}$  und die Nutzbandbreite

$f_{\text{NUTZ}} = 1 \text{ MHz}$  beträgt, berechnet sich der Korrekturfaktor zu:

$k = k_{\text{NUTZ}} - k_{\text{SPIEGEL}} = 10.04 - 3.01 = 7.03 \text{ dB}$

Ist am SFQ ein C/N Verhältnis von 20 dB gewählt, so liegt der wahre C/N Wert bei

$C/N = 20 + 7.03 = 27.03 \text{ dB}$ .

### Betrachtungen einiger Grenzbedingungen

#### Beispiel 3:

Die **Trägerfrequenz** liegt bei  $f_{\text{T}} = 5 \text{ MHz}$ ,

die **Nutzbandbreite** hat den Wert  $f_{\text{NUTZ}} = 10 \text{ MHz}$  (die Hochpaßcharakteristik der Umsetzung und evtl. "roll off" seien zu vernachlässigen),

die Bezugsbandbreite für C/N ist  $f_{\text{BEZUG}} = 10.1 \text{ MHz}$

Die Nutzbandbreite füllt die C/N Bezugsbandbreite (fast) voll aus.

$$k = k_{\text{NUTZ}} - k_{\text{SPIEGEL}} = 10 * \log_{10} \left( \frac{10.1 * 10^6}{10.0 * 10^6} \right) - 3.01 \text{ dB}$$

$k = 0.04 - 3.01 = -2.97 \approx -3 \text{ dB}$

Der Wert für C/N im ZF/HF Signal ist um den Einfluß der Rauschspiegelung kleiner. Die Bezugsbandbreite für C/N ist  $f_{\text{BEZUG}} = f_{\text{NUTZ}}$ . Eine Korrektur wegen unterschiedlicher Bandbreiten ist nicht gegeben, die gespiegelte Rauschleistung verschlechtert ohne Minderung das Verhältnis C/N.

Ist am SFQ ein C/N Verhältnis von 20 dB gewählt, so liegt der wahre C/N Wert bei

$C/N = 20 - 3 = 17 \text{ dB}$ .

#### Beispiel 4:

Die **Trägerfrequenz** liegt bei  $f_{\text{T}} = 5 \text{ MHz}$ ,

die **Nutzbandbreite** hat den Wert  $f_{\text{NUTZ}} = 5 \text{ MHz}$  (die Hochpaßcharakteristik der Umsetzung und evtl. "roll off" seien zu vernachlässigen),

die Bezugsbandbreite für C/N ist  $f_{\text{BEZUG}} = 10.1 \text{ MHz}$ .

Die Nutzbandbreite füllt die Bezugsbandbreite zur Hälfte aus.

$$k = k_{\text{NUTZ}} - k_{\text{SPIEGEL}} = 10 * \log_{10} \left( \frac{10.1 * 10^6}{5.0 * 10^6} \right) - 3.01 \text{ dB}$$

$$k = 3.05 - 3.01 = -0.04 \approx 0 \text{ dB}$$

Weil  $f_{\text{BEZUG}} \approx 2 \times f_{\text{NUTZ}}$  beträgt, kompensieren sich beide Korrekturfaktoren. In dieser Konfiguration nach Fall A2 ist die Anzeige von C/N am SFQ richtig.

## 5 Spezielle Einstellungen bei DVB-T

Die angesprochenen niedrigen ZF Trägerfrequenzen  $f_T$  treten hauptsächlich bei der Signalverarbeitung in DVB-T auf. Um Unstimmigkeiten bei der Einstellung und Anzeige der C/N Werte am SFQ zu vermeiden, kann man die Einstellungen bei DVB-T entsprechend dem Beispiel 4 ausführen.

Die 100 MHz Bandbreite des (optionalen) SFQ Rauschgenerators erlaubt die Ausnutzung des an 0 MHz gespiegelten Rauschens bis ca. 25 MHz. Bis zu dieser Frequenzgrenze erzeugt die Summe des 100 MHz Rauschens (von dem nur die zentralen 60 MHz genutzt werden) mit dem gespiegelten Rauschen das geforderte "weiße" Rauschen. Hier werden alle Bedingungen des Falles A2 eingehalten. Man kann also generell folgern:

Wird die Bezugsbandbreite  $f_{\text{BEZUG}} = 2 \times f_{\text{NUTZ}}$  am SFQ eingestellt ( $f_{\text{BEZUG}} < 25 \text{ MHz}$ ), so stimmt der angezeigte C/N Wert mit dem tatsächlichen C/N Wert des ZF/HF Signals am Ausgang des SFQ überein, weil bei DVB-T die doppelte Nutzbandbreite immer größer als 10.1 MHz ist.

Zur Erinnerung: bei Bezugsbandbreiten  $f_{\text{BEZUG}} \geq 10.1 \text{ MHz}$  schaltet die Bandbreite des Rauschgenerators im SFQ automatisch auf die genutzten  $f_{\text{RAUSCH}} = 60 \text{ MHz}$  um. Die Messung "BER in Abhängigkeit von S/N" ist also wieder sehr einfach durchzuführen, ohne die obigen Gleichungen im Detail anwenden zu müssen.

Die Nutzbandbreiten bei DVB-T, zugehörige ZF Trägerfrequenzen und die Wahl der Bezugsbandbreite für C/N am SFQ lassen sich aus Tabelle 3 ablesen.

Tabelle 3

DVB-T Mode	Nutzbandbreite $f_{\text{NUTZ}}$ MHz	ZF Trägerfrequenz $f_T$ MHz	Bezugsbandbreite für C/N $f_{\text{BEZUG}} = 2 \times f_{\text{NUTZ}}$ MHz	Einstellung am SFQ $f_{\text{BEZUG}}$ MHz
<b>8MHz, 8k</b>	7607143	4.57	15214286	<b>15.2</b>
<b>8MHz, 2k</b>	7607143	4.57	15214286	<b>15.2</b>
<b>7 MHz, 8k</b>	6.656250	4.00	13.312500	<b>13.3</b>
<b>7 MHz, 2k</b>	6.656250	4.00	13.312500	<b>13.3</b>
<b>6 MHz, 8k</b>	5.705357	3.428571	11.410714	<b>11.4</b>
<b>6 MHz, 2k</b>	5.705357	3.428571	11.410714	<b>11.4</b>

Mit den Einstellungen nach Tabelle 3 stimmt der am SFQ angezeigte C/N Wert mit dem tatsächlichen C/N Wert des ZF/HF Signals am Ausgang des SFQ überein.



## 6 Toleranzbetrachtung

Die Absolutgenauigkeit des Rauschens ist bei  $23 \pm 3^\circ\text{C}$  nach Datenblatt  $< 0.5$  dB. Berücksichtigt man den Spiegeleffekt bei 0 MHz, wie er gemäß den Bedingungen der Tabelle 3 auftritt, so verdoppelt sich die zulässige Toleranz auf  $< 1$  dB im Frequenzbereich bis  $f_{\text{WEISS}} = 25$  MHz. Wie in [1] ausgeführt, ist diese Genauigkeit für eine exakte BER Messung nicht ausreichend. Deshalb muß vor jeder Präzisionsmeßreihe zur BER Bestimmung das C/N bzw. S/N Verhältnis (wie in der Application Note beschrieben) mit der Absolutgenauigkeit von ca. 0.1 dB gemessen werden.

Literatur [1] Application Note 7BM03\_1E Bit Error Ratio in DVB as a Function of S/N

04.09.00