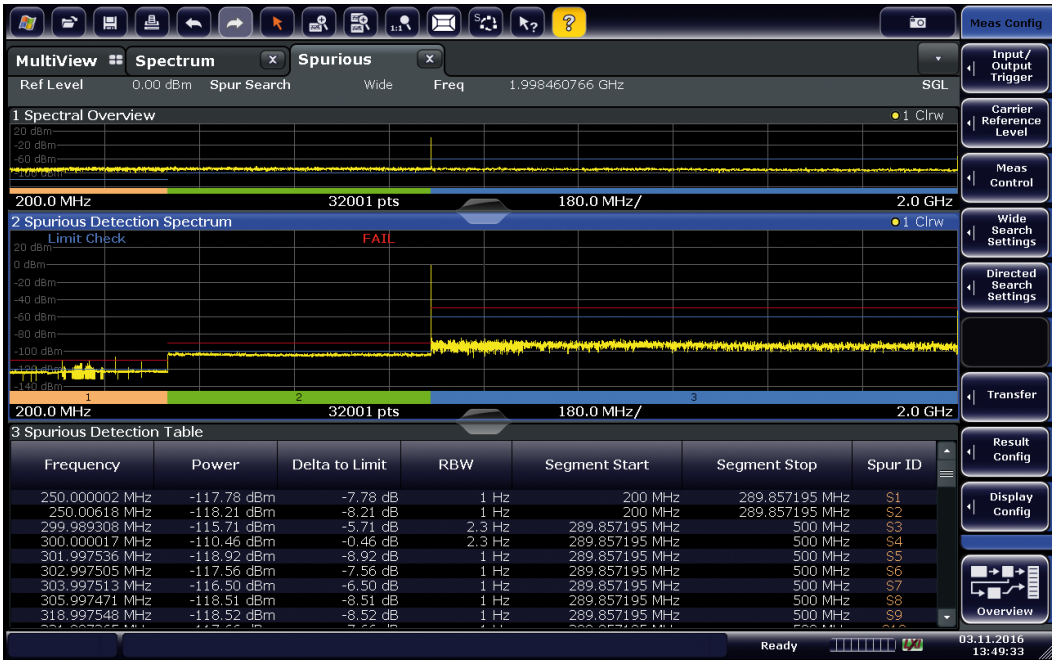
Fortgeschrittene Techniken für Messungen von Störemissionen

In diesem Artikel werden die Grundlagen von Störemissionsmessungen besprochen und es wird gezeigt, wie sich die angewandten Parameter auf die Detektionsleistung auswirken können.



Die Suche nach Störemissionen mit Spektrumanalysatoren gehört zu den anspruchsvollsten Messungen bei der Entwicklung, Verifizierung und Fertigung von HF- und Mikrowellengeräten. HF-Entwickler, insbesondere in den Bereichen Luftfahrt und Verteidigung, müssen Störemissionen mit einem sehr niedrigen Pegel detektieren. Es sind sehr schmale Auflösungsbandbreiten erforderlich, um Messungen bei geringem Grundrauschen durchzuführen. Dadurch erhöht sich die Messzeit. Selbst mit sehr schnellen Spektrumanalysatoren kann eine Störemissionssuche mehrere Stunden oder sogar Tage dauern. In der Messapplikation Option R&S FSW-K50 Spurious-Messungen kommt eine neue Technik zum Einsatz, mit der sich die Störemissionssuche beschleunigen und einfacher konfigurieren lässt.

Grundlagen

Störemissionen sind unerwünschte Aussendungen innerhalb und außerhalb der Nutzbandbreite. Sie mit Spectrum Analyzern festzustellen, ist eine essentielle Messung bei Design, Verifikation und Production von HF- und Mikrowellen-Geräten, wie Radar-Sendern oder Satelliten-Up- und -Down-Konvertern. Besonders bei Luftfahrt- und Wehrtechnik-Applikationen ist es oft erforderlich, strenge Vorgaben einzuhalten. Daher ist

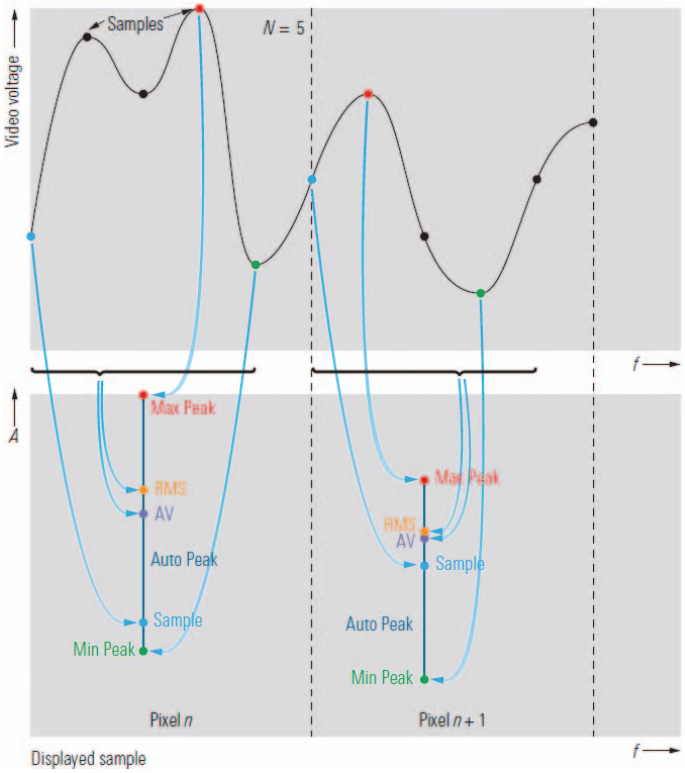


Bild 1: Auswahl von einem Sample, das dargestellt werden soll, in Abhängigkeit vom eingesetzten Detektor [1]

Quelle: Advanced Techniques for Spurious Measurements with R&S FSW-K50, White Paper Rhode & Schwarz, 1EF97, 2018, www.rohde-schwarz.com/appnote/1EF97 übersetzt und gekürzt von FS

Produkte, auf die Bezug genommen wird: R&S®FSW R&S®FSW-K50

es auch erforderlich, innerhalb eines weiten Frequenzbereichs sehr kleine Störpegel aufzuspüren. Dabei ist eine geringe Auflösungsbandbreite (Resolution Bandwidth, RBW) erforderlich, um den Rauschpegel niedrig zu halten. Daher kommt man besser voran, wenn man vorher bestimmen kann, wo Störemissionen im Spektrum auftreten können. Denn eine RBW von wenigen Hertz bedeutet eine große Messzeit. Der neue Ansatz beim Messverfahren R&S®FSW-K50 reduziert die Messzeit und erlaubt automatisches Messen auch bei Störpegeln von nur -120 dBm oder darunter.

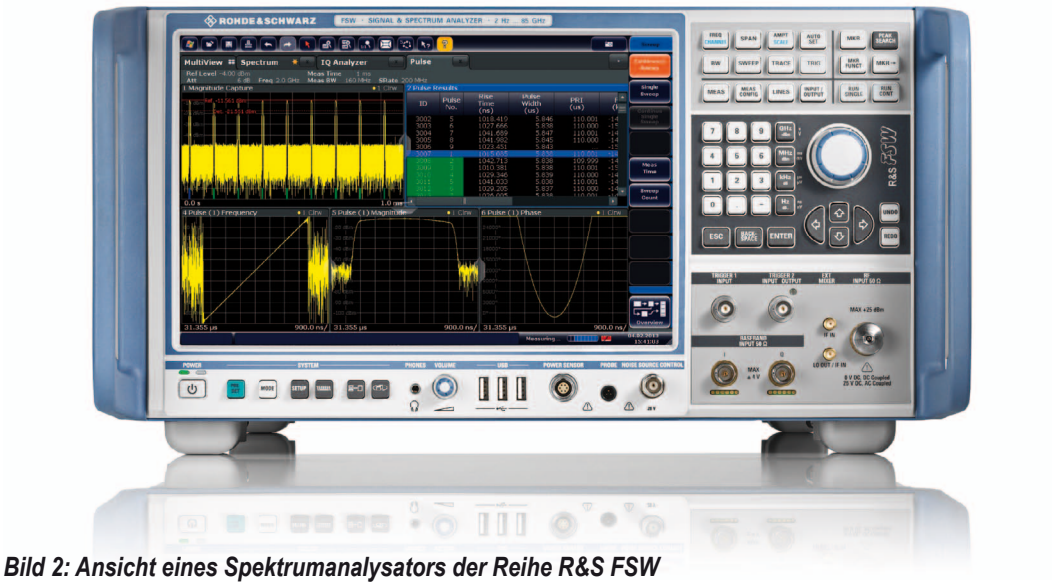


Bild 2: Ansicht eines Spektrumanalysators der Reihe R&S FSW

Performance-Parameter

Bei Störemissionsmessungen mit hoher Empfindlichkeit sind

- das Eigenrauschen des Spektrum Analyzers,
- die Resolution Bandwidth (Filter) und
- der Messdetektor

die Hauptfaktoren, welche die Leistungsfähigkeit und die Geschwindigkeit bestimmen.

RBW vs Rauschflur

Das RBW-Filter bestimmt die Bandbreite beim Messen mit dem Spectrum Analyzer. Je geringer die Bandbreite, umso höher die spektrale Auflösung. Die RBW bestimmt also den angezeigten Rauschflur mit, aber leider auch die Sweep-Geschwindigkeit des Analyzers. Bei gewöhnlicher Anwendung wird die RBW vom Gerät automatisch eingestellt auf 1% bis 4% des ausgewählten Frequenzbereichs. Die RBW lässt sich aber auch vom Nutzer bestimmen. Wird ein gegebener Wert um Faktor 10 reduziert, sinkt der angezeigte Rauschflur um 10 dB. Diese manuelle Reduzierung ist bei Störemissionsmessungen oft erforderlich. Hier soll der Rauschflur typisch etwa 10 dB unter den erklärten Grenzen für die zulässigen Störemissionen liegen, um diese bei einem akzeptablen Signal/Rausch-Verhältnis zu erfassen.

Wenn die RBW für den Test nicht definiert wurde, ist es möglich, die erforderliche RBW für ein vorgegebenes maximales Rauschen zu definieren:

RBW in Hz = 10E([max. Rauschpegel - Rauschflur in dBm/Hz]/10)

max. Rauschpegel = max. erlaubter Emissionspegel mit einer gewissen Margin für ein ausreichendes Signal/Rausch-Verhältnis (SNR)

Rauschflur = Eigenrauschen des Spektrumanalsators, spezifiziert als Displayed Average Noise Level (DANL), hier bezogen auf 1 Hz

Ein typischer Wert für den Rauschflur eines High-Performance-Analysators liegt bei -155 dBm/1 Hz. In dem Fall würde eine RBW von etwa 3 kHz erforderlich sein, um -120 dBm kleine Störemissionen erfassen zu können bei 10 dB SNR.

Die RBW bestimmt aber auch die Umschaltzeit (Sweep Speed Time, SWT). Hier ist folgende Formel anwendbar:

SWT in s = k x Span in Hz / (RBW in Hz)E2

Span = Frequenzbereich der Darstellung

k = Korrekturfaktor für die Einstellzeit (Settling Time) des RBW-Filters

Dabei ist k = 1 für FFT-RBW-Filter und k = 2 bis für ältere analoge Spectrum Analyzers anzunehmen.

Wegen dieser Beziehung ist es wichtig, eine RBW zu wählen, die zum vermuteten oder vorgegebenen maximalen Störemissionspegel passt. Wenn man hier übertreibt, bezahlt man dies mit einer Einbuße bei der Messzeit.

Da der Rauschflur des Instruments entlang des Frequenzbereichs schwankt, sind unterschiedliche RBWs erforderlich, um bei verschiedenen Frequenzen optimal aufgestellt zu sein. In traditionellen Störungssuch-Applikationen muss die optimale RBW manuell errechnet und am Analyzer eingestellt werden.

Auswahl des Messdetektors

Bei modernen Spektrumanalysatoren wird die Auflösung sowohl beim Pegel als auch bei der Frequenz durch die Auflösung des Displays (Anzahl der Pixels) limitiert. Daher gibt es besonders bei großen Spannen viel mehr Messabtastungen als Display-Pixel in der Frequenzaxe. Dies bedeutet, dass eine gewisse Anzahl von Mess-Samples sich auf einen einzigen Punkt im Display konzentrieren muss.

Die Auswahl des Messdetektors bestimmt, wie die Mess-Samples gewichtet werden, um zu einem einzigen Messwert per Display-Pixel zu gelangen. Spectrum Analyzer offerieren verschiedene Messdetektoren. Die prinzipielle Funktionsweise des Detektors ist in Bild 1 angedeutet.

Störemissionsmessungen bei sehr geringen Pegeln erfolgen typischerweise mit einem Peak Detector. Der Max Peak Detector führt zur Anzeige des maximalen Werts. Von dem Satz von Mess-Samples, die sich auf ein Darstellungs-Pixel beziehen, wird das mit dem höchsten Wert ausgewählt und angezeigt. Der Vorteil des Peak Detectors gegenüber anderen Detector-Typen besteht darin, dass gerade dann, wenn breite Spans angezeigt werden sollen bei sehr geringer RBW (Span/RBW >> Anzahl der Pixel auf der Frequenzachse), keine Eingangssignale verloren gehen und das Ergebnis der Messung ein Worst-Case-Szenario darstellt.

Beschleunigen der Messung durch Wahl der optimalen RBW

Bild 2 zeigt ein Gerät der Spektrumanalysator-Serie RS FSW. Der Spurious-Search-Algorithmus in der dazu erhältlichen Option FSW-K50 automatisiert und beschleunigt die Störemissionsmessung bei sehr kleinen Pegeln der Störsignale. Dabei müssen lediglich der Frequenz-

	Range 1	Range 2	Range 3	Range 4
Range Start	30 MHz	300 MHz	500 MHz	1 GHz
Range Stop	300 MHz	500 MHz	1 GHz	2 GHz
Spur Detection Threshold Start	-132 dBm	-130 dBm	-125 dBm	-120 dBm
Spur Detection Threshold Stop	-132 dBm	-130 dBm	-125 dBm	-120 dBm
Limit Offset to Detection Threshold	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Peak Excursion	3 dB	3 dB	3 dB	3 dB
Minimum Spur SNR	10 dB	10 dB	10 dB	10 dB
Maximum Final RBW	100 kHz	100 kHz	100 kHz	100 kHz
Auto RBW	On	On	On	On
RBW	Auto	Auto	Auto	Auto
Number of FFT Averages	2	2	2	2
Ref Level	0 dBm	0 dBm	0 dBm	0 dBm
RF Attenuation	10 dB	10 dB	10 dB	10 dB
Preamp	Off	Off	Off	Off

Bild 3: Exemplarische Messeinstellungen für eine Störersuche in weiten Bereichen

bereich und der maximal zulässige Pegel der Störaussendungen eingestellt werden. Es ist nicht erforderlich, die Auflösungsbandbreite für jeden einzelnen Frequenzbereich zu optimieren, wie es bisher erforderlich war.

Spurious Detection Table

In einem schnellen Referenz-Sweep beurteilt die Test-Applikation den Rauschpegel und berechnet die erforderliche RBW für den jeweiligen Frequenzbereich. Anschließend bestimmt sie, ob jede entdeckte Signalspitze eine Störaussendung, Bestandteil des Rauschens oder ein intern erzeugtes Störsignal ist und fasst die Ergebnisse in der Spurious Detection Table zusammen (Bild 3). Dort sind alle Signale aufgeführt, die den erlaubten Grenzwert überschritten haben und auch tatsächlich Störaussendungen sind. Der intelligente Algorithmus in der Option R&S FSW-K50 minimiert dabei die Auflösungsbandbreite auf den geringst möglichen Wert, damit alle Störaussendungen im gewählten Frequenzbereich sicher entdeckt werden können, vergrößert sie aber in den Frequenzbereichen, in denen keine potenziellen Aussendungen gefunden wurden. Dadurch verkürzt sich die Zeit für die Suche bis um den Faktor 50 im Vergleich zu herkömmlichen Methoden, auch wenn große Frequenzbereiche und strenge Grenzwertvorgaben zu konstatieren sind.

Diese neue Technik

verlangt nur noch vom Bediener, den zu untersuchenden Frequenzbereich und den maximal erlaubten Störpegel festzulegen.

Eine 10-dB-SNR-Margin zwischen Rauschpegel des Instruments und spezifizierter Störemissions-Detektionsschwelle ist per default vorgesehen. Die SNR-Margin kann aber auch zusammen mit anderen Parametern vom Nutzer geändert werden, wie aus Bild 3 ersichtlich.

Spectral Overview, Spur & Spot Search

Der fortschrittliche Messprozess in der Option FSW-K50 (Spurious Search Algorithm) basiert auf drei Sweeps pro Messschritt.

Die FSW-K50-Application führt zunächst einen schnellen Referenz-Sweep in der vorgegebenen Frequenzspanne durch, um einen Überblick zu geben (Spectral Overview). Darauf generiert die Applikation die nötigen Informationen über das Signal, um den Rauschflur und andere Faktoren abzuschätzen. Bild 4 zeigt Spectral Overview und Rauschflur, abgeschätzt für eine Messung mit 2 GHz Span.

Die Rauschflurabschätzung ist erforderlich, um die RBW frequenzabhängig optimal für die folgenden Messschritte einzustellen: Der Span-Bereich wird dazu in schmale Segmente eingeteilt. Deren Breite richtet sich nach Signal- und Rauschverhältnissen und Einstellungen am Gerät. Als Resultat entsteht eine Segmenttabelle (Bild 5).

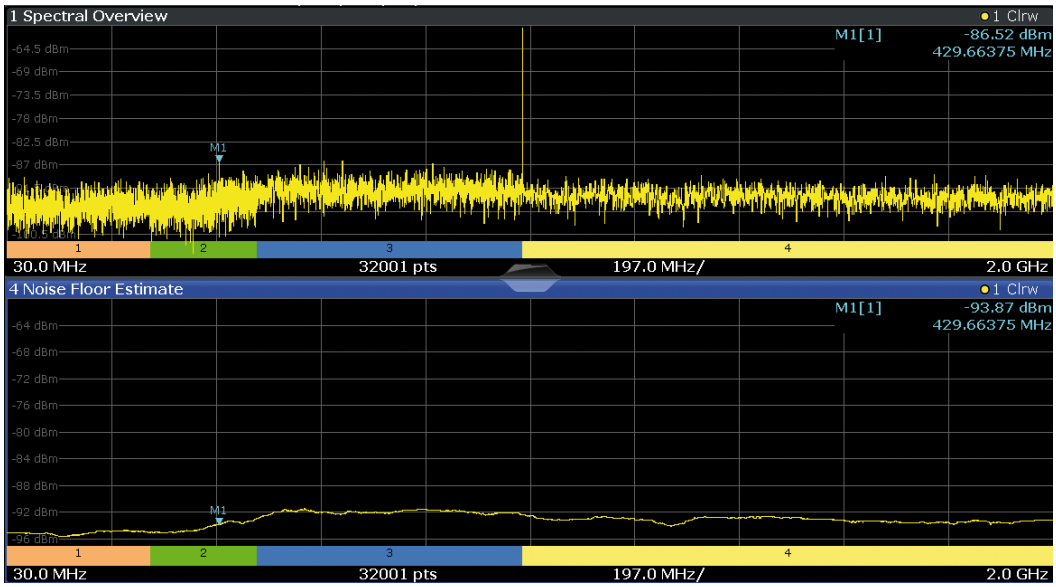


Bild 4: Spectral Overview und Rauschflur, abgeschätzt für eine Messung mit 2 GHz Span

Segment Table | Spur Table

Range	(1) 30 MHz ... 300 MHz	(2) 300 MHz ... 500 MHz		(3) 500 MHz ... 1 GHz	(4) 1 GHz ... 2 GHz	
Segment Start	30 MHz	300 MHz	437.740385 MHz	500 MHz	1 GHz	1.271820149 GH
Segment Stop	300 MHz	437.740385 MHz	500 MHz	1 GHz	1.271820149 GHz	1.343231546 GH
RBW	1 Hz	1.1 Hz	1 Hz	2.3 Hz	10.6 Hz	11.6 Hz
Ref Level	0 dBm	0 dBm	0 dBm	0 dBm	0 dBm	0 dBm
RF Attenuation	10 dB	10 dB	10 dB	10 dB	10 dB	10 dB
Preamp	Off	Off	Off	Off	Off	Off

Bild 5: Segmenttabelle, berechnet nach Referenz-Sweep und Rauschabschätzung. In der Tabelle finden sich die Werte für die erforderliche RBW, um auf jeder Frequenz gemäß dem Störemissions-Limit optimal zu messen

ach dem Referenz-Sweep erfolgt ein zweiter Sweep, genannt Spur Search, unter Nutzung der RBW-Einstellungen gemäß dem vorangegangenen Schritt. Dies ermöglicht eine weitere Tabelle mit jedem detektierten Störsignal.

Ein dritter und letzter Schritt namens Spot Search wird dann in sehr engen Frequenzbereichen ausgeführt. Das SNR ist nun sehr hoch. So wird erkenntlich, ob der Peak, eine Rauscherscheinung oder intern vom Analyzer erzeugte Störungen (Residual Spurs) das Messergebnis darstellen. Es resultiert eine Spurious Detection Table mit allen Peaks, die echte Störungen repräsentieren. Bild 6 ist ein Zoom in eine Spot-Search-Anzeige: Die RBW um die Störung wurde reduziert, um das Rauschen abzusenken und die SNR-Bedingungen zu erfüllen.

Beim Messen mit der Option FSW-K50 wird also automatisch die optimale RBW gefunden. Sie ist so gering als möglich. Das ermöglicht Zeiteinsparungen bis zum Faktor 50 (bei kleinster RBW). Bei 10 Hz RBW liegt die Verkürzung bei Faktor 20, bei 50 Hz bei Faktor 2.

Gezielte Suche bei vordefinierten Frequenzen

Sind die Frequenzen von Störaussendungen bereits bekannt, beispielsweise bei Harmonischen, erlaubt die Option R&S FSW-K50 die gezielte Suche bei kleinerem Span rund um definierte diskrete Frequenzen. Der reduzierte Span verringert die Messzeit, und bei Einstellung eines größeren Signal/Rausch-Abstands können genauere Ergebnisse erreicht werden.

Beide Suchmethoden lassen sich kombinieren. Die bei der Suche innerhalb eines großen Frequenzbereichs entdeckten Stör- und Nebenaussendungen lassen sich per Mausklick der gezielten Suche für genauere Analysen hinzufügen.

Das Aufmacherbild zeigt eine mit der Option FSW-K50 erstellte Anzeige, die als spektralen Überblick das Ergebnis des Referenz Sweeps darstellt. Es gibt eine Pass/Fail-Indikation gemäß der Störungs-Limits. Die Spurs Detection Table unten zeigt die detektierten Störungen und gibt jeweils Frequenz, Level, RBW sowie weitere Informationen an.

Referenzen

[1] C. Rauscher, Fundamentals of Spectrum Analysis, Rohde & Schwarz, Munich, ISBN 978-3-939837-01-5

[2] K-U. Sander, Speed considerations for Spurious Measurements with Spectrum Analyzers, retrieved June 2017 at www.rohde-schwarz.com/appnote/1EF80

[3] R&S FSW-K50 Spurious Measurements User Manual, Rohde & Schwarz, Munich ◄

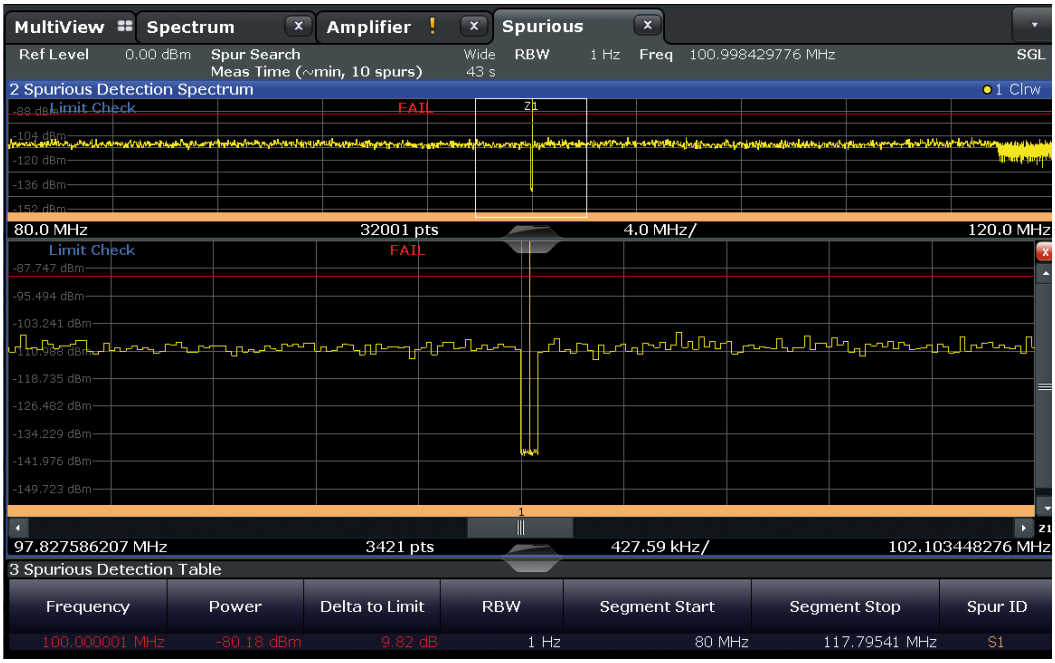


Bild 6: Zoom in eine Spot-Search-Anzeige. Die RBW um die Störung wurde reduziert, um das Rauschen abzusenken und die SNR-Bedingungen zu erfüllen