

Bluetooth® Low Energy (V5.0) HF-Test für Internet of Things Anwendungen Application Note

Produkte:

- R&S®CMW500
- R&S®CMW290
- R&S®CMW270
- R&S®FSVxx
- R&S®FSVAxx
- R&S®FSWxx
- R&S®Forum
- R&S®SMW200A
- R&S®SMBV100A
- R&S®SMB100A
- R&S®SGT100A
- R&S®SGS100A
- R&S®SMC100A

Immer mehr Dinge des täglichen Lebens wie beispielsweise Haushaltsgeräte, Fahrzeuge, Lampen etc. werden über das Internet vernetzt und es entsteht das sogenannte "Internet of Things". Sogar Kleidung mit eingenähten Sensoren für die Messung von Vitalfunktionen verbindet sich mit dem Internet und sendet ihre Daten an Clouddienste. Für den Aufbau der Verbindung verwenden die Dinge unterschiedliche Funkstandards. Einer der wichtigsten, da weit verbreitet, ist Bluetooth bzw. Bluetooth Low Energy. Bevor ein neues Produkt mit Bluetooth auf den Markt gebracht werden kann, muss das von Bluetooth SIG festgelegte Qualifizierung Programm, erfolgreich bestanden werden. Um Kosten und Zeit zu sparen sind umfangreiche Performance Tests bereits in der Entwicklungsphase unumgänglich. Diese Application Note beschreibt die Durchführung, der in der Bluetooth Test Spezifikation Version 5 vorgeschriebenen Messungen mit der R&S CMW Plattform. Als Alternative dazu wird beschrieben wie man fast alle Messungen mit einem Spektrumanalysator und einem Signalgenerator durchführen kann.

The Bluetooth® word mark and logos are registered trademarks owned by Bluetooth SIG, Inc. and any use of such marks by Rohde & Schwarz is under license.

Anmerkung:

Die aktuelle Version dieses Dokuments findet man auf unserer Homepage:

<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1MA282>.

Dieses Dokument wird durch eine Software ergänzt. Die Software kann aktualisiert worden sein, auch wenn die Version des Dokuments sich nicht geändert hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Internet of Things	5
1.1	Anbindung von IoT Objekten an das Internet.....	6
2	Bluetooth kurz erklärt	9
3	Bluetooth Low Energy für IoT	13
3.1	Neuerungen in Version 5	13
3.2	Advertising und Datenübertragung	13
3.3	Profiles und Services	14
3.4	Die Funkschnittstelle.....	15
3.4.1	Kanäle, Frequenzen und Frequenzhopping	15
3.4.2	Sendeleistung	16
3.4.3	Modulationen	16
3.5	Zusammenfassung	17
3.6	Bluetooth SIG Qualifizierung.....	18
4	HF-Messungen am Bluetooth Low Energy-Gerät nach Spezifikation	20
4.1	Der Direct Test Mode.....	21
4.2	Messungen am Bluetooth LE-Sender	22
4.3	Tests des Bluetooth LE-Empfängers.....	23
5	Messungen mit dem CMW	25
5.1	Die Tests in der Handbedienung.....	27
5.1.1	Erste Schritte	27
5.1.2	Tx-Tests	30
5.1.3	Rx-Tests.....	37
5.2	CMWrun	48
6	Messungen mit Spektrumanalysator und Signalgenerator	52
6.1	Messungen am Bluetooth LE-Sender	52
6.1.1	Output power	52
6.1.2	In-band emissions.....	58
6.1.3	Modulation Characteristics / Carrier Frequency Offset and Drift	63
6.2	Messungen am Bluetooth LE Empfänger	65
6.2.1	Receiver Sensitivity.....	67
6.2.2	C/I and Receiver Selectivity Performance	87

6.2.3	Blocking Performance.....	109
6.2.4	Intermodulation Performance	116
6.2.5	Maximum Input Signal Level.....	126
6.2.6	PER Report Integrity	131
7	Literaturverzeichnis.....	142
8	Bestellangaben	143

In dieser Applikation Note werden folgende Abkürzung für die Rohde & Schwarz Geräte benutzt:

- Die R&S®CMW Radio Communication Tester Plattform wird als CMW bezeichnet.
- Der R&S®SMBV100A Vektor Signal Generator wird als SMBV100A bezeichnet.
- Die R&S® SGT100A SGMA Vector RF Source wird als SGT100A bezeichnet.
- Die R&S® SGS100A SGMA RF Source wird als SGS100A bezeichnet.
- Der R&S®FSV Signal- und Spektrumanalysator wird als FSV bezeichnet.

Hinweis: Für die Bluetooth LE Empfänger-messungen mit dem SMBV100A steht die dafür notwendige Option *R&S SMBV-K117 Bluetooth 5.0* im zweiten Halbjahr 2017 zur Verfügung.

1 Internet of Things

Der Kühlschrank bestellt Lebensmittel, wenn er leer ist. Das Auto informiert die Werkstatt, wenn es repariert werden muss. Fahrzeuge informieren sich gegenseitig mittels Car to Car Communication (C2C) oder Car to Infrastructure Communication (C2I) über den Verkehrsstaus und Unfälle. Herzschrittmacher warnen rechtzeitig vor gesundheitlichen Problemen und senden die Daten gleich zum Arzt. Sogenannte Beacons (Leuchtturm) führen uns in Stadien, Museen und Kaufhäusern mit entsprechenden Smartphone Apps ans Ziel. In Zukunft werden unterschiedlichste Gegenstände mit Sensoren und Mikroprozessoren ausgestattet und über das Internet vernetzt sein. So werden z. B. miniaturisierte Computer, sogenannte Wearables, mit unterschiedlichen Sensoren direkt in Kleidungsstücke eingearbeitet. Anders als beim Internet, in dem Menschen miteinander kommunizieren und die angebotenen Services wie beispielsweise zum Informationsaustausch oder zum Onlineshopping nutzen, stehen im Internet of Things (IoT) Geräte zum Datenaustausch direkt mittels Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M) miteinander in Verbindung. Jeder einzelne Gegenstand im "Internet of Things" ist durch seine Adresse eindeutig und kann über das Internet angesprochen werden und mit angeschlossenen Informationssystemen interagieren. Beim IoT kann man zwischen Konzepten für Industrie und Verbraucher unterscheiden. Neben dem erläuterten Internet of Things gibt es noch das in der Industrie eingesetzte Industrie- Industrial Internet of Things (IIoT), oder das in der Telemedizin genutzte Internet of Medical Things (IoMT).

Die Vision vom Internet of Things ist nicht neu. In seinem Aufsatz von 1991 "The Computer for the 21st Century" sprach Mark Weiser zum ersten Mal von der Vision Dinge miteinander zu vernetzen. Der Begriff "Internet of Things" wurde 1999 erstmals von Kevin Ashton verwendet. Bekannt wurde das Internet der Dinge durch die Aktivitäten der Auto-ID Labs. Bild 1-1 zeigt die Prognose der beiden Firmen Ericsson und Cisco über den Anstieg der IoT Objekte in den nächsten Jahren. Während die Anzahl von Mobiltelefonen und von PCs, Laptops etc. durch die Anzahl der Menschen begrenzt ist, steigt die Anzahl von IOT Objekten rasant an.

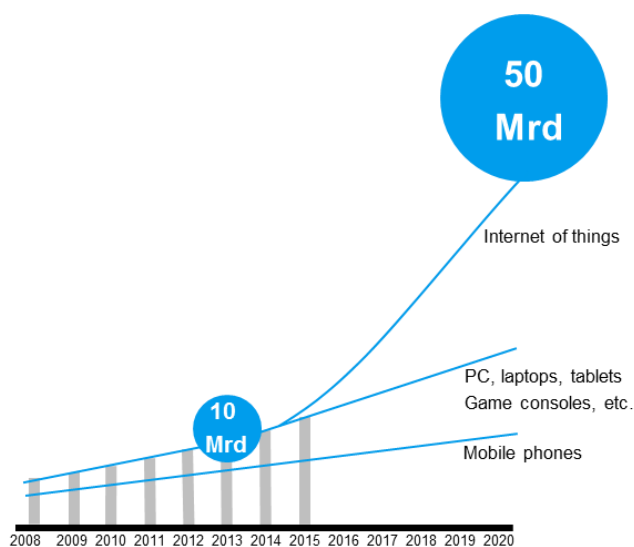


Bild 1-1: Prognose über den Anstieg von IoT-Objekten

Die Weiterentwicklung vom Internet of Things (IoT) geht zum Internet of Everything (IoE) in dem nahezu alles miteinander vernetzt ist.

Das IoT bietet neben vielfältigen Möglichkeiten und Vorteilen aber auch Nachteile. So könnte eine vernetzte Infrastruktur zur Überwachung ausgenutzt werden oder angegriffen werden. Immer häufiger wird auch davon berichtet, dass eine riesige Anzahl von IoT Geräte von außen zum sogenannten Botnetz vernetzt wurden, welches dann von außen gesteuert werden kann. Durch massenhafte und gleichzeitige Anfragen an die Server von bestimmten Internetdiensten, wurden diese dann über Stunden lahmgelegt.

1.1 Anbindung von IoT Objekten an das Internet

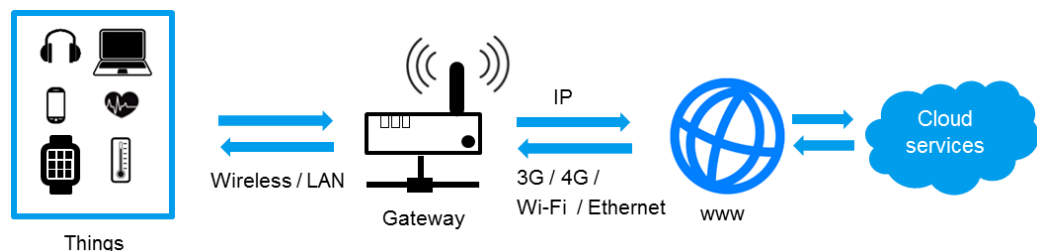


Bild 1-2: Anbindung von IoT Objekten an das Internet

Welche Art der Anbindung von IoT fähigen Objekte an das Internet verwendet wird, hängt von der jeweiligen Anwendung ab. [Bild 1-2](#) zeigt den grundsätzlichen Weg in das Internet. Das IoT Objekt baut zuerst eine Verbindung zum sogenannten Gateway auf. Dieser hat die Aufgabe Netzwerke mit unterschiedlichen Netzwerkprotokollen zu verbinden und den Datenstrom letztendlich auf das Internet Protokoll (IP) umzusetzen. Der Gateway hat also dieselbe Aufgabe wie ein Router, den man von zuhause als Schnittstelle zum Internet kennt. Bei der Anbindung über das Mobilfunknetz stellt beispielsweise ein Smart Phone den Gateway zum Internet dar. Bei der Anbindung der IoT Objekte an den Gateway unterscheidet man zwischen kabelgebundener und kabelloser Anbindung. Die bekanntesten und am häufig eingesetzte Anbindung über Kabel geschieht über die LAN- oder USB-Schnittstelle. Sie werden bei stationären IoT Objekten eingesetzt und ist weniger störanfällig als eine kabellose Verbindung. Bei beweglichen Objekten oder fehlender LAN Kabel Infrastruktur kommt die Anbindung über Funk zum Einsatz. In diesem Zusammenhang gibt es auch die Bezeichnung Wireless Internet of Things (WIoT). Mit WIoT kommunizieren auch Kleinstgeräte oder Funksensoren über das Internet. Es gibt eine Reihe von Funkstandards die für WIoT in Betracht kommen. Eine Auswahl verschiedener Funktechnologien ist in [Bild 1-3](#) dargestellt.

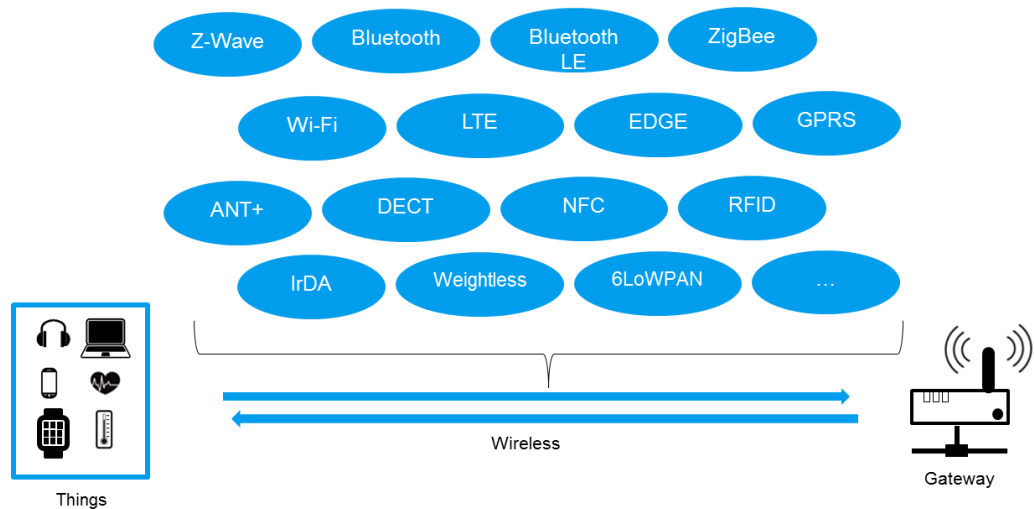


Bild 1-3: Mögliche Technologien für drahtlose Datenübertragung für IoT-Anwendungen

Jede dieser Technologien bietet für den Einsatz im IoT Vor- und Nachteile und muss nach den Erfordernissen der Anwendung ausgesucht werden. Die verschiedenen Funktechniken unterscheiden sich in Reichweite, Übertragungsgeschwindigkeit, Netzwerkkapazität, Energieverbrauch, Chipgröße und Kosten. Folgender Vergleich zeigt prinzipiell Unterschiede von vier beispielhaft ausgewählten Funkstandards und deren Anwendung:

- Wi-Fi (beschrieben im IEE 802.11 Standard) für den klassischen WLAN Internetzugang
- Bluetooth BR/EDR (wird auch als "Bluetooth Classic" bezeichnet) und Bluetooth Low Energy (BLE) für Wireless Personal Area Networks (WPAN) für die Anbindung von Audio Applikationen sowie für die Datenübertragung verschiedener Sensoren aus dem Bereich Automotiv, Medizintechnik, Konsumgüter und Smart Wearables.
- Der Standard IEEE 802.15.4 Low Rate Wireless Personal Networks mit seinen verschiedenen Technologien wie zum Beispiel Zigbee, Thread, 6LoWPAN und andere für Sensornetze, Hausautomation, Lichttechnik
- Z-Wave für Hausautomation

Bild 1-4 bis Bild 1-6 zeigt einen qualitativen Vergleich wichtiger Kenngrößen, der oben genannten Funkstandards.

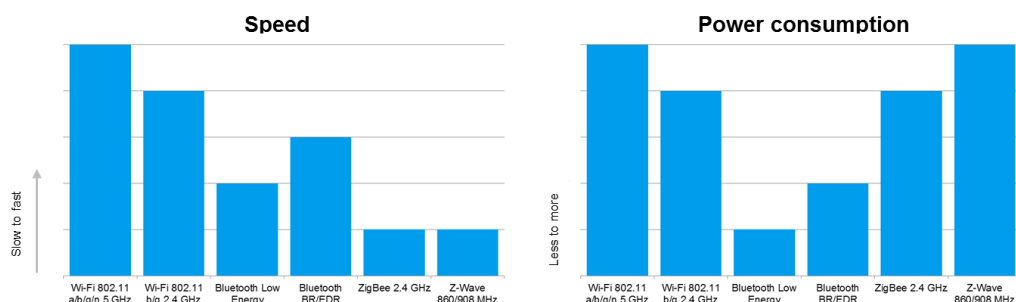


Bild 1-4: Geschwindigkeit und Leistungsverbrauch verschiedener Funktechnologien

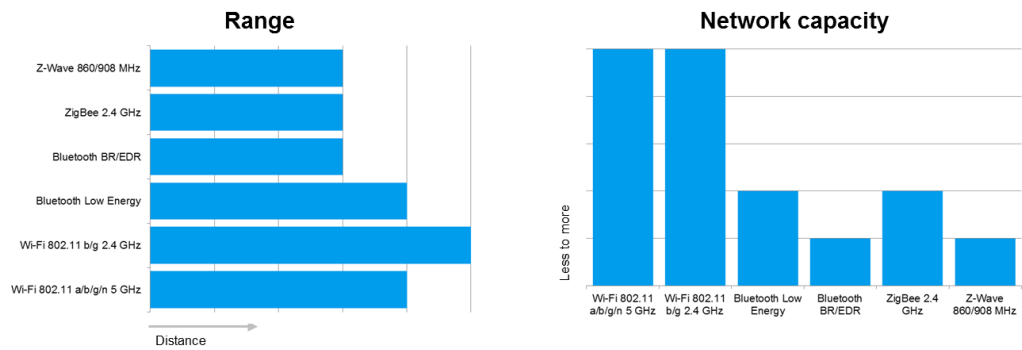


Bild 1-5: Vergleich von Reichweite und Netzwerkkapazität verschiedener Funktechnologien

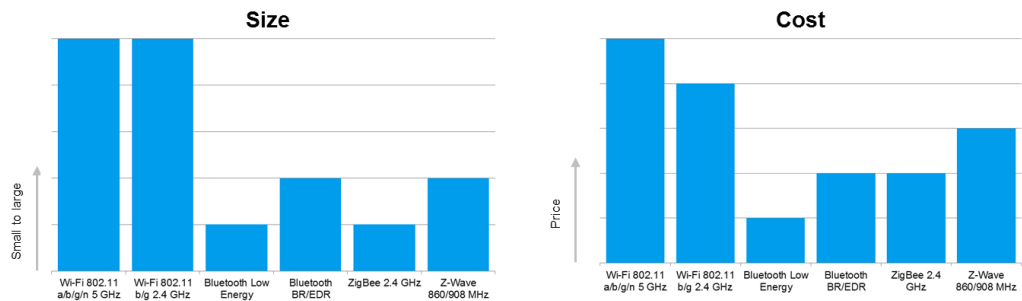


Bild 1-6: Vergleich von Chipgröße und Kosten verschiedener Funktechnologien

Speziell bei WIoT steht eine preiswerte und energieeffiziente Lösung mit Batteriebetrieb im Vordergrund. In der Regel senden WIoT Objekte wenige Daten so dass keine hohe Übertragungskapazität notwendig ist. Unter diesen Voraussetzungen und dem oben dargestellten Vergleich verschiedener Funkstandards erkennt man, dass Bluetooth LE für Anwendungen im WIoT gute Voraussetzungen hat. Außerdem hat Bluetooth einen beispiellosen Markterfolg aufzuweisen. Der Funkstandard befindet sich mittlerweile in nahezu allen Mobilfunktelefonen, PCs, Tablets, neueren Autos, etc. Laut Bluetooth SIG sind mehr als 8 Milliarden Geräte mit einem Bluetooth Chip in Betrieb.

2 Bluetooth kurz erklärt

Die Entwicklung einer Funktechnologie für die Datenübertragung zwischen Geräten über kurze Distanz, die später den Namen Bluetooth erhielt, wurde 1989 durch Ericsson Mobile in Schweden begonnen. Mit dieser Technologie sollte es möglich werden Mobilfunktelefone kabellos mit einem PC und Kopfhörern zu verbinden. Der Name „Bluetooth“ leitet sich vom dänischen König Harald Blauzahn (altnordisch Haraldr Blátǫnn, dänisch Harald Blåtand; * um 910 in Dänemark; † 1. November 987) englisch Harald Bluetooth) ab, der verfeindete Teile von Norwegen und Dänemark vereinte. So wie König Blauzahn einst weite Teile Dänemarks und Norwegens einte, sollte die Funktechnik die Computer- und Telekommunikations-Welt zusammenführen und eine Vielzahl unterschiedlicher Anschlüsse ablösen. Das Logo zeigt ein Monogramm der altnordischen Runen für H und B. Ursprünglich wurde der Funkstandard durch IEEE 802.15 spezifiziert aber nicht mehr weiter gepflegt. Dies hat 1998 die von Ericsson, IBM, Intel, Nokia und Toshiba neu gegründete Bluetooth Special Interest Group (SIG) übernommen. 1999 kamen 3Com, Lucent, Microsoft und Motorola hinzu. Heute ist die Bluetooth SIG eine Interessengemeinschaft von mittlerweile mehr als 26000 Unternehmen, die an der Weiterentwicklung und Verbreitung der Bluetooth-Technologie interessiert sind. Als Promoter mit einem Sitz im Aufsichtsrat sind bis dato die Unternehmen Apple, Ericsson, Lenovo, Nokia, Toshiba, Intel und Microsoft vertreten. Die Bluetooth SIG ist Eigentümer des Bluetooth-Warenzeichens und Herausgeber der Bluetooth-Spezifikation.

Nur von der SIG lizenzierte Produkte dürfen das Bluetooth Warenzeichen verwenden. Um diese Lizenz zu bekommen muss die Firma ein Mitglied der Bluetooth SIG sein. Die SIG leitet außerdem das Bluetooth SIG-Qualifizierungsprogramm, ein Zertifizierungsverfahren, das für jedes Produkt mit Bluetooth-Funktechnologie eine weitere Voraussetzung für die Lizenzierung ist.

Versionen

Bluetooth wurde über mehrere Versionen hinweg entwickelt. [Tabelle 2-1](#) zeigt einen Überblick über die Hauptversionen. Offiziell gültig sind alle Versionen ab V2.1 (hier ist Basic Rate mit eingeschlossen). Die Weiterentwicklung des High-Speed-Modes wurde mittlerweile eingestellt, die Spezifikation ist aber nach wie vor gültig. Die Versionen bis einschließlich 3 werden als Bluetooth "Classic" beschrieben, ab Version 4 als Bluetooth Low Energy (BLE). BLE ist aufgrund des niedrigen Energieverbrauchs für batteriegetriebene Geräte, denen sehr lange Laufzeit abverlangt wird, optimiert. Bluetooth LE (ab V4) ist nicht rückwärtskompatibel. Es gibt Geräte wie beispielsweise Smartphones oder Tablets, die im sogenannten Dual Mode beide Bluetooth Arten unterstützen. Bluetooth Classic und Bluetooth Low Energy sind zwar ähnlich, aber zueinander nicht kompatibel ([Bild 2-1](#)).

Bluetooth Versionen				
Version	Merkmal	Beschreibung	Jahr	Bezeichnung
1	Basic Rate (BR)	Klassisches BT, geringe Datenrate	1999-2003	Classic
2	Enhanced Data Rate (EDR)	Höhere Übertragungsgeschwindigkeit	2004-2007	
3	High Speed (HS)	High Speed Mode	2009	
4	Low Energy (LE)	Geringer Energieverbrauch für IoT	2010-2014	Low Energy
5	Verbesserungen für LE	Höhere Datenrate, höhere Reichweite, höherer Durchsatz	2016	

Tabelle 2-1: Übersicht der Bluetooth Hauptversionen

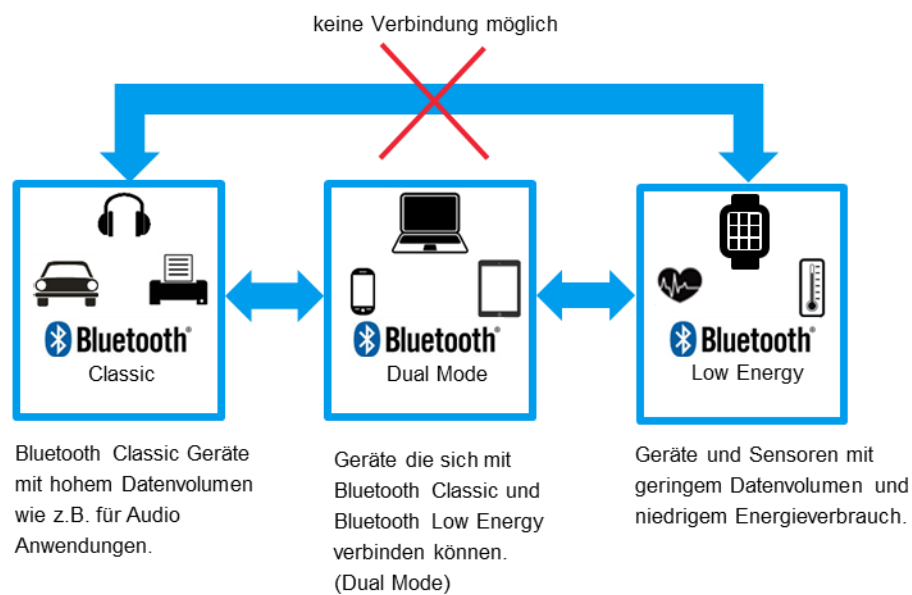


Bild 2-1: Übersicht der verschiedenen Bluetooth Arten

Im Folgenden einige Beispiele für Geräteklassen und deren Bluetooth Version:

- Bluetooth LE USB-Dongle: fast alle sind fähig mit beiden Varianten zu kommunizieren (Dual Mode).
- Die meisten Sensoren mit geringen Datenraten wie zum Beispiel Autoschlüssel, und Wearables (Fitnessarmbänder, Sportbekleidung mit integriertem Pulsmesser etc) : Bluetooth Low Energy, um Strom zu sparen
- Handys müssen sich mit BT Geräten mit unterschiedlicher Anforderungen für die Datenübertragung verbinden können. So ermöglicht Bluetooth Classic eine Datenübertragung von bis zu 2.1 Mbps, welches zum Beispiel für drahtlose Kopfhörer benutzt wird. Die LE Technologie bis 4.2 bietet Datenraten bis ca. 300 kbps, welche für die Datenübertragung von Sensoren ausreichend ist.

Frequenzband

Bluetooth funkt im weltweit unlicenziertem ISM Band (Industrial, Scientific and Medical Band) bei 2.4 GHz Band. ISM-Geräte wie Mikrowellenherde, WLAN-Router, DECT

Telefone, Funkfernsteuerungen benötigen dabei nur eine allgemeine Zulassung der nationalen Frequenzverwaltungsbehörde. Um Kollisionen mit anderen Funkdiensten zu vermeiden, funkt Bluetooth nicht nur auf einem Frequenzkanal. Die Datenübertragung erfolgt mit dem Frequenzsprungverfahren FHSS (engl.: Frequency Hopping Spread Spectrum). Dabei wechseln Sender und Empfänger, in einer untereinander festgelegten Reihenfolge, ständig die Frequenzen. FHSS zeichnet sich deshalb durch eine geringe Störanfälligkeit aus. Grund dafür ist, dass immer nur für eine kurze Dauer die gleiche Trägerfrequenz verwendet wird. Ist beispielsweise die Frequenz durch einen anderen Sender gestört, so wird nur ein kleiner Teil der Datenfolge dieser Störung unterliegen, was sich meist durch entsprechende Fehlerkorrekturverfahren korrigieren bzw. erkennen lässt.

Architektur

Ein Bluetooth-Gerät besteht prinzipiell aus einem Host und einem Bluetooth Controller. Der Host ist gewissermaßen die Recheneinheit eines BT-Chips. Auf dem Host läuft der Bluetooth-Stack (Software) und die eigentliche Anwendung, das Basisband (Frequenzsignal des Nutzsignals) kann entweder Bluetooth Classic (BR/EDR) oder BLE unterstützen. Beide Teile kommunizieren über das Host Controller Interface (HCI) (Bild 2-2). Über das HCI läuft folgende Kommunikation:

- ┆ Kommandos vom Host zum Basisband (BB)
- ┆ Events vom BB zum Host
- ┆ Daten

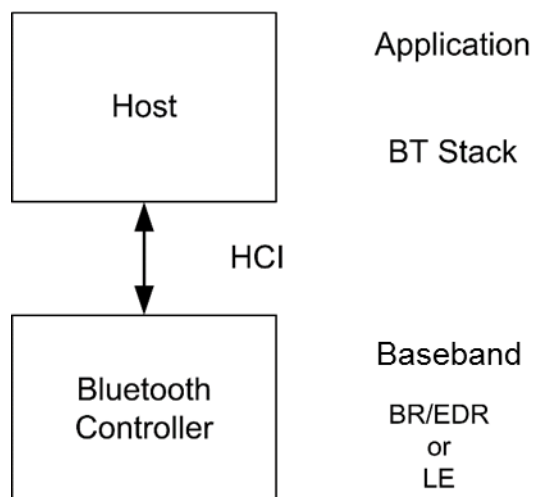


Bild 2-2: Prinzipielle Architektur von Bluetooth

Dual-Mode-Geräte implementieren zwei Controller, einen für BR/EDR und einen für LE (Bild 2-3).

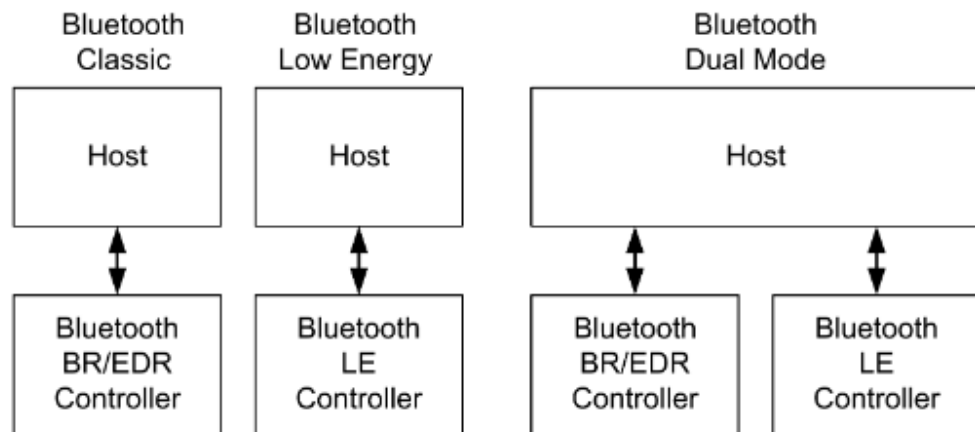


Bild 2-3: Architektur von Bluetooth Classic, Bluetooth Low Energy und Bluetooth mit Dual Mode

Adressierung

Jedes Bluetooth-Gerät besitzt eine eigene, feste Adresse mit der Länge von 48 bit, die auch eine spezielle Kennung für die Hersteller-Firma enthält.

Profiles

Bluetooth stellt nur die physikalische Möglichkeit zur Verfügung, um Daten schnurlos übertragen zu können. Aus Anwendersicht sind jedoch gewisse Erwartung oder Anwendungsszenarien (Use Cases, z.B. „Ein File von meinem PC an mein Mobiltelefon übertragen“) zu erfüllen. Dazu definiert Bluetooth sogenannte „Profile“, also Rezepte, wie ein Szenario umgesetzt werden soll (um beim Beispiel von oben zu bleiben, existiert ein File Transfer Profile (FTP)).

Einige Profile sind allgemein gültige Profile und müssen in jedem Bluetooth-Gerät unterstützt werden. Andere stellen je nach Zweck nur in bestimmten Geräten bzw. Versionen zur Verfügung (z.B. ist das „Handsfree“-Profil in Headsets sinnvoll, aber nicht in Smartphones).

Wollen zwei Geräte Daten austauschen, so müssen beide das gleiche Profil unterstützen.

3 Bluetooth Low Energy für IoT

Bluetooth Low Energy, Bluetooth LE oder kurz BLE ist die Bezeichnung für spezielle Erweiterungen beginnend mit Version 4, die den Energieverbrauch reduzieren. Die Versionen 4.1 und 4.2 liefern kleine Erweiterungen / Verbesserungen. Um die Steigende Anzahl der Dinge im Internet gerecht zu werden wurde in Version 4.2 beispielsweise IPv6 (Vergrößerung des IP Adressraumes von $4,3 \cdot 10^9$ bei IP4 auf $3,4 \cdot 10^{38}$) in den BLE Protokollstapel integriert. Im Vergleich zum Bluetooth classic hat BLE einen deutlich geringeren Stromverbrauch. Dies wird erreicht, in dem ein Gerät hauptsächlich inaktiv ist (99,9% der Zeit). Für IoT-Anwendungen sind nur relativ geringe Datenraten nötig. Außerdem bietet BLE einen schnelleren Verbindungsaufbau. Die Version 5 führt grundlegende Verbesserung wie z.B. eine höhere Datenrate und Reichweite ein. Technisch ist Bluetooth LE nicht rückwärtskompatibel, Bluetooth Geräte müssen zusätzlich den LE Protokollstapel unterstützen, um sich verbinden zu können.

3.1 Neuerungen in Version 5

- ▮ Verdoppelung der Datenrate auf 2 Mbit/s durch eine neue Modulationsart. Siehe dazu Abschnitt 3.4.3.
- ▮ Vervierfachung der Reichweite durch spezielle Codierung (LE Long Range).
- ▮ Verachtfachung der Broadcast-Kapazität durch Erweiterung der Advertising-Prozeduren (LE Advertising Extension).
- ▮ Höhere Sendeleistung möglich (bis zu +20 dBm). Siehe dazu Abschnitt 3.4.2.
- ▮ Implementierung des sog. Stable Modulation Index (SMI) zusätzlich zum Standard Modulation Index (siehe [Tabelle 3-1](#)). Der SMI verbessert die Leistungsübertragungsbilanz (engl.: link-budget) um bis zu 3 dB und führt damit zu einer erhöhten Reichweite für eine Bluetooth Verbindung.

Stable modulation index	0.495 ... 0.505	+/- 1%
Standard modulation index	0.450 ... 0.550	+/- 10%

Tabelle 3-1: Wertebereich für den stable bzw. standard modulation index

Detailliertere Informationen zu Version 5 findet man in dem White Paper [1MA108_2e "Bluetooth physical layer evolution:from cable replacement to the IoT"](#)

3.2 Advertising und Datenübertragung

Bluetooth LE kennt mehrere Arten der Kommunikation:

- ▮ Reines Senden der Information (Broadcast)
- ▮ Reines Empfangen von Daten
- ▮ Gemischtes Senden und Empfangen von Daten

Bluetooth LE hat dazu das sogenannte „Advertising“ eingeführt. Dabei findet die gesamte Kommunikation zunächst über drei (ab Version 5 auch mehr) spezielle

Kanäle (Advertising channels, siehe Abschnitt 3.4.1) statt. Hierbei sendet ein Gerät auf diesem Kanal Informationen aus, ein oder mehrere andere Geräte hören zu (Scanning). Obwohl ein Gerät Strom sparen soll, muss es sich dennoch in regelmäßigen Intervallen bemerkbar machen. Beispielsweise wacht ein Fitnessarmband alle 10 Sekunde auf und schickt ein „Hallo hier bin ich“ auf einem Advertising Kanal. Anschließend lauscht es kurz auf demselben Kanal, ob jemand antwortet. Wenn keine Antwort kommt, wird auf den anderen beiden Kanälen dasselbe versucht und der Prozessor geht wieder schlafen. Um zusätzlich Energie zu sparen, können sich Geräte im Scanning auch aus einer Kommunikation heraushalten. Realisiert wird dies über einen White-List-Filter. Das bedeutet, dass der Bluetooth Controller nur dann eine Verbindung mit einer Geräteadresse herstellt, wenn diese mit einer in der White-List gespeicherten Adresse übereinstimmt.

Geringe Datenmengen können direkt zwischen den Geräten via Advertising-Kanal ausgetauscht werden. Für mehr Daten kann auf Anforderung eines Geräts (Initiator) auch eine Verbindung hergestellt werden. Dafür verabreden sich beide auf einem Kanal zu einer bestimmten Zeit und die Frequenz wird wieder gehoppt. Diese entspricht dann wieder einem Piconet aus Bluetooth Classic, mit Master und Slave Betrieb.

Das Fitnessband, als BLE device ist dann beispielsweise mit einem Smartphone verbunden und für andere Geräte nicht mehr zu sehen. Da es nur eine Verbindung gleichzeitig aufbauen kann, ist auch ein Advertising nicht mehr sinnvoll. BLE Geräte kennen also vereinfacht gesagt nur drei Zustände: Aus, Advertising und Verbunden.

Mit Version 5 wurde das Advertising erweitert. Dabei können jetzt zusätzlich die Daten-Kanäle als Hilfskanäle benutzt werden. Dabei werden Daten im Advertising-Modus mit Hilfs-Paketen (AUX) auf den Datenkanälen übertragen. Eine echte Verbindung wird noch nicht hergestellt. Das wird auch als „Offloading“ bezeichnet und entlastet die drei Advertisingkanäle.

3.3 Profiles und Services

In Bluetooth LE sind Services und Profile definiert. Ein Service beschreibt ein oder mehrere Merkmale, die das Verhalten eines peripheren Geräts beschreiben. Ein Profil beschreibt, wie ein Service für eine bestimmte Anwendung auf einem Gateway (Smartphone oder Tablet) benutzt werden kann.

Bild 3-1 zeigt die eine Gegenüberstellung von Service und Profil. Das Thermometer in diesem Beispiel bietet als Service die Messung der Temperatur und sendet in einem bestimmten Zeitintervall im Advertising Kanal. Das Tablet, als Dual-Mode-Gerät, fungiert als Scanner bzw. Initiator und verwendet ein Profil um die Daten aus dem Thermometer zu lesen.

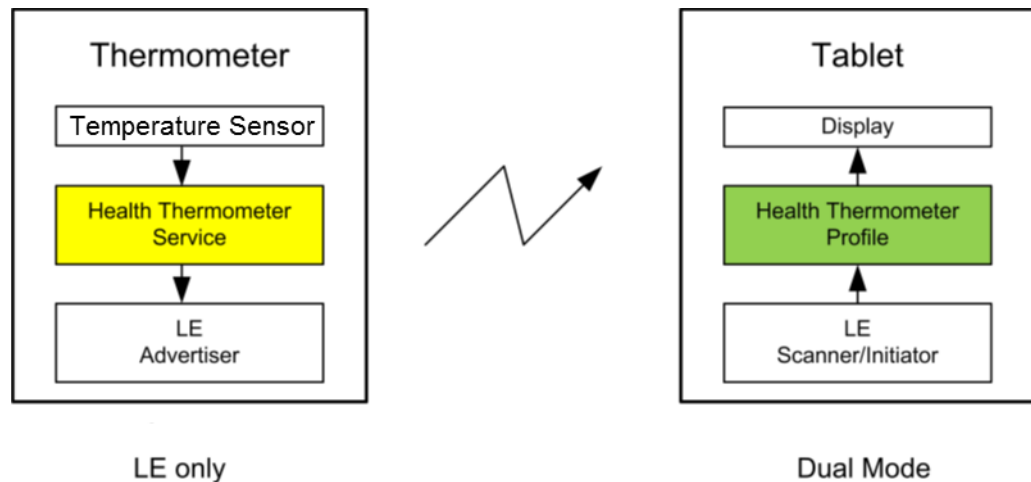


Bild 3-1: Verwendung von Service und Profil

Aus der Sicht des central device (Tablet, Smartphone etc.) verbinden sich Bluetooth LE Geräte immer über das GATT-Profil – das Generic Attribute Profile ist für Sensordaten, und allgemein die energieeffiziente Übertragung kleiner Datenmengen optimiert. Es beschreibt eine Art Rahmen für die Profilentwicklung, d.h. Profile können eine bestimmte Architektur vom GATT ableiten.

Beispiele für Services und Profile:

- | BAS Battery Service
- | BLP Blood Pressure Profile
- | BLP Blood Pressure Service
- | GLP Glucose Profile
- | HRP Heart Rate Profile
- | HRS Heart Rate Service
- | LNP Location and Navigation Profile
- | RSCP Running Speed and Cadence Profile
- | WSP Weight Scale Profile

3.4 Die Funkschnittstelle

3.4.1 Kanäle, Frequenzen und Frequenzhopping

BLE belegt 40 Kanäle mit je 2 MHz Abstand im 2.4 GHz ISM Band. Der Bereich reicht von 2402 MHz (Kanal 0, logischer Kanal 37) bis 2480 MHz (Kanal 39, logischer Kanal 39). Die logischen Kanäle 37,38 und 39 sind die Advertising Kanäle. Die Kanäle 0 bis 36 sind Datenkanäle. Die drei Advertising Kanäle sind so im Frequenzband platziert, damit sie durch die W-LAN Kanäle 1,6 und 11, welche ebenfalls im ISM Band liegen,

nicht gestört werden können (Bild 3-2). Frequenzhopping wird erst benutzt, wenn zwischen zwei Geräten eine Verbindung aufgebaut ist. Das Advertising und der Datentransfer bei Advertising benutzt kein Hopping, daher wird Bluetooth LE auch vom Europäischen Institut für Telekommunikationsnormen, ETSI (engl. European Telecommunications Standards Institute) nicht als hoppendes System bewertet.

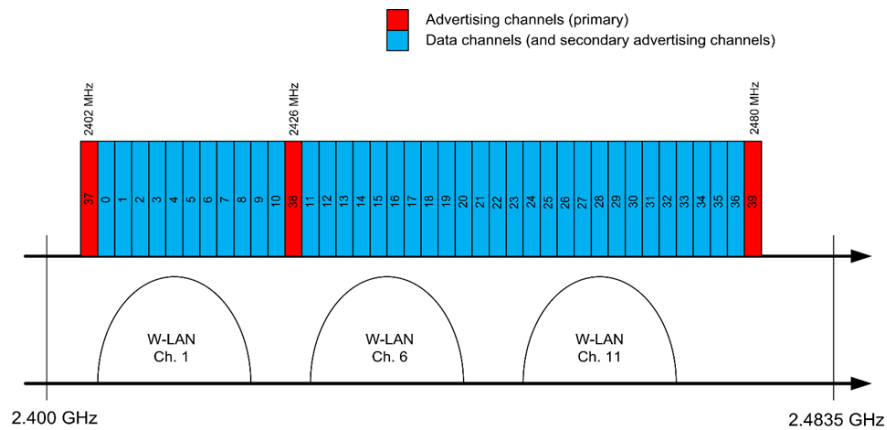


Bild 3-2: Darstellung der Bluetooth LE Kanäle; rot: Advertising Kanäle; blau: Daten Kanäle.

3.4.2 Sendeleistung

Die Sendeleistung von BLE liegt zwischen -20dBm (0,01mW) und 20 dBm (10 mW). Um den Energieverbrauch zu optimieren oder die Störung für andere Geräte zu minimieren, kann eine eignen Leistungsregelung in einem Gerät implementiert werden. Folgende informative Leistungsklassen sind definiert:

Klasse	Maximale Ausgangsleistung (dBm)
1	+20
1.5	+10
2	+4
3	0

Tabelle 3-2: Informative Leistungsklassen bei BLE

3.4.3 Modulationen

Um Bluetooth LE einfach zu halten, gibt es nur eine einzige, robuste Modulationsart. Wie auch schon in der Basic Rate von Bluetooth Classic wird Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) als Modulation verwendet. Der Frequenzhub liegt bei ± 250 kHz, was eine Bruttodatenrate von 1 Mbit/s erlaubt.

Für höhere Datenraten führt Version 5 optional einen neuen PHY (engl.: **Physical Layer**) mit einem doppelt so großen Frequenzhub von ± 500 kHz ein. Daraus ergibt sich eine Bruttodatenrate von 2 Mbit/s.

Ebenfalls optional ist der "Stable Modulation Index" SMI. Hierbei garantieren Geräte einen Modulation Index zwischen 0,495.....0,505. Dadurch ist der Frequenzhub genauer und das erhöht die mögliche Reichweite. Dies ist für alle PHYs möglich.

Die Version 5 führt neue Techniken auf den unteren Layern ein. Dadurch lassen sich jetzt drei unterschiedliche PHYs (**Ph**sikal **L**ayers) beschreiben. Diese unterscheiden sich im Frequenzhub, der Codierung und damit auch in der Nettodatenrate. Die Codierung wird für eine Vorwärtsfehlerkorrektur verwendet und dient letztendlich auch zur Erhöhung der Reichweite bis um das Vierfache (bei S=8). S=8 bedeutet acht Symbole kodieren ein Bit, entsprechend S=2 zwei Symbole ergeben ein Bit. Der LE1M ist verpflichtend und rückwärtskompatibel zu V4.

Tabelle 3-3 zeigt eine Übersicht der drei PHYs.

PHY	Bluetooth LE	Frequenzhub/ Brutto Datenrate	Coding		Netto Datenrate
			Access Header	Payload	
LE 1M	erforderlich	250 kHz/ 1 Msymbols/s	uncodiert		1 Mbit/s
LE 2M	optional	500 kHz/ 2 Msymbols/s	uncodiert		2 Mbit/s
LE coded	optional	250 kHz/ 1 Msymbols/s	S = 8	S=2 S=8	500 kBit/s 125 kBit/s

Tabelle 3-3: Übersicht der drei Physical Layer

3.5 Zusammenfassung

Tabelle 3-4 fasst die wichtigsten Eigenschaften von Bluetooth LE noch einmal zusammen.

Anwendung	Automotive, Smartwatches, Sport & Fitness, Heimelektronik, Automatisierung, Industrie 4.0, Gesundheitswesen, Smart Phones, etc.
Audio	Nein
Frequenzband (ISM)	2,4 GHz
Energieverbrauch	50 bis 99 % geringer als Bluetooth Classic
Reichweite	≥ 10 m
Ausgangsleistung	maximal + 20 dBm
Verbindungsaufbau	über Advertising
Verbindungszeit	6 ms
HF-Kanäle	40 mit 2 MHz Abstand 3 Advertising Kanäle 37 Datenkanäle (+ sekundäre Advertising Kanäle)
Modulation	GFSK Frequenzhub 250 kHz oder 500 kHz Modulation Index: 0,45 bis 0,55 Stable Modulation Index 0,495 bis 0,505
Brutto Datenrate	1 bis 2 Mbit/s
Netto Datenrate	0,2 bis 0,6 Mbit/s

Tabelle 3-4: BLE Eigenschaften

3.6 Bluetooth SIG Qualifizierung

Ein wichtiger, zu berücksichtigender Faktor bei der Entwicklung eines neuen Produkts, bei dem ein neues Funkverbindungsprotokoll zum Einsatz kommt, ist die Produkteinführungszeit. Hierfür muss man den Bluetooth-Qualifizierungsprozess verstehen.

So bringen Sie Ihr Bluetooth-Produkt auf den Markt

Bevor Produkte mit Bluetooth-Technologie legal auf den Markt gebracht werden können, müssen zwei Gruppen von Zulassungsanforderungen erfüllt werden (Bild 3-3). Das Ziel des von der Bluetooth SIG festgelegten Bluetooth-Qualifizierungsprogramms liegt darin, den Wert der Bluetooth-Technologie und der Marke zu schützen. Mit dem Bluetooth SIG-Konformitätsprogramm soll sichergestellt werden, dass ein Produkt konform zur Bluetooth-Spezifikation ist und erfolgreich mit anderen Produkten zusammenarbeitet, die das gleiche Bluetooth-Profil verwenden. Zunächst muss jedes Unternehmen, das die Bluetooth-Funktechnologie in ihren Produkten und Diensten einsetzt, ein Mitglied der Bluetooth SIG sein. Abhängig vom entwickelten Produkt verlangt der Qualifizierungsprozess nach verschiedenen Testfällen wie HF-, Protokoll- und Profil-Conformance-Tests sowie Interoperabilitätstests zwischen Profilen. Nachdem sämtliche Testfälle erfolgreich bestanden und die komplette Produktdeklaration erstellt wurde, können die Hersteller ihre Produkte mit der Bluetooth-Marke versehen und verkaufen. Die nationalen Anforderungen für die Typzulassung gelten auch für Bluetooth-Produkte und sind eine Grundvoraussetzung für die Markteinführung. Im Allgemeinen treffen auf Bluetooth-Produkte drei Anforderungen bezüglich der Produktzertifizierung zu:

- Die Funk-Typzulassung der HF-Sender-/Transceiver-Einheit
- Die EMV-Zertifizierung für den HF-Teil, typischerweise in der Host-Einheit installiert, in der Standardkonfiguration und unter normalen Nutzungsbedingungen
- Sicherheitszertifizierung, üblicherweise in Abhängigkeit von der Betriebsspannung des Produkts und aller dazugehörigen Stromversorgungen

Falls HF-Konformitätsprüfungen und die nationale Funk-Typzulassung erforderlich sind, müssen die Tests im Allgemeinen in einem Testhaus durchgeführt werden, das von der Bluetooth SIG und dem betreffenden Land akkreditiert ist. Pre-Conformance-Tests in einem eigenen Labor sind auf jeden Fall sinnvoll, um sicherzustellen, dass das Produkt die Konformitätsprüfung besteht. So lassen sich alle auftretenden Probleme schon vor der Konformitätsprüfung erkennen und schnell beheben. Damit spart man auf dem Weg zur Einführung eines neuen Produkts Zeit und Geld. Im Folgenden werden die HF-Phy-Pre-Conformance-Tests beschrieben.

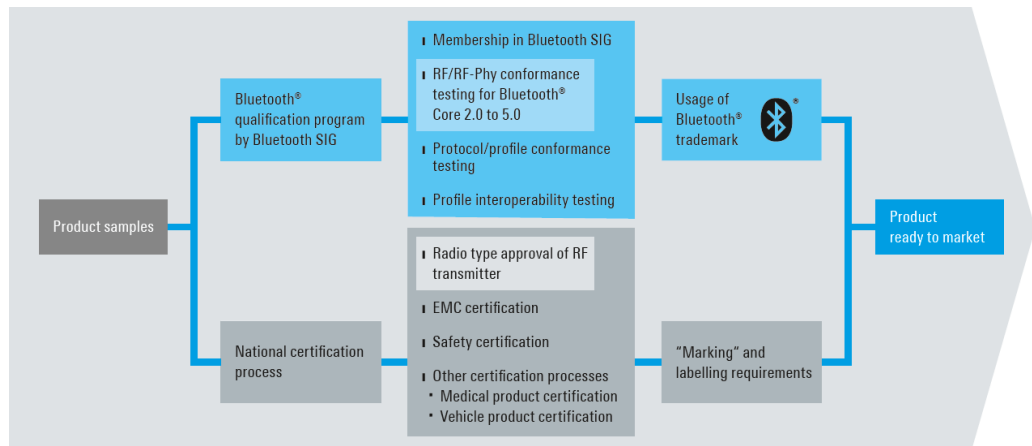


Bild 3-3: Bluetooth Qualifizierungsprozess

4 HF-Messungen am Bluetooth Low Energy-Gerät nach Spezifikation

Die Bluetooth Special Interest Group (Sig) schreibt im Rahmen der Qualifizierung Messungen an der Funkschnittstelle vor. Das heißt, alle Bluetooth-Geräte müssen in einem Testhaus (Bluetooth Qualification and Test Facility (BQTF)) nachweisen, dass sie die Spezifikation erfüllen. Für Bluetooth Low Energy Geräte nennt sich die entsprechende Testspezifikation "Bluetooth Test Specification: (RF) // RF-PHY.TS.5.0.0 [3].

Dabei wird zwischen den Sender- (Tx) und den Empfänger- (Rx) Tests unterschieden. Da bei Bluetooth unterschiedliche Chips mit unterschiedlichen Applications existieren, ist also eventuell nur ein Teil der Tests nötig. Beacons zum Beispiel senden nur, können aber nichts empfangen.

Die Testspezifikation [3] definiert einige grundlegende Tests, die dann je nach PHY ausgeführt werden müssen.

RF Transmitter Measurements

- Output Power
- In-band emissions
- Modulation Characteristics
- Carrier frequency offset and drift

RF Receiver Tests

- Receiver sensitivity
- C/I and Receiver Selectivity Performance
- Blocking Performance
- Intermodulation Performance
- Maximum input signal level
- PER Report Integrity

Diese Tests werden für verschiedene PHys wiederholt. [Tabelle 4-1](#) und [Tabelle 4-2](#) geben eine Übersicht. Die Transmitter Tests werden als **TP/TRM-LE/CA/BV-xx-C** bezeichnet und die Receiver Tests als **TP/RCV-LE/CA/BV-xx-C**. Die entsprechenden Ziffern aus den jeweiligen Tabellen müssen an der Stelle von –xx- eingefügt werden. Alle unten aufgeführten Tests werden ohne Hopping in einzelnen Kanälen durchgeführt. SMI ist die Abkürzung für stable modulation index.

Transmitter Tests								
Test	LE 1M 1 Ms/s	LE 2M 2 Ms/s	LE 1M 1 Ms/s SMI	LE 2M 2 Ms/s SMI	Coded 1 Ms/s S =2	Coded 1 Ms/s S=8	Coded 1 Ms/s SMI S=2	Coded 1 Ms/s SMI S=8
Output power	01							
In-band emission	03	08						
Modulation characteristics	05	10	09	11		13		
Carrier frequency offset and drift	06	12				14		

Tabelle 4-1: RF Transmitter Tests für Bluetooth LE nach [3]

Receiver Tests								
Test	LE 1M 1Ms/s	LE 2M 2Ms/s	LE 1M 1 Ms/s SMI	LE 2M 2 Ms/s SMI	Coded 1 Ms/s S =2	Coded 1 Ms/s S=8	Coded 1 Ms/s SMI S=2	Coded 1 Ms/s SMI S=8
Receiver sensitivity	01	08	14	20	26	27	32	33
C/I and receiver sensitivity	03	09	15	21	28	29	34	35
Blocking performance	04	10	16	22				
Intermodulation performance	05	11	17	23				
Maximum input signal level	06	12	18	24				
PER report integrity	07	13	19	25	30	31	36	37

Tabelle 4-2: RF Receiver Tests für Bluetooth LE nach [3]

4.1 Der Direct Test Mode

Die Core Spezifikation [4] definiert für Bluetooth LE einen sogenannten "Direct Test Mode"(DTM), mit dessen Hilfe das DUT für Tests kontrolliert wird. Der DTM ermöglicht das Testen des Physical Layers (PHY) durch das Senden und Empfangen von Test Paketsequenzen. So können zum Beispiel auch Berichte wie z.B. die PER zurückgemeldet werden. Dieser Mode wird häufig in der Entwicklung, der Produktion und bei Pre-conformance Tests verwendet. Der DTM überspringt den Host Stack und kommuniziert direkt mit dem PHY. Da der Direct Test Mode Teil der Spezifikation ist, sollte jedes Bluetooth-Gerät diesen Modus für die Conformance Tests unterstützen. Dadurch vereinfacht sich das Ansteuern der Geräte, weil nicht jedes proprietäre Protokoll wie z.B. bei W-LAN unterstützt werden muss.

Die Kontrolle findet über spezielle Kommandos für das Host Controller Interface (HCI) statt. Physikalisch wird ein serieller Bus (UART oder USB) benutzt. Damit kann ein PC oder auch ein Messgerät das DUT ansteuern.

Die Core Spezifikation schreibt auch spezielle Testpakete (coded und uncoded) vor, um die Tests zu vereinfachen und reproduzierbar zu machen. Für die verschiedenen Tests werden verschiedene Bitmuster in der Payload unterstützt, wie z.B.

- Ein Pseudo-zufälliges Bitmuster mit der Länge $2^9 - 1$ (PRBS9) und $2^{15} - 1$ (PRBS15)
- Alternierende Bitsequenz: 01010101...
- Komplette Nullen oder Einsen: 00000000 oder 11111111

4.2 Messungen am Bluetooth LE-Sender

Bei den Sendertests sendet das DUT, das Testgerät misst die Eigenschaften des Signals. Mittels Direct Test Mode werden die Parameter des Signals entweder durch den Tester selbst oder mit einem PC mit Steuerungssoftware des Testobjektherstellers eingestellt.

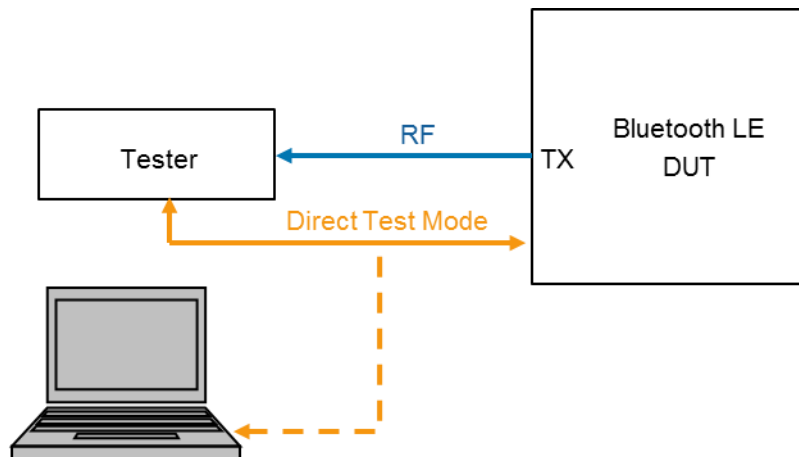


Bild 4-1: genereller Setup für Sendertests. Der Tester oder ein PC steuert das DUT über den Direct Test Mode an. Der Tester misst die Sendereigenschaften.

Alle Sendertests sollen auf drei Kanälen durchgeführt werden, einer im unteren, einer in der Mitte und einer im oberen Bereich des ISM-Spektrums. Die Kanalnummern unterscheiden sich auch an Hand der Device-Klassen folgendermaßen:

- Peripheral und Central Devices (connectible)
- Broadcaster and Observer Devices (non-connectible)

Die vorgeschriebenen Kanäle finden Sie in der Test-Spezifikation.

Output Power

Eine wesentliche Eigenschaft eines Senders ist die Ausgangsleistung. Im Falle von Bluetooth darf die maximale Ausgangsleistung einen bestimmten Wert nicht überschreiten, um andere Funkkommunikation nicht zu stören. Gemessen wird die Leistung.

In-band emissions

Ein Sender im gewünschten Kanal erzeugt Störungen auf den Nachbarkanälen. Diese dürfen ein bestimmtes Maß nicht überschreiten, um Störungen in der Kommunikation möglichst klein zu halten. Gemessen wird die Leistung auf allen Bluetooth-Kanälen (Bluetooth Classic Kanalabstand 1 MHz, Bluetooth LE Kanalabstand 2 MHz) innerhalb des ISM-Bandes.

Modulation Characteristics

Die Signalqualität ist wichtig, damit sich Sender und Empfänger verstehen können. Bei diesem Test wird die Signalqualität an Hand der Modulation überprüft.

Carrier frequency offset and drift

Auch bei diesem Test wird die Signalqualität überprüft. Sender und Empfänger müssen auf der gleichen Frequenz arbeiten. Gemessen wird zum einen der Unterschied der Frequenz des Senders zur nominellen Frequenz, sowie die zusätzliche Abweichung der Mittenfrequenz während der Übertragung eines kompletten Paketes.

4.3 Tests des Bluetooth LE-Empfängers

Bei den Empfängertests sendet das Testgerät ein Signal, das vom DUT empfangen wird. Mittels Direct Test Mode werden die Parameter des Signals dem DUT entweder durch den Tester selbst oder mit einem PC mit Steuerungssoftware des Testobjektherstellers übermittelt. Das Kriterium für den Empfängertest ist die Paketfehlerrate (PER) bzw. davon abgeleitet der Datendurchsatz. Üblicherweise berechnet das DUT die PER und übermittelt den Wert zurück an den Tester bzw. an den PC.

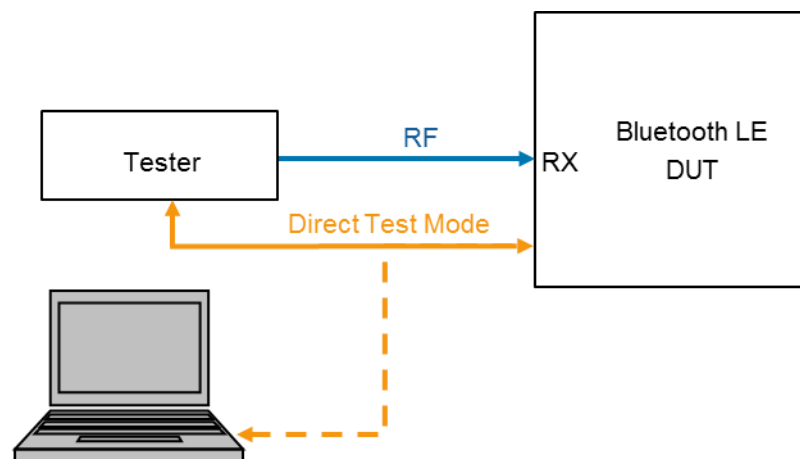


Bild 4-2: Genereller Setup für Empfängertests. Der Tester sendet Testpakete aus. Die Empfängereinstellungen werden dem DUT vom Tester oder PC mitgeteilt. Das DUT bestimmt die PER und schickt diese für die Auswertung zurück an den Tester oder an den PC.

Bis auf zwei Empfängertests sollen die Tests auf drei Kanälen (oben, Mitte und unten im ISM Band) durchgeführt werden. Die Tests Blocking Performance und PER Report

Integrity verlangen nur einen Kanal in der Mitte. Die Kanalnummern unterscheiden sich auch an Hand der Device-Klassen folgendermaßen:

- Peripheral und Central Devices (connectible)
- Broadcaster and Observer Devices (non-connectible)

Die vorgeschriebenen Kanäle finden Sie in der Test-Spezifikation [3].

Receiver sensitivity

Die wichtigste Eigenschaft des Empfängers ist die Empfindlichkeit, d.h. ein wie schwaches Signal kann der Empfänger noch erfolgreich verstehen. Bei Bluetooth-Tests wird zusätzlich noch ein schlechter Sender ("Dirty Transmitter") simuliert.

C/I and Receiver Selectivity Performance

Im ISM-Band können mehrere Bluetooth-Übertragungen zwischen verschiedenen Geräten gleichzeitig stattfinden. Dazu werden unterschiedliche Kanäle benutzt. Bei diesem Test wird die Empfangseigenschaft bei Störungen durch andere Bluetooth LE-Übertragungen überprüft, die in Nachbarkanälen stattfinden.

Blocking Performance

Verschiedene Funksysteme wie Mobilfunk, Satelliten-Kommunikation, Navigationssysteme mit Satelliten und auch RADAR senden auch außerhalb des ISM-Bandes Signale aus. Bei diesem Test wird die Empfangseigenschaft bei Störungen durch andere Funkübertragungen überprüft, die außerhalb des ISM-Bandes stattfinden.

Intermodulation Performance

Zwei oder mehr Sender können durch Nichtlinearitäten neue, zusätzliche Störer auf bestimmten Frequenzen erzeugen. Bei diesem Test wird die Empfangseigenschaft bei Störungen durch diese Intermodulationen überprüft.

Maximum input signal level

Das Verhalten des Empfängers bei schwachen Signalen wird unter Receiver Sensitivity getestet. In Bluetooth können auf Grund der räumlichen Nähe auch relativ starke Signale auftreten. Bei diesem Test wird die Empfangseigenschaft bei starken Signalen überprüft.

PER Report Integrity

Dies ist eigentlich kein HF-Test, sondern hier wird die Software zur Fehlerkorrektur im Empfänger getestet. Dabei muß der Empfänger Pakete mit künstlich eingebauten, vordefinierten Fehlern verarbeiten.

5 Messungen mit dem CMW

Die CMW-Familie stellt die ideale Plattform für Bluetooth-Tests dar. Zum einen sind alle Bluetooth-Test laut Spezifikation möglich. Hier lassen sich sowohl Tests in der Entwicklung und Produktion als auch als Pre-Compliance-Tests durchführen (hier sind zusätzliche Messgeräte nötig). Zum anderen lassen sich auch Co-Existence Tests mit anderen Funkstandards bequem durchführen. Folgende Messinstrumente der CMW-Plattform unterstützen Bluetooth:

- CMW500 - Flexibler Radiokommunikationstester mit allen üblichen Funkstandards für R&D nahe Lösungen
- CMW270 - Wireless Connectivity Tester
- CMW290 - IoT-Tester

Der CMW500, 270 und 290 unterstützen den in der Bluetooth Spezifikation [4] definierten Direct Test Mode. Der Direct Test Mode bietet eine Auswahl unterschiedlicher RF Test für Bluetooth Low Energy Devices inklusive der Remote Control Commandos für die Schnittstelle USB oder R232. Mit dem CMW können alle Bluetooth Test Cases abgedeckt werden (siehe [Tabelle 5-1](#)).

Bluetooth LE test cases								
	LE 1M 1 Ms/s	LE 2M 2 Ms/s	LE 1M 1 Ms/s SMI	LE 2M 2 Ms/s SMI	Coded 1 Ms/s S=2	Coded 1 Ms/s S=8	Coded 1 Ms/s SMI S=2	Coded 1 Ms/s SMI S=8
Transmitter Tests	TP/TRM-LE/CA/BV-xx-C							
Output power	01							
In-band emission	03	08						
Modulation characteristics	05	10	09	11		13		
Carrier frequency offset and drift	06	12				14		
Receiver Tests	TP/RCV-LE/CA/BV-xx-C							
Receiver sensitivity	01	08	14	20	26	27	32	33
C/I and receiver sensitivity	03	09	15	21	28	29	34	35
Blocking performance ¹⁾	04	10	16	22				
Intermodulation performance ¹⁾	05	11	17	23				
Maximum input signal level	06	12	18	24				
PER report integrity	07	13	19	25	30	31	36	37

¹⁾ Requires an additional signal generator.

Tabelle 5-1: R&S CMW500, 270 und 290 unterstützen alle Bluetooth RF-Tests

Messaufbau

Die meisten Tests (z.B. für Entwicklung und Produktion) können mit dem CMW alleine durchgeführt werden, dann sieht der Messaufbau so aus:

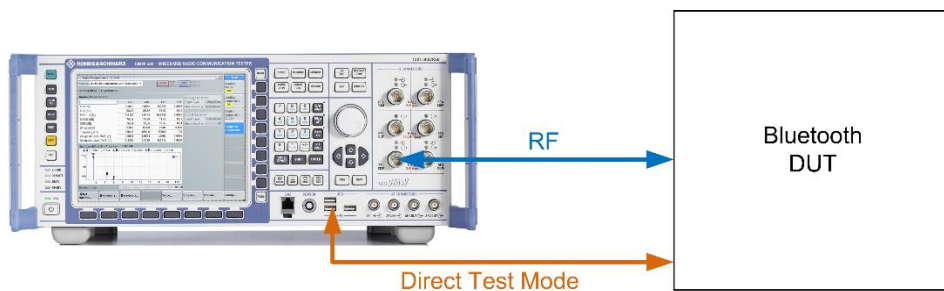


Bild 5-1: Der Testsetup mit dem CMW deckt die meisten Sender- und Empfängertests ab. Er stellt auch den Direct Test Mode via USB zur Verfügung.

Für die kompletten Tests (Pre-Conformance) wird ein zusätzlicher Generator benötigt:

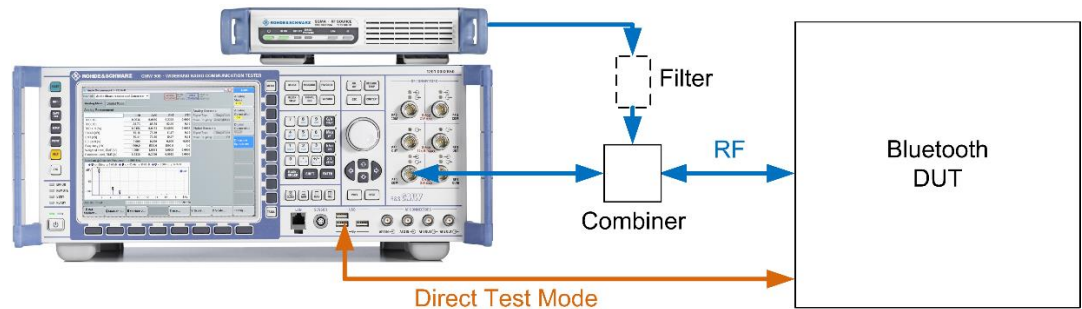


Bild 5-2: Mit diesem Testsetup mit CMW und einem zusätzlichem Generator können alle Sender- und Empfängertests nach der Spezifikation durchgeführt werden. Ein Filter unterdrückt eventuelle auftretende Störungen des CW-Generators im Bluetooth-Band.

5.1 Die Tests in der Handbedienung

5.1.1 Erste Schritte

Für die Bluetooth-Tests benötigen Sie folgende Applikationen in der CMW-Firmware:

- Bluetooth Signaling
- Bluetooth Multi-Evaluation
- Bluetooth Rx Measurement

1. Wählen Sie die nötigen Applikationen unter den Hardkeys SIGNAL GEN bzw. MEASURE aus. Gehen Sie in die Signaling-Applikation, z.B. durch Drücken von TASKS.



2. Gehen Sie in Bluetooth Signaling.

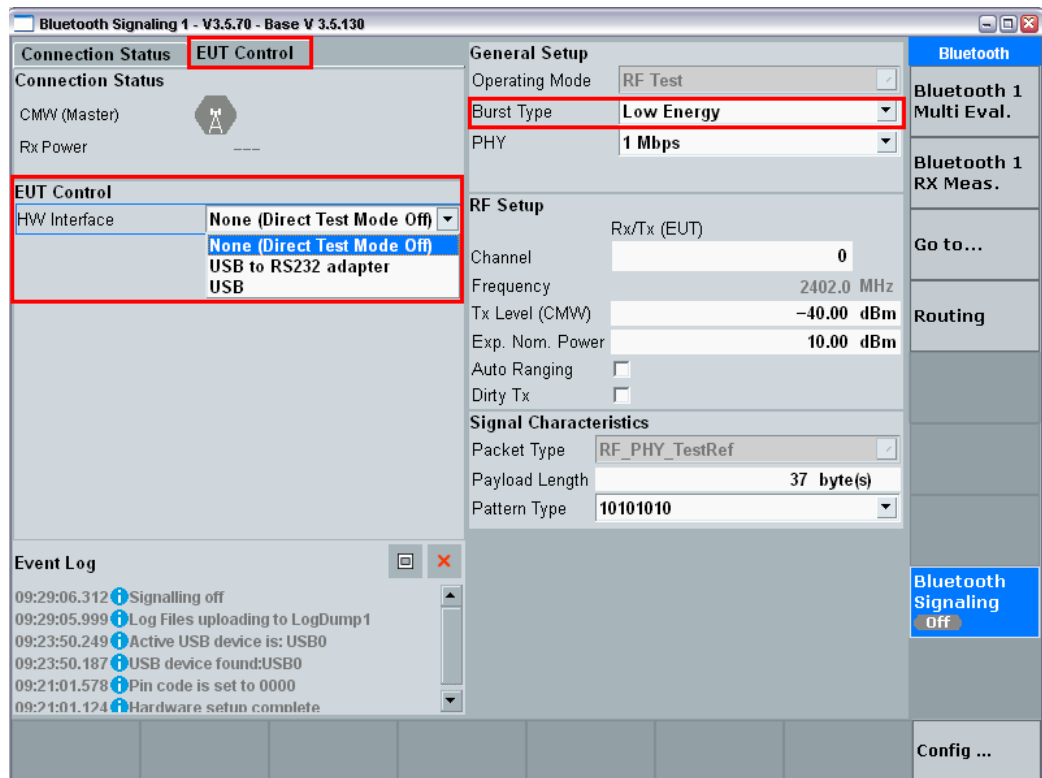


Bild 5-3: Der Start-Bildschirm in Bluetooth Signaling. IoT-Tests laufen unter Low Energy

3. IoT-Bluetooth benutzt die Variante *Low Energy*. Wählen Sie daher unter **Burst Type** entsprechend aus.
4. Der CMW unterstützt alle drei PHYs der Bluetooth Version 5:

Drei PHYs im CMW	
LE1M	1 Mbps
LE2M	2 Mbps
LE coded	Long Range

Tabelle 5-2: Die drei PHYs im CMW. Long Range unterstützt coded S=" und S=8

5. Wählen Sie auf der linken Seite die Art der Verbindung zum DUT aus (**EUT Control, HW Interface**), damit wird dann automatisch der "Direct Test Mode" aktiviert. Schalten Sie die Signalisierung ein. Siehe dazu auch die Application Note 1C105 [xx]
6. Ihr Bildschirm sollte jetzt ähnlich Bild 5-4 aussehen.
7. Mit einem Druck auf CONNECTION CHECK kann jederzeit die HCI-Verbindung im "Direct Test Mode" zum DUT überprüft werden.

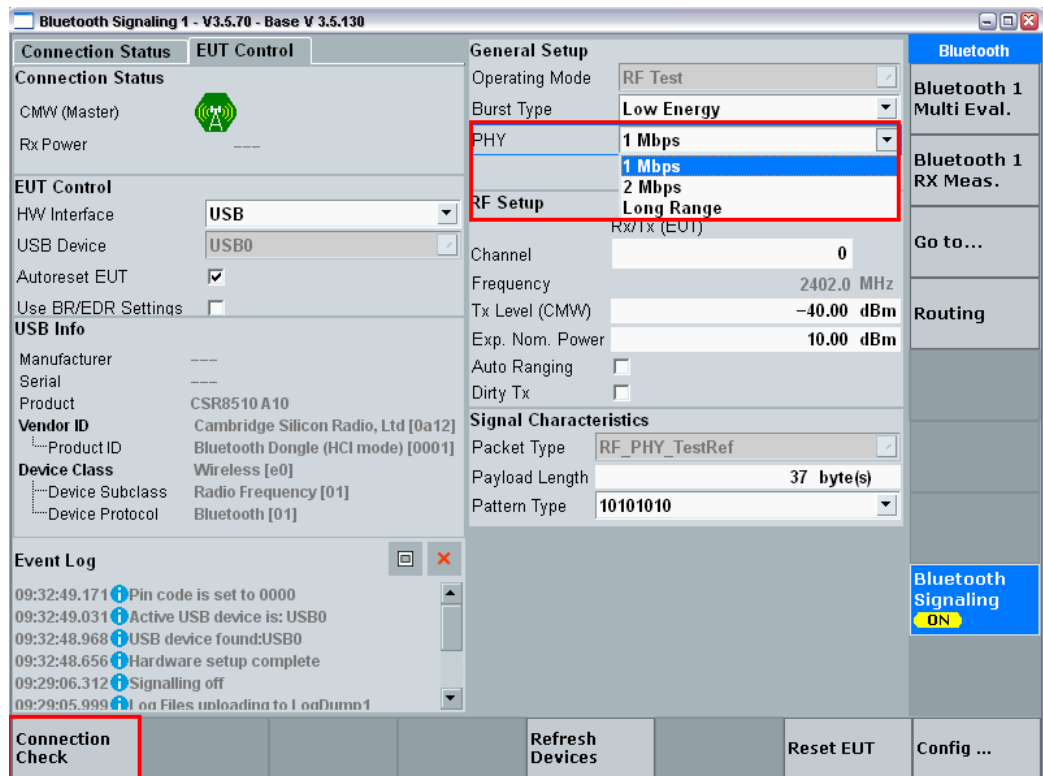


Bild 5-4: Low Energy und Direct Test Mode sind aktiviert

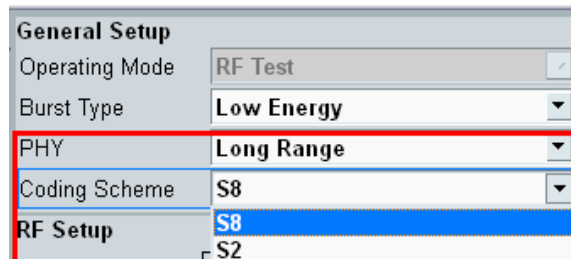


Bild 5-5: Long Range unterstützt beide Coding Varianten

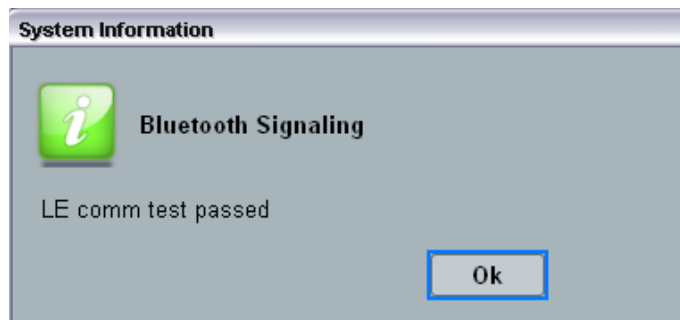


Bild 5-6: Erfolgreiche Überprüfung der Verbindung im Direct Test Mode zum DUT

8. Durch einen Klick auf **Bluetooth Multi Eval.** (rechts oben) wird in den Tx-Messbildschirm geschaltet. Schalten Sie die Messungen durch Anwählen von **Multi Evaluation.** (rechts oben) und **ON** ein.

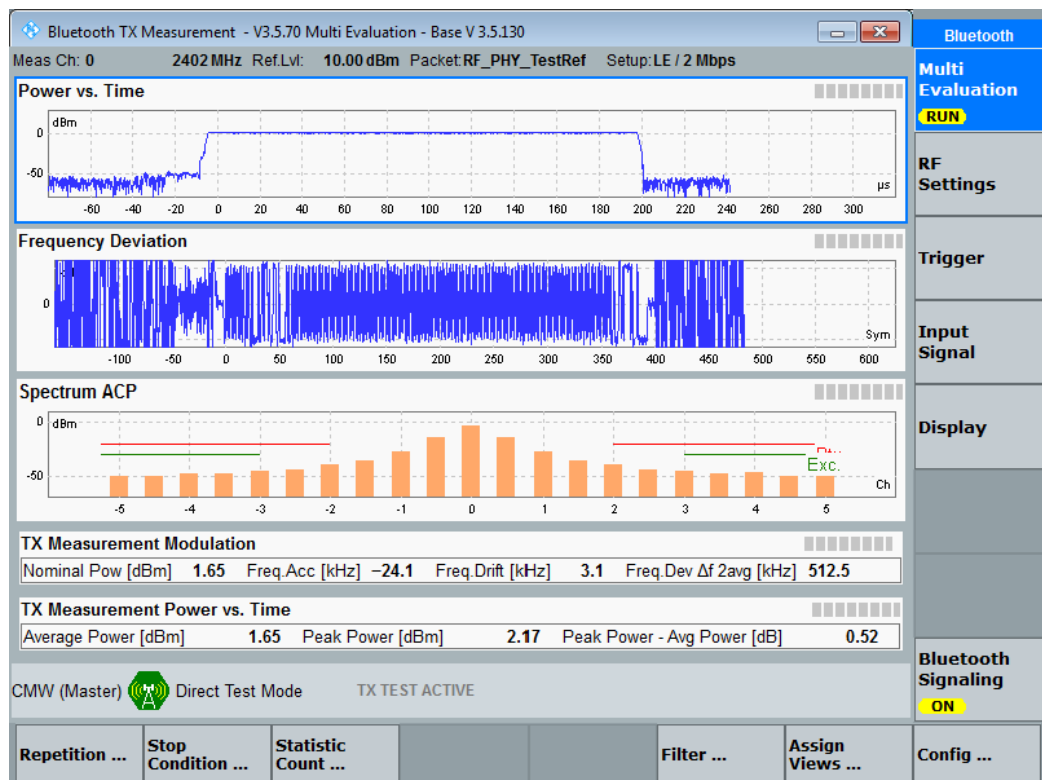


Bild 5-7: Die erste LE-TX-Messung: Überblick einer Tx-Messung im LE2M-PHY mit 2 Mbit/s

5.1.2 Tx-Tests

Der **Multi Evaluation Mode** misst alle Tx-Tests. Die Einstellung der Parameter kann an verschiedenen Stellen erfolgen, z.B. in **Bluetooth Signaling** oder direkt in der **Multi Evaluation**. Hier werden die Parameter immer in der Multi Evaluation eingestellt.

Unterstützt das LE Device das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom DUT unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen.

Die Parameter finden Sie unter **Config**, die einzelnen Mess-Ansichten unter **Display->Select View**.

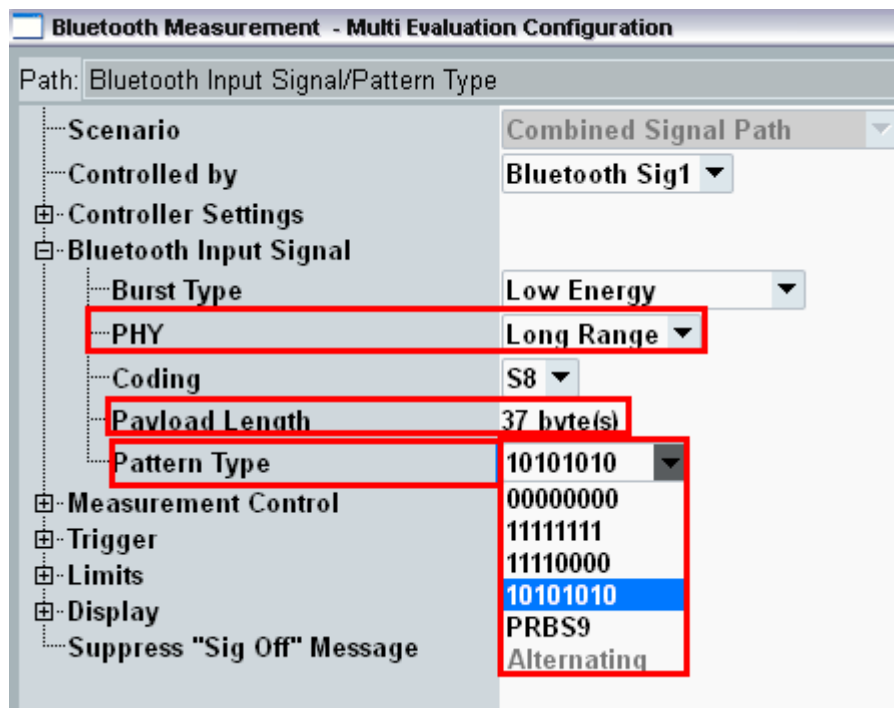


Bild 5-8: Einstellungen der Tx-Messung MultiEval: z.B. der PHY, der Pattern Type und Payload Length

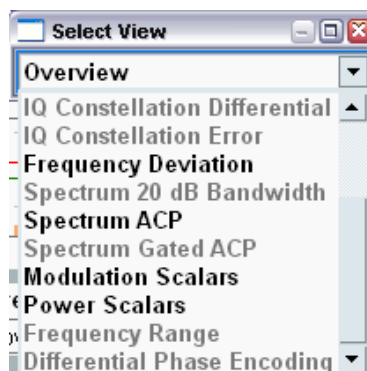


Bild 5-9: Verschieden Darstellungen im MultiEvaluation Mode. Ausgegraute Messungen sind für LE nicht relevant

5.1.2.1 Output power

Diese Messung ist nur für den LE1M vorgeschrieben (Test: 01).

Die Messung der Output Power soll mit **PRBS9** und der maximal möglichen, vom DUT unterstützen Paketlänge, stattfinden. Stellen Sie beides unter **Payload Length** bzw. **Pattern Type** ein.

In der **MultiEvaluation** eignet sich die Ansicht **Power Scalars**.

Statistics	Current	Average	Max	Min
Average Power [dBm]	4.74	4.74	4.77	4.71
Peak Power [dBm]	5.16	5.17	5.22	5.14
Peak Power - Average Power [dB]	0.43	0.44	0.47	0.41
Leakage Power [dBm]	-65.04	-64.23	-61.98	-67.69

Statistic Count: 100 / 100
Out of Tolerance: 0.00 %

Bild 5-10: CMW Output Power: P_{AVG} ist das Average der Average Power und P_{PK} das Maximum der Peak Power.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- $-20 \text{ dBm} \leq P_{AVG} \leq +10 \text{ dBm}$ (bis Core 4.2 ohne Add 5)

Oder

- $-20 \text{ dBm} \leq P_{AVG} \leq +20 \text{ dBm}$

Und

- $P_{PK} \leq (P_{AVG} + 3 \text{ dB})$

(P_{AVG} : mittlere Leistung, engl: average power; P_{PK} : Spitzenleistung, engl. peak power)

5.1.2.2 In-band emission

Diese Messung ist für den LE1M und den LE2M vorgeschrieben (Tests: 03 und 08).

Die Messung der In-Band Emissions (auch als Adjacent Channel Power (ACP) bezeichnet) soll mit **PRBS9** und maximal möglichen, vom DUT unterstützter Paketlänge, stattfinden. Stellen Sie beides unter **Payload Length** bzw. **Pattern Type** ein.

In der **MultiEval** eignet sich die Ansicht **Spectrum ACP**. Stellen Sie unter **Measurement Mode** *LE All Channels* ein.

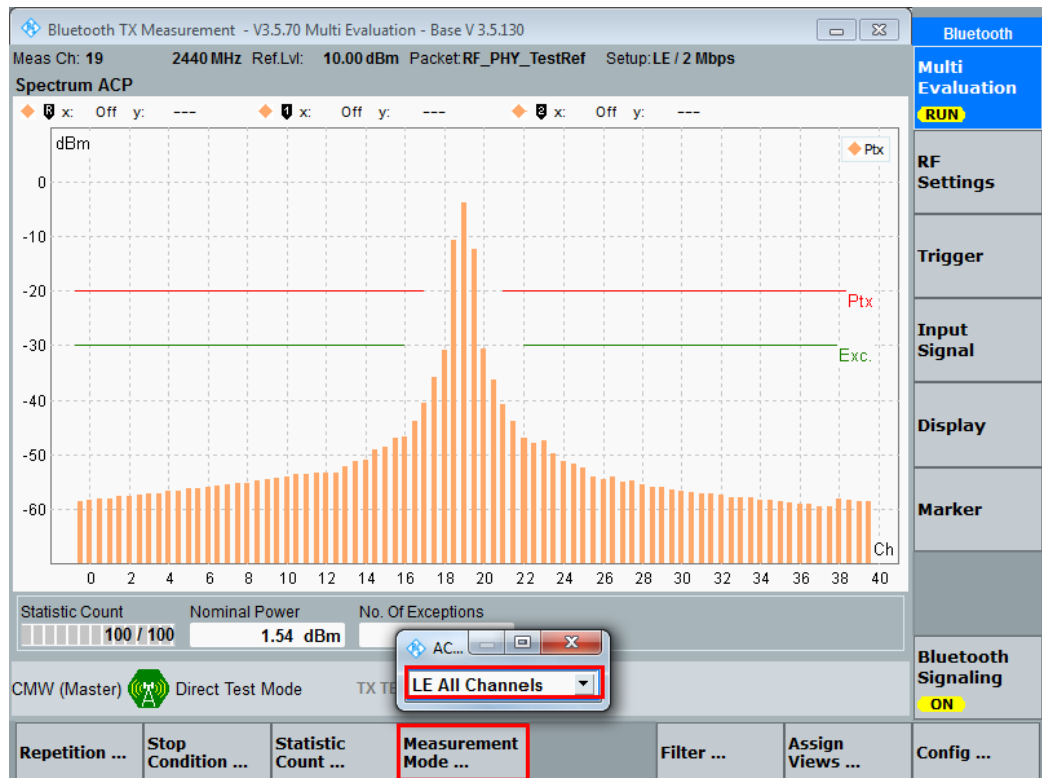


Bild 5-11: CMW In-Band emissions (Spectrum ACP). Die Messung wird für 1-MHz-Kanäle im Bereich von 2401 MHz bis 2481 MHz durchgeführt. Die Beschriftung in der x-Achse zeigt die LE-Kanalnummerierung.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Alle Messwerte im Bereich der roten Linie (≤ -20 dBm) müssen darunter liegen
- Bis zu drei (3) Messwerte im Bereich der grünen Linie dürfen zwischen grüner und roter Linie liegen.

Der CMW kann die Messwerte sowohl als Grafik als auch als Tabelle darstellen. Die tabellarische Ansicht finden Sie unter **Display -> Table View**.

5.1.2.3 Modulation Characteristics

Diese Messung ist für folgende PHYs vorgeschrieben:

Modulation Characteristics und PHYs	
PHY	Testnummer aus Spezifikation [3]
LE1M	05
LE2M	10
LE1M, SMI	09
LE2M, SMI	11
LE coded, S=8	13

Tabelle 5-3: Verschiedene Tests für Modulation Characteristics

Für diesen Test müssen zwei Messungen mit zwei unterschiedlichen Pattern aufgenommen werden:

- Δf_{1AVG} mit Pattern 11110000
- Δf_{2AVG} mit Pattern 10101010 und Δf_2 99.9%

Hinweis: für andere Pattern ergeben sich andere Ergebnisse als in [Bild 5-12](#) und [Bild 5-13](#) dargestellt.

- In der **MultiEvaluation** eignet sich die Ansicht **Modulation Scalars**.

Bluetooth TX Measurement - V3.5.70 Multi Evaluation - Base V 3.5.130

Meas Ch: 19 2440 MHz Ref.Lvl: 10.00 dBm Packet: RF_PHY_TestRef Setup: LE / 2 Mbps

TX Measurement Modulation

	NCAP	NCAP	NCAP	NCAP
Statistics	Current	Average	Max	StdDev
Δf 2 99.9% [kHz]				
Freq Accuracy [kHz]	-23.8	-24.8	-26.9	1.0
Freq Offset [kHz]	NCAP	NCAP	NCAP	NCAP
Freq Drift [kHz]	NCAP	NCAP	NCAP	NCAP
Initial Freq Drift [kHz]	NCAP	NCAP	NCAP	NCAP
Max Drift Rate [kHz/50 μ s]	NCAP	NCAP	NCAP	NCAP
Statistics	Current	Average	Max	Min
Freq Dev Δf 1avg [kHz]	522.0	521.1	522.9	519.6
Freq Dev Δf 1min [kHz]	488.1	484.9	497.4	469.7
Freq Dev Δf 1max [kHz]	556.5	556.3	571.4	546.1
Freq Dev Δf 2avg [kHz]	NCAP	NCAP	NCAP	NCAP
Freq Dev Δf 2min [kHz]	NCAP	NCAP	NCAP	NCAP
Freq Dev Δf 2max [kHz]	NCAP	NCAP	NCAP	NCAP

Statistic Count: 100 / 100 Out of Tolerance: 0.00 % Nominal Power: 1.53 dBm

CMW (Master) Direct Test Mode TX: 11110000

Bluetooth Signaling: ON

Burst Type / PHY ... Sync Word ... Pattern Type ... Payload Length ... Config ...

Bild 5-12: Δf_{1AVG} -Messung mit Pattern 11110000 im LE2M-PHY mit 2 Mbit/s

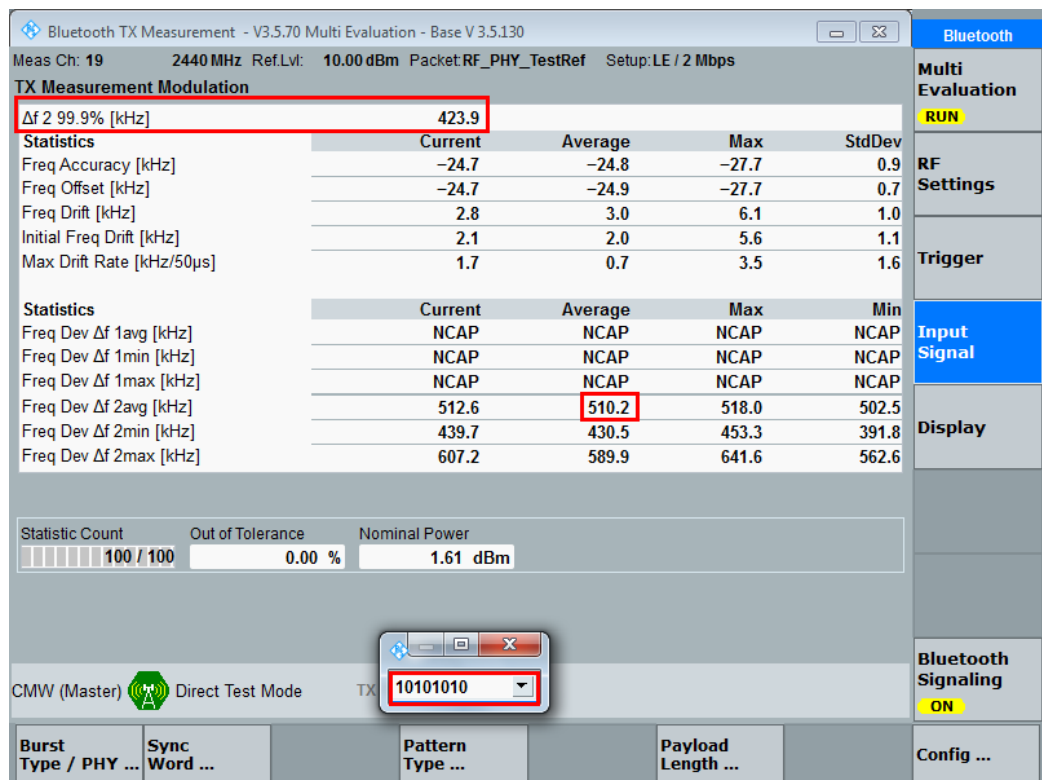


Bild 5-13: Δf_{2AVG}-Messung mit Pattern 10101010 und Δf₂ 99.9%-Messung im LE2M-PHY mit 2 Mbit/s

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

Modulation Characteristics					
Meßwert	LE1M Test 05	LE2M Test 10	LE1M mit SMI Test 09	LE2M mit SMI Test 11	LE coded S=8 Test 13
Δf _{1AVG}	225 kHz ≤ x ≤ 275 kHz	450 kHz ≤ x ≤ 550 kHz	247.5 kHz ≤ x ≤ 252.5 kHz	495 kHz ≤ x ≤ 505 kHz	225 kHz ≤ x ≤ 275 kHz
Δf ₂ 99.9%	> 185 kHz	> 370 kHz	> 185 kHz	> 370 kHz	> 185 kHz
$\frac{\Delta f_{2AVG}}{\Delta f_{1AVG}}$	≥ 0.8	≥ 0.8	≥ 0.8	≥ 0.8	?

Tabelle 5-4: Modulation Characteristics Limits

5.1.2.4 Carrier frequency offset and drift

Diese Messung ist für folgende PHYs vorgeschrieben:

Frequency Offset und Drift und PHYs	
PHY	Testnummer aus Spezifikation [3]
LE1M	06
LE2M	12
LE coded, S=8	14

Tabelle 5-5: Verschiedene Tests für Frequency Offset und Drift

Die Messung der Output Power soll mit **10101010** und der längst möglichen, vom DUT unterstützen Packetlänge stattfinden. Stellen Sie beides unter **Payload Length** bzw. **Pattern Type** ein.

In der **MultiEvaluation** eignet sich die Ansicht **Modulation Scalars**.

Bluetooth TX Measurement - V3.5.70 Multi Evaluation - Base V 3.5.130

Meas Ch: 19 2440 MHz Ref.Lvl: 10.00 dBm Packet:RF_PHY_TestRef Setup:LE / 2 Mbps

TX Measurement Modulation

	Current	Average	Max	StdDev
Δf 2 99.9% [kHz]	423.9			
Freq Accuracy [kHz]	-24.7	-24.8	-27.7	0.9
Freq Offset [kHz]	-24.7	-24.9	-27.7	0.7
Freq Drift [kHz]	2.8	3.0	6.1	1.0
Initial Freq Drift [kHz]	2.1	2.0	5.6	1.1
Max Drift Rate [kHz/50 μ s]	1.7	0.7	3.5	1.6

	Current	Average	Max	Min
Freq Dev Δf 1avg [kHz]	NCAP	NCAP	NCAP	NCAP
Freq Dev Δf 1min [kHz]	NCAP	NCAP	NCAP	NCAP
Freq Dev Δf 1max [kHz]	NCAP	NCAP	NCAP	NCAP
Freq Dev Δf 2avg [kHz]	512.6	510.2	518.0	502.5
Freq Dev Δf 2min [kHz]	439.7	430.5	453.3	391.8
Freq Dev Δf 2max [kHz]	607.2	589.9	641.6	562.6

Statistic Count: 100 / 100 Out of Tolerance: 0.00 % Nominal Power: 1.61 dBm

CMW (Master) Direct Test Mode TX: 10101010

Buttons: Burst Type / PHY ... Sync Word ... Pattern Type ... Payload Length ... Config ...

Bild 5-14: Messwerte Carrier Frequency Offset und drift. Die Messwerte nach Spezifikation sind jeweils die Maimalwerte.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

Frequency Offset und Drift			
Meßwert	LE1M	LE2M	LE coded mit S=8
	Test 06	Test 12	Test 14
Freq. Offset	≤ 150 kHz	≤ 150 kHz	≤ 150 kHz
Freq Drift	≤ 50 kHz	≤ 50 kHz	≤ 50 kHz
Initial Freq Drift	≤ 23 kHz	≤ 23 kHz	≤ 19.2 kHz
Max Drift Rate	≤ 20 kHz	≤ 20 kHz	≤ 19.2 kHz

Tabelle 5-6: Frequency Offset und Drift Limits

5.1.3 Rx-Tests

Die **Bluetooth Rx Meas** führt alle Rx-Tests als Bestimmung der Packet Error Rate (PER) durch. Die Berechnung der PER findet im DUT statt. Das DUT berichtet die PER via Direct Test Mode an den CMW. Die Einstellung der Parameter kann an verschiedenen Stellen erfolgen, z.B. in **Bluetooth Signaling** oder direkt in **Rx. Quality**. Hier werden die Parameter immer in der Rx Quality eingestellt.

Alle Tests werden mit der **Rx Quality** durchgeführt. Nur einzelne Parameter wie:

- Pegel
- Anzahl der Pakete (typisch 1500)
- Payload (üblicherweise PRBS9)

und z.B. zusätzliche Störer variieren und werden in den einzelnen Tests erklärt.

Anmerkung

Unterstützt das DUT das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom DUT unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Dadurch verändert sich auch das Limit für die PER (standard: 30.8% für 37 bytes)entsprechend Tabelle 6.4 in der Spezifikation [3].

The screenshot displays the 'Bluetooth Signaling - V3.5.70 - RX Measurement - Base V 3.5.130' window. The 'PER' tab is active, showing a PER of 0.53% and 1492 correct packets reported out of 1500 transmitted. The 'General Setup' section includes 'Operating Mode' (RF Test), 'Burst Type' (Low Energy), 'PHY' (Long Range), and 'Coding Scheme' (S8). The 'RF Setup' section shows 'Channel' (19), 'Frequency' (2440.0 MHz), and 'Tx Level (CMW)' (-82.00 dBm). The 'Signal Characteristics' section shows 'Packet Type' (RF_PHY_TestRef), 'Payload Length' (37 byte(s)), and 'Pattern Type' (PRBS9). The status bar at the bottom indicates 'CMW (Master) Direct Test Mode IDLE' and 'Bluetooth Signaling ON'.

Bild 5-15: CMW Rx Quality Messung

Hinweis: die PER Messung wird unter dem Reiter PER (gekennzeichnet mit einem grünen Punkt) durchgeführt.

5.1.3.1 Receiver Sensitivity

Dieser Test ist für alle PHYs vorgeschrieben:

Receiver Sensitivity und PHYs		
PHY	Testnummer aus Spezifikation [3]	Reference Level
LE1M	01	- 70 dBm
LE2M	08	
LE1M, SMI	14	
LE2M, SMI	20	
LE coded, S=2	26	- 75 dBm
LE coded, S=8	27	- 82 dBm
LE coded, S=2, SMI	32	- 75 dBm
LE coded, S=8, SMI	33	- 82 dBm

Tabelle 5-7: Verschiedene Tests für Receiver Sensitivity

Wählen Sie zunächst den gewünschten PHY aus. Für diesen Test stellen Sie PRBS9, 1500 Pakete und einen Pegel gemäß [Tabelle 5-7](#) ein. Zusätzlich wird ein nicht optimaler Sender ("Dirty Tx") simuliert. Klicken Sie dazu rechts oben auf **Dirty Tx** und vergewissern Sie sich, dass der **Dirty Tx Mode** auf *Spec Table* (unten) steht. Schalten Sie den **Dirty Tx auf On** (unten) und starten Sie die Messung neu (**Rx Quality: Restart**). Damit sind alle Parameter konform zu Spezifikation eingestellt. Stellen Sie falls nötig den SMI unter CONFIG|DIRTY Tx ein:

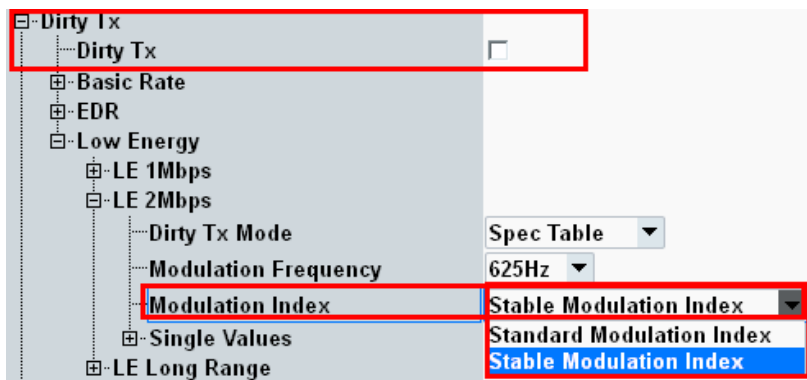


Bild 5-16: SMI findet sich unter CONFIG der Rx Qual.

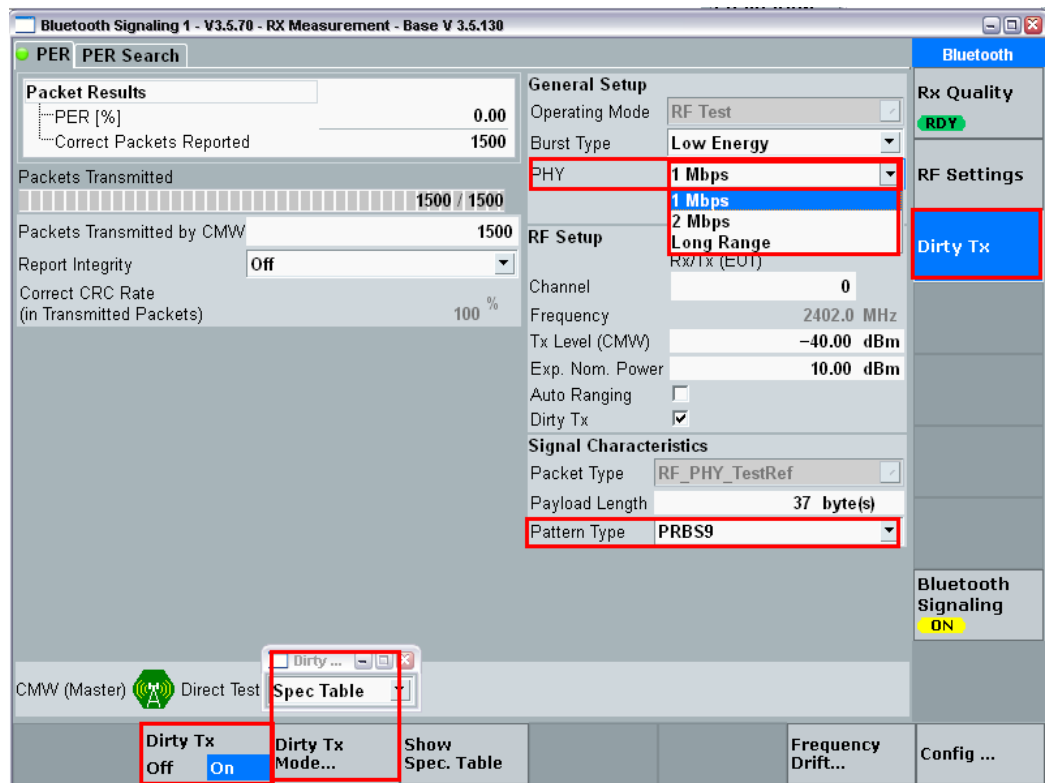


Bild 5-17: CMW Dirty Tx

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- PER < 30.8 %

5.1.3.2 C/I and Receiver Selectivity Performance

Dieser Test ist für alle PHYs vorgeschrieben:

C/I and Receiver Selectivity und PHYs	
PHY	Testnummer aus Spezifikation [3]
LE1M	03
LE2M	09
LE1M, SMI	15
LE2M, SMI	21
LE coded, S=2	28
LE coded, S=8	29
LE coded, S=2, SMI	34
LE coded, S=8, SMI	35

Tabelle 5-8: Verschiedene Tests für C/I and Receiver Selectivity

Bei diesem Test wird das Verhalten des Empfängers unter Einfluss eines zweiten Bluetooth-Signals überprüft. Dazu wird ein Bluetooth-Störer mit bestimmten Pegeln

und Frequenzabständen zum gewünschten Bluetooth-Signal eingestellt und jeweils die PER-Messung am gewünschten Signal durchgeführt.

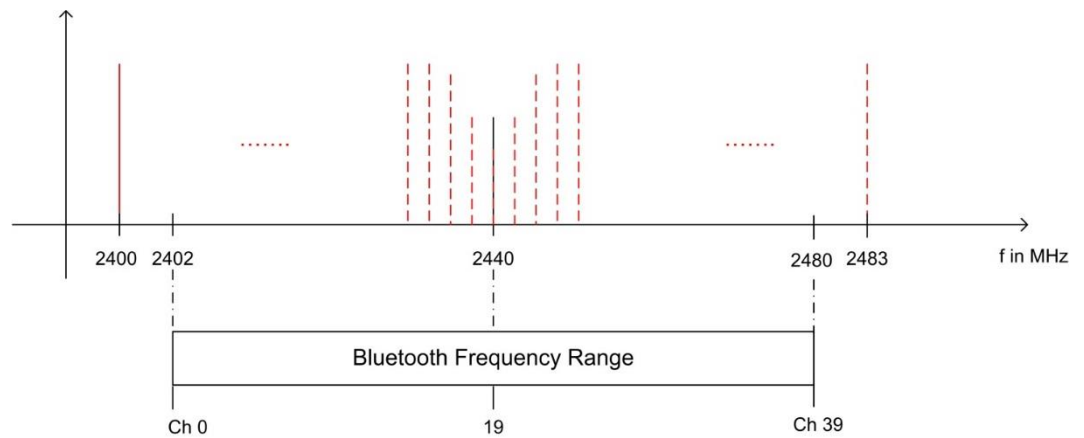


Bild 5-18: C/I performance: the packet error rate in the presence of a Bluetooth interferer inside the Bluetooth band is measured. The measurement is repeated after shifting the interferer by 1 MHz.

C/I LE level settings for Tests 03, 09, 15, 21			
Interference signal frequency	Interferer level (abs)	C/I level	Wanted signal (abs)
Co-channel ($f_{RX} = f_{Interference}$)	-88 dBm	21 dB	-67 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 1 \text{ MHz}$)	-82 dBm	15 dB	-67 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 2 \text{ MHz}$)	-50 dBm	-17 dB	-67 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm (3 + n) \text{ MHz}$)	-40 dBm	-27 dB	-67 dBm
Image frequency ($f_{Interference} = f_{Image}$)	-58 dBm	-9 dB	-67 dBm
Adjacent channel to image frequency ($f_{Interference} = f_{Image} \pm 1 \text{ MHz}$)	-52 dBm	-15 dB	-67 dBm

Tabelle 5-9: C/I and receiver selectivity test parameter settings.

C/I LE level settings for Tests 28, 34			
Interference signal frequency	Interferer level (abs)	C/I level	Wanted signal (abs)
Co-channel ($f_{RX} = f_{Interference}$)	- 89 dBm	17 dB	- 72 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 1 \text{ MHz}$)	- 83 dBm	11 dB	- 72 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 2 \text{ MHz}$)	- 51 dBm	- 21 dB	- 72 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm (3 + n) \text{ MHz}$)	- 41 dBm	- 31 dB	- 72 dBm
Image frequency ($f_{Interference} = f_{Image}$)	- 59 dBm	- 13 dB	- 72 dBm
Adjacent channel to image frequency ($f_{Interference} = f_{Image} \pm 1 \text{ MHz}$)	- 53 dBm	- 19 dB	- 72 dBm

Tabelle 5-10: C/I and receiver selectivity test parameter settings for LE coded S=2.

C/I LE level settings for Tests 29, 35			
Interference signal frequency	Interferer level (abs)	C/I level	Wanted signal (abs)
Co-channel ($f_{RX} = f_{Interference}$)	- 91 dBm	12 dB	- 79 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 1 \text{ MHz}$)	- 85 dBm	6 dB	- 79 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 2 \text{ MHz}$)	- 53 dBm	- 26 dB	- 79 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm (3 + n) \text{ MHz}$)	- 43 dBm	- 36 dB	- 79 dBm
Image frequency ($f_{Interference} = f_{Image}$)	- 61 dBm	- 18 dB	- 79 dBm
Adjacent channel to image frequency ($f_{Interference} = f_{Image} \pm 1 \text{ MHz}$)	- 55 dBm	- 24 dB	- 79 dBm

Tabelle 5-11: C/I and receiver selectivity test parameter settings for LE coded S=8.

Einstellungen:

- Signal mit PRBS9 und Pegel je nach PHY: - 67 dBm, - 72 dBm oder -79 dBm
- 1500 Pakete

Kontinuierlicher Störer mit GFSK mit PRBS15 je nach PHY, Pegel je nach Frequenzabstand (Tabelle 5-9, Tabelle 5-10 oder Tabelle 5-11). Startfrequenz 2400 MHz in 1 MHz-Schritten bis 2483 MHz.

Der Bluetooth-Störer kann mit einem zusätzlichen Generator wie z.B. dem SMBV oder SMW erzeugt werden. Hier wird die Lösung mit dem General Purpose RF Generator (GPRF) im CMW beschrieben. Dazu wählen Sie im GPRF als Baseband Mode ARB aus und laden je nach PHY das bereitgestellte File

- BTLE1MSPS_Interferer_PRBS15.wv für LE1M
- BTLE2MSPS_Interferer_PRBS15.wv für LE2M
- BTLELR_INTEFERENCE_FEC2_PRBS15.wv für LE coded mit S=2
- BTLELR_INTEFERENCE_FEC8_PRBS15.wv für LE coded mit S=8

Diese Lösung ist auch in der automatischen Lösung mit CMWrun implementiert (siehe Abschnitt 5.2).

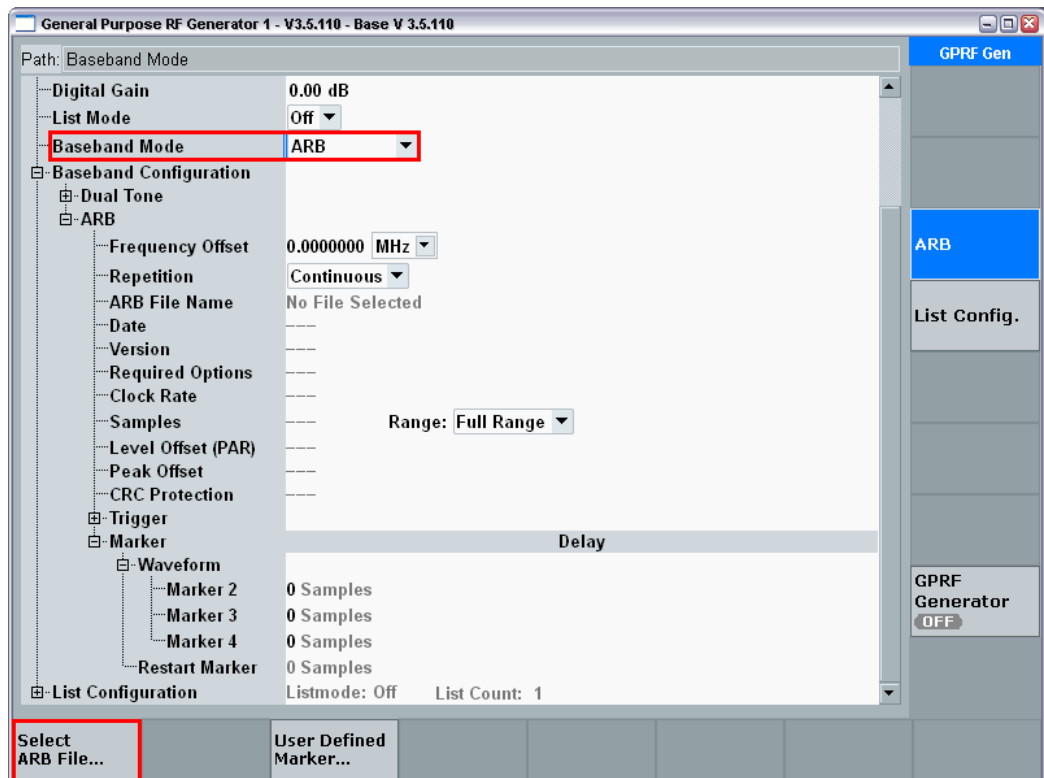


Bild 5-19: CMW: Der ARB-Modus im GPRF

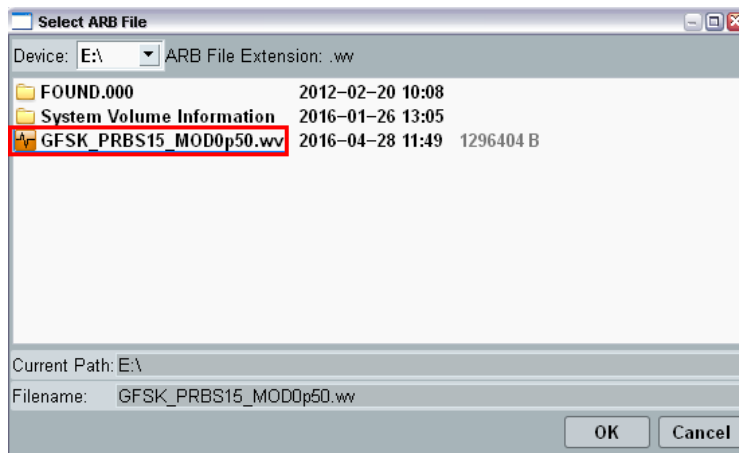


Bild 5-20: CMW: Auswahl des ARB-Files. Im Beispiel für LE1M

Stellen Sie die Parameter wie Pegel und Frequenz ein und schalten Sie den Generator auf ON.

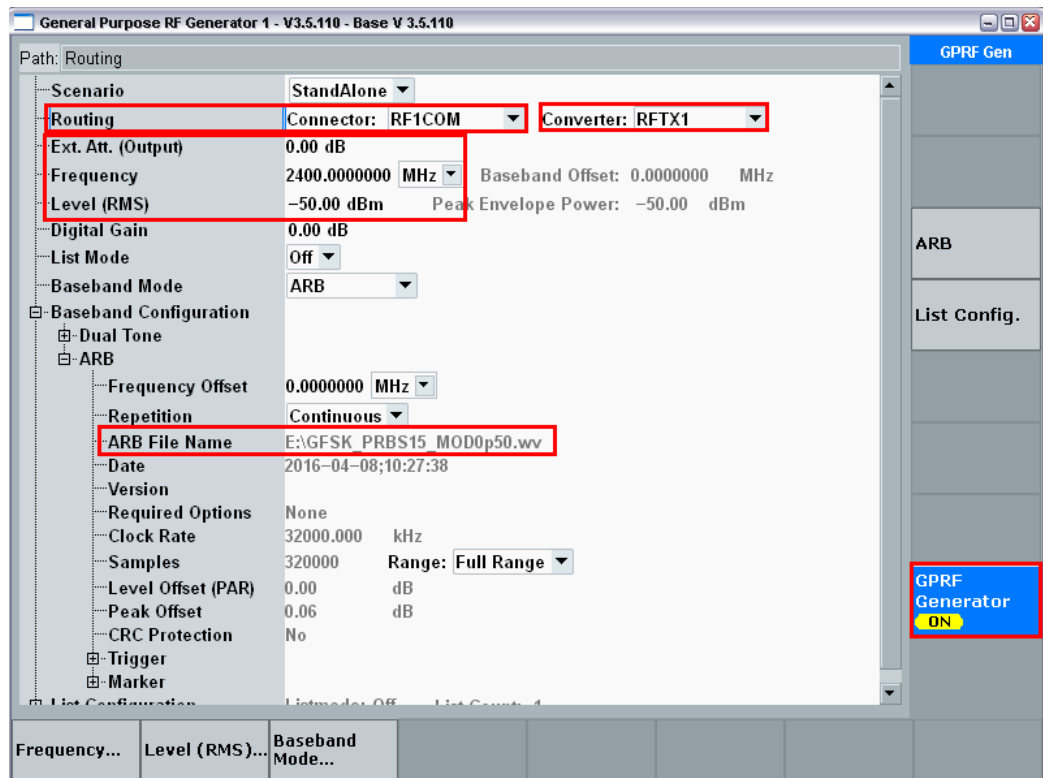


Bild 5-21: CMW: Setzen von Pegel und Frequenz für den Bluetooth-Störer

Führen Sie die **Rx Quality** Messung durch.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete).
- Für jeden der drei Nutzkanäle (wanted channels) darf der PER Wert von 30.8% an fünf Störfrequenzen überschritten werden. Diese fünf Ausnahmen gelten für folgende Trägerabstände:

C/I exception spaces	
Test aus Spezifikation [3]	Trägerabstand
03, 15, 28, 29, 34 und 35	≥ ± 2 MHz
09, 21	± 4 MHz, ± 6 MHz, ± 8 MHz,

Tabelle 5-12: C/I Trägerabstand

- An den Störfrequenzen (maximal fünf) bei denen der PER Grenzwert überschritten wurde, wird ein zweites Mal mit einem nun zulässigem C/I =-17 dBm gemessen. Der PER Grenzwert beträgt unverändert 30,8%.

5.1.3.3 Blocking Performance

Bei diesem Test wird das Verhalten des Empfängers unter Einfluss eines nicht-Bluetooth Signals überprüft. Der Störer ist ein unmoduliertes Signal (CW). Dazu wird ein Störer mit bestimmten Pegeln und Frequenzabständen zum gewünschten Bluetooth-Signal eingestellt und jeweils die PER-Messung am gewünschten Signal durchgeführt.

Dieser Test ist für folgende PHYs vorgeschrieben:

Blocking und PHYs	
PHY	Testnummer aus Spezifikation [3]
LE1M	04
LE2M	10
LE1M, SMI	16
LE2M, SMI	22

Tabelle 5-13: Verschiedene Tests für Blocking

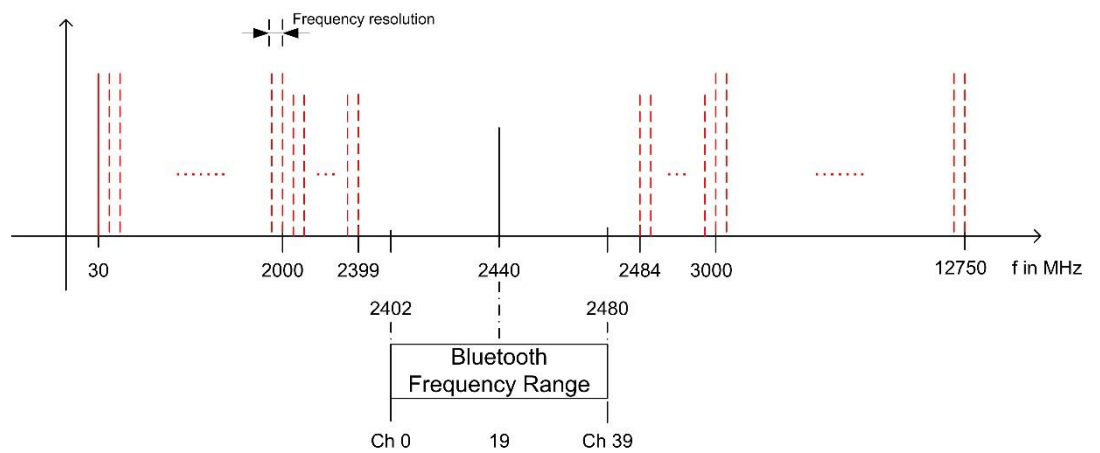


Bild 5-22: Blocking performance: For one channel, the packet error rate in the presence of a CW interferer outside the Bluetooth band is measured. The measurement is repeated after shifting the interferer by the frequency resolution.

Blocking level settings			
Interference signal frequency	Wanted signal level	Blocking signal level	Frequency resolution
30 MHz to 2000 MHz	-67 dBm	-30 dBm	10 MHz
2003 MHz to 2399 MHz	-67 dBm	-35 dBm	3 MHz
2484 MHz to 2997 MHz	-67 dBm	-35 dBm	3 MHz
3000 MHz to 12.75 GHz	-67 dBm	-30 dBm	25 MHz

Tabelle 5-14: Blocking performance parameters, first test run.

Für diesen Test ist der erweiterte Testsetup nach Bild 5-2 erforderlich.

Einstellungen:

- Signal mit PRBS9 und - 67 dBm
- 1500 Pakete

- Störer unmoduliert, Pegel je nach Frequenzabstand (Tabelle 5-9). Startfrequenz 30 MHz in Schritten nach Tabelle 5-14 bis 12,75 GHz. Der Bluetooth-Bereich (2400 MHz bis 2483 MHz) wird übersprungen.

Der CW-Störer kann mit einem zusätzlichen Generator wie z.B. dem SGS, SMC oder SMF erzeugt werden. Hier wird die Lösung mit dem SGS beschrieben. Mit der kostenlosen Software SGMA-GUI können Sie den SGS bedienen.

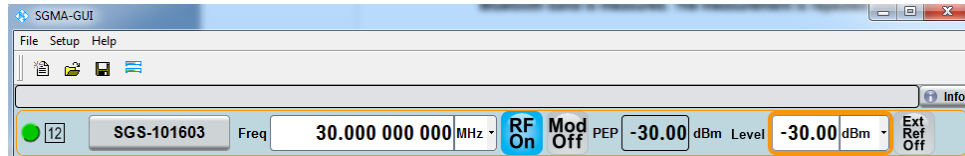


Bild 5-23: Bedienung des SGS mit der SGMA-GUI

Führen Sie die **Rx Quality** Messung durch.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Testdurchlauf 1: PER < 30.8 % (mindestens 1500 Pakete). Die Anzahl der Werte welche diese Bedingung nicht erfüllen darf zehn nicht überschreiten und deren Frequenzwerte werden notiert.
- Testdurchlauf 2: An jeder im Testdurchlauf 1 notieren Frequenz wird die PER Messung (mindestens 1500 Pakete) mit einem reduzierten Störsignalpegel von - 50dBm wiederholt. Die Frequenzen an denen PER > 30.8 % werden wieder notiert. An maximal 3 Frequenzen darf PER < 30.8 % überschritten werden.

5.1.3.4 Intermodulation Performance

Dieser Test ist für folgende PHYs vorgeschrieben:

Intermodulation und PHYs	
PHY	Testnummer aus Spezifikation [3]
LE1M	05
LE2M	11
LE1M, SMI	17
LE2M, SMI	23

Tabelle 5-15: Verschiedene Tests für Intermodulation

Bei diesem Test wird das Verhalten des Empfängers unter Einfluss zweier Signale überprüft. Der erste Störer ist ein unmoduliertes Signal (CW). Der zweite Störer ist ein kontinuierlich moduliertes Bluetooth-Signal. Dazu werden die Störer mit bestimmten Pegeln und Frequenzabständen zum gewünschten Bluetooth-Signal eingestellt und jeweils die PER-Messung am gewünschten Signal durchgeführt.

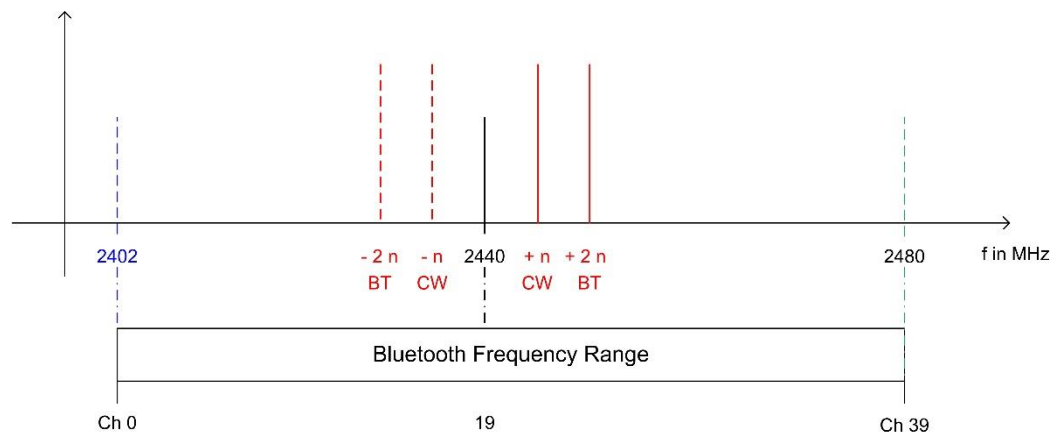


Bild 5-24: Intermodulation performance: For each of three channels, the packet error rate in the presence of a CW interferer in a distance n and in the presence of a Bluetooth interferer in a distance $2n$ is measured.

Für diesen Test ist der erweiterte Testsetup nach [Bild 5-2](#) erforderlich.

Einstellungen:

- Signal mit PRBS9 und - 64 dBm
- 1500 Pakete
- $n = 3, 4$ or 5 (defined by manufacturer)
- Bluetooth interferer: low energy GFSK with PRBS15 spaced $\pm 2n$ MHz from wanted signal, level - 50 dBm
- CW interferer: spaced $\pm n$ MHz from wanted signal, level -50 dBm

Der CW-Störer kann mit einem zusätzlichen Generator wie z.B. dem R&S®SMB, R&S®SGS100A, R&S®SMC100A oder R&S®SMF100A erzeugt werden. Hier wird die Lösung mit dem SGS beschrieben. Mit der kostenlosen Software R&S®SGMA-GUI können Sie den R&S®SGS bedienen. Siehe dazu Kapitel [5.1.3.3](#).

Der Bluetooth-Störer kann mit einem zusätzlichen Generator wie z.B. dem SMBV oder SMW erzeugt werden. Hier wird die Lösung mit dem General Purpose RF Generator (GPRF) im CMW beschrieben. Dazu wählen Sie im GPRF als Baseband Mode ARB aus und laden das bereitgestellte File

- GFSK_PRBS15_MOD0p50.wv für LE1M
- LE2M_INTERFERERER_PRBS15.wv für LE2M

Diese Lösung ist auch in der automatischen Lösung mit CMWrun implementiert (siehe Abschnitt [5.2](#)). Mehr dazu siehe Kapitel [5.1.3.2](#).

Führen Sie die **Rx Quality** Messung durch.

Es gilt folgende Bedingung:

- Ein PER Wert von 30.8 % muss für jeden der drei Kanäle erreicht werden.

5.1.3.5 Maximum Input Signal Level

Dieser Test ist für folgende PHYs vorgeschrieben:

Maximum Input Signal Level und PHYs	
PHY	Testnummer aus Spezifikation [3]
LE1M	06
LE2M	12
LE1M, SMI	18
LE2M, SMI	24

Tabelle 5-16: Verschiedene Tests für Maximum Input Signal Level

Für diesen Test stellen Sie **PRBS9**, 1500 Pakete und einen Pegel von - 10 dBm ein. Führen Sie die **Rx Quality** Messung durch.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- PER < 30.8 %

5.1.3.6 PER Report Integrity

Dieser Test ist für alle PHYs vorgeschrieben:

PER Report Integrity und PHYs	
PHY	Testnummer aus Spezifikation [3]
LE1M	07
LE2M	13
LE1M, SMI	19
LE2M, SMI	25
LE coded, S=2	30
LE coded, S=8	31
LE coded, S=2, SMI	36
LE coded, S=8, SMI	37

Tabelle 5-17: Verschiedene Tests für PER Report Integrity

Bei diesem Test sendet der CMW in jedem zweiten Paket eine nicht-korrekte CRC aus. Schalten Sie dafür die **Report Integrity** auf *ON* und den Pegel auf **- 30 dBm**. Führen Sie die **Rx Quality** Messung durch.

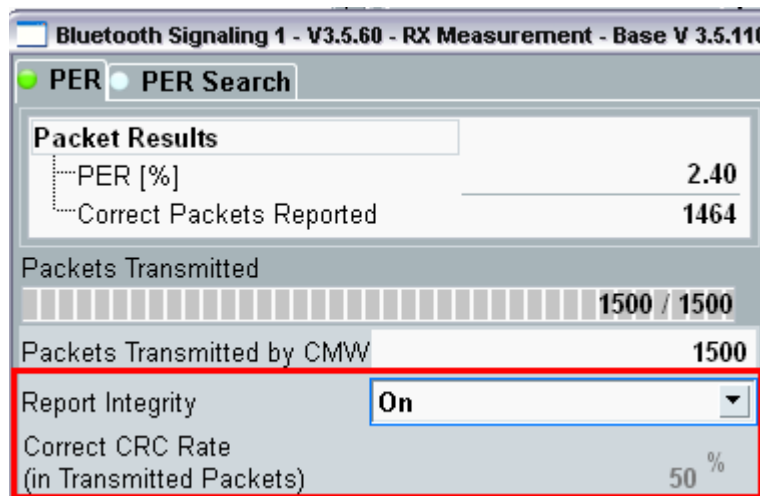


Bild 5-25: CMW sendet jedes zweite Paket mit einem falschem CRC

Der Test soll dreimal mit einer unterschiedlichen, zufälligen Anzahl von Paketen im Bereich 100...1500 Pakete wiederholt werden.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- PER \geq 50 %

5.2 CMWrun

Die R&S®CMWrun Automatisierungs-Software ist eine schlüsselfertige Lösung für die Ausführung von ferngesteuerten Testabläufen. Sie lässt sich mit allen Standards, die von der CMW Familie unterstützt wird, optional erweitern. Die Software-Engine basiert auf der Ausführung von Test-DLLs (Plug-in-Assemblies). Diese Architektur ermöglicht eine einfache und unkomplizierte Konfiguration der Testabläufe ohne Spezialwissen über die Programmierung der Fernsteuerung des Geräts. Sie bietet außerdem volle Flexibilität bei der Konfiguration der Parameter und Grenzwerte für die in den standardspezifischen R&S®CMWrun Paketoptionen vorgesehenen Prüfobjekte. Nach dem Test wird ein leicht lesbarer Testbericht erstellt, der die Grenzwerte, die Testergebnisse und das Urteil enthält. Dieser Report ist in den Formaten CSV, TXT, XML und PDF verfügbar.

Die Option CMW KT-057 (Wireless connectivity standards: WiMAX, WLAN, Bluetooth) stellt alle Tests z.B. als Pre-Conformance Tests nach [Tabelle 4-1](#) und [Tabelle 4-2](#) als vorgefertigte Module zur Verfügung. Damit deckt die Option auch alle unter Abschnitt [5.1](#) beschriebenen Tests ab. Folgende Testpläne werden mitgeliefert:

BLE_PHY_5_0_0

alle Tests, die mit dem CMW alleine durchgeführt werden können (Nicht enthalten sind die 3 Tests: C/I and Receiver sensitivity, Blocking performance tests und Intermodulation performance tests. Sie sind unter den Advanced-Testplänen (siehe unten) zu finden)

BLE_PHY_5_0_0_Advanced_FE-Advanced

zusätzliche Tests mit Generator, advanced Frontend

BLE_PHY_5_0_0_Advanced_2_FE-Basic

zusätzliche Tests mit Generator, zwei Basic Frontends

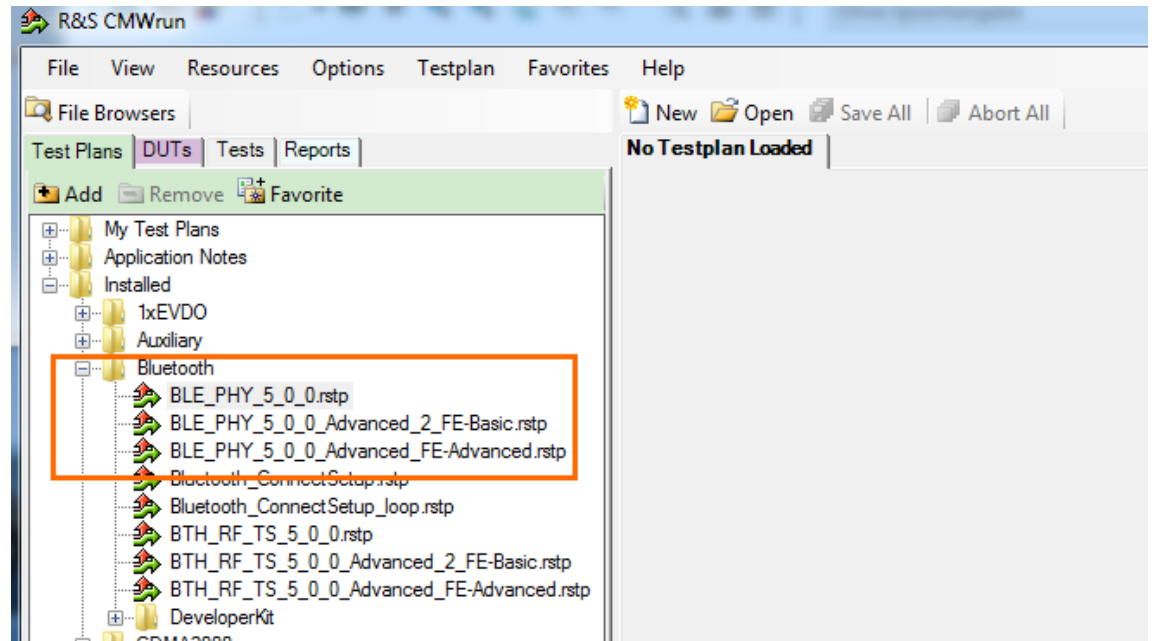


Bild 5-26: Übersicht der vordefinierten Bluetooth Low Energy Testplans

Durch einen Doppelklick auf einen Plan öffnen Sie diesen:

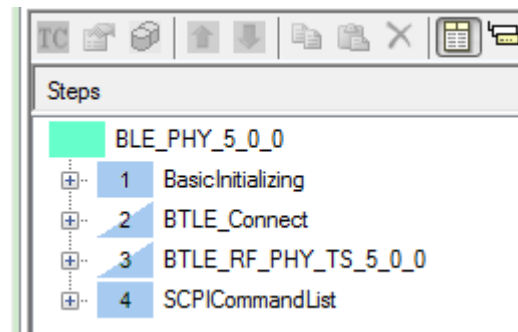


Bild 5-27: CMWrun: Beispiel für einen Testplan (vordefinierter Plan BLE_PHY_4_2_3)

Ein Doppelklick auf den Schritt *BTLE_RF_PHY_TS_5_0_0* zeigt die unterstützten Testcases:

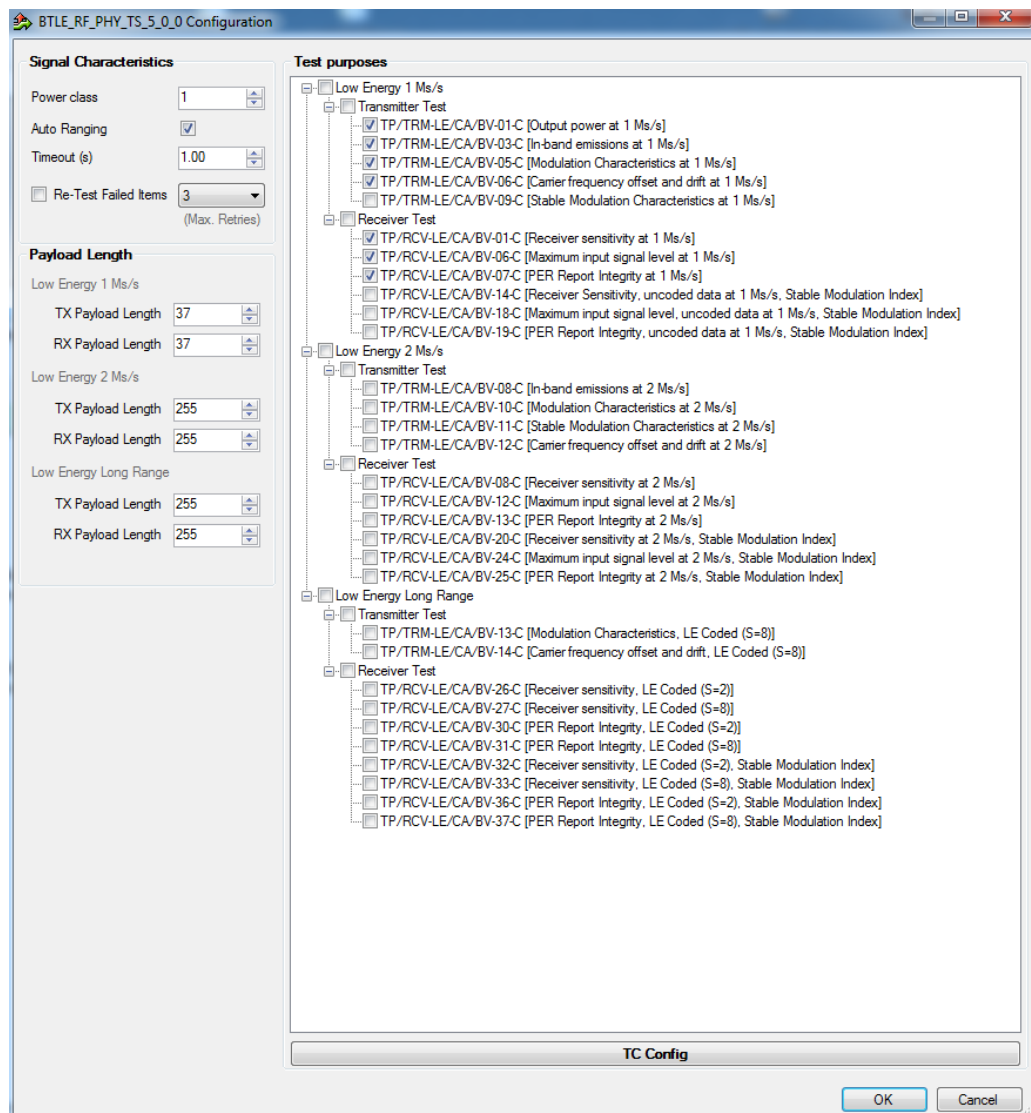


Bild 5-28: CMWrun: Die Standard Testcases

Mit einem Klick auf **TC Config** können Sie zusätzliche Details einstellen:

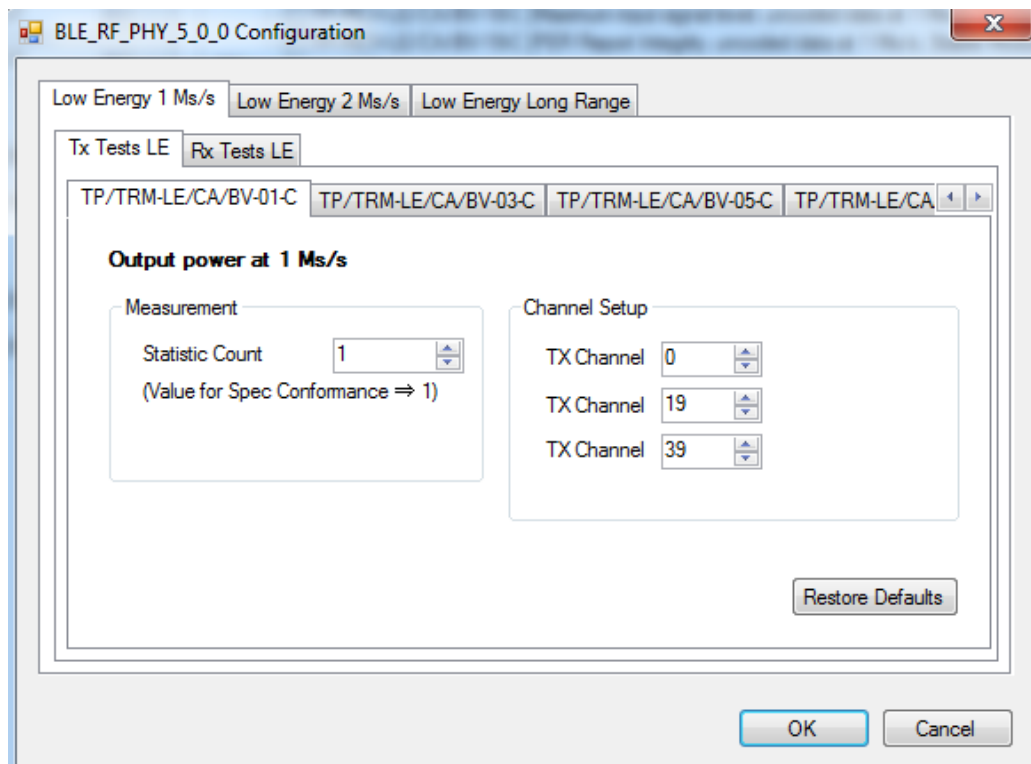


Bild 5-29: CMWrun: Configuration der Standard Testcases

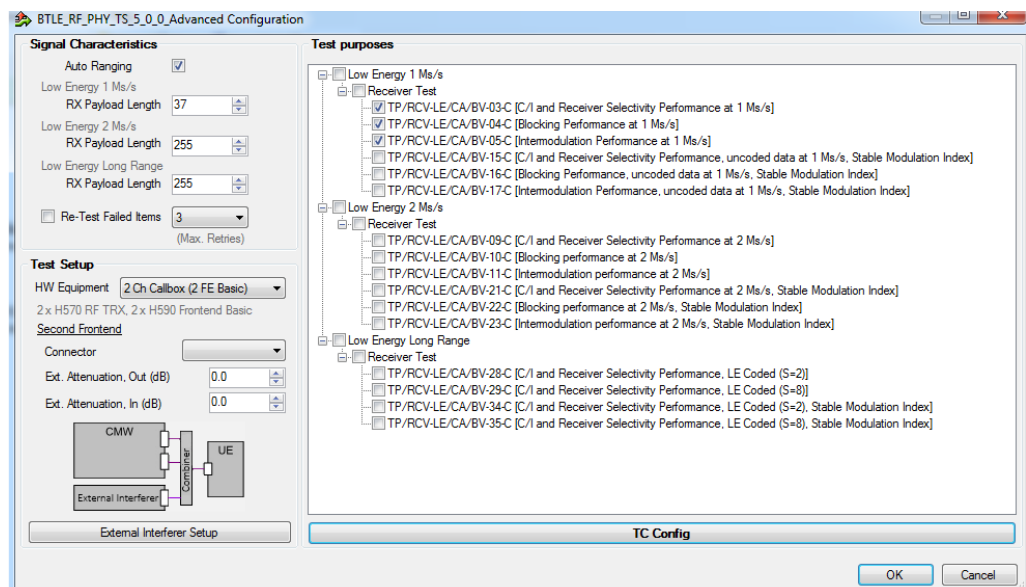


Bild 5-30: CMWrun: Die Advanced Testcases

6 Messungen mit Spektrumanalysator und Signalgenerator

Einige der in [Kapitel 5](#) beschriebenen Messungen können auch mit einem Spektrumanalysator und einem Signalgenerator durchgeführt werden. Da mit diesen Geräten keine Steuerung des Testobjekts über den Direct Test Mode möglich ist, werden die von der Testspezifikation geforderten Einstellungen am Testobjekt mittels PC mit installierter Software des Testobjektherstellers vorgenommen ([Bild 6-1](#)).

6.1 Messungen am Bluetooth LE-Sender

Messaufbau:

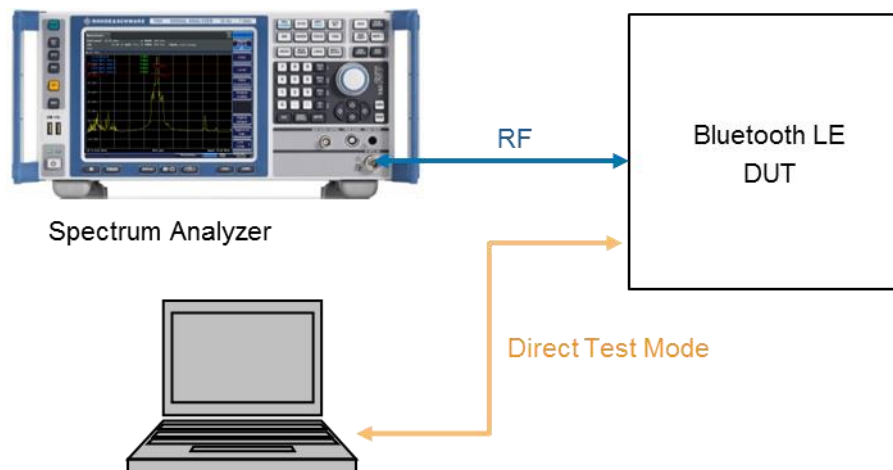


Bild 6-1: Der Testsetup mit dem Spektrumanalysator und PC für die Signalisierung

6.1.1 Output power

Diese Messung ist nur für den LE1M vorgeschrieben (Test: 01).

Die Messung der Output Power muss gemäß Spezifikation mit PRBS9 und maximal möglichen, vom Messobjekt unterstützten Paketlänge, maximaler Leistung ohne Wighting und ohne Frequenz Hopping durchgeführt werden. Stellen Sie das Messobjekt mit der Herstellersoftware entsprechend der genannten Vorgaben ein. Die Output Power muss mit drei verschiedenen Sendefrequenzen bestimmt werden. Die am Testobjekt einzustellenden Sendefrequenzen sind in der Bluetooth Testspezifikation in den Tabellen 6.1 und 6.2 angegeben.

So ergeben sich beispielsweise für Peripheral und Central Devices für den LE1M aus Tabelle 6.1 folgende drei Sendefrequenzen: $f_{tx} = 2402$ MHz (low), $f_{tx} = 2440$ MHz (middle) und $f_{tx} = 2480$ MHz (highest). Für Broadcast and Observer Devices ist Tabelle 6.2 zu verwenden.

Einstellungen am Spektrumanalysator FSV :

1. Taste *PRESET* drücken.
2. Taste *FREQ* drücken und den Wert der Senderfrequenz als Mittenfrequenz eingeben.
3. Einstellen der Auflösebandbreite: Taste *BW* drücken auswählen und *3 MHz* eingeben.
4. Einstellen der Videobandbreite: Menütaste *Video BW manual auswählen und 3 MHz* eingeben.
5. Taste *TRACE* drücken und *Trace 1* auswählen. Menütaste *Detector* drücken und *Positive Peak* auswählen.
6. Die Output Power wird laut Testspezifikation im Zeitbereich gemessen, deshalb die Taste *SPAN* drücken und *0 Hz* eingeben oder die Menütaste *Zero Span* auswählen.
7. Taste *TRIG* drücken und *Trg/Gate Source* wählen. Menütaste *IF Power* drücken und einen geeigneten Wert für den Triggerpegel einstellen so dass am Bildschirm eine stehende Messkurve angezeigt wird.
8. Taste *AMP* drücken und einen, für den maximal angezeigten Signalpegel geeigneten, Reference Level eingeben.
9. Taste *SWEEP* drücken und unter *Sweeptime Manual* die Sweepzeit so einstellen, dass ein ganzes Paket bzw. eine Burst dargestellt wird.
10. Taste *TRIG* drücken und mit Trigger Offset den Burst in bis in Bildschirmmitte verschieben ([Bild 6-2](#)).
11. Taste *PEAK SEARCH* drücken und den maximalen Wert des Sendeleistungspegel L_{PK} notieren ([Bild 6-2](#)).

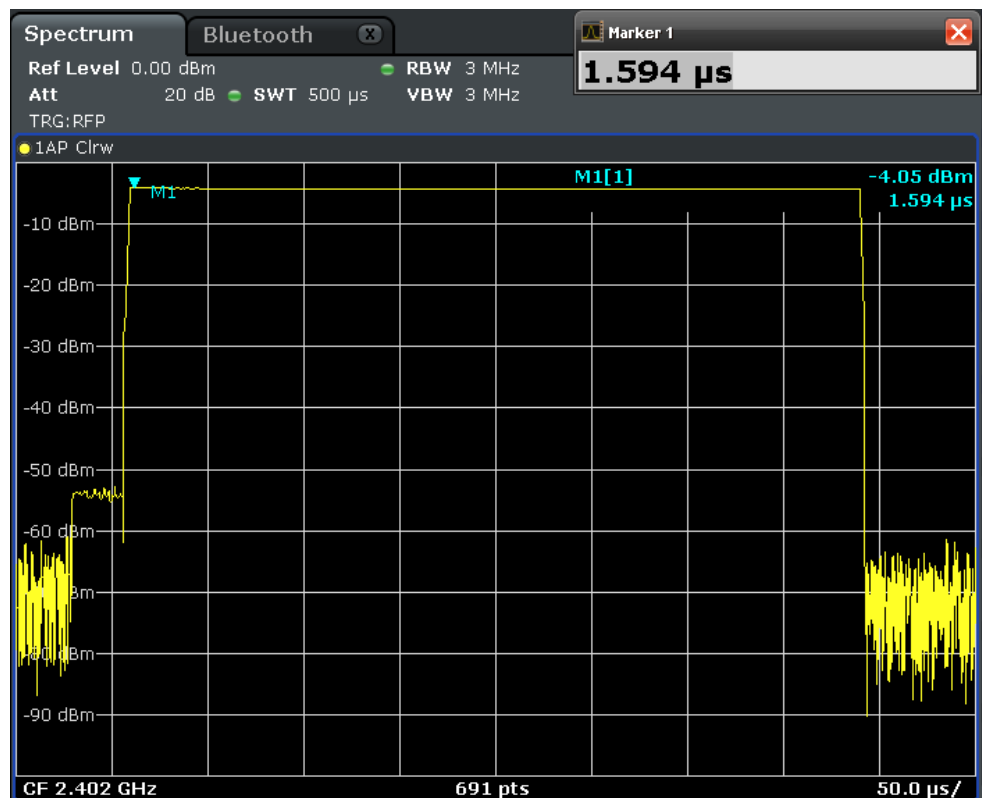


Bild 6-2: Messung der maximalen Burstleistung

12. Taste *AMPT* drücken und mit der Menütaste *Unit Watt* auswählen.

Im Bereich von mindestens 20% bis 80% der Burstdauer mit dem Marker möglichst viele Werte auslesen und daraus den Leistungsmittelwert P_{avg} bilden. (Hinweis: zur Markierung des Messbereiches können vertikale Time Linien verwendet werden. Dazu Taste *LINES* drücken, Menütaste *Display Line* auswählen und die beiden Time Lines im Abstand von höchstens 20 % der Burstlänge von den beiden Burstflanken platzieren. Die Messdaten wie beschrieben mit dem Marker zwischen den beiden Linien aufnehmen)

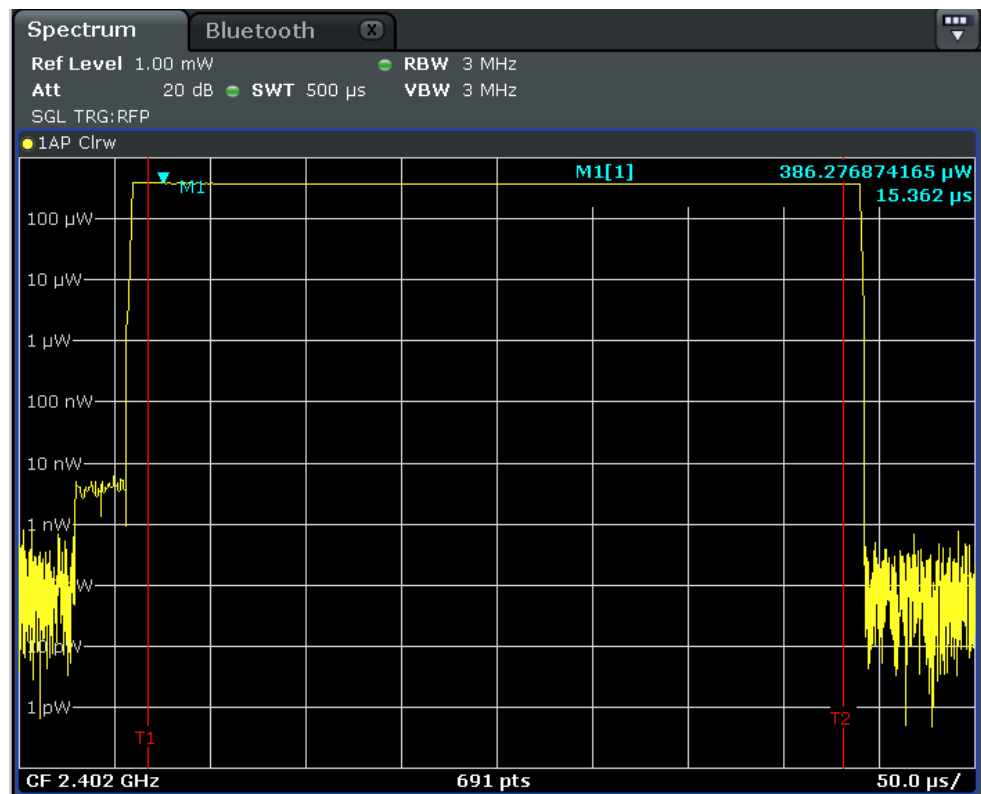


Bild 6-3: Messung Output Power

Den Leistungspegel mit $L_{AVG} = 10 \text{ dBm} \cdot \lg\left(\frac{P_{AVG}}{1 \text{ mW}}\right)$ berechnen

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- $-20 \text{ dBm} \leq L_{AVG} \leq +10 \text{ dBm}$ (bis Core 4.2 ohne Add 5)

oder

- $-20 \text{ dBm} \leq L_{AVG} \leq +20 \text{ dBm}$

Und

- $L_{PK} \leq (L_{AVG} + 3 \text{ dB})$

Die Messung für, die in den Testspezifikationen angegeben Sendefrequenzen f_{TX} (middle) und f_{TX} (highest) wiederholen.

6.1.1.1 Output power Test mit R&S Forum Script

Für eine automatisierte Durchführung der unter 6.1.1 beschriebenen Messungen ist dieser Application Note ein R&S Forum Skript (1MA282_Output_PowerVx.x.py), welches den Arbeitsaufwand erheblich reduziert, beigefügt.

1. Dazu folgendermaßen vorgehen:
2. Den Link : [1MA196: Using R&S Forum Application for Instrument Remote Control](#) öffnen und die aktuelle R&S Forum Setup Datei herunterladen.
3. Mit Doppelklick die .exe Datei starten und der Installationsroutine folgen.

- Unter *Settings* -> *Instruments...*-> *Add..* Die Fernsteuerverbindung mit dem verwendeten Spektrumanalysator konfigurieren. Nähere Informationen dazu findet man in der [Application Note 1MA196](#). Beispiel:

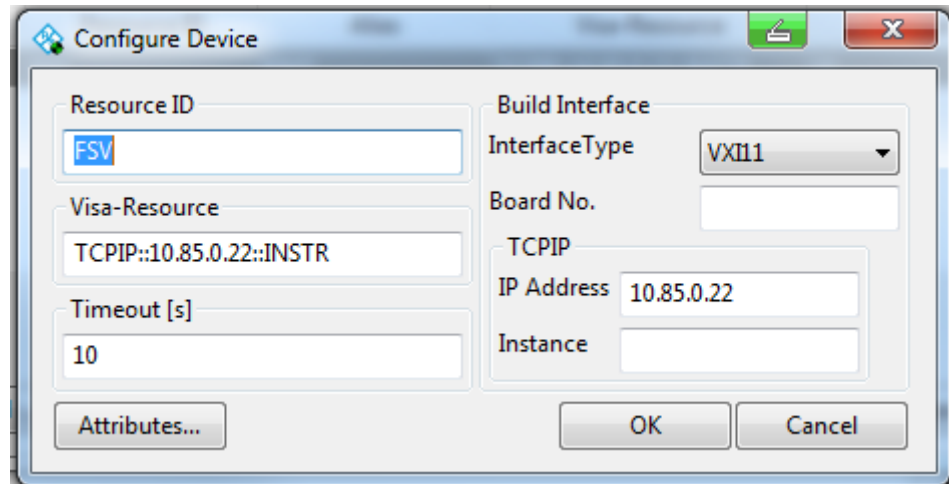


Bild 6-4: Konfiguration der Fernsteuerverbindung

- Die Skript Datei (1MA282_Output_PowerVx.x.py) in ein vorher angelegtes Verzeichnis auf den PC herunterladen.
- R&S Forum starten und mit *File* -> *Open...* das Script laden.
- Den Wert für die Variable "devc" in Abhängigkeit des Messobjekttyps (devc = 0 für Peripheral and Central Device, devc = 1 für Broadcaster and Observer Devices) entsprechend anpassen ([Bild 6-5](#)).
- Mit den Parametern "att" (Attenuation) und "rlev" (Reference Level) den Reference Level im FSV an das Testsignal anpassen. Mit "tlvl" wird der Trigger Level eingestellt. Mit "coun" wird die Anzahl der Messwerte, aus denen der Leistungsmittelwert gebildet wird, festgelegt ([Bild 6-5](#)).

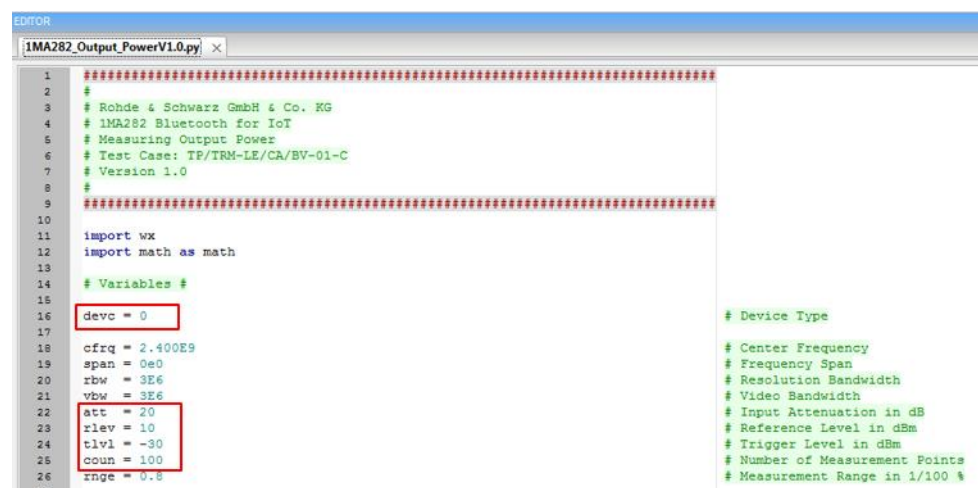
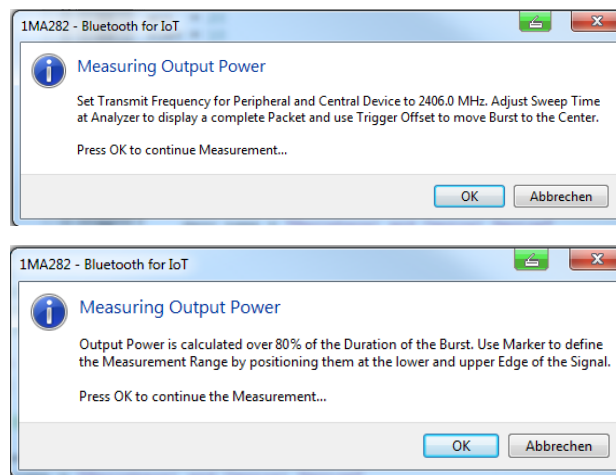


Bild 6-5: Konfiguration der Messparameter

- Das Script mit der grünen Pfeiltaste starten und die am Bildschirm angezeigten Frequenzen am Messobjekt einstellen sowie den angezeigten Hinweisen folgen:



Hinweis: um die Einstellungen am FSV durchführen zu können ist es notwendig den Analysator vorher mit der Menütaste *Local* in den manuellen Bedienmodus zu schalten.

Nachdem die Messung an drei verschiedenen Frequenzen durchlaufen wurde, wird das Messergebnis wie in [Bild 6-6](#) dargestellt ausgegeben.

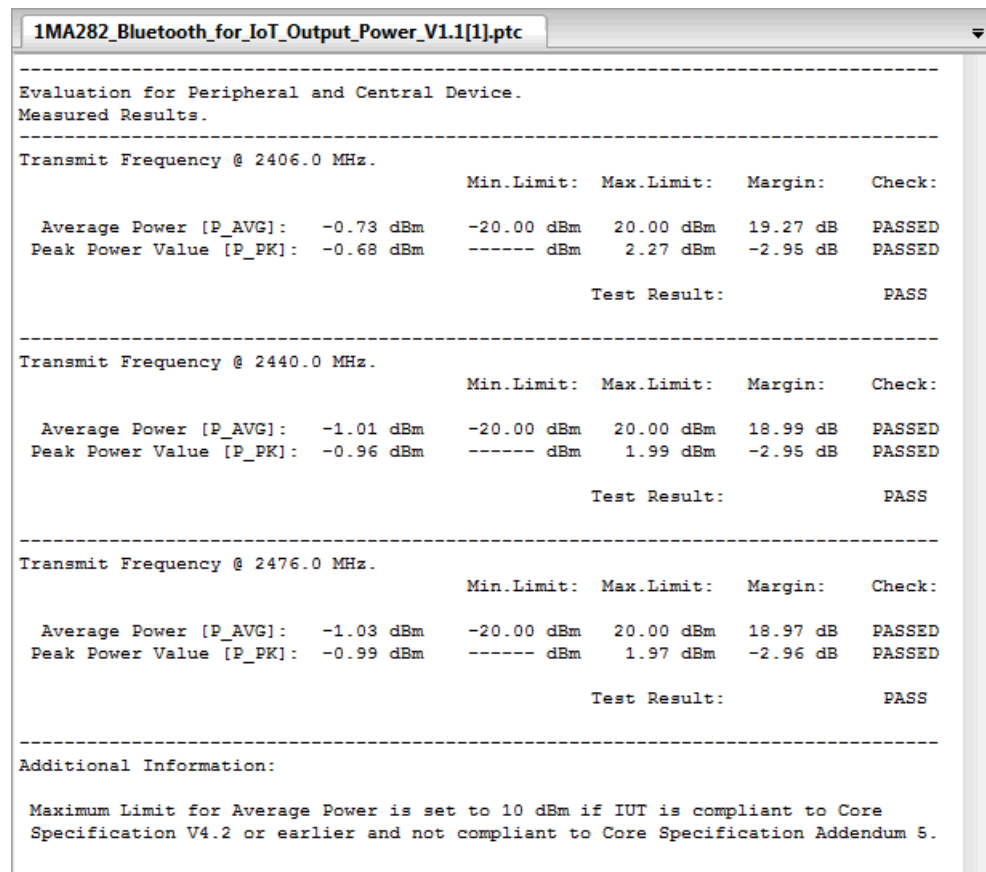


Bild 6-6: Ergebnis der Output Power Messung

6.1.2 In-band emissions

Diese Messung ist für den LE1M und den LE2M vorgeschrieben (Tests: 03 und 08). Die Messung der In-Band Emission (auch als Adjacent Channel Power (ACP) bezeichnet) findet unter normalen Betriebsbedingungen statt.

6.1.2.1 In-band emissions Test 03 (LE1M, uncoded data at 1 Ms/s)

Dieser Test prüft ob die spektrale In-Band Abstrahlung, die in der Testspezifikation festgelegten Grenzen nicht überschreitet, wenn der Sender uncodierte Daten mit einer Symbolrate von 1Ms/s aussendet.

Einstellungen am BLE Messobjekt:

1. Direct Test Mode einschalten.
2. Ausgangsleistung auf maximale Leistung einstellen.
3. Frequency hopping ausschalten.
4. Wightening ausschalten.
5. Symbol rate = 1 Ms/s
6. Payload PRBS9 und maximaler vom Testobjekt unterstützter Paketlänge einstellen.
14. Die am Testobjekt einzustellenden Sendefrequenzen sind in der Bluetooth Testspezifikation in den Tabellen 6.1 und 6.2 angegeben. So ergeben sich beispielsweise für Peripheral und Central Devices für den LE1M (Testnummer 03) aus Tabelle 6.1 folgende drei Sendefrequenzen: $f_{TX} = 2406$ MHz (low), $f_{TX} = 2440$ MHz (middle) und $f_{TX} = 2476$ MHz (highest). Für Broadcast and Observer Devices ist Tabelle 6.2 zu verwenden.

Einstellungen am Spektrumanalysator FSV :

1. Taste *PRESET* drücken.
2. Taste *FREQ* drücken und eine Mittenfrequenz $f_c = 2401 \text{ MHz} + N \text{ MHz}$ eingeben. $N=0$ beim ersten Messdurchlauf
3. Taste *SPAN* drücken und *1 MHz* eingeben.
4. Taste *BW* drücken, die Menütaste *RES BW Manual* auswählen und die Auflösebandbreite von *100 kHz* einstellen.
5. Menütaste *Video BW Manual* auswählen und die Videobandbreite auf *300 kHz* einstellen.
6. Taste *TRACE* drücken und *Trace 1* auswählen. Menütaste *Max Hold* drücken.
7. Menütaste *Detector* drücken und *Average* auswählen.
8. Taste *SWEEP* und mit der Menütaste *SweepTime Manual* eine Sweepzeit von *100 ms* eingeben.
9. Taste *AMP* drücken und einen, für den maximal angezeigten Signalpegel geeigneten, Reference Level eingeben.

10. Taste *SWEEP* drücken und Menütaste *Sweep Count* drücken und 10 eingeben.
11. Taste *AMPT* drücken und mit der Menütaste *Unit* die Einheit *Watt* auswählen.
12. Taste *MKR* drücken und den *Marker 1* im Abstand von -450kHz von der Mittenfrequenz setzen ($f_{MK1} = 2401 \text{ MHz} + N \text{ MHz} - 0.450 \text{ MHz} = 2400.55 \text{ MHz}$).
13. Menütaste *Marker 2* auswählen und 100 kHz eingeben und mit der Menütaste *Marker Norm Delta* den Marker auf *Norm* stellen.
14. Acht weitere Marker mit folgenden Werten aktivieren: $f_{MK3} = 200 \text{ kHz}$, $f_{MK4} = 300 \text{ kHz}$, $f_{MK5} = 400 \text{ kHz}$, $f_{MK6} = 500 \text{ kHz}$, $f_{MK7} = 600 \text{ kHz}$, $f_{MK8} = 700 \text{ kHz}$, $f_{MK9} = 800 \text{ kHz}$, $f_{MK10} = 900 \text{ kHz}$. Nach der Eingabe der jeweiligen Frequenz den Marker Typ auf *Norm* stellen.
15. Taste *RUN SINGLE* drücken. Gemäß der Testspezifikation wird nun die Leistung in einem 1 MHz breiten Kanal an 10 Frequenzpunkten mit 100 kHz Abstand gemessen (Bild 6-7).

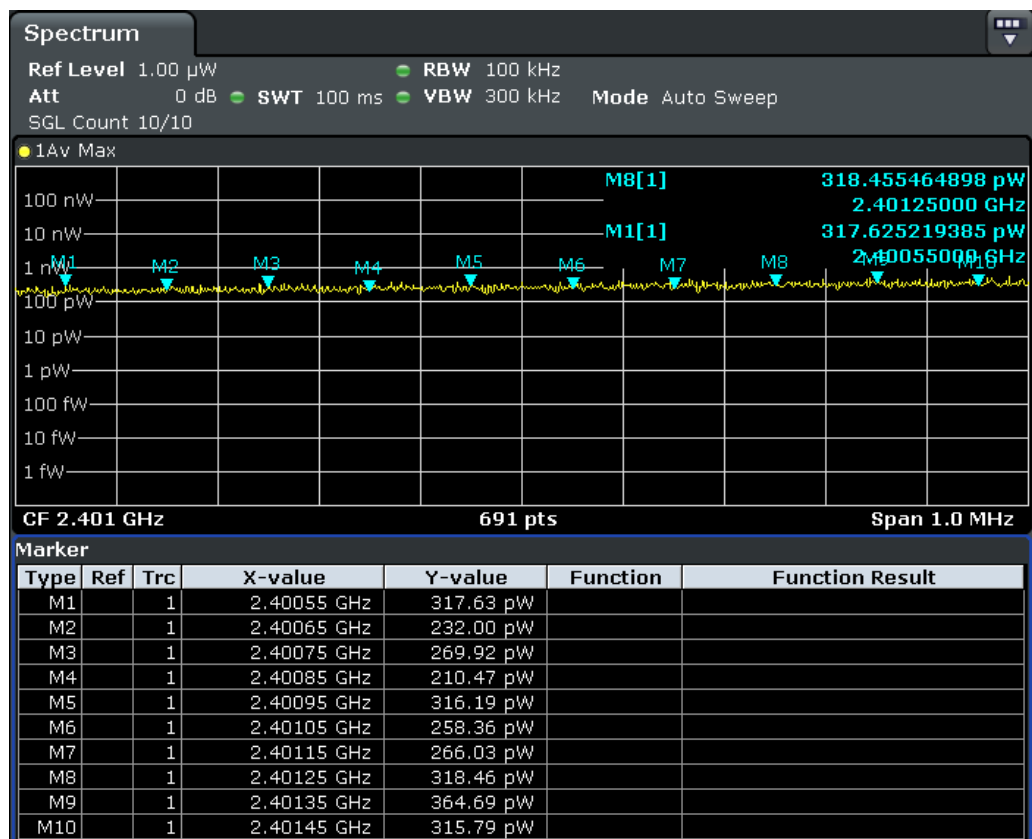


Bild 6-7: Messung der In-Band Emissions an zehn Frequenzpunkten bei 2401 GHz. Die Sendefrequenz des Messobjektes beträgt $f_{TX} = 2406 \text{ MHz}$.

16. Aus den einzelnen Leistungswerten der Markertabelle in Bild 6-7 wird die Kanalleistung aus der Summe der einzelnen Leistungswerte gebildet:

$$P_{TX} = \sum_{i=0}^9 P_{TX,i} \quad \text{mit } i = 0, 1, 2, \dots, 9$$

und anschließend den Leistungspegel mit folgender Gleichung berechnen:

$$L_{TX} = 10 \text{ dBm} \cdot \lg\left(\frac{P_{TX}}{1 \text{ mW}}\right)$$

17. Bis auf die Mittenfrequenz alle Einstellungen am Messobjekt und Spektrumanalysator nicht verändern und die Messung für alle weiteren Kanäle $N=1,2,3,4,\dots,79$ durchführen. Kanäle die folgende Bedingung erfüllen müssen nicht gemessen werden: $f_c = f_{tx}$ und $f_c = \pm 1$ MHz

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- I. $L_{TX} \leq -20$ dBm für $(f_{TX} \pm 2$ MHz)
- II. $L_{TX} \leq -30$ dBm für $(f_{TX} \pm [3 + n]$ MHz) mit $n = 0,1,2,\dots$)

Für jede der oben genannten Sendefrequenzen f_{TX} darf der Leistungspegel L_{TX} die zweite Bedingung drei Mal überschreiten. Die erste Bedingung muss aber immer erfüllt sein.

Die oben beschriebene Messung für zwei weitere Sendefrequenzen f_{TX} (middle) und f_{TX} (highest) (am Messobjekt einstellen) durchführen.

6.1.2.2 In-band emission Test 08 (LE2M, uncoded data at 2 Ms/s)

Dieser Test prüft ob die spektrale In-Band Abstrahlung, die in der Testspezifikation festgelegte Grenzen nicht überschreitet, wenn der Sender uncodierte Daten mit einer Symbolrate von 2 Ms/s aussendet.

Einstellungen am BLE Messobjekt:

1. Wie unter 6.1.2.1 beschrieben, aber Symbolrate = 2 Ms/s.

Einstellungen am Spektrumanalysator FSV:

1. Wie unter 6.1.2.1 beschrieben
2. Aus den einzelnen Leistungswerten der Markertabelle in Bild 6-7 wird die Kanalleistung aus der Summe der einzelnen Leistungswerte gebildet:

$$P_{TX} = \sum_{i=0}^9 P_{TX,i} \quad \text{mit } i = 0, 1, 2, \dots, 9$$

und anschließend den Leistungspegel mit folgender Gleichung berechnen:

$$L_{TX} = 10 \text{ dBm} \cdot \lg\left(\frac{P_{TX}}{1 \text{ mW}}\right)$$

3. Bis auf die Mittenfrequenz alle Einstellungen am Messobjekt und Spektrumanalysator nicht verändern und die Messung für alle weiteren Kanäle $N=1,2,3,4,\dots,79$ durchführen. Kanäle die folgende Bedingung erfüllen müssen nicht gemessen werden: $f_c = f_{tx}$, $f_c = \pm 1$ MHz, $f_c = \pm 2$ MHz und $f_c = \pm 3$ MHz

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- I. $L_{TX} \leq -20$ dBm für $(f_{TX} \pm 4$ MHz)
- II. $L_{TX} \leq -20$ dBm für $(f_{TX} \pm 5$ MHz)
- III. $L_{TX} \leq -30$ dBm für $(f_{TX} \pm [6 + n]$ MHz) mit $n = 0,1,2,\dots$)

Für jede der oben genannten Sendefrequenzen f_{TX} darf der Leistungspegel L_{TX} die dritte Bedingung drei Mal überschreiten. Die erste Bedingung muss aber immer erfüllt sein.

- Die oben beschriebene Messung für zwei weitere Sendefrequenzen f_{TX} (middle) und f_{TX} (highest) (am Messobjekt einstellen) durchführen.

6.1.2.3 In-band emission Test mit R&S Forum Script

Für eine automatisierte Durchführung der unter 6.1.2.1 und 6.1.2.2 beschriebenen Messungen ist dieser Application Note ein R&S Forum Skript (1MA282_In-Band_EmissionV1.1.py), welches den Arbeitsaufwand erheblich reduziert, beigefügt.

- Dazu folgendermaßen vorgehen:
- Den Link : [1MA196: Using R&S Forum Application for Instrument Remote Control](#) öffnen und die aktuelle R&S Forum Setup Datei herunterladen.
- Mit Doppelklick die .exe Datei starten und der Installationsroutine folgen.
- Unter *Settings* -> *Instruments...*-> *Add..* Die Fernsteuerverbindung mit dem verwendeten Spektrumanalysator konfigurieren. Nähere Informationen dazu findet man in der [Application Note 1MA196](#). Beispiel:

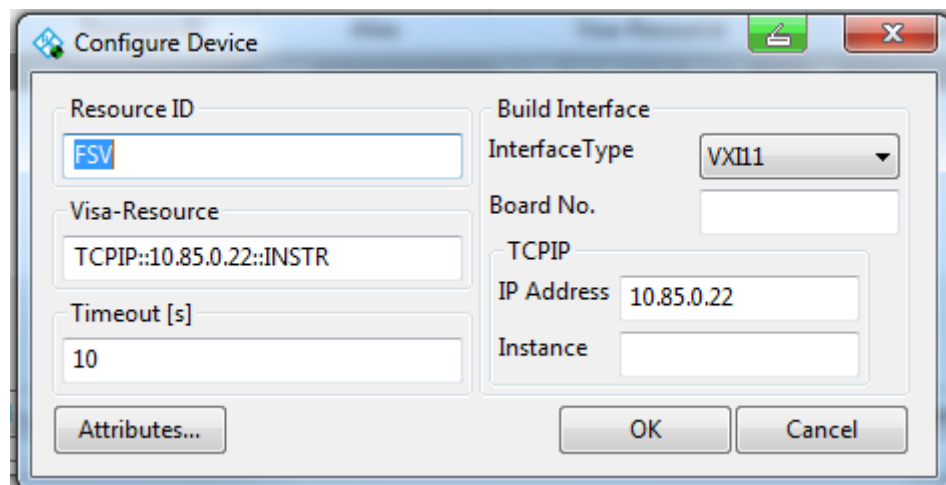


Bild 6-8: Konfiguration der Fernsteuerverbindung

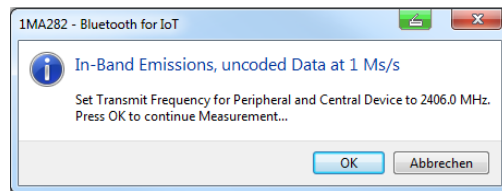
- Die Skript Datei (1MA282_In-Band_EmissionV1.1.py) in ein vorher angelegtes Verzeichnis auf den PC herunterladen.
- R&S Forum starten und mit *File* -> *Open...* das Script laden.
- Den Wert für die Variable "test" (test = 0 für LEM1 nach 6.1.2.1, test = 1 für LEM2 nach 6.1.2.2) im Forum Editor entsprechend anpassen (Bild 6-9).
- Den Wert für die Variable "devc" in Abhängigkeit des Messobjekttyps (devc = 0 für Peripheral and Central Device, devc = 1 für Broadcaster and Observer Devices) entsprechend anpassen (Bild 6-9).

```

EDITOR
1MA282_Bluetooth_for_IoT_In-Band_Emissions.py x
7 # Version 1.0
8 #
9 #####
10
11 import csv as csv
12 import math as math
13 import datetime as datetime
14
15 # Variables #
16
17 test = 0
18
19
20 devc = 0
21
22
# Test Type:
# 0 - In-Band Emission, uncoded Data at 1 Ms/s
# 1 - In-Band Emissions at 2 Ms/s
# Device Type:
# 0 - Peripheral and Central Device
# 1 - Broadcaster and Observer Devices
    
```

Bild 6-9: Konfiguration der Messparameter

- Das Script mit der grünen Pfeiltaste starten und die am Bildschirm angezeigten Frequenzen am Messobjekt einstellen:



Die Leistung in den Nachbarkanälen wird im *Output Fenster* in tabellarischer Form ausgegeben. Wie in der Testspezifikation angegeben bestehen in bestimmten Abständen zur Sendefrequenz keine Grenzwerte. Diese Werte sind mit N.D. (Not Defined) gekennzeichnet. Alle anderen Frequenzwerte erhalten entweder den Status "Passed" oder "Failed".

1MA282_Bluetooth_for_IoT_In-Band_Emissions[4].ptc			

Transmit Frequency @ 2406.0 MHz.			

PTX	[0]	@ 2401.0 MHz:	-49.23 dBm PASSED
PTX	[1]	@ 2402.0 MHz:	-47.23 dBm PASSED
PTX	[2]	@ 2403.0 MHz:	-41.25 dBm N.D.
PTX	[3]	@ 2404.0 MHz:	-36.54 dBm N.D.
PTX	[4]	@ 2405.0 MHz:	-13.46 dBm N.D.
PTX	[5]	@ 2406.0 MHz:	-6.68 dBm N.D.
PTX	[6]	@ 2407.0 MHz:	-14.58 dBm N.D.
PTX	[7]	@ 2408.0 MHz:	-35.18 dBm N.D.
PTX	[8]	@ 2409.0 MHz:	-43.07 dBm N.D.
PTX	[9]	@ 2410.0 MHz:	-46.93 dBm PASSED
PTX	[10]	@ 2411.0 MHz:	-48.50 dBm PASSED
PTX	[11]	@ 2412.0 MHz:	-51.43 dBm PASSED
PTX	[12]	@ 2413.0 MHz:	-53.25 dBm PASSED
PTX	[13]	@ 2414.0 MHz:	-54.17 dBm PASSED
PTX	[14]	@ 2415.0 MHz:	-55.69 dBm PASSED
PTX	[15]	@ 2416.0 MHz:	-56.07 dBm PASSED
PTX	[16]	@ 2417.0 MHz:	-56.50 dBm PASSED
PTX	[17]	@ 2418.0 MHz:	-56.50 dBm PASSED

Bild 6-10: Ergebnis der In-Band Emissions Messung

Die in Bild 6-10 dargestellten Messwerte werden als Datei im CSV-Format in ein automatisch erstelltes Unterverzeichnis abgespeichert. Diese Datei kann dann beispielsweise in ein Tabellenkalkulationsprogramm importiert und weiterverarbeitet werden. Zusätzlich werden die Messwerte zusammen mit den Grenzwertlinien grafisch dargestellt (Bild 6-11).

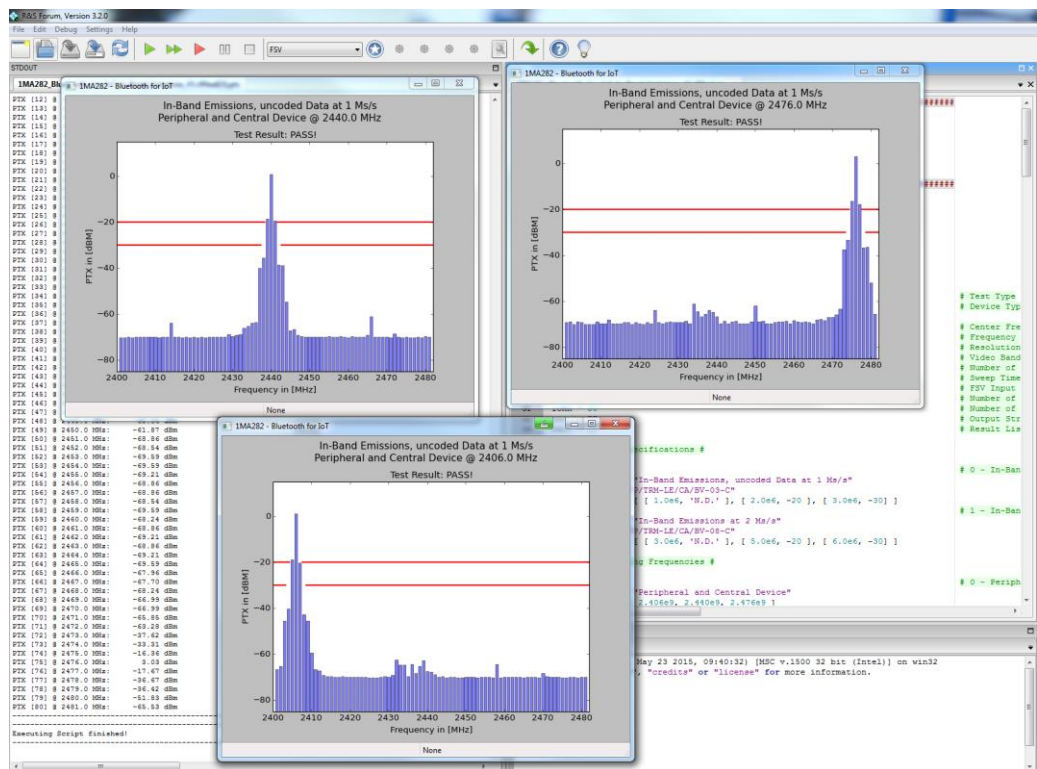


Bild 6-11: Grafische Darstellung der In-Band Emissions Messung

6.1.3 Modulation Characteristics / Carrier Frequency Offset and Drift

Um die Modulation Characteristics von einem Bluetooth Gerät zu testen, wird das Signal mit einem Spektrumanalysator mit der Option R&S® FSx-K70 Vector Signal Analyzer demoduliert und die Messungen gemäß der Bluetooth Testspezifikation durchgeführt. Dafür steht für die Option R&S® FSx-K70 eine Voreinstellung (Preset) zur Verfügung welche den Spektrumanalysator für die BT LE Analyse richtig einstellt.

Bluetooth Voreinstellungen in die R&S® FSX-K70 laden:

1. Die Datei FSX-K70_Presets.zip oder FSW-K70_Presets.zip herunterladen und entpacken.
2. Die Preset Dateien *Bluetooth_5_LEx.xml* in das Verzeichnis `C:\R_S\Instr\sva\Standards\BLUETOOTH\` kopieren.
3. Die Pattern Datei *BT-LE-Sync.XML* und *BT-LE-coded-Sync.XLM* nach `C:\R_S\Instr\sva\Pattern\` kopieren
4. Taste *MEAS* drücken.
5. Den Softkey *Digital Standards* drücken.
6. *Bluetooth\Bluetooth_5_LEx.xml* für den entsprechenden PHY laden.

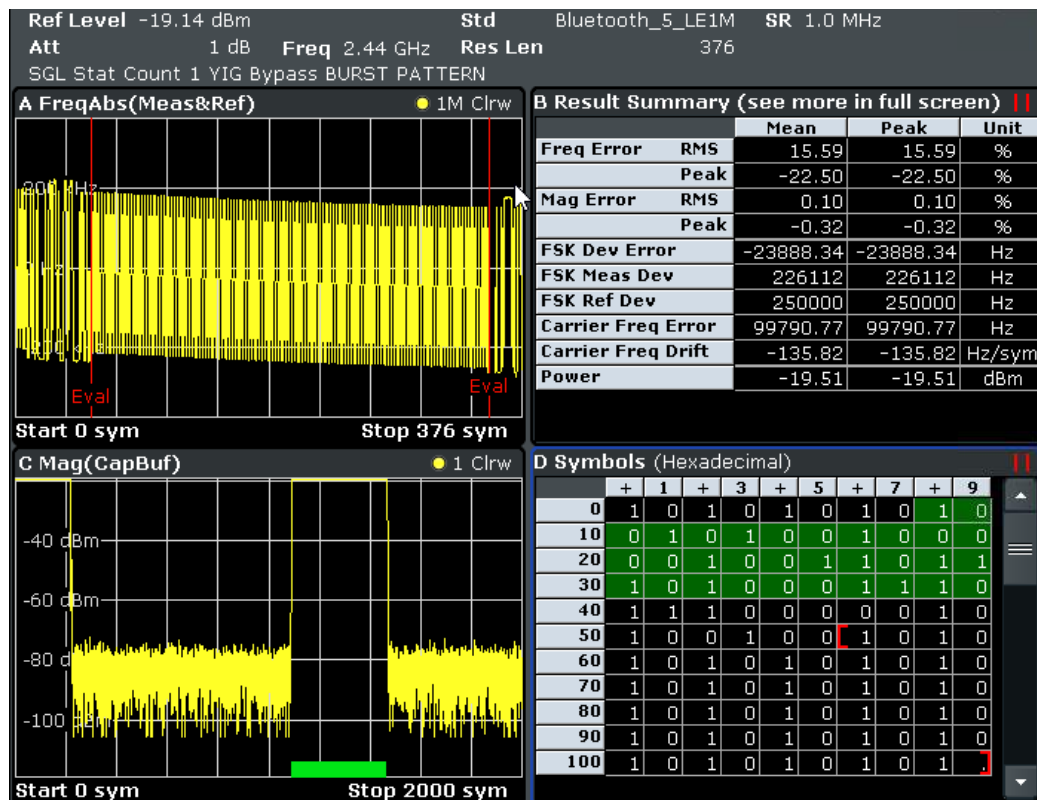


Bild 6-12: R&S® FSV-K70 konfiguriert für BT 5.0 LE

- R&S Forum Application for Instrument Remote Control (1MA196) Software herunterladen und installieren.

Um die Test Cases aus der RF-PHY-Spezifikation [3] vollständig zu erfüllen, ist eine Nachbearbeitung der Ergebnisse notwendig. Dafür steht ein R&S® Form Script (1MA282_Modulation_Characteristics.py) zur Verfügung. Das Script konfiguriert den Spektrumanalysator für die BT LE Analyse und führt die notwendigen Schritte für das Postprocessing durch. Die Ergebnisse der Messung werden im Fenster STDOUT dargestellt. (Bild 6-13).

Modulation characteristics	
PHY	Test number
LE1M	05
LE2M	10
LE1M, SMI	09
LE2M, SMI	11
LE coded (S=8)	13

Table 6-1: Unterstützte Tests

Carrier Frequency offset and drift	
PHY	Test number
LE1M	06
LE2M	12
LE coded (S=8)	14

Table 6-2: Unterstützte Tests

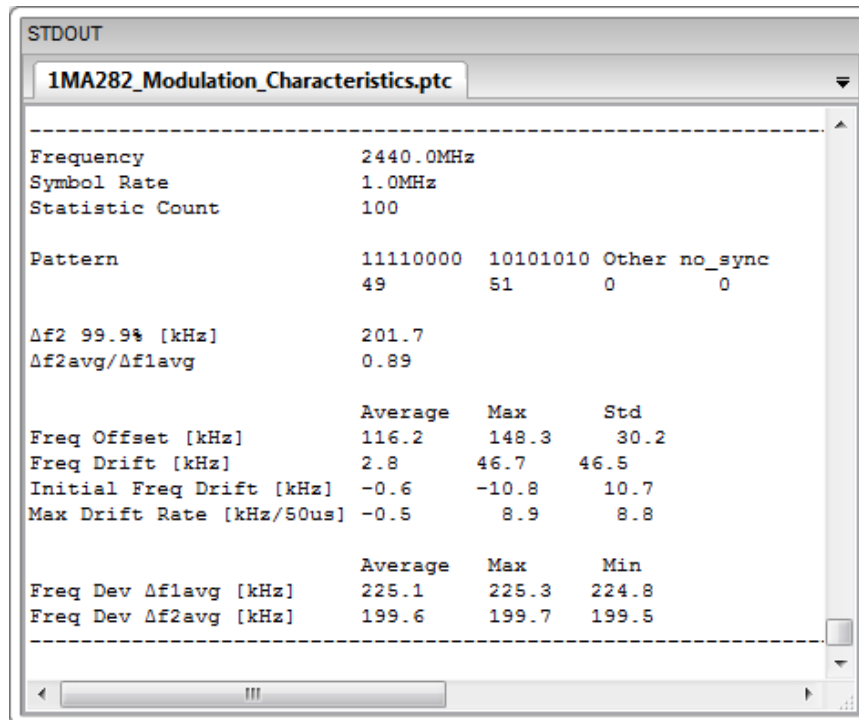


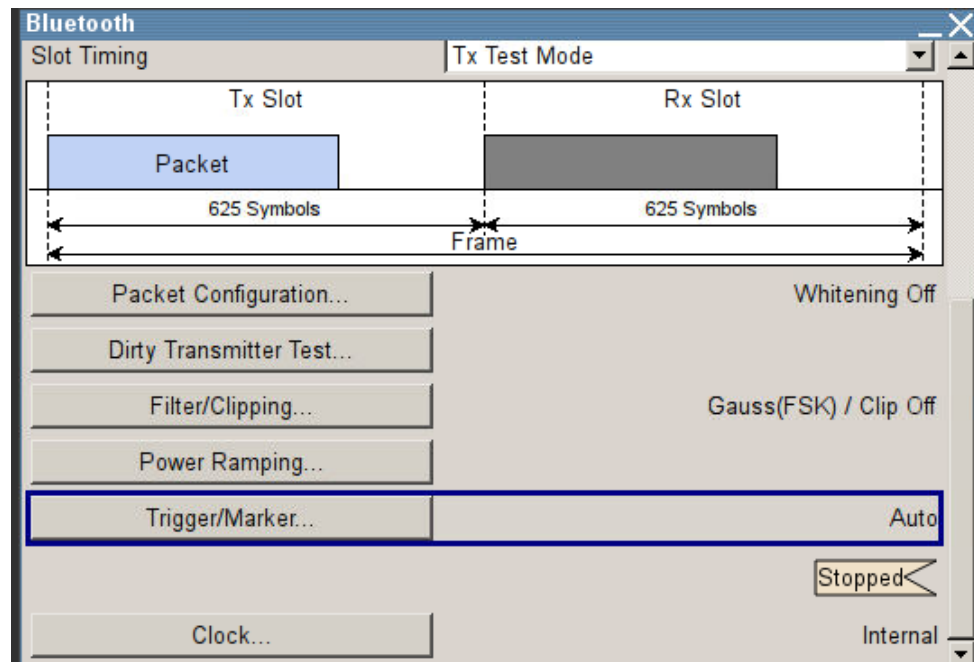
Bild 6-13: Ergebnis einer Modulation Characteristics Messung

6.2 Messungen am Bluetooth LE Empfänger

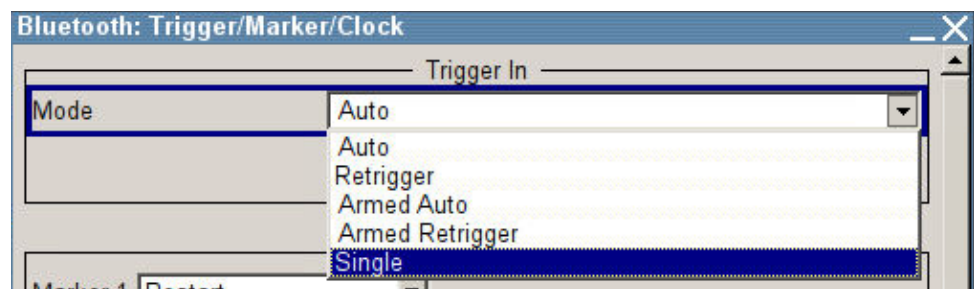
Zur Beurteilung der Empfangsqualität eines Bluetooth LE Empfängers wird die Packet Error Rate (PER) gemessen. Die Berechnung der Packet Error Rate findet im Messobjekt selbst statt. Das Messobjekt berichtet die PER via Direct Test Mode an eine vom Hersteller des Empfängers bereitgestellte Software. Die dafür notwendigen Einstellungen am Messobjekt werden ebenfalls mit dieser Software vorgenommen.

Wichtiger Hinweis: Bei allen im Folgenden beschriebenen Empfängermessungen muss ein BLE Nutzsignal mit mindestens 1500 Paketen vom Signalgenerator an den Empfänger gesendet werden. Es ist bei allen Messungen ausreichend die genannte Paketlänge nur einmal für eine PER Messung zu schicken. Dazu muss sich der Signalgenerator bei der Messung der PER im Trigger Modus *Single* befinden und wird am SMBV100A folgendermaßen eingestellt:

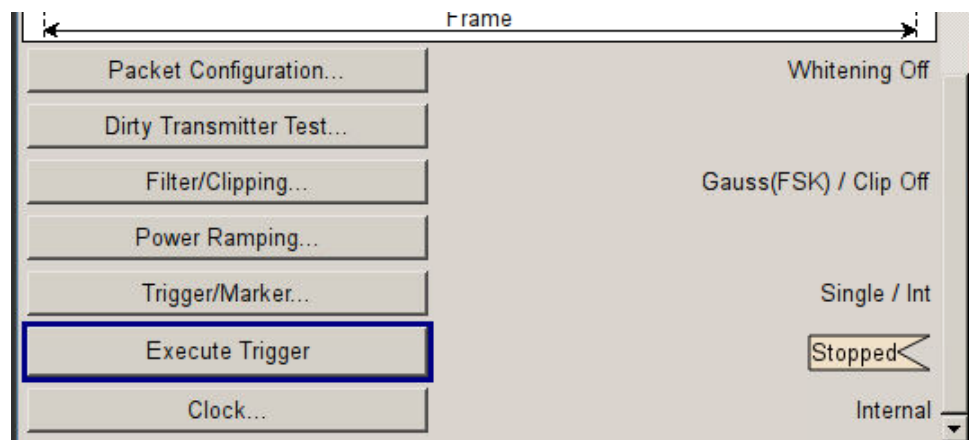
1. Im Bluetooth Fenster mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Trigger/Marker...* auswählen:



2. Unter *Mode Single* auswählen:



3. Mit *Execute Trigger* das Signal an den Empfänger senden :



Für die Erzeugung der BLE Signale wird in dieser Application Note der Vektor Signalgenerator SMBV100A verwendet. Als eine kostengünstige Alternative kann aber auch die SGT100A Vector RF Source eingesetzt werden. Da bei den Empfängertests bis zu drei Signalgeneratoren notwendig sind, bietet der SGT100A aufgrund des displaylosen Designs eine sehr kompakte Lösung, die wenig Platz am Arbeitstisch in Anspruch nimmt. Alle Einstellungen werden über die R&S SGMA GUI Software vorgenommen. Mit der Software können bis zu 12 Geräte gleichzeitig angesteuert werden. Die Verbindung zum PC erfolgt dabei via USB oder LAN. Die Generierung der standardkonformen BLE Basisband Signale erfolgt mit der R&S WINIQSIM Simulationssoftware. Die so erzeugten digitalen Wellenformen werden in den SGT100A geladen und dort weiterverarbeitet.



Bild 6-14: SGT100A Vector RF Source mit Bediensoftware R&S SGMA GUI

6.2.1 Receiver Sensitivity

Dieser Test verifiziert ob die Empfängerempfindlichkeit innerhalb, der von der Testspezifikation vorgegebenen Grenzen liegt, wenn ein nicht ideales Sendesignal in den Empfänger eingespeist wird. Das erzeugte Sendesignal variiert innerhalb der von der Spezifikation vorgegebenen Grenzen und ist daher nicht ideal. Erzeugt wird das Signal von einem Vektorsignalgenerator wie beispielsweise dem SMBV100A.

Messaufbau:

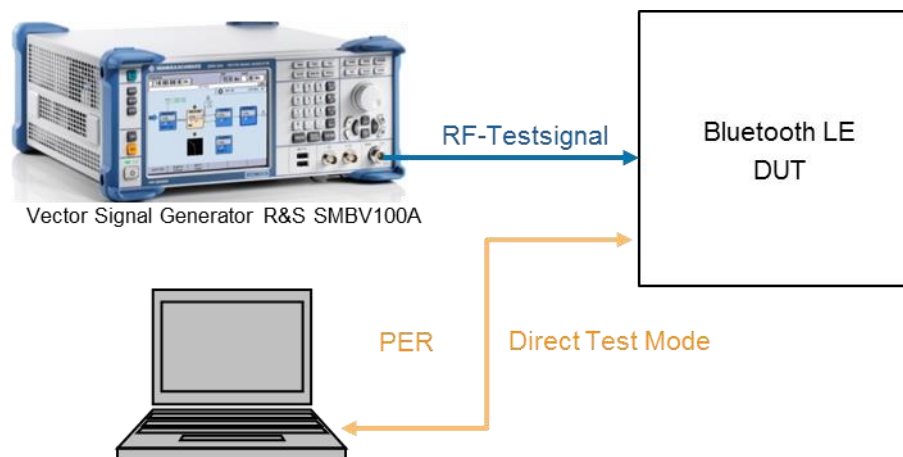


Bild 6-15: Der Testsetup mit einem Signalgenerator und einem PC für die Signalisierung und Auslesen der PER

Der Receiver Sensitivity Test ist für alle PHYs vorgeschrieben:

Receiver Sensitivity und PHYs		
PHY	Testnummer	Reference Level
LE1M	01	- 70 dBm
LE2M	08	
LE1M, SMI	14	
LE2M, SMI	20	
LE coded, S=2	26	- 75 dBm
LE coded, S=8	27	- 82 dBm
LE coded, S=2, SMI	32	- 75 dBm
LE coded, S=8, SMI	33	- 82 dBm

Tabelle 6-3: Übersicht der Receiver Sensitivity Tests

6.2.1.1 Receiver Sensitivity Performance Test 01, uncoded data at 1 Ms/s

Dieser Test überprüft ob die Empfängerempfindlichkeit beim Empfang eines nicht idealen uncodierten Signals mit einer Symbolrate von 1 Ms/s innerhalb der vorgegeben Grenzen liegt.

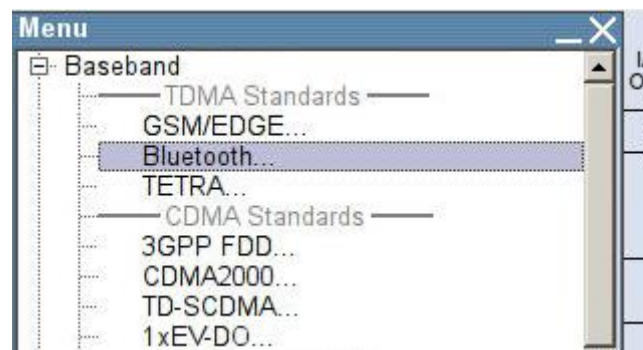
Einstellungen am Testobjekt:

4. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
5. Frequency hopping ausschalten.
6. Den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit standard Modulationsindex erwartet wird.

Die am Testobjekt einzustellenden Empfangsfrequenzen sind in der Bluetooth Testspezifikation im Kapitel 6.2 Frequencies for Testing in den Tabellen 6.1 und 6.2 in Abhängigkeit der Test Cases für verschieden Gerätetypen angegeben. Der Receiver Sensitivity Performance Test wird nur für die RX-Frequenz f_{RX} (lowest) durchgeführt.

Einstellungen am SMBV100A:

7. Taste *PRESET* drücken
8. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



- Einstellungen gemäß Bild 6-16 vornehmen. Die Testspezifikation verlangt, dass das Testsignal aus mindestens 1500 Datenpaketen (Frames) bestehen muss.

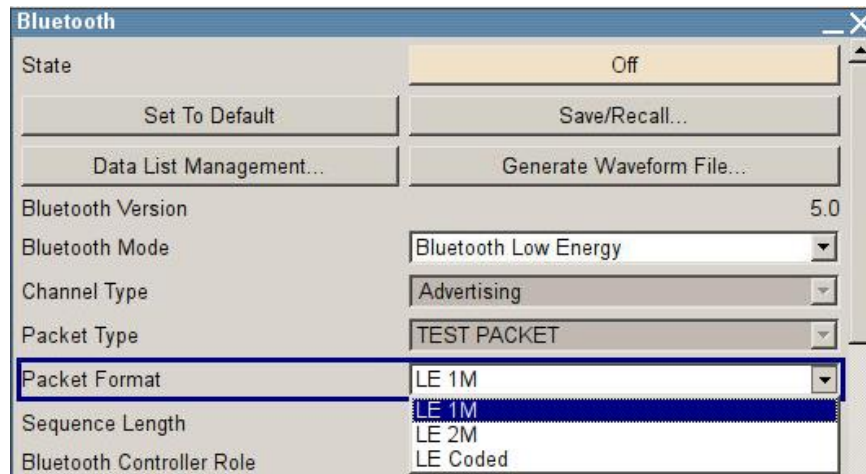
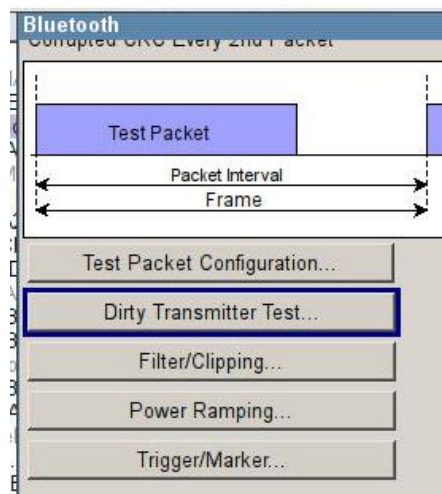


Bild 6-16: Generatoreinstellungen

- Im Bluetooth Fenster (Bild 6-16) mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Dirty Transmitter Test...* auswählen:



- Im Dirty Transmitter Test Fenster *Test Packet Configuration...* auswählen:

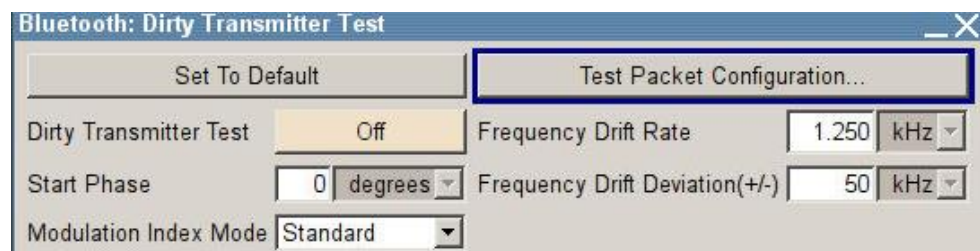


Bild 6-17: Konfiguration für den Dirty Transmitter Test

- Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload**

Length einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

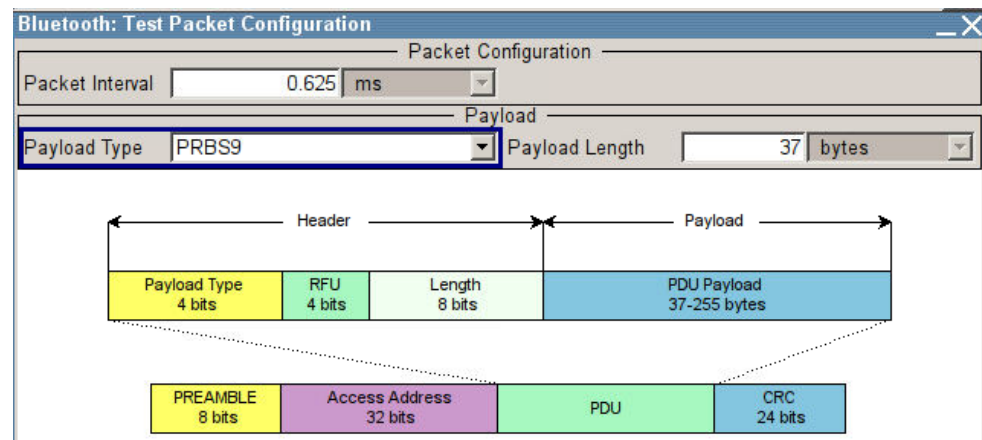


Bild 6-18: Test Packet Konfiguration

13. Das "Testpacket Configuration" Fenster schließen und alle "Test Run Sets" (1 bis 10) einschalten (State: On). Anschließend den Dirty Transmitter Test auf On stellen.

	State	Carrier Freq. Offset /kHz	Sym. Timing Error /ppm	Modulation Index
Set 1	On	100	-50	0.450
Set 2	On	19	-50	0.480
Set 3	On	-3	50	0.460
Set 4	On	1	50	0.520
Set 5	On	52	50	0.530
Set 6	On	0	-50	0.540
Set 7	On	-56	-50	0.470
Set 8	On	97	-50	0.500
Set 9	On	25	50	0.450
Set 10	On

Bild 6-19: Dirty Transmitter Test Einstellungen gemäß Testspezifikation

14. Taste *FREQ* drücken und den Werte von f_{RX} (lowest) eingeben.
15. Taste *LEVEL* drücken und -70 dBm eingeben (siehe [Tabelle 6-3](#)). *Hinweis*: Da die Testspezifikation den Pegel am Eingang des Bluetooth Empfängers definiert, muss die zusätzlich vorhandene Kabeldämpfung bei der Eingabe des Reference Levels entsprechend berücksichtigt werden.
16. Die Berechnung des Bluetooth Testsignales mit *State* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.

Der Vektorsignalgenerator erzeugt mit den beschriebenen Einstellungen ein, mit der Testspezifikation konformes Testsignal. Das Testsignal besteht dabei aus einer Aneinanderreihung von Paketen (Bild 6-18) dessen Charakteristik sich nach jeweils 50 Paketen ändert. Diese Änderung wird durch 10 verschiedenen "Test Runs Sets" beschrieben. Wie aus Bild 6-19 ersichtlich, ändert sich dabei der Carrier Frequency Offset, der Modulation Index und der Symbol Timing Error nach einem fest vorgegebenen Muster. Sind alle 10 "Test Runs" durchlaufen wird wieder mit Test Run Set 1" gestartet bis die unter Sequence Length eingetragene Anzahl von Paketen erreicht ist (bei Trigger Mode Single). Zusätzlich zu den genannten Parametern wird dem Testsignal eine zeitliche Frequenzdrift mit Hilfe einer Frequenzmodulation hinzugefügt. Das modulierende Signal ist sinusförmig mit einem Frequenzhub von 50 kHz und einer Modulationsfrequenz von 1250 Hz (Bild 6-19).

Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.

6.2.1.2 Receiver Sensitivity Performance Test 08, uncoded data at 2 Ms/s

Dieser Test überprüft ob die Empfängerempfindlichkeit beim Empfang eines nicht idealen uncodierten Signals mit einer Symbolrate von 2 Ms/s innerhalb der vorgegeben Grenzen liegt.

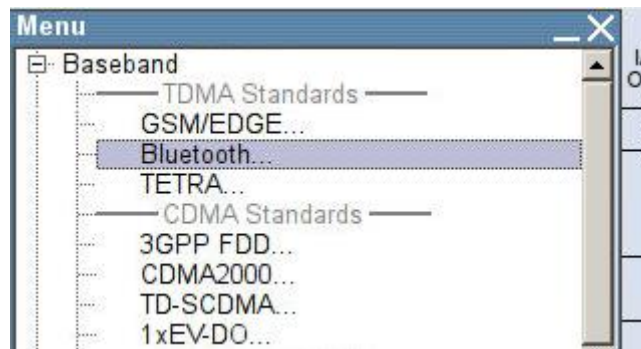
Einstellungen am Testobjekt:

1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit standard Modulationsindex erwartet wird.

Die am Testobjekt einzustellenden Empfangsfrequenzen sind in der Bluetooth Testspezifikation im Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* in den Tabellen 6.1 und 6.2 in Abhängigkeit der Test Cases für verschieden Gerätetypen angegeben. Der Receiver Sensitivity Performance Test wird nur für die RX-Frequenz f_{RX} (lowest) durchgeführt.

Einstellungen am SMBV100A:

4. Taste *PRESET* drücken
5. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



6. Einstellungen gemäß Bild 6-20 vornehmen. Die Testspezifikation verlangt, dass das Testsignal aus mindestens 1500 Datenpaketen (Frames) bestehen muss.

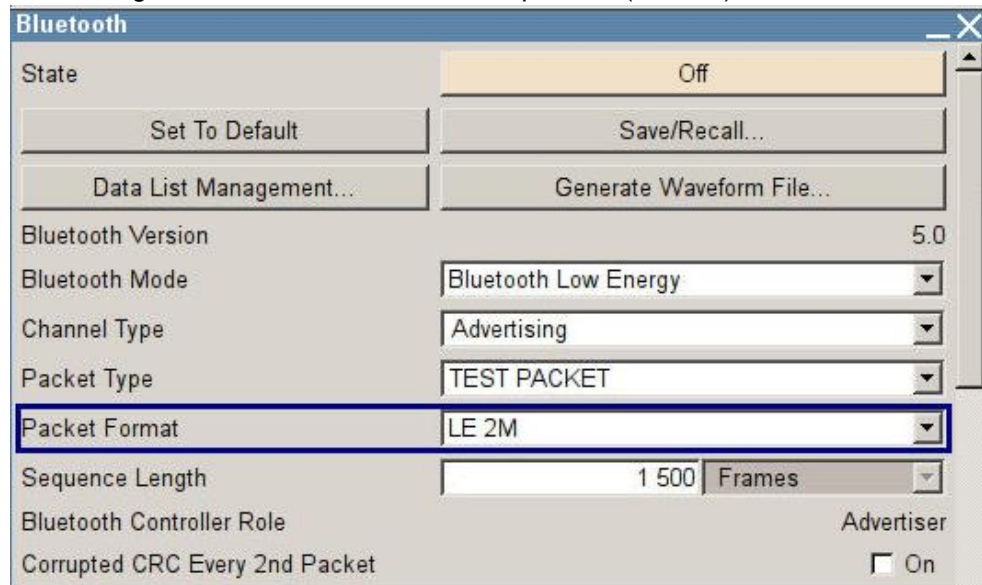
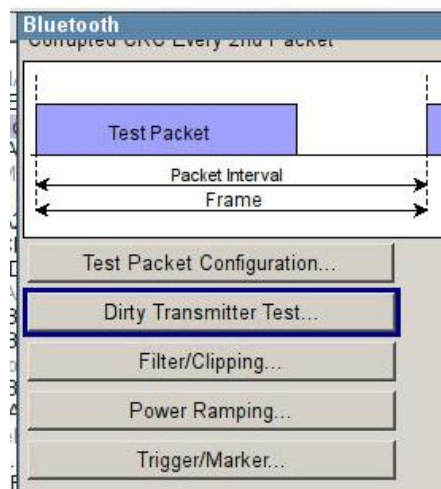


Bild 6-20: Generatoreinstellungen

7. Im Bluetooth Fenster mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Dirty Transmitter Test...* auswählen:



8. Im Dirty Transmitter Test Fenster *Test Packet Configuration...* auswählen:

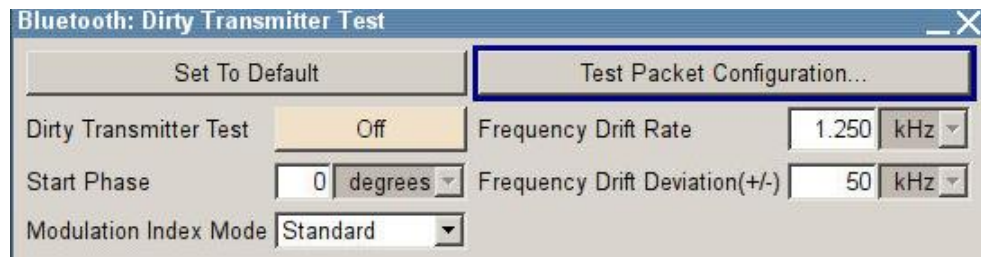


Bild 6-21: Konfiguration für den Dirty Transmitter Test

9. Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

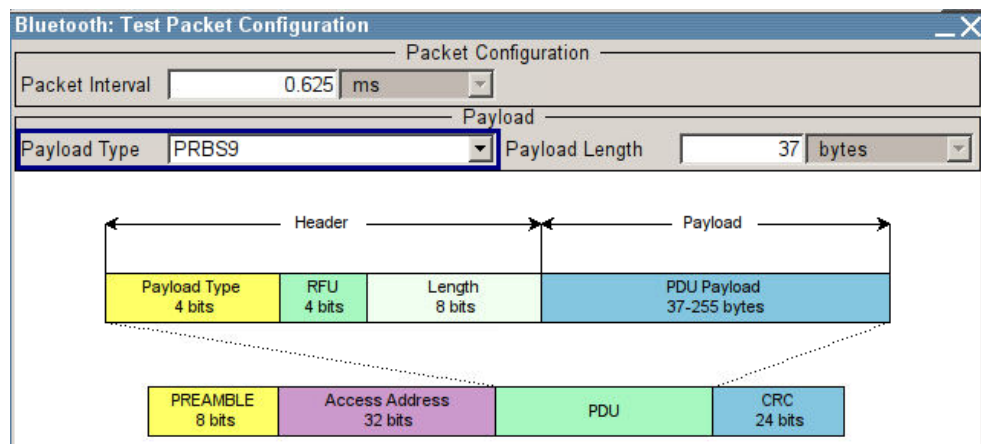


Bild 6-22: Test Packet Konfiguration

10. Das "Testpacket Configuration" Fenster schließen und alle "Test Run Sets" (1 bis 10) einschalten (State: On). Anschließend den Dirty Transmitter Test auf On stellen.

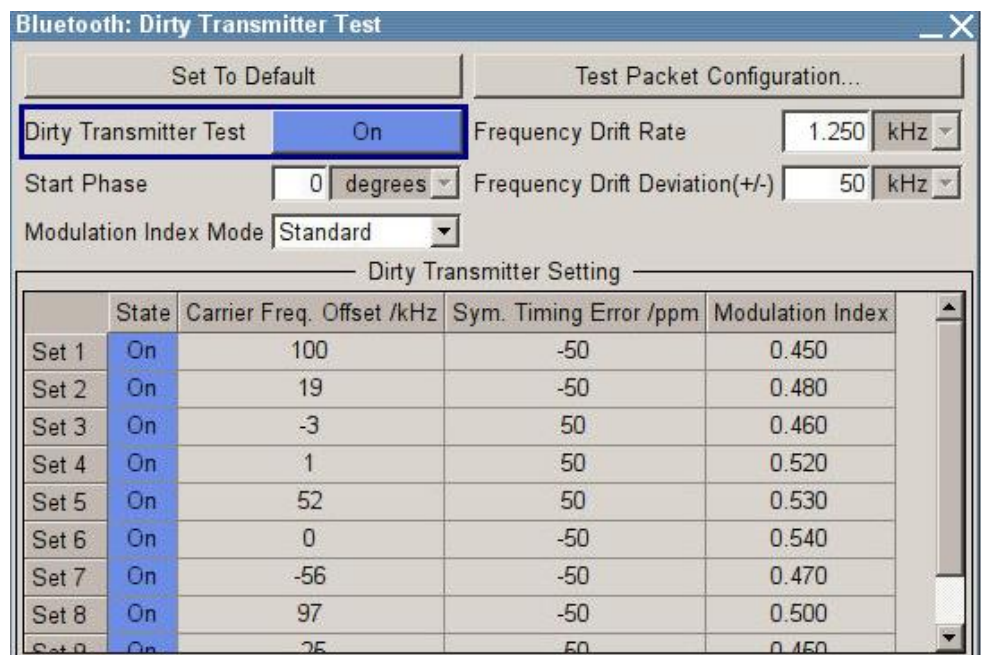


Bild 6-23: Dirty Transmitter Test Einstellungen gemäß Testspezifikation

11. Taste *FREQ* drücken und den Werte von f_{RX} (lowest) eingeben.
12. Taste *LEVEL* drücken und -70 dBm eingeben (siehe [Tabelle 6-3](#)). *Hinweis:* Da die Testspezifikation den Pegel am Eingang des Bluetooth Empfängers definiert, muss die zusätzlich vorhandene Kabeldämpfung bei der Eingabe des Reference Levels entsprechend berücksichtigt werden.
13. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.

Der Vektorsignalgenerator erzeugt mit den beschriebenen Einstellungen ein, mit der Testspezifikation konformes Testsignal.

Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in [Tabelle 6.4: PER level by maximum payload length in receiver](#) der Test Spezifikation angegeben.

6.2.1.3 Receiver Sensitivity Performance Test 14, uncoded data at 1 Ms/s, Stable Modulation Index

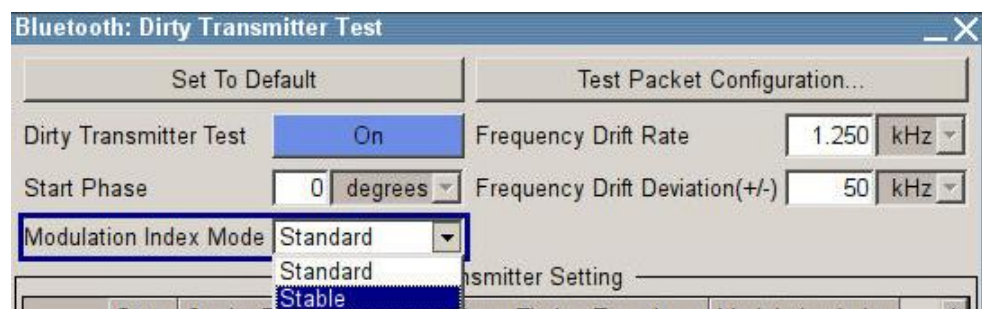
Dieser Test überprüft ob die Empfängerempfindlichkeit beim Empfang eines nicht idealen uncodierten Signals mit einer Symbolrate von 1 Ms/s innerhalb der vorgegeben Grenzen liegt. Der Empfänger erwartet dabei einen Sender mit Stable Modulation Index.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter [6.2.1.1](#) beschrieben, aber den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am SMBV100A:

- Wie unter [6.2.1.1](#) beschrieben, aber bei der Dirty Transmitter Einstellung unter *Modulation Index Mode: Stable* auswählen:



Folgende Bedingungen muss erfüllt sein:

- Wie unter [6.2.1.1](#) beschrieben.

6.2.1.4 Receiver Sensitivity Performance Test 20, uncoded data at 2 Ms/s, Stable Modulation Index

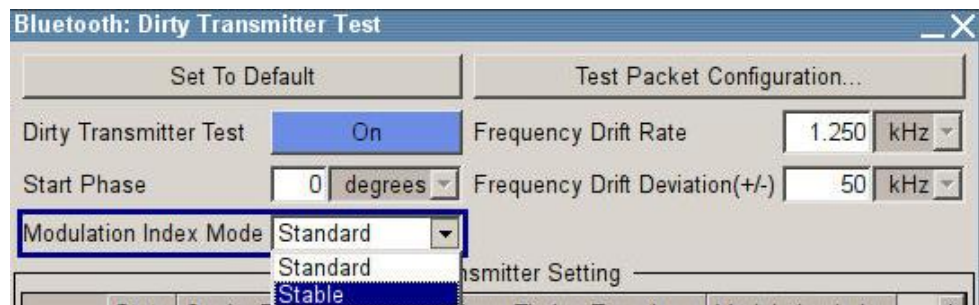
Dieser Test überprüft ob die Empfängerempfindlichkeit beim Empfang eines nicht idealen uncodierten Signals mit einer Symbolrate von 2 Ms/s innerhalb der vorgegeben Grenzen liegt. Der Empfänger erwartet dabei einen Sender mit Stable Modulation Index.

Einstellungen am Testobjekt:

- 1. Wie unter 6.2.1.2 beschrieben, aber den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am SMBV100A:

- 1. Wie unter 6.2.1.2 beschrieben, aber bei der Dirty Transmitter Einstellung unter *Modulation Index Mode: Stable* auswählen:



Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- 1. Wie unter 6.2.1.2 beschrieben

6.2.1.5 Receiver Sensitivity Performance Test 26, LE coded (S=2)

Dieser Test überprüft ob die Empfängerempfindlichkeit beim Empfang eines nicht idealen LE codierten (S=2) Signals innerhalb der vorgegeben Grenzen liegt.

Einstellungen am Testobjekt:

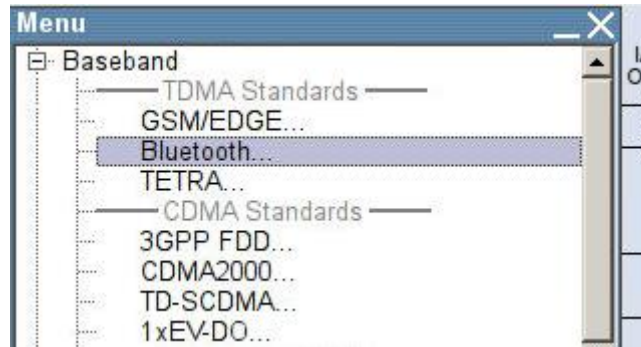
1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit standard Modulationsindex erwartet wird.

Die am Testobjekt einzustellenden Empfangsfrequenzen sind in der Bluetooth Testspezifikation im Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* in den Tabellen 6.1 und 6.2 in Abhängigkeit der Test Cases für verschieden Gerätetypen angegeben. Der Receiver Sensitivity Performance Test wird nur für die RX-Frequenz f_{RX} (lowest) durchgeführt.

Einstellungen am SMBV100A:

4. Taste *PRESET* drücken

5. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



6. Einstellungen gemäß Bild 6-24 vornehmen. Die Testspezifikation verlangt, dass das Testsignal aus mindestens 1500 Datenpaketen (Frames) bestehen muss.

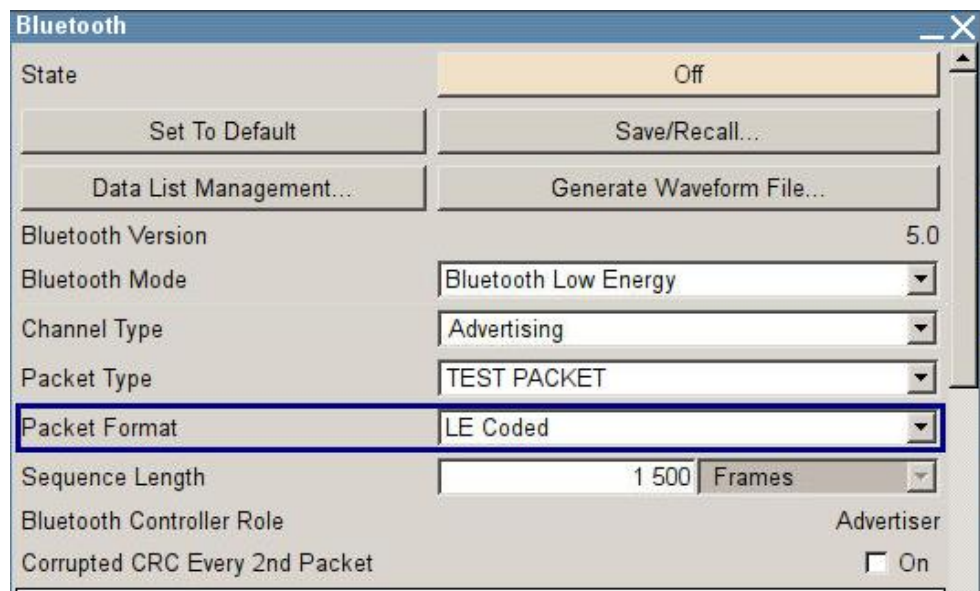
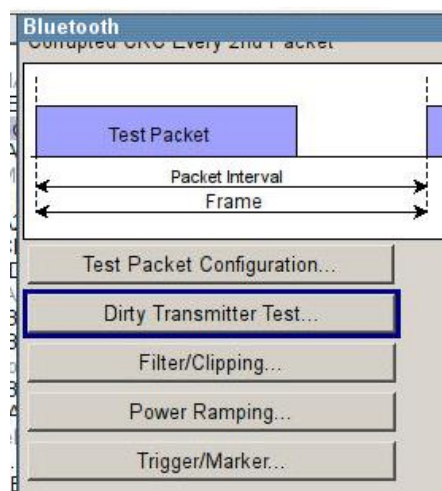


Bild 6-24: Generatoreinstellungen

7. Im Bluetooth Fenster Bild 6-24 mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Dirty Transmitter Test...* auswählen:



8. Im Dirty Transmitter Test Fenster *Test Packet Configuration...* auswählen:

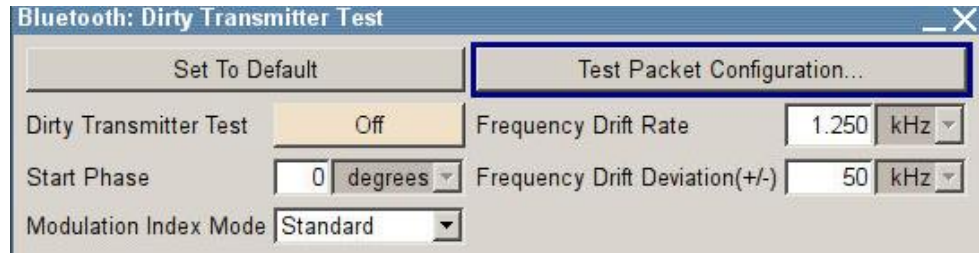


Bild 6-25: Konfiguration für den Dirty Transmitter Test

9. Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

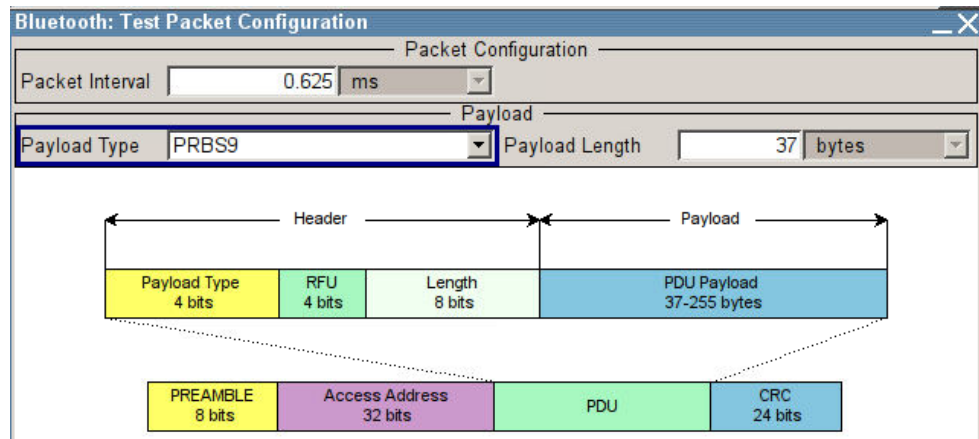
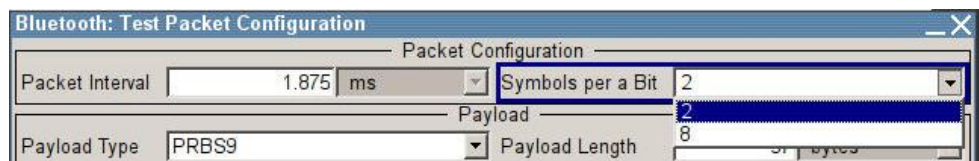


Bild 6-26: Test Packet Konfiguration

10. Unter *Symbols per a Bit*, 2 auswählen:



11. Das "Testpacket Configuration" Fenster schließen und alle "Test Run Sets" (1 bis 10) einschalten (Sate: On). Anschließend den Dirty Transmitter Test auf On stellen.

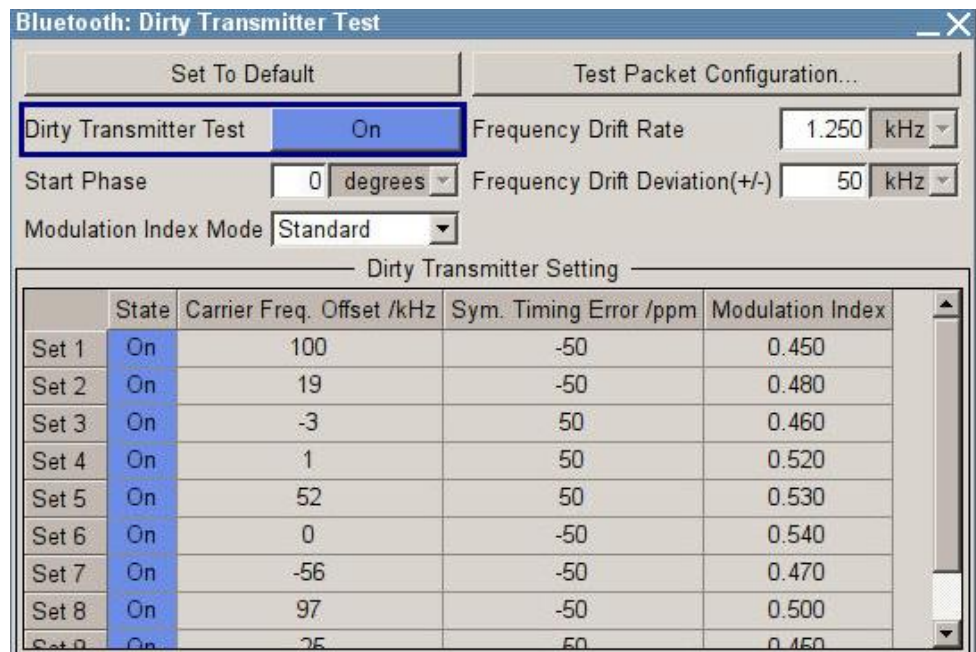


Bild 6-27: Dirty Transmitter Test Einstellungen gemäß Testspezifikation

12. Taste *FREQ* drücken und den Werte von f_{RX} (lowest) eingeben.
13. Taste *LEVEL* drücken und -75 dBm eingeben (siehe [Tabelle 6-3](#)). *Hinweis:* Da die Testspezifikation den Pegel am Eingang des Bluetooth Empfängers definiert, muss die zusätzlich vorhandene Kabeldämpfung bei der Eingabe des Reference Levels entsprechend berücksichtigt werden.
14. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *State = On* starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.

Der Vektorsignalgenerator erzeugt mit den beschriebenen Einstellungen ein, mit der Testspezifikation konformes Testsignal.

Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in [Tabelle 6.4: PER level by maximum payload length in receiver](#) der Test Spezifikation angegeben.

6.2.1.6 Receiver Sensitivity Performance Test 20, uncoded data at 2 Ms/s, Stable Modulation Index

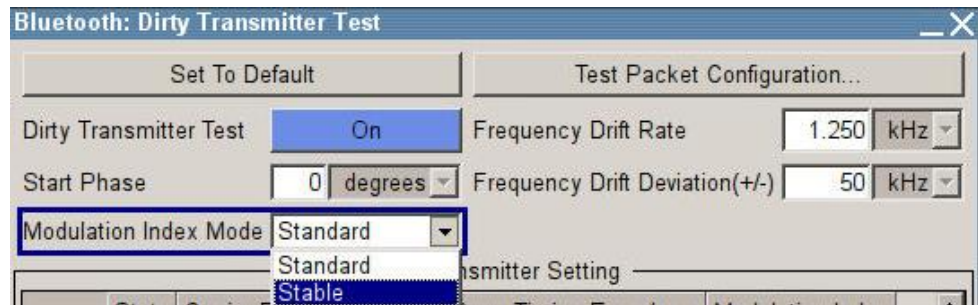
Dieser Test überprüft ob die Empfängerempfindlichkeit beim Empfang eines nicht idealen uncodierten Signals mit einer Symbolrate von 2 Ms/s innerhalb der vorgegeben Grenzen liegt. Der Empfänger erwartet dabei einen Sender mit Stable Modulation Index.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.1.2 beschrieben, aber den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am SMBV100A:

- Wie unter 6.2.1.2 beschrieben, aber bei der Dirty Transmitter Einstellung unter *Modulation Index Mode: Stable* auswählen:



Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.1.2 beschrieben

6.2.1.7 Receiver Sensitivity Performance Test 26, LE coded (S=2)

Dieser Test überprüft ob die Empfängerempfindlichkeit beim Empfang eines nicht idealen LE codierten (S=2) Signals innerhalb der vorgegeben Grenzen liegt.

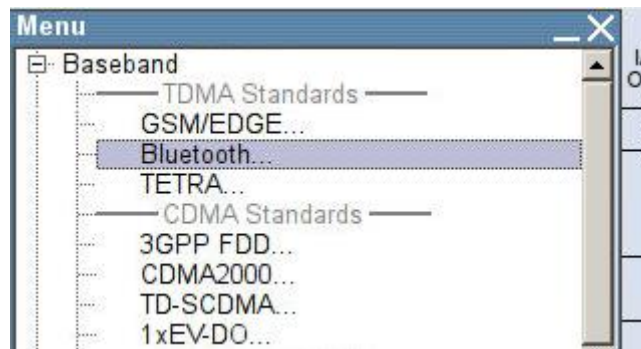
Einstellungen am Testobjekt:

- Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
- Frequency hopping ausschalten.
- Den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit standard Modulationsindex erwartet wird.

Die am Testobjekt einzustellenden Empfangsfrequenzen sind in der Bluetooth Testspezifikation im Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* in den Tabellen 6.1 und 6.2 in Abhängigkeit der Test Cases für verschieden Gerätetypen angegeben. Der Receiver Sensitivity Performance Test wird nur für die RX-Frequenz f_{RX} (lowest) durchgeführt.

Einstellungen am SMBV100A:

- Taste *PRESET* drücken
- Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



6. Einstellungen gemäß Bild 6-24 vornehmen. Die Testspezifikation verlangt, dass das Testsignal aus mindestens 1500 Datenpaketen (Frames) bestehen muss.

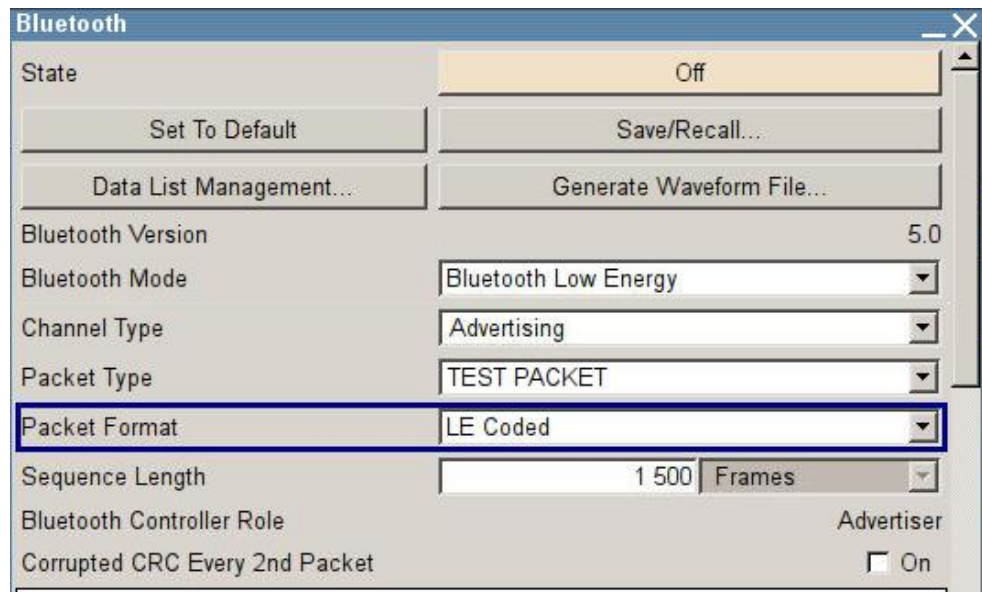
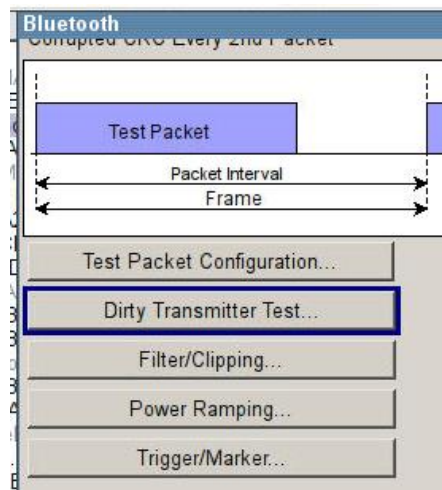


Bild 6-28: Generatoreinstellungen

7. Im Bluetooth Fenster Bild 6-24 mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Dirty Transmitter Test...* auswählen:



8. Im Dirty Transmitter Test Fenster *Test Packet Configuration...* auswählen:

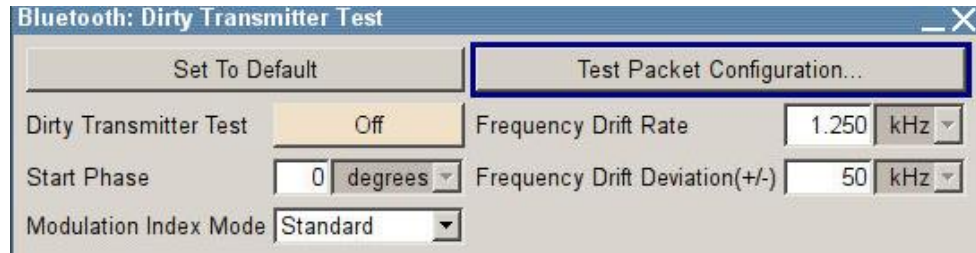


Bild 6-29: Konfiguration für den Dirty Transmitter Test

9. Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

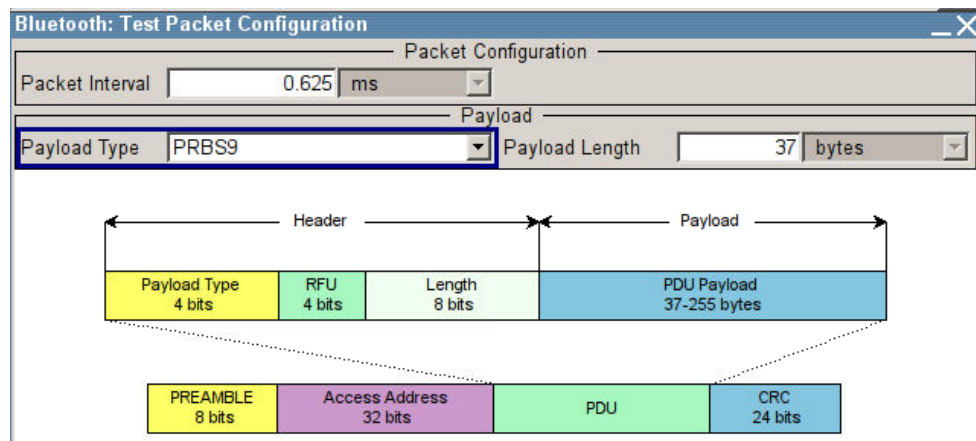
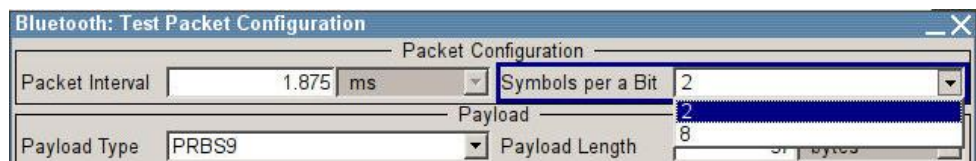


Bild 6-30: Test Packet Konfiguration

10. Unter *Symbols per a Bit*, 2 auswählen:



11. Das "Testpacket Configuration" Fenster schließen und alle "Test Run Sets" (1 bis 10) einschalten (Sate: On). Anschließend den Dirty Transmitter Test auf On stellen.

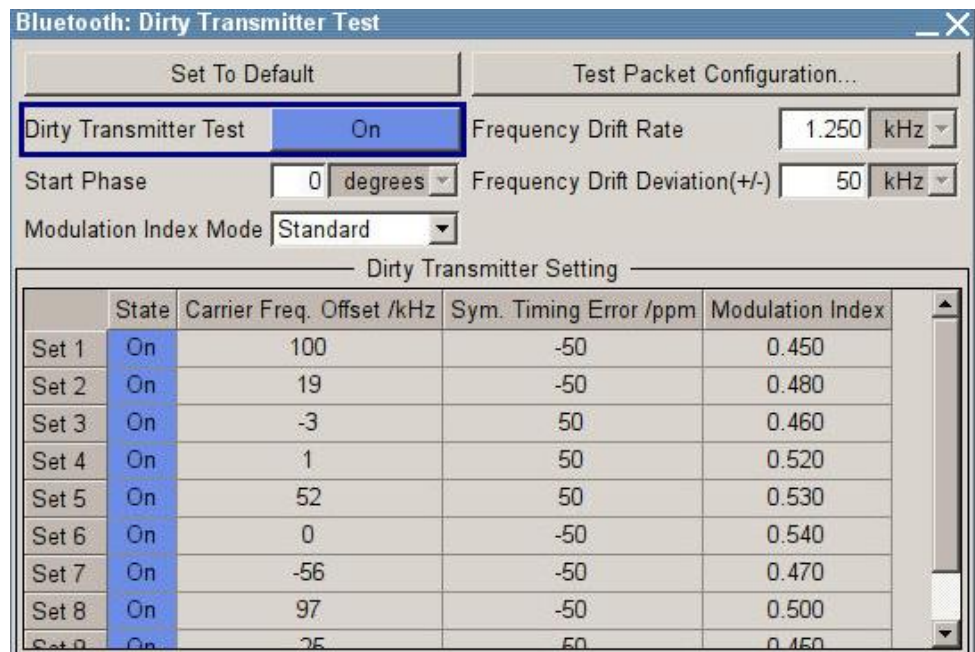


Bild 6-31: Dirty Transmitter Test Einstellungen gemäß Testspezifikation

12. Taste *FREQ* drücken und den Werte von f_{RX} (lowest) eingeben.
13. Taste *LEVEL* drücken und -75 dBm eingeben (siehe [Tabelle 6-3](#)). *Hinweis*: Da die Testspezifikation den Pegel am Eingang des Bluetooth Empfängers definiert, muss die zusätzlich vorhandene Kabeldämpfung bei der Eingabe des Reference Levels entsprechend berücksichtigt werden.
14. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *State* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.

Der Vektorsignalgenerator erzeugt mit den beschriebenen Einstellungen ein, mit der Testspezifikation konformes Testsignal.

Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in [Tabelle 6.4: PER level by maximum payload length in receiver](#) der Test Spezifikation angegeben.

6.2.1.8 Receiver Sensitivity Performance Test 27, LE coded (S=8)

Dieser Test überprüft ob die Empfängerempfindlichkeit beim Empfang eines nicht idealen LE codierten (S=8) Signals innerhalb der vorgegeben Grenzen liegt.

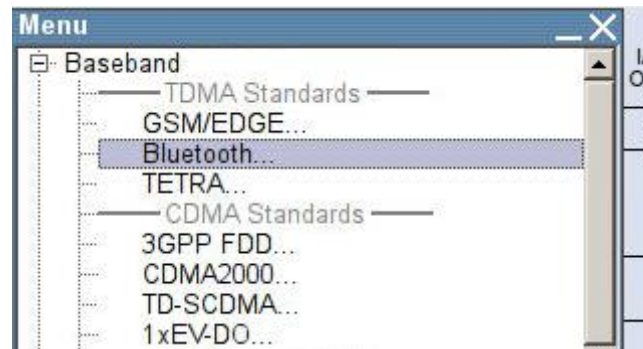
Einstellungen am Testobjekt:

1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit standard Modulationsindex erwartet wird.

Die am Testobjekt einzustellenden Empfangsfrequenzen sind in der Bluetooth Testspezifikation im Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* in den Tabellen 6.1 und 6.2 in Abhängigkeit der Test Cases für verschieden Gerätetypen angegeben. Der Receiver Sensitivity Performance Test wird nur für die RX-Frequenz f_{RX} (lowest) durchgeführt.

Einstellungen am SMBV100A:

4. Taste *PRESET* drücken
5. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



6. Einstellungen gemäß Bild 6-24 vornehmen. Die Testspezifikation verlangt, dass das Testsignal aus mindestens 1500 Datenpaketen (Frames) bestehen muss.

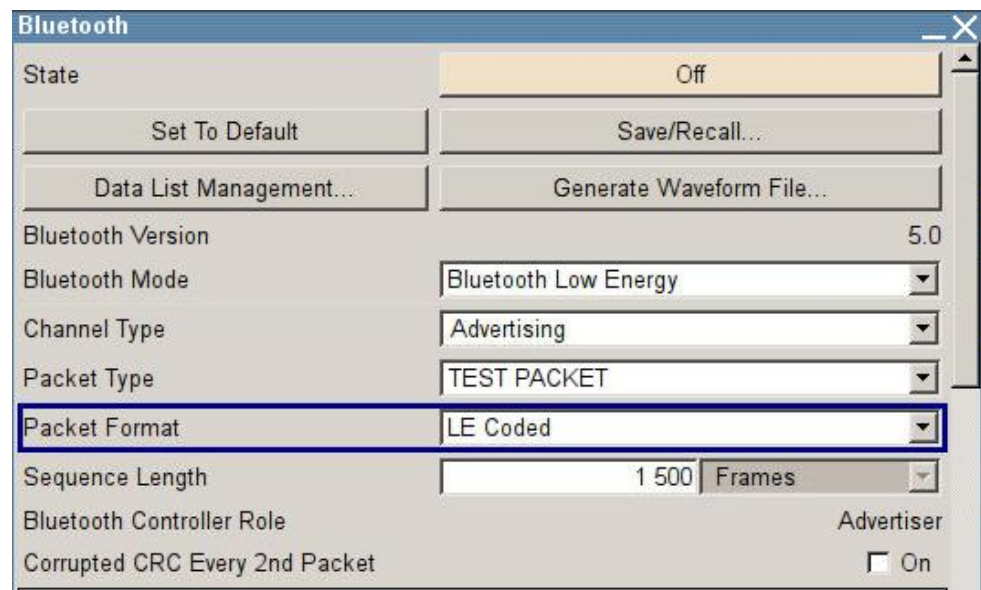
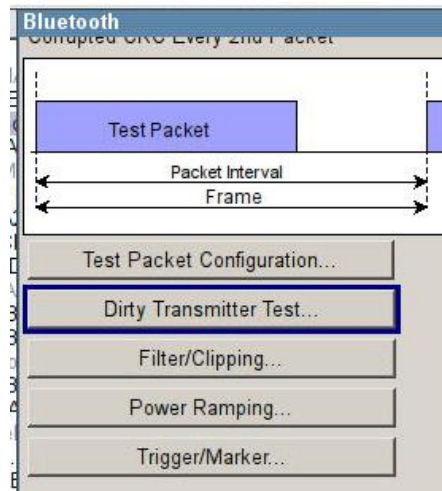


Bild 6-32: Generatoreinstellungen

7. Im Bluetooth Fenster Bild 6-24 mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Dirty Transmitter Test...* auswählen:



8. Im Dirty Transmitter Test Fenster *Test Packet Configuration...* auswählen:

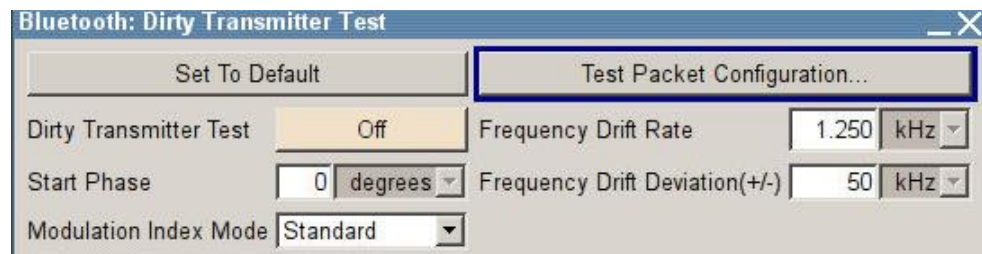


Bild 6-33: Konfiguration für den Dirty Transmitter Test

9. Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

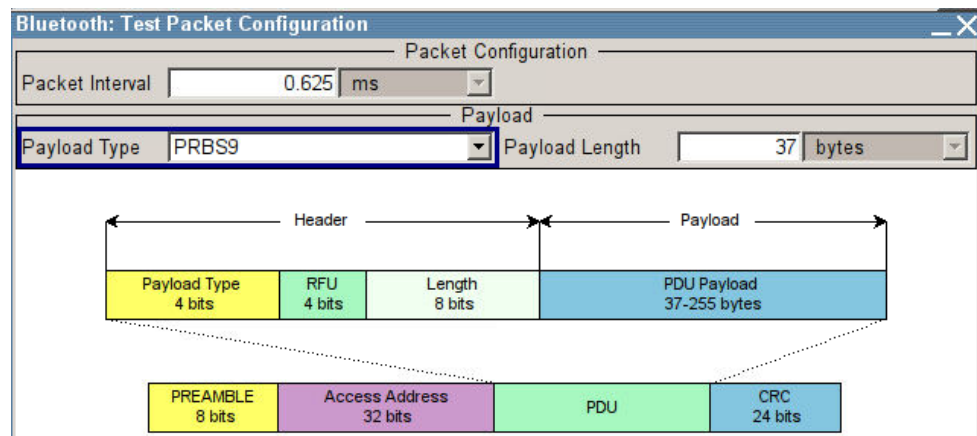
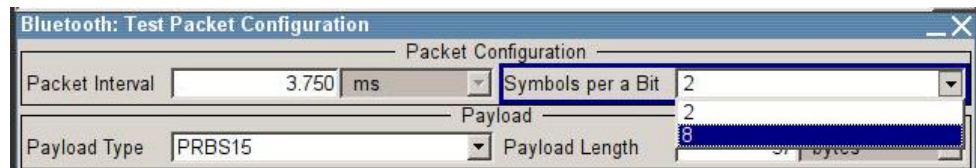


Bild 6-34: Test Packet Konfiguration

10. Unter *Symbols per a Bit*, 8 auswählen:



11. Das "Testpacket Configuration" Fenster schließen und alle "Test Run Sets" (1 bis 10) einschalten (State: On). Anschließend den Dirty Transmitter Test auf On stellen.

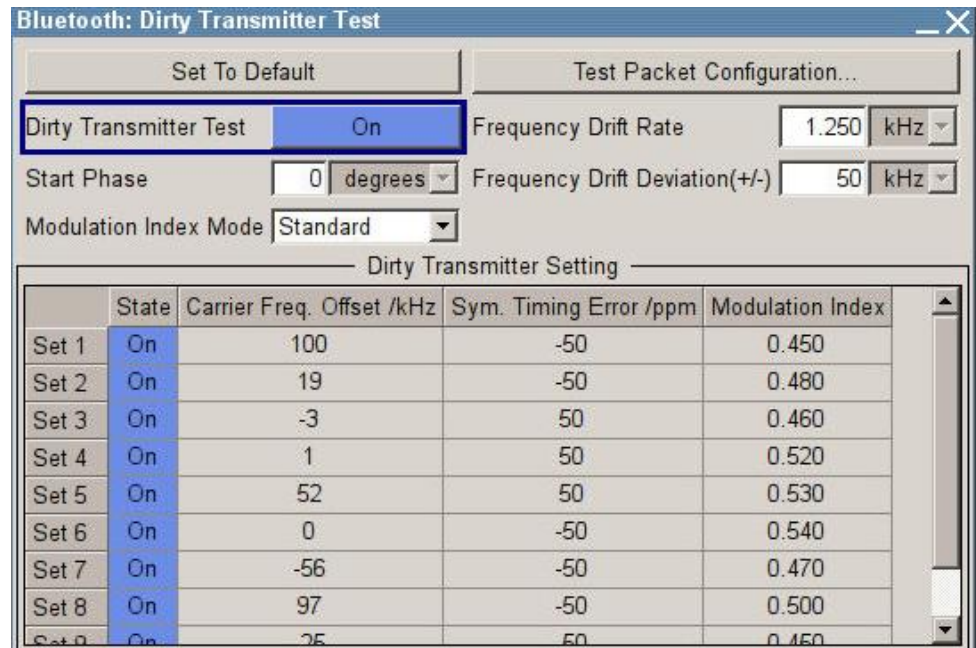


Bild 6-35: Dirty Transmitter Test Einstellungen gemäß Testspezifikation

12. Taste *FREQ* drücken und den Werte von f_{RX} (lowest) eingeben.
13. Taste *LEVEL* drücken und -82 dBm eingeben (siehe [Tabelle 6-3](#)). *Hinweis:* Da die Testspezifikation den Pegel am Eingang des Bluetooth Empfängers definiert, muss die zusätzlich vorhandene Kabeldämpfung bei der Eingabe des Reference Levels entsprechend berücksichtigt werden.
14. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *State* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.

Der Vektorsignalgenerator erzeugt mit den beschriebenen Einstellungen ein, mit der Testspezifikation konformes Testsignal.

Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- $PER < 30.8\%$ (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.

6.2.1.9 Receiver Sensitivity Performance Test 32, LE coded (S=2), Stable Modulation Index

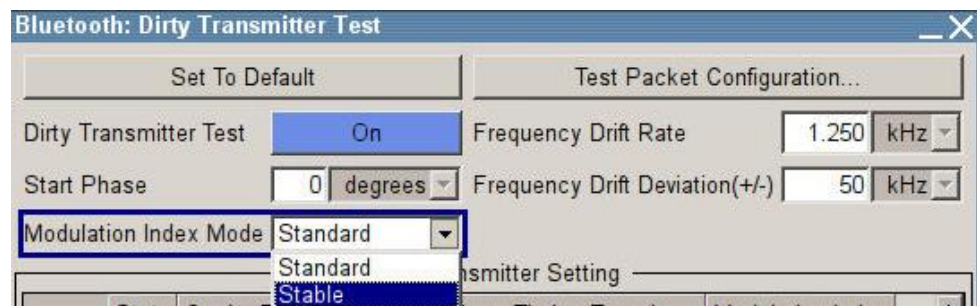
Dieser Test überprüft ob die Empfängerempfindlichkeit beim Empfang eines nicht idealen LE codierten (S=2) Signals innerhalb der vorgegeben Grenzen liegt. Der Empfänger erwartet dabei einen Sender mit Stable Modulation Index.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.1.7 beschrieben, aber den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am SMBV100A:

- Wie unter 6.2.1.7 beschrieben, aber bei der Dirty Transmitter Einstellung unter *Modulation Index Mode: Stable* auswählen:



Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.1.7 beschrieben

6.2.1.10 Receiver Sensitivity Performance Test 33, LE coded (S=8), Stable Modulation Index

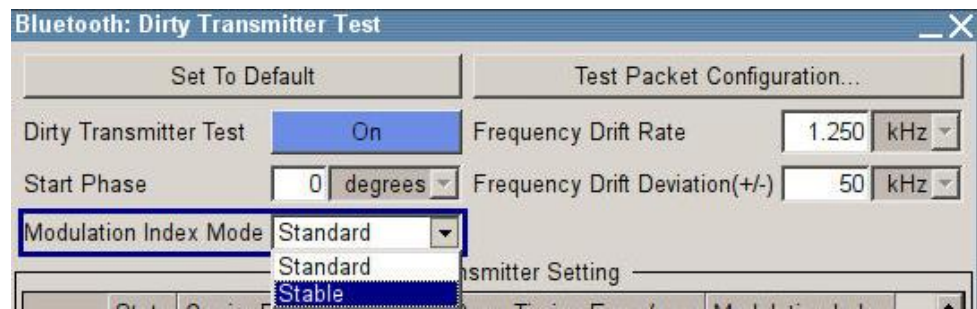
Dieser Test überprüft ob die Empfängerempfindlichkeit beim Empfang eines nicht idealen LE codierten (S=8) Signals innerhalb der vorgegeben Grenzen liegt. Der Empfänger erwartet dabei einen Sender mit Stable Modulation Index.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.1.8 beschrieben, aber den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am SMBV100A:

- Wie unter 6.2.1.7 beschrieben, aber bei der Dirty Transmitter Einstellung unter *Modulation Index Mode: Stable* auswählen:



Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.1.7 beschrieben

6.2.2 C/I and Receiver Selectivity Performance

Bei diesem Test wird das Verhalten des Empfängers unter Einfluss eines zweiten Bluetooth-Signals überprüft. Dazu wird ein Bluetooth-Störer mit bestimmten Pegeln und Frequenzabständen zum gewünschten Bluetooth-Signal eingestellt und jeweils die PER-Messung am gewünschten Signal durchgeführt.

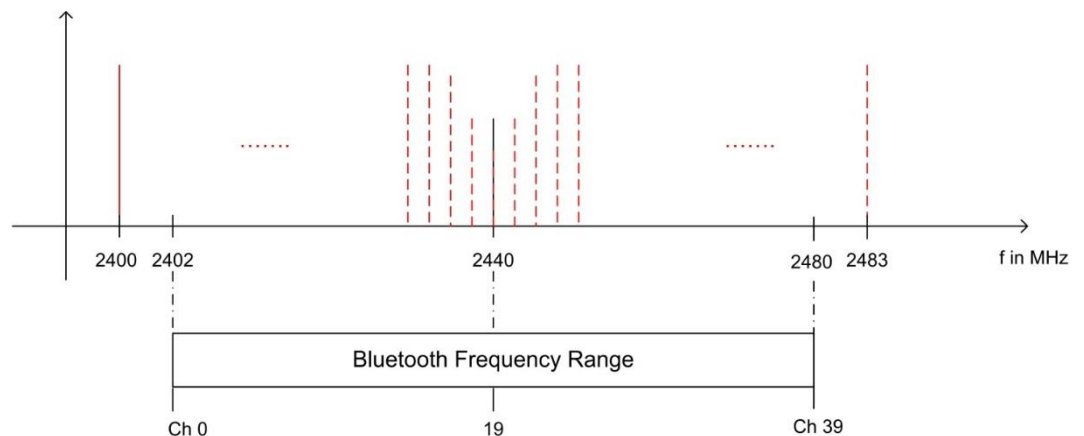


Bild 6-36: C/I performance: the packet error rate in the presence of a Bluetooth interferer inside the Bluetooth band is measured. The measurement is repeated after shifting the interferer by 1 MHz.

Dieser Test ist für alle PHYs vorgeschrieben:

C/I and Receiver Selectivity und PHYs	
PHY	Testnummer
LE1M	03
LE2M	09
LE1M, SMI	15
LE2M, SMI	21
LE coded, S=2	28
LE coded, S=8	29
LE coded, S=2, SMI	34
LE coded, S=8, SMI	35

Tabelle 6-4: Verschiedene Tests für C/I and Receiver Selectivity

Messaufbau:

Der Messaufbau in Bild 6-37 beinhaltet zwei Signalgeneratoren, deren Signale über einen Power-Combiner dem Messobjekt als Summensignal zugeführt wird. Dabei erzeugt Generator #1 ein kontinuierlich moduliertes (nicht gepulstes) BLE Störsignal mit PRBS15. Generator #2 liefert das BLE Nutzsignal mit PRBS9. Damit sich die beiden Signale gegenseitig nicht beeinflussen werden zwei geeignete Isolatoren eingesetzt. Die Peglewerte L_i (Störsignal) und L_{ws} (Nutzsignal) werden aus der Tabelle 6-5, Tabelle 6-6 und Tabelle 6-7 in Abhängigkeit des durchgeführten Tests eingestellt. Der zusätzliche Dämpfungswert L_a , verursacht durch Kabel, Isolator und Power-Combiner ist bei der PegelEinstellung entsprechend zu berücksichtigen.

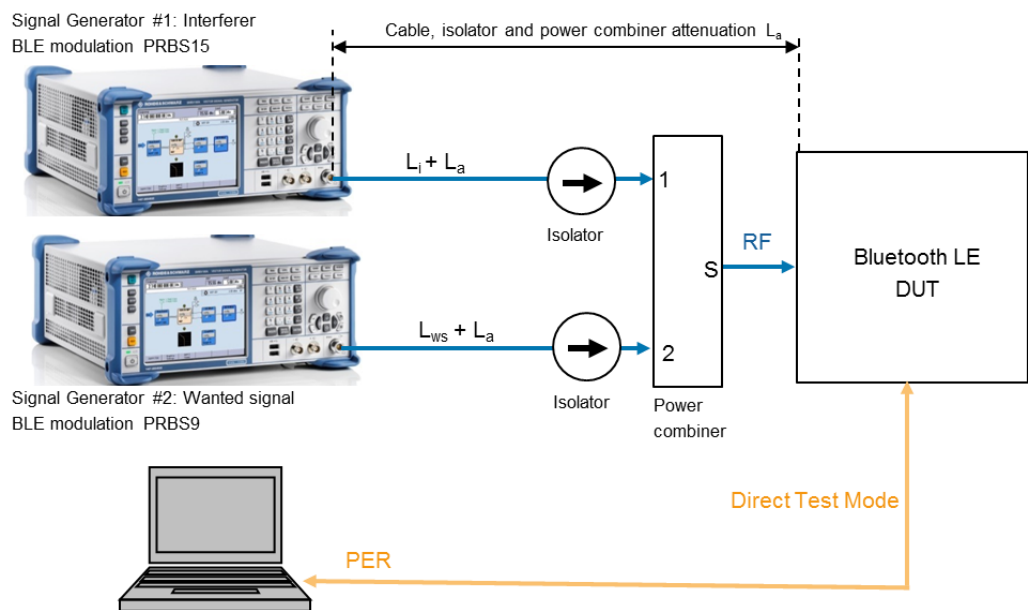


Bild 6-37: Messaufbau für die Messung der C/I and Receiver Selectivity Performance

C/I LE level settings for Tests 03, 09, 15, 21			
Interference signal frequency	Interferer level (abs), L_i	C/I	Wanted signal (abs), L_{ws}
Co-channel ($f_{RX} = f_{Interference}$)	-88 dBm	21 dB	-67 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 1 \text{ MHz}$)	-82 dBm	15 dB	-67 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 2 \text{ MHz}$)	-50 dBm	-17 dB	-67 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm (3 + n) \text{ MHz}$) $n=0,1,2,3\dots (2400 \text{ MHz} \leq f_{Interference} \leq 2483 \text{ MHz})$	-40 dBm	-27 dB	-67 dBm
Image frequency ($f_{Interference} = f_{Image}$)	-58 dBm	-9 dB	-67 dBm
Adjacent channel to image frequency ($f_{Interference} = f_{Image} \pm 1 \text{ MHz}$)	-52 dBm	-15 dB	-67 dBm

Tabelle 6-5: C/I and receiver selectivity test parameter settings.

C/I LE level settings for Tests 28, 34			
Interference signal frequency	Interferer level (abs), L_i	C/I	Wanted signal (abs), L_{ws}
Co-channel ($f_{RX} = f_{Interference}$)	- 89 dBm	17 dB	- 72 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 1 \text{ MHz}$)	- 83 dBm	11 dB	- 72 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 2 \text{ MHz}$)	- 51 dBm	- 21 dB	- 72 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm (3 + n) \text{ MHz}$) $n=0,1,2,3\dots (2400 \text{ MHz} \leq f_{Interference} \leq 2483 \text{ MHz})$	- 41 dBm	- 31 dB	- 72 dBm
Image frequency ($f_{Interference} = f_{Image}$)	- 59 dBm	- 13 dB	- 72 dBm
Adjacent channel to image frequency ($f_{Interference} = f_{Image} \pm 1 \text{ MHz}$)	- 53 dBm	- 19 dB	- 72 dBm

Tabelle 6-6: C/I and receiver selectivity test parameter settings for LE coded S=2.

C/I LE level settings for Tests 29, 35			
Interference signal frequency	Interferer level (abs), L_i	C/I	Wanted signal (abs), L_{ws}
Co-channel ($f_{RX} = f_{Interference}$)	- 91 dBm	12 dB	- 79 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 1 \text{ MHz}$)	- 85 dBm	6 dB	- 79 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm 2 \text{ MHz}$)	- 53 dBm	- 26 dB	- 79 dBm
Adjacent channel ($f_{Interference} = f_{RX} \pm (3 + n) \text{ MHz}$) $n=0,1,2,3\dots (2400 \text{ MHz} \leq f_{Interference} \leq 2483 \text{ MHz})$	- 43 dBm	- 36 dB	- 79 dBm
Image frequency ($f_{Interference} = f_{Image}$)	- 61 dBm	- 18 dB	- 79 dBm
Adjacent channel to image frequency ($f_{Interference} = f_{Image} \pm 1 \text{ MHz}$)	- 55 dBm	- 24 dB	- 79 dBm

Tabelle 6-7: C/I and receiver selectivity test parameter settings for LE coded S=8.

6.2.2.1 C/I and Receiver Selectivity Performance Test 03, uncoded data at 1 Ms/s

Dieser Test prüft das Verhalten eines BLE Empfängers in Anwesenheit eines Bluetooth Störers mit uncodierten Daten und 1 Ms/s Datenrate. Der Störer wird auf der Empfangsfrequenz bzw. im Nachbarkanal gesendet. Zusätzlich wird die Spiegelfrequenzunterdrückung des Empfängers getestet.

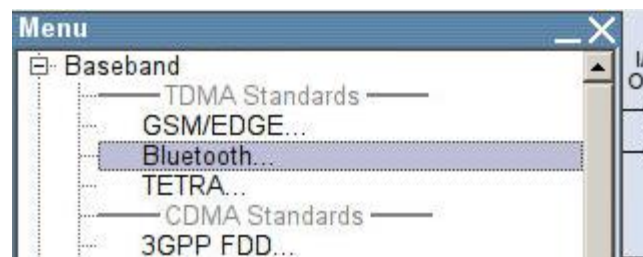
Einstellungen am Testobjekt:

1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Symbolrate auf 1 Ms/s einstellen.
4. Den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Standardmodulationsindex erwartet wird.
5. Empfangsfrequenz einstellen.

Die am Testobjekt einzustellenden Empfangsfrequenzen sind in der Bluetooth Testspezifikation im Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* in den Tabellen 6.1 und 6.2 in Abhängigkeit der Test Cases für verschieden Gerätetypen angegeben. Der C/I and Receiver Selectivity Performance Test wird für alle drei RX-Frequenzen f_{RX} (low), f_{RX} (middle) und f_{RX} (highest) durchgeführt.

Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A: Nutzsignal

6. Taste *PRESET* drücken.
7. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



8. Einstellungen gemäß Bild 6-38 vornehmen. Für die *Sequence Length* muss der Wert mindestens 1500 betragen.

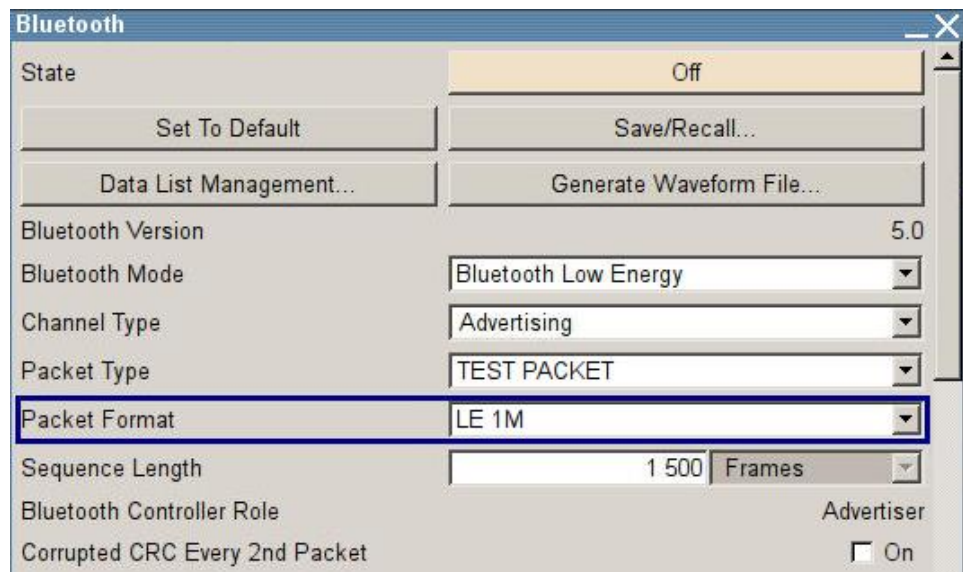
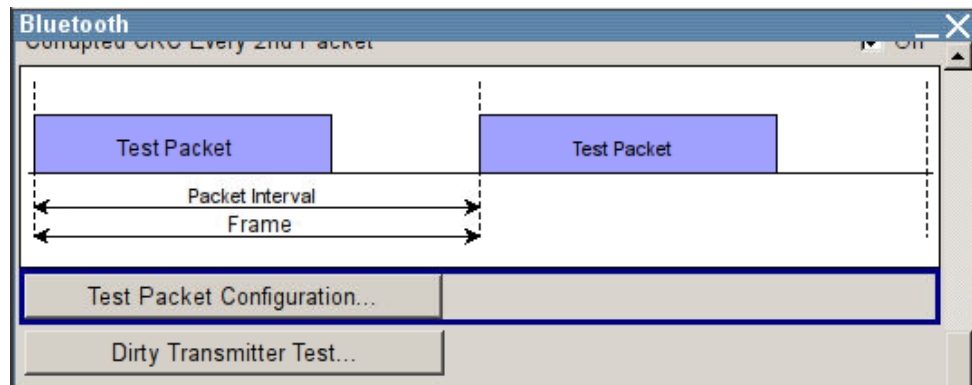


Bild 6-38: Generatoreinstellungen für das Nutzsignal

9. Im Bluetooth Fenster (Bild 6-38) mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Test Packet Configuration...* auswählen:



10. Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

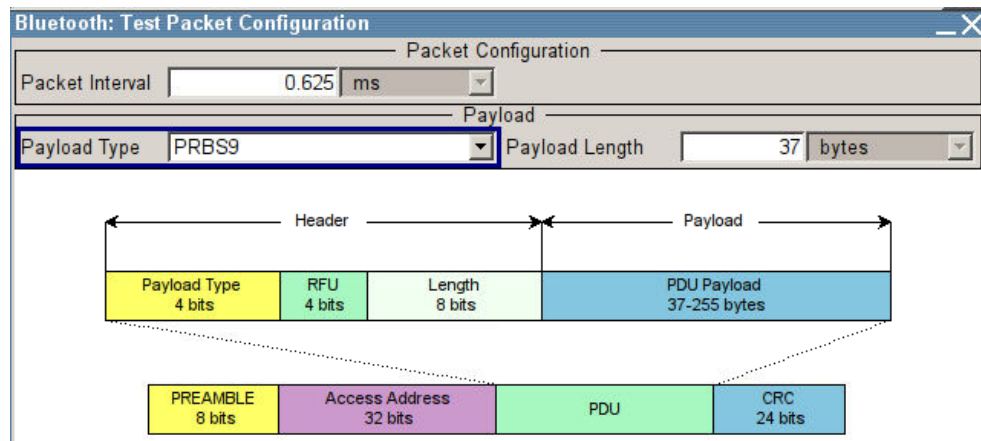
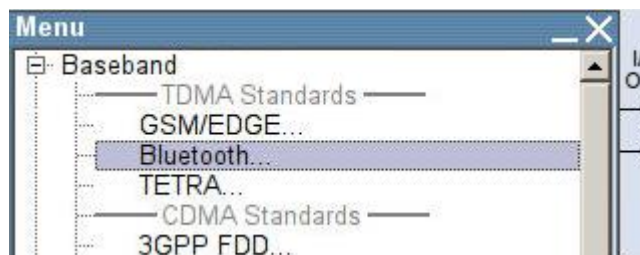


Bild 6-39: Test Packet Konfiguration

11. Das Fenster "Test Packet Configuration" schließen.
12. Taste *FREQ* drücken und den Frequenzwert für f_{RX} (low) gemäß Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* aus der Testspezifikation für den ersten Testdurchlauf eingeben. Für den Testdurchlauf zwei und drei entsprechend f_{RX} (middle) bzw. f_{RX} (highest) eingeben.
13. Taste *LEVEL* drücken und den Pegelwert $-67 \text{ dBm} + L_a$ eingeben (siehe auch [Tabelle 6-5](#) und [Bild 6-37](#)).
14. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.

Einstellungen am Signalgenerator #1 SMBV100A: Interferer

15. Taste *PRESET* drücken.
16. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



17. Einstellungen gemäß [Bild 6-40](#) vornehmen.

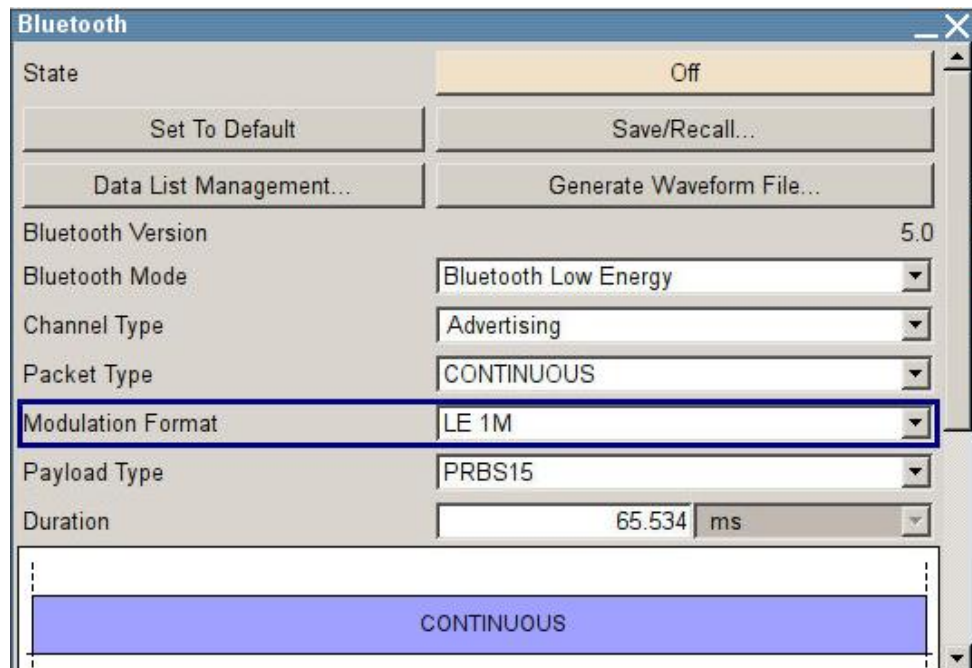


Bild 6-40: Generatoreinstellungen für das Störsignal

18. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.
19. $f_{\text{interfer}} = 2400$ MHz.
20. Frequenz und Pegelwerte gemäß [Tabelle 6-5](#) mit Taste *FREQ* bzw. Taste *LEVEL* nacheinander eingeben und den zugehörigen PER bestimmen. (siehe auch [TIPP](#) weiter unten)

Hinweis: f_{image} aus [Tabelle 6-5](#) wird vom Hersteller des BLE Empfängers für die momentan verwendete Symbolrate spezifiziert.

Es gelten folgende Bedingungen:

- PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in [Tabelle 6.4: PER level by maximum payload length in receiver](#) der Test Spezifikation angegeben.


Bei den Signalstörabständen $\geq \pm 2$ MHz in dem Frequenzband von 2400 MHz bis 2483 MHz darf der genannte PER Grenzwert fünfmal überschritten werden. Für diese Werte die zugehörige Frequenz notieren. Erfüllen mehr als fünf Werte diese Bedingung nicht, hat das Messobjekt den Test nicht bestanden und der Test kann sofort abgebrochen werden. Für alle notierten Frequenzen (Anzahl ≤ 5) den Test folgendermaßen wiederholen:

21. Den Pegel für das Störsignal am Signal Generator #1 auf den Wert von $-50 \text{ dBm} + L_a$. (entspricht $C/I = -17 \text{ dB}$) einstellen.

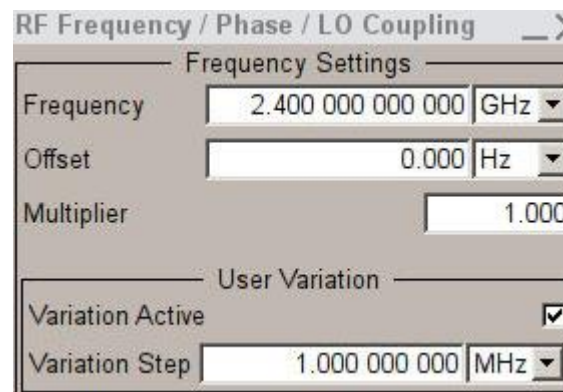
Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.

22. Messprozedur ab Schritt 20. mit $f_{\text{interfer}} = 2400 \text{ MHz} + N \cdot \text{MHz}$ mit $N=1,2,3\dots 83$ wiederholen.
23. Wiederholen Sie die gesamte Messprozedur (ab Schritt 1.) für f_{RX} (middle) und f_{RX} (highest)

 TIPP: für die Frequenzänderung kann am SMBV100A die erforderliche Schrittweite definiert werden. Dies erleichtert die manuelle Einstellung der Frequenzen erheblich. Dazu folgendermaßen vorgehen:

1. Taste *MENU* drücken und aus der Liste *RF/A Mod* auswählen
2. Aus der Liste *Frequency / Phase...* auswählen
3. Unter *Variation Step* die Schrittweite eingeben und aktivieren. In diesem Fall ist eine 1 MHz Schrittweite sinnvoll:



4. Mit den Pfeiltasten $\uparrow\downarrow$ oder dem Drehrad kann die Frequenz jetzt bequem in 1 MHz Schritten verändert werden.

6.2.2.2 C/I and Receiver Selectivity Performance Test 09, uncoded data at 2 Ms/s

Dieser Test prüft das Verhalten eines BLE Empfängers in Anwesenheit eines Bluetooth Störers mit uncodierten Daten und 2 Ms/s Datenrate. Der Störer wird auf der Empfangsfrequenz bzw. im Nachbarkanal gesendet. Zusätzlich wird die Spiegelfrequenzunterdrückung des Empfängers getestet.

Einstellungen am Testobjekt:

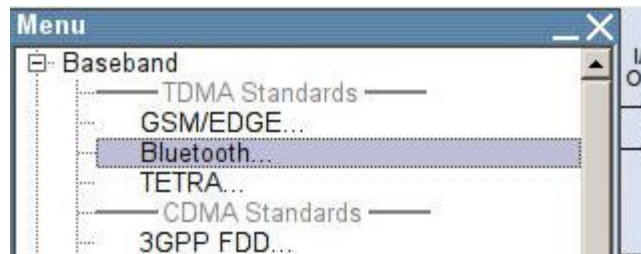
1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Symbolrate auf 1 Ms/s einstellen.

4. Den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Standardmodulationsindex erwartet wird.
5. Empfangsfrequenz einstellen.

Die am Testobjekt einzustellenden Empfangsfrequenzen sind in der Bluetooth Testspezifikation im Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* in den Tabellen 6.1 und 6.2 in Abhängigkeit der Test Cases für verschieden Gerätetypen angegeben. Der C/I and Receiver Selectivity Performance Test wird für alle drei RX-Frequenzen f_{RX} (low), f_{RX} (middle) und f_{RX} (highest) durchgeführt.

Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A: Nutzsignal

6. Taste *PRESET* drücken.
7. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



8. Einstellungen gemäß Bild 6-41 vornehmen. Für die *Sequence Length* muss der Wert mindestens 1500 betragen.

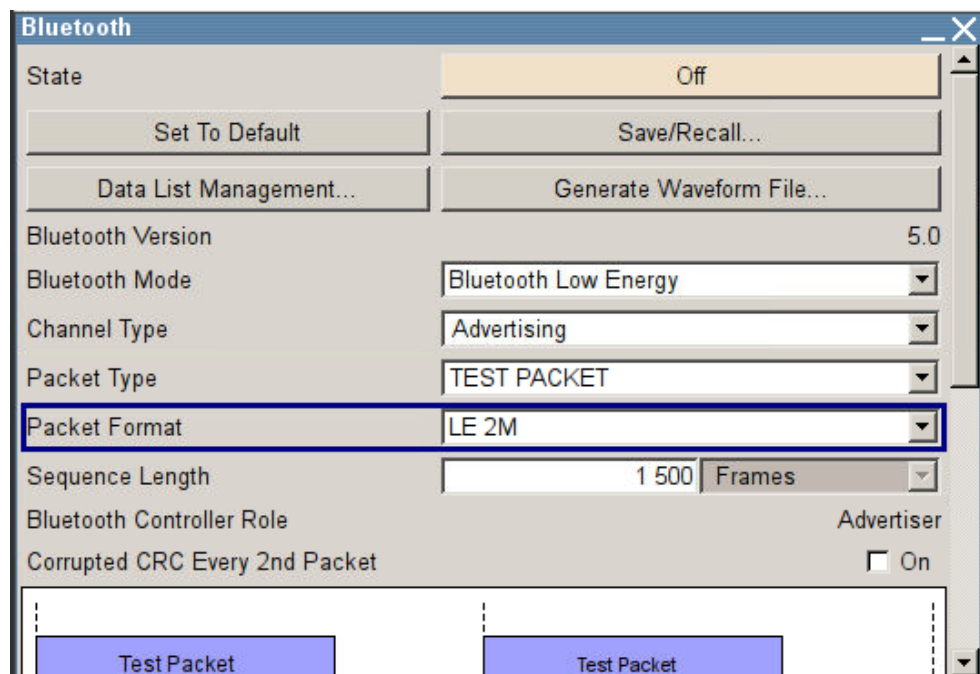
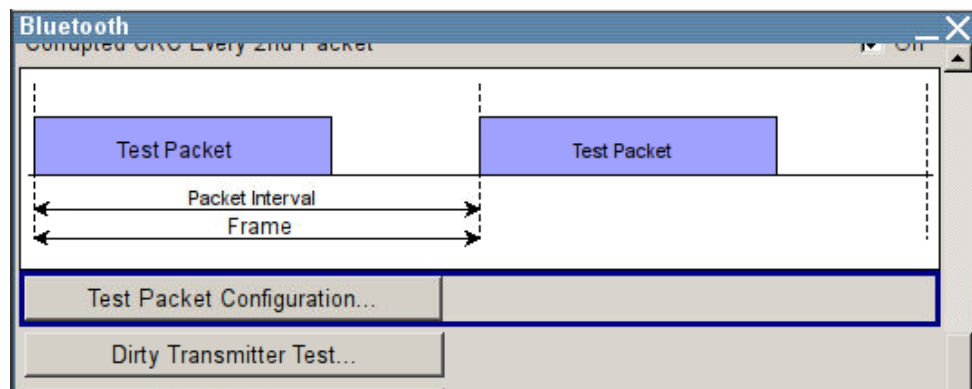


Bild 6-41: Generatoreinstellungen für das Nutzsignal

9. Im Bluetooth Fenster (Bild 6-41) mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Test Packet Configurationn...* auswählen:



10. Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

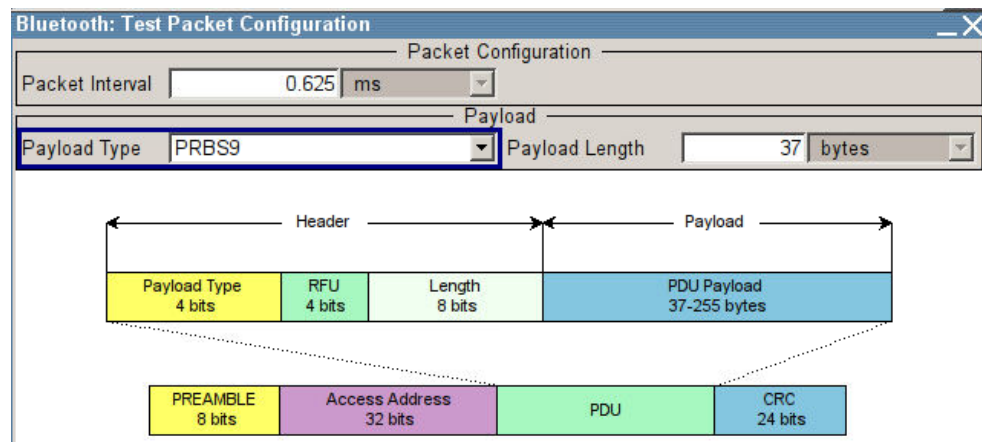
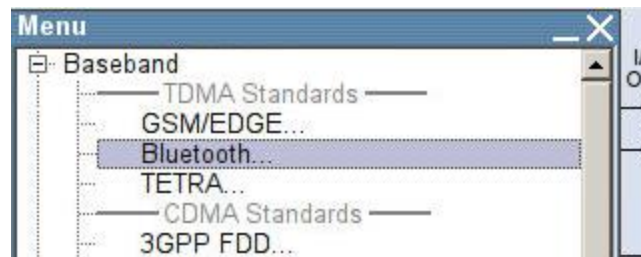


Bild 6-42: Test Packet Konfiguration

11. Das Fenster "Test Packet Configuration" schließen.
12. Taste *FREQ* drücken und den Frequenzwert für f_{RX} (low) gemäß Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* aus der Testspezifikation für den ersten Testdurchlauf eingeben. Für den Testdurchlauf zwei und drei entsprechend f_{RX} (middle) bzw. f_{RX} (highest) eingeben.
13. Taste *LEVEL* drücken und den Pegelwert $-67 \text{ dBm} + L_a$ eingeben (siehe auch [Tabelle 6-5](#) und [Bild 6-37](#)).
14. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate = On* starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.

Einstellungen am Signalgenerator #1 SMBV100A: Interferer

15. Taste *PRESET* drücken.
16. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



17. Einstellungen gemäß Bild 6-44 vornehmen.

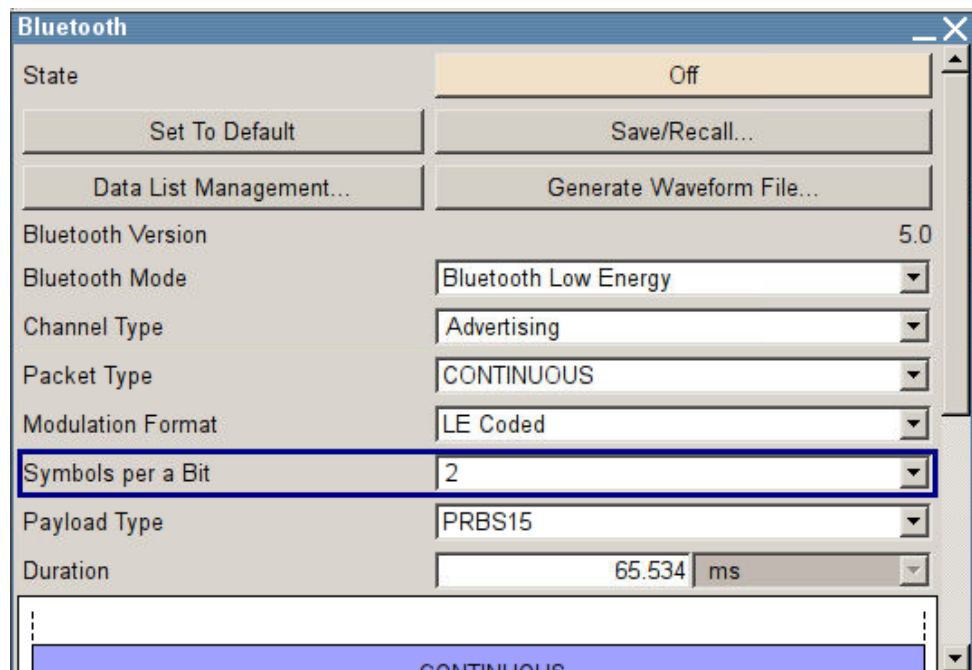


Bild 6-43: Generatoreinstellungen für das Störsignal

18. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.
19. $f_{\text{interfer}} = 2400 \text{ MHz}$.
20. Frequenz und Pegelwerte gemäß Tabelle 6-5 mit Taste *FREQ* bzw. Taste *LEVEL* nacheinander eingeben und den zugehörigen PER bestimmen. (siehe auch TIPP weiter unten)

Hinweis: f_{image} aus Tabelle 6-5 wird vom Hersteller des BLE Empfängers für die momentan verwendete Symbolrate spezifiziert.

Es gelten folgende Bedingungen:

- PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.

- Bei den Signalstörabständen ± 4 MHz, ± 6 MHz, ± 8 MHz, ... in dem Frequenzband von 2400 MHz bis 2483 MHz darf der genannte PER Grenzwert fünfmal überschritten werden. Für diese Werte die zugehörige Frequenz notieren. Erfüllen mehr als fünf Werte diese Bedingung nicht, hat das Messobjekt den Test nicht bestanden und der Test kann sofort abgebrochen werden.

Für alle notierten Frequenzen (Anzahl ≤ 5) den Test folgendermaßen wiederholen:

21. Den Pegel für das Störsignal am Signal Generator #1 auf den Wert von $-50 \text{ dBm} + L_a$ (entspricht $C/I = -17 \text{ dB}$)

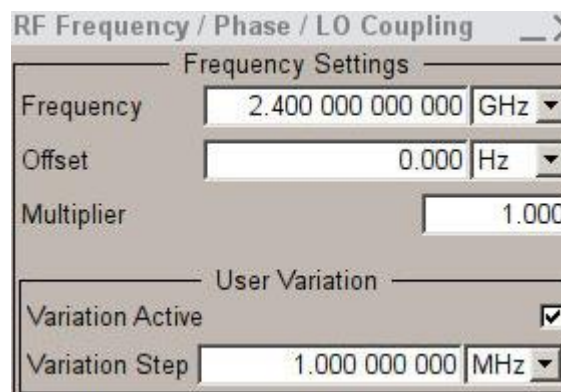
Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- $PER < 30.8 \%$ (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.
22. Prozedur ab Schritt 20. mit $f_{\text{interfer}} = 2400 \text{ MHz} + 2N \cdot \text{MHz}$ mit $N=1,2,3,\dots,41$ wiederholen.
 23. Wiederholen Sie die gesamte Messprozedur ab Schritt 1. für f_{RX} (middle) und f_{RX} (highest)



TIPP: für die Frequenzänderung kann am SMBV100A die erforderliche Schrittweite definiert werden. Dies erleichtert die manuelle Einstellung der Frequenzen erheblich. Dazu folgendermaßen vorgehen:

1. Taste *MENU* drücken und aus der Liste *RF/A Mod* auswählen
2. Aus der Liste *Frequency / Phase...* auswählen
3. Unter *Variation Step* die Schrittweite eingeben und aktivieren. In diesem Fall ist eine 1 MHz Schrittweite sinnvoll:



4. Mit den Pfeiltasten $\uparrow\downarrow$ oder dem Drehrad kann die Frequenz jetzt bequem in 1 MHz Schritten verändert werden.

6.2.2.3 C/I and Receiver Selectivity Performance Test 15, uncoded data at 1 Ms/s, Stable Modulation Index)

Dieser Test prüft das Verhalten eines BLE Empfängers in Anwesenheit eines Bluetooth Störers mit uncodierten Daten und 1 Ms/s Datenrate. Der Empfänger erwartet dabei einen Sender mit einem Stable Modulation Index. Der Störer wird auf der Empfangsfrequenz bzw. im Nachbarkanal gesendet. Zusätzlich wird die Spiegelfrequenzunterdrückung des Empfängers getestet.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.2.1 beschrieben, aber das Messobjekt so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A: Nutzsignal

- Wie unter 6.2.2.1 beschrieben.

Einstellungen am Signalgenerator #1 SMBV100A: Interferer

- Wie unter 6.2.2.1 beschrieben.

6.2.2.4 C/I and Receiver Selectivity Performance Test 21, uncoded data at 2 Ms/s, Stable Modulation Index)

Dieser Test prüft das Verhalten eines BLE Empfängers in Anwesenheit eines Bluetooth Störers mit uncodierten Daten und 2 Ms/s Datenrate. Der Empfänger erwartet dabei einen Sender mit einem Stable Modulation Index. Der Störer wird auf der Empfangsfrequenz bzw. im Nachbarkanal gesendet. Zusätzlich wird die Spiegelfrequenzunterdrückung des Empfängers getestet.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.2.2 beschrieben, aber das Messobjekt so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A: Nutzsignal

- Wie unter 6.2.2.2 beschrieben.

Einstellungen am Signalgenerator #1 SMBV100A: Interferer

- Wie unter 6.2.2.2 beschrieben.

6.2.2.5 C/I and Receiver Selectivity Performance Test 28, LE coded (S=2)

Dieser Test prüft das Verhalten eines BLE Empfängers in Anwesenheit eines Bluetooth Störers beim Empfang eines LE codierten Signals mit S=2. Der Störer wird

auf der Empfangsfrequenz bzw. im Nachbarkanal gesendet. Zusätzlich wird die Spiegelfrequenzunterdrückung des Empfängers getestet.

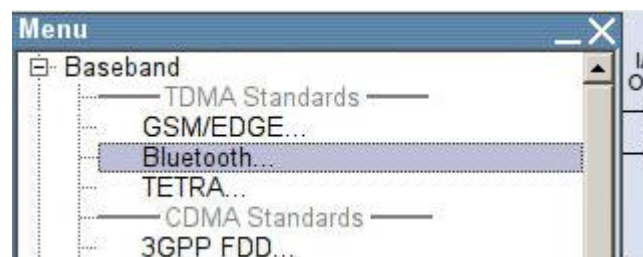
Einstellungen am Testobjekt:

1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Auf den Empfang von LE coded PHY mit Data Coding S=2 und einer Bitrate von 500 kB/s einstellen.
4. Den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit standard Modulationsindex erwartet wird.
5. Empfangsfrequenz einstellen.

Die am Testobjekt einzustellenden Empfangsfrequenzen sind in der Bluetooth Testspezifikation im Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* in den Tabellen 6.1 und 6.2 in Abhängigkeit der Test Cases für verschieden Gerätetypen angegeben. Der C/I and Receiver Selectivity Performance Test wird für alle drei RX-Frequenzen f_{RX} (low), f_{RX} (middle) und f_{RX} (highest) durchgeführt.

Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A: Nutzsignal

6. Taste *PRESET* drücken.
7. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



8. Einstellungen gemäß Bild 6-44 vornehmen. Für die *Sequence Length* muss der Wert mindestens 1500 betragen.

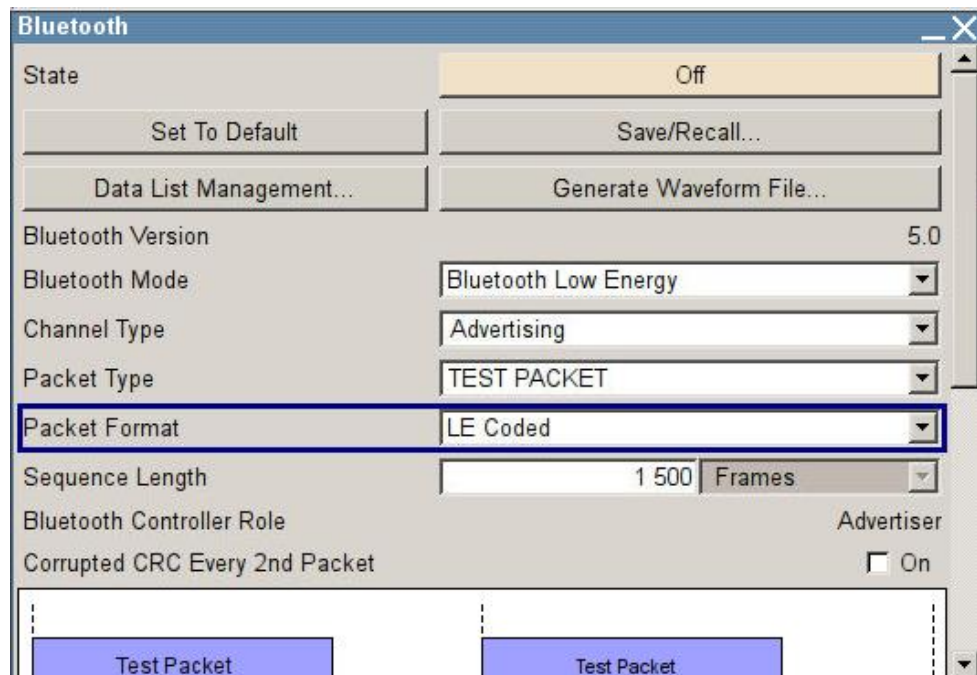
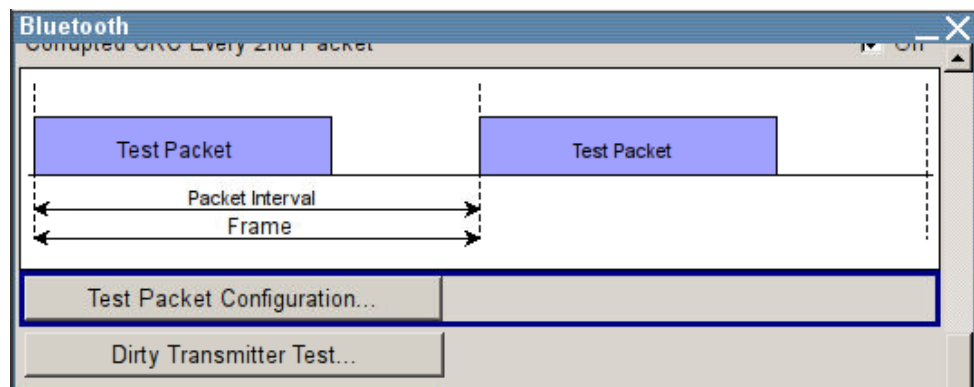


Bild 6-44: Generatoreinstellungen für das Nutzsignal

9. Im Bluetooth Fenster (Bild 6-44) mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Test Packet Configurationn...* auswählen:



10. *Symbols per a Bit* = 2 einstellen und sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload** Length einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

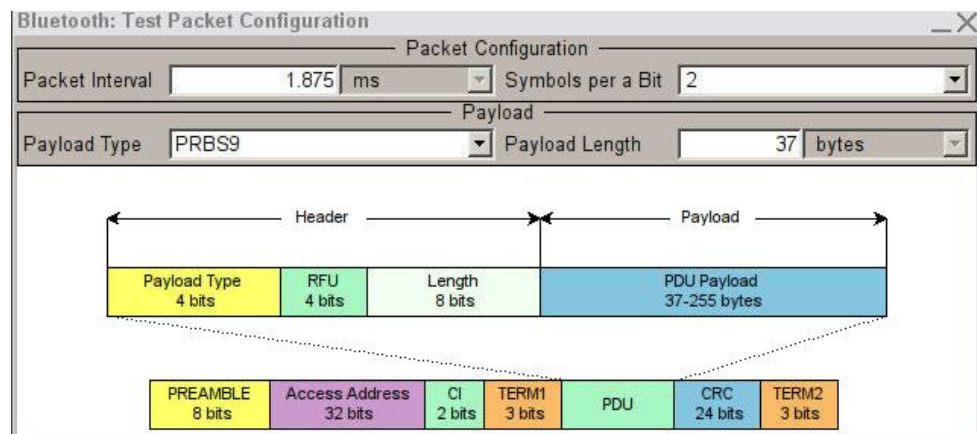
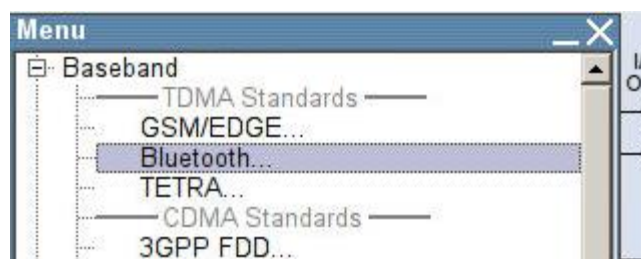


Bild 6-45: Test Packet Konfiguration

11. Das Fenster "Test Packet Configuration" schließen.
12. Taste *FREQ* drücken und den Frequenzwert für f_{RX} (low) gemäß Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* aus der Testspezifikation für den ersten Testdurchlauf eingeben. Für den Testdurchlauf zwei und drei entsprechend f_{RX} (middle) bzw. f_{RX} (highest) eingeben.
13. Taste *LEVEL* drücken und den Pegelwert $-72 \text{ dBm} + L_a$ eingeben (siehe auch [Tabelle 6-6](#) und [Bild 6-37](#)).
14. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.

Einstellungen am Signalgenerator #1 SMBV100A: Interferer

15. Taste *PRESET* drücken.
16. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



17. Einstellungen gemäß [Bild 6-46](#) vornehmen.

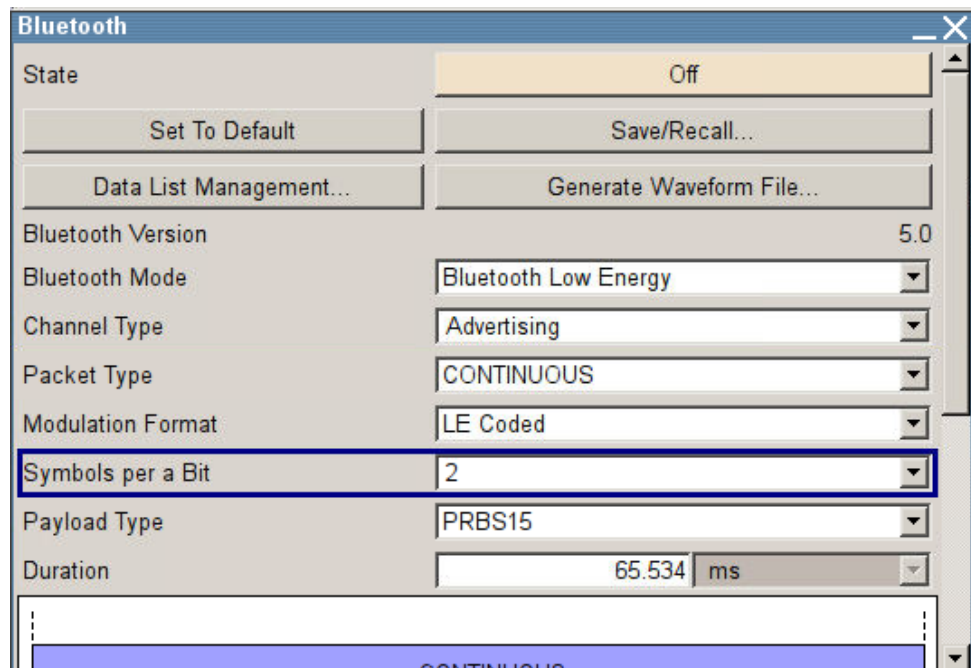


Bild 6-46: Generatoreinstellungen für das Störsignal

18. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *State* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.
19. $f_{\text{interfer}} = 2400$ MHz.
20. Frequenz und Pegelwerte gemäß [Tabelle 6-6](#) mit Taste *FREQ* bzw. Taste *LEVEL* nacheinander eingeben und den zugehörigen PER bestimmen. (siehe auch TIPP weiter unten)

Hinweis: f_{image} aus [Tabelle 6-6](#) wird vom Hersteller des BLE Empfängers für die momentan verwendete Symbolrate spezifiziert.

Es gelten folgende Bedingungen:

- 1. PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in *Tabelle 6.4: PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.


Bei den Signalstörabständen $\geq \pm 2$ MHz in dem Frequenzband von 2400 MHz bis 2483 MHz darf der genannte PER Grenzwert fünfmal überschritten werden. Für diese Werte die zugehörige Frequenz notieren. Erfüllen mehr als fünf Werte diese Bedingung nicht, hat das Messobjekt den Test nicht bestanden und der Test kann sofort abgebrochen werden.

Für alle notierten Frequenzen (Anzahl ≤ 5) den Test folgendermaßen wiederholen:

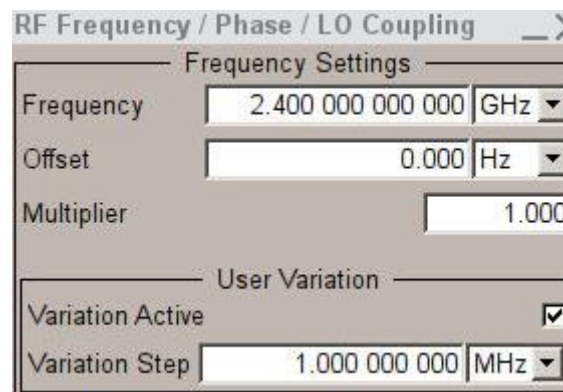
21. Den Pegel für das Störsignal am Signal Generator #1 auf den Wert von $-55 \text{ dBm} + L_a$. (entspricht C/I = -17 dB)

Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- 1. PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.
- 22. Prozedur ab Schritt 20. mit $f_{\text{interfer}} = 2400 \text{ MHz} + N \cdot \text{MHz}$ mit $N=1,2,3\dots 83$ wiederholen.
- 23. Wiederholen Sie die gesamte Messprozedur ab Schritt 1. für f_{RX} (middle) und f_{RX} (highest)

 TIPP: für die Frequenzänderung kann am SMBV100A die erforderliche Schrittweite definiert werden. Dies erleichtert die manuelle Einstellung der Frequenzen erheblich. Dazu folgendermaßen vorgehen:

1. Taste *MENU* drücken und aus der Liste *RF/A Mod* auswählen
2. Aus der Liste *Frequency / Phase ...* auswählen
3. Unter *Variation Step* die Schrittweite eingeben und aktivieren. In diesem Fall ist eine 1 MHz Schrittweite sinnvoll:



4. Mit den Pfeiltasten $\uparrow\downarrow$ oder dem Drehrad kann die Frequenz jetzt bequem in 1 MHz Schritten verändert werden.

6.2.2.6 C/I and Receiver Selectivity Performance Test 29, LE coded (S=8),

Dieser Test prüft das Verhalten eines BLE Empfängers in Anwesenheit eines Bluetooth Störers beim Empfang eines LE codierten Signals mit S=8. Der Störer wird auf der Empfangsfrequenz bzw. im Nachbarkanal gesendet. Zusätzlich wird die Spiegelfrequenzunterdrückung des Empfängers getestet.

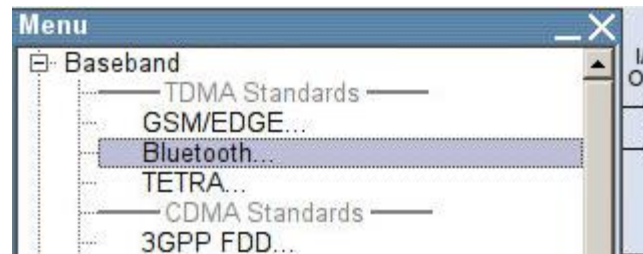
Einstellungen am Testobjekt:

1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Auf den Empfang von LE coded PHY mit Data Coding S=8 und einer Bitrate von 125 kB/s einstellen.

4. Den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit standard Modulationsindex erwartet wird.
5. Empfangsfrequenz einstellen.

Die am Testobjekt einzustellenden Empfangsfrequenzen sind in der Bluetooth Testspezifikation im Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* in den Tabellen 6.1 und 6.2 in Abhängigkeit der Test Cases für verschieden Gerätetypen angegeben. Der C/I and Receiver Selectivity Performance Test wird für alle drei RX-Frequenzen f_{RX} (low), f_{RX} (middle) und f_{RX} (highest) durchgeführt.

6. Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A: Nutzsignal
7. Taste *PRESET* drücken.
8. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



9. Einstellungen gemäß Bild 6-47 vornehmen. Für die *Sequence Length* muss der Wert mindestens 1500 betragen.

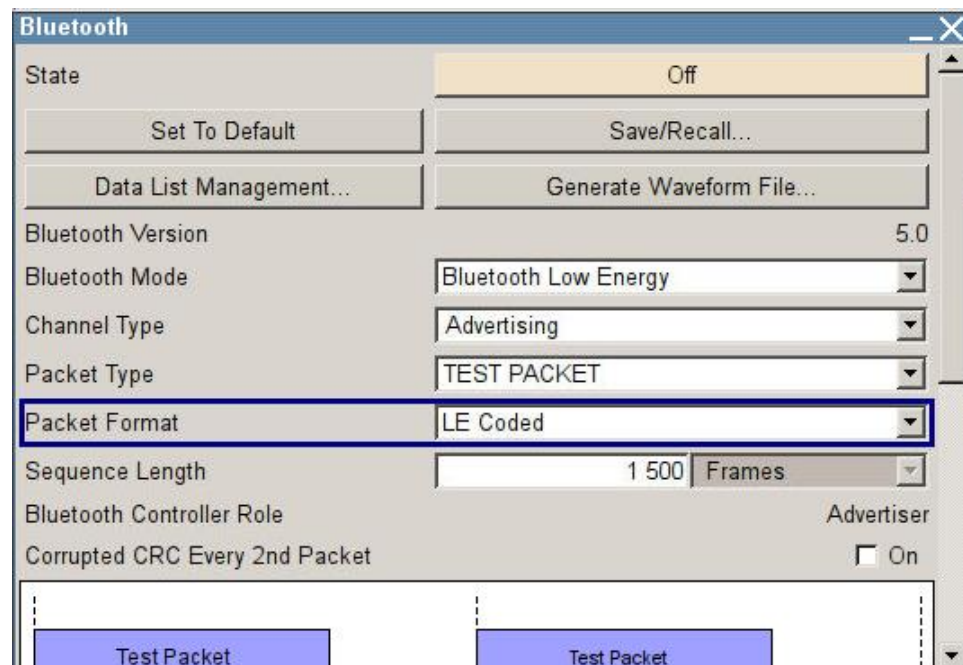
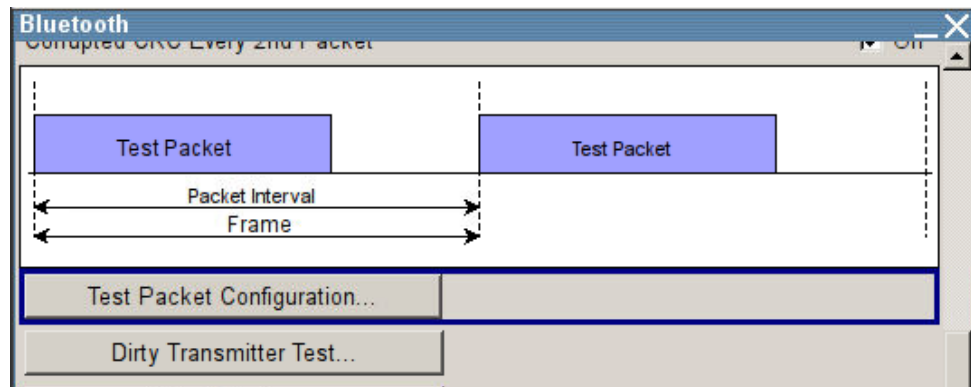


Bild 6-47: Generatoreinstellungen für das Nutzsignal

10. Im Bluetooth Fenster (Bild 6-44) mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Test Packet Configurationn...* auswählen:



11. *Symbols per a Bit* = 8 einstellen und sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload** Length einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

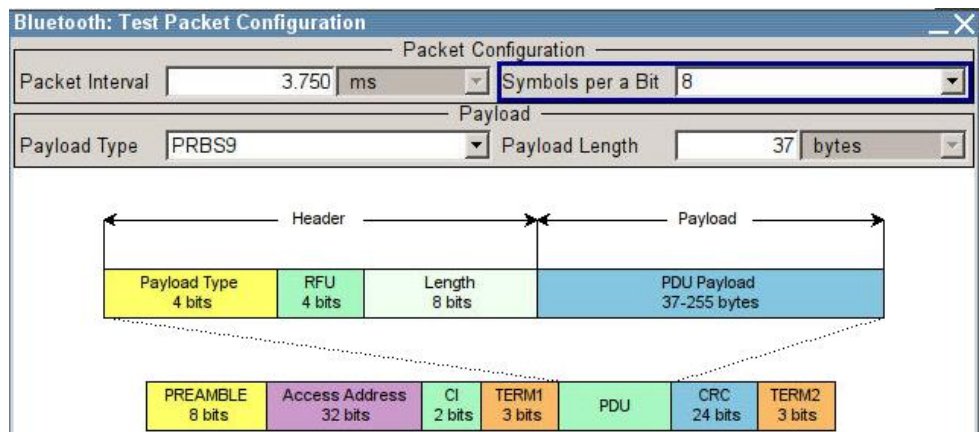
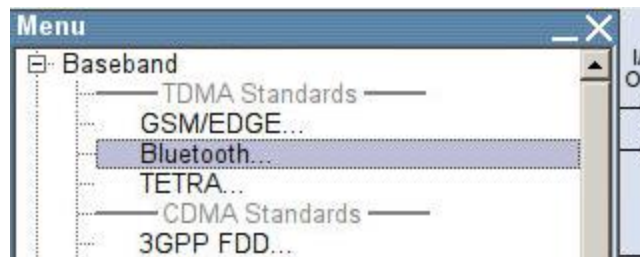


Bild 6-48: Test Packet Konfiguration

12. Das Fenster "Test Packet Configuration" schließen.
13. Taste *FREQ* drücken und den Frequenzwert für f_{RX} (low) gemäß Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* aus der Testspezifikation für den ersten Testdurchlauf eingeben. Für den Testdurchlauf zwei und drei entsprechend f_{RX} (middle) bzw. f_{RX} (highest) eingeben.
14. Taste *LEVEL* drücken und den Pegelwert $-79 \text{ dBm} + L_a$ eingeben (siehe auch [Tabelle 6-7](#) und [Bild 6-37](#)).
15. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.

Einstellungen am Signalgenerator #1 SMBV100A: Interferer

16. Taste *PRESET* drücken.
17. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



18. Einstellungen gemäß Bild 6-49 vornehmen.

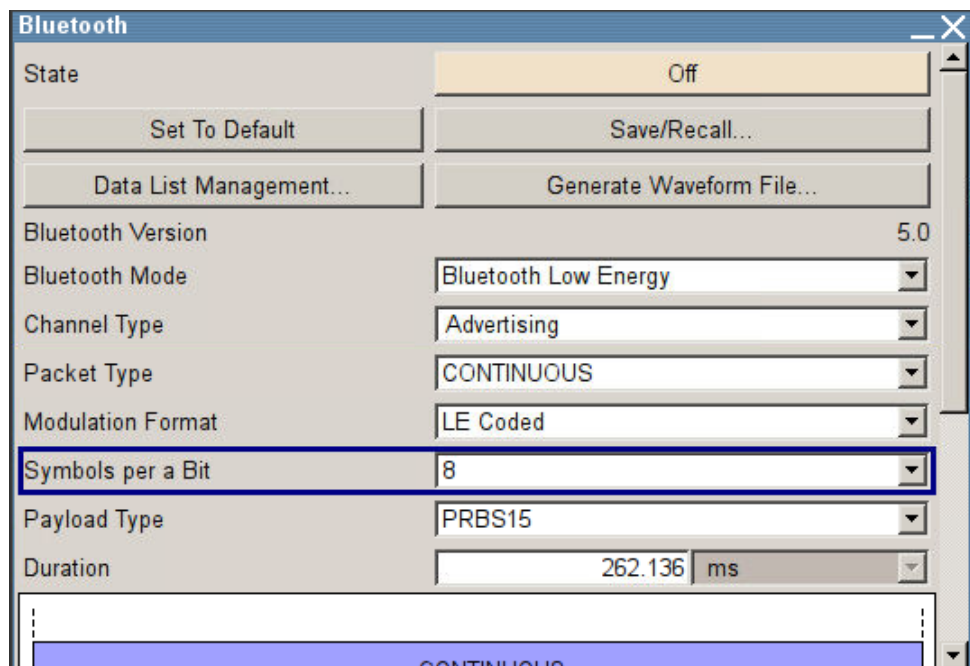


Bild 6-49: Generatoreinstellungen für das Störsignal

19. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.
20. $f_{\text{interfer}} = 2400 \text{ MHz}$.
21. Frequenz und Pegelwerte gemäß Tabelle 6-7 mit Taste *FREQ* bzw. Taste *LEVEL* nacheinander eingeben und den zugehörigen PER bestimmen. (siehe auch TIPP weiter unten)
- Hinweis: f_{image} aus Tabelle 6-7 wird vom Hersteller des BLE Empfängers für die momentan verwendete Symbolrate spezifiziert.

Es gelten folgende Bedingungen:

- PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.

Bei den Signalstörabständen $\geq \pm 2$ MHz in dem Frequenzband von 2400 MHz bis 2483 MHz darf der genannte PER Grenzwert fünfmal überschritten werden. Für diese Werte die zugehörige Frequenz notieren. Erfüllen mehr als fünf Werte diese Bedingung nicht, hat das Messobjekt den Test nicht bestanden und der Test kann sofort abgebrochen werden.

Für alle notierten Frequenzen (Anzahl ≤ 5) den Test folgendermaßen wiederholen:


22. Den Pegel für das Störsignal am Signal Generator #1 auf den Wert von -62 dBm + L_a . (entspricht C/I = -17 dB)

Folgende Bedingung muss erfüllt sein:

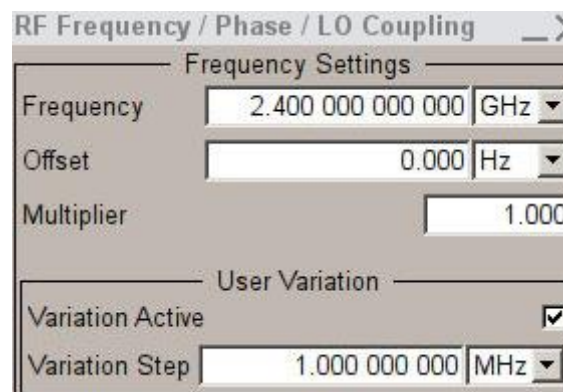
- PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.

23. Prozedur ab Schritt 22. mit $f_{interfer} = 2400 \text{ MHz} + N \cdot \text{MHz}$ mit $N=1,2,3...83$ wiederholen.

24. Wiederholen Sie die gesamte Messprozedur ab Schritt 1. für f_{RX} (middle) und f_{RX} (highest).

 TIPP: für die Frequenzänderung kann am SMBV100A die erforderliche Schrittweite definiert werden. Dies erleichtert die manuelle Einstellung der Frequenzen erheblich. Dazu folgendermaßen vorgehen:

1. Taste *MENU* drücken und aus der Liste *RF/A Mod* auswählen
2. Aus der Liste *Frequency / Phase...* auswählen
3. Unter *Variation Step* die Schrittweite eingeben und aktivieren. In diesem Fall ist eine 1 MHz Schrittweite sinnvoll:



4. Mit den Pfeiltasten $\uparrow\downarrow$ oder dem Drehrad kann die Frequenz jetzt bequem in 1 MHz Schritten verändert werden.

6.2.2.7 C/I and Receiver Selectivity Performance Test 34, LE coded (S=2), Stable Modulation Index

Dieser Test prüft das Verhalten eines BLE Empfängers in Anwesenheit eines Bluetooth Störers beim Empfang eines LE codierten Signals mit S=2. Der Empfänger erwartet dabei einen Sender mit Stable Modulation Index. Der Störer wird auf der Empfangsfrequenz bzw. im Nachbarkanal gesendet. Zusätzlich wird die Spiegelfrequenzunterdrückung des Empfängers getestet.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie in 6.2.2.5 beschrieben, aber den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A: Nutzsignal

- Wie in 6.2.2.5 beschrieben

Einstellungen am Signalgenerator #1 SMBV100A: Interferer

- Wie in 6.2.2.5 beschrieben

6.2.2.8 C/I and Receiver Selectivity Performance Test 34, LE coded (S=8), Stable Modulation Index

Dieser Test prüft das Verhalten eines BLE Empfängers in Anwesenheit eines Bluetooth Störers beim Empfang eines LE codierten Signals mit S=8. Der Empfänger erwartet dabei einen Sender mit Stable Modulation Index. Der Störer wird auf der Empfangsfrequenz bzw. im Nachbarkanal gesendet. Zusätzlich wird die Spiegelfrequenzunterdrückung des Empfängers getestet.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie in 6.2.2.6 beschrieben, aber den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A: Nutzsignal

- Wie in 6.2.2.6 beschrieben

Einstellungen am Signalgenerator #1 SMBV100A: Interferer

- Wie in 6.2.2.6 beschrieben

6.2.3 Blocking Performance

Bei diesem Test wird das Verhalten des Empfängers unter Einfluss eines nicht-Bluetooth Signals überprüft. Der Störer ist ein unmoduliertes Signal (CW) und bewegt sich dabei außerhalb der Bluetooth Frequenzbandes (2400 MHz bis 2483 MHz) mit unterschiedlichen Frequenzschritten (Frequency Resolution). Dazu wird ein Störer mit bestimmten Pegeln und Frequenzabständen zum gewünschten Bluetooth-Signal eingestellt und jeweils die PER-Messung am Nutzsignal durchgeführt (Bild 6-50).

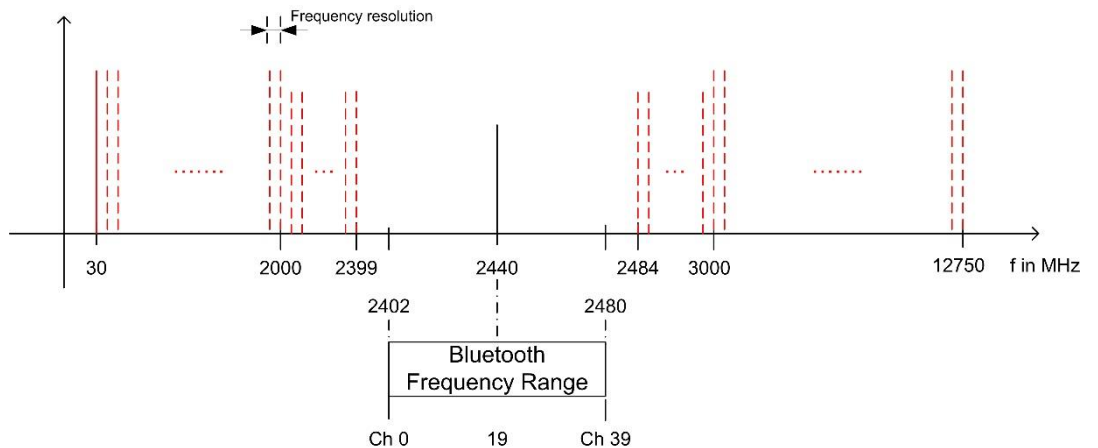


Bild 6-50: Blocking performance: Für einen Nutzkanal in Bandmitte wird die Packet Error Rate in Anwesenheit eines CW Störsignals außerhalb des Bluetooth Frequenzbandes gemessen.

Dieser Test ist für folgende PHYs vorgeschrieben:

Blocking und PHYs	
PHY	Testnummer
LE1M	04
LE2M	10
LE1M, SMI	16
LE2M, SMI	22

Tabelle 6-8: Verschiedene Tests für Blocking

Messaufbau:

Der Messaufbau in [Bild 6-51](#) beinhaltet zwei Signalgeneratoren, deren Signale über einen Power Combiner dem Messobjekt als Summensignal zugeführt wird. Dabei erzeugt Generator #1 ein unmoduliertes sinusförmiges Störsignal außerhalb des Bluetooth Frequenzbandes. Die Einstellungen des hier verwendeten Signalgenerators SGS100A erfolgt mit einem PC und der R&S SGMA-GUI Software über eine LAN oder USB Verbindung. Generator #2 liefert das BLE Nutzsignal mit PRBS9 dessen Frequenz in der Bandmitte des Bluetooth Frequenzbandes liegt. Damit sich die beiden Signal gegenseitig nicht beeinflussen, werden zwei geeignete Isolatoren eingesetzt. Für den Test sind zwei Durchläufe mit unterschiedlichen Parametern für das Störsignal erforderlich. Die Parameter sind in [Tabelle 6-9](#) und [Tabelle 6-10](#) dargestellt. Der zusätzliche Dämpfungswert L_a , verursacht durch Kabel, Isolator und Power Combiner ist bei allen Pegelinstellung einsprechend zu berücksichtigen.

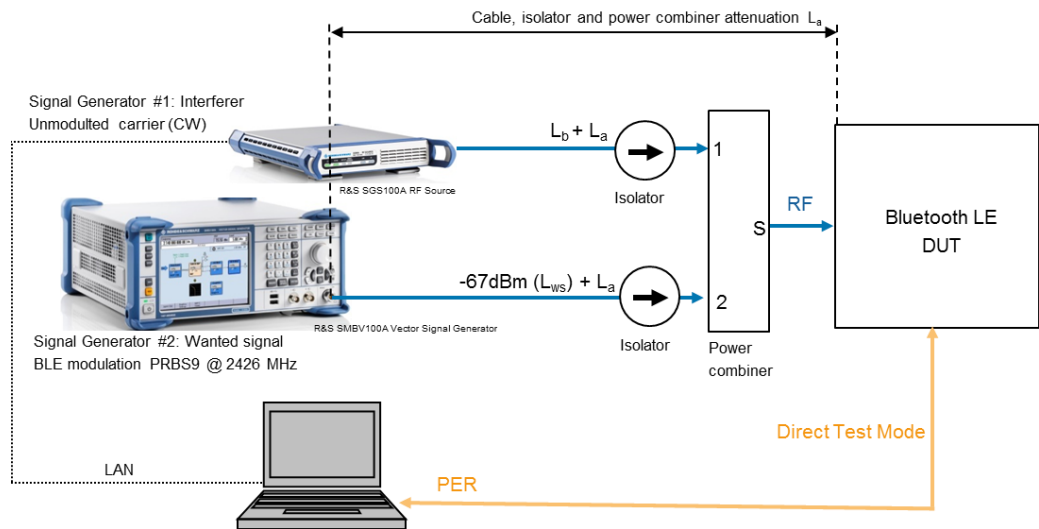


Bild 6-51: Messaufbau für die Blocking Performance Messung

Blocking settings			
Interference signal frequency, f_i	Wanted signal level, L_{ws}	Blocking signal level, L_b	Frequency resolution, f_{res}
30 MHz to 2000 MHz	-67 dBm	-30 dBm	10 MHz
2003 MHz to 2399 MHz	-67 dBm	-35 dBm	3 MHz
2484 MHz to 2997 MHz	-67 dBm	-35 dBm	3 MHz
3000 MHz to 12.75 GHz	-67 dBm	-30 dBm	25 MHz

Tabelle 6-9: Blocking Performance Parameter, 1. Testdurchlauf

Blocking settings			
Interference signal frequency, f_i	Wanted signal level, L_{ws}	Blocking signal level, L_b	Frequency resolution, f_{res}
30 MHz to 2000 MHz	-67 dBm	-50 dBm	10 MHz
2003 MHz to 2399 MHz	-67 dBm	-50 dBm	3 MHz
2484 MHz to 2997 MHz	-67 dBm	-50 dBm	3 MHz
3000 MHz to 12.75 GHz	-67 dBm	-50 dBm	25 MHz

Tabelle 6-10: Blocking Performance Parameter, 2. Testdurchlauf

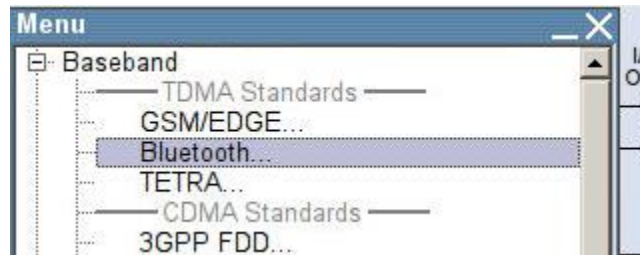
6.2.3.1 Blocking Performance Test 04 (LE1M, uncoded data at 1 Ms/s)

Dieser Test prüft ob ein BLE Empfänger beim Empfang von uncodierten Daten mit einer Symbolrate von 1 Ms/s, in Anwesenheit eines CW-Störers ausserhalb des Bluetooth Frequenzbandes, zufriedenstellend arbeitet.

Einstellungen am Testobjekt:

1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Symbolrate von 1 Ms/s einstellen.

4. Das Messobjekt so einstellen, dass ein Sender mit standard Modulation Index erwartet wird.
5. Einstellungen am SMBV100A #2 (Wanted Signal):
6. Taste *PRESET* drücken.
7. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



8. Einstellungen gemäß Bild 6-52 vornehmen. Für die *Sequence Length* muss der Wert mindestens 1500 betragen.

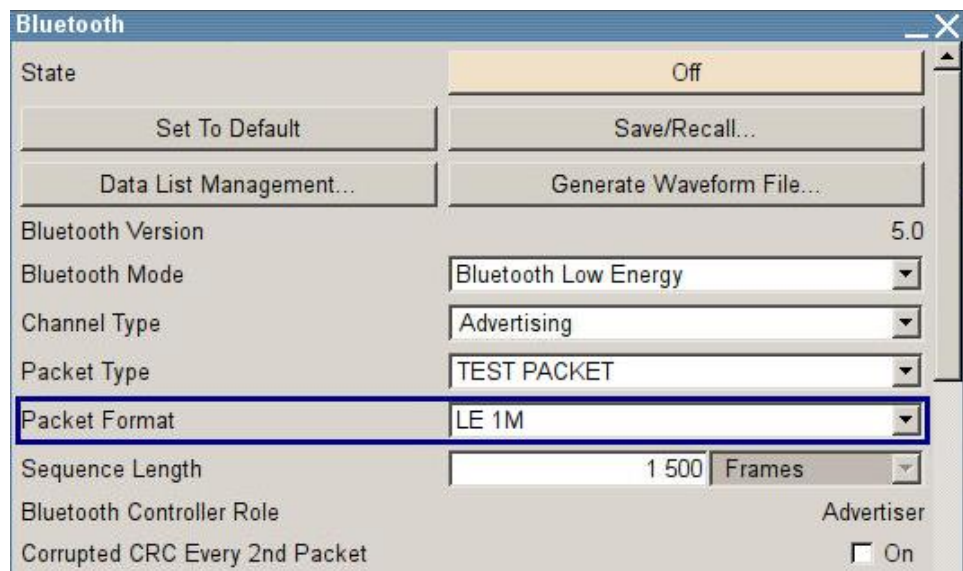
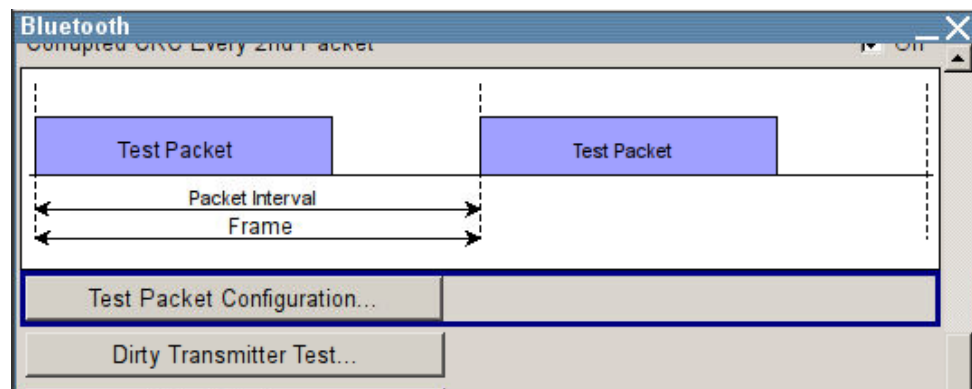


Bild 6-52: Generatoreinstellungen für Maximum Input Level Testnummer 04

9. Im Bluetooth Fenster (Bild 6-52) mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Test Packet Configuration...* auswählen:



10. Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

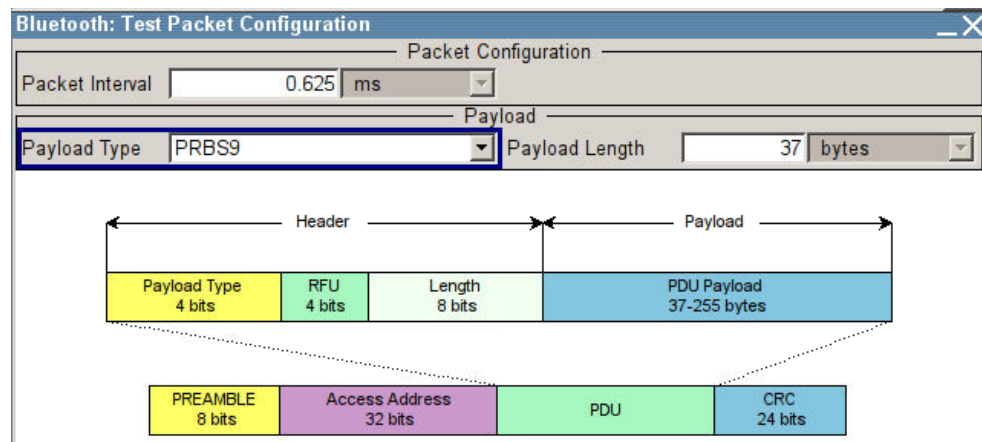


Bild 6-53: Test Packet Konfiguration

11. Das Fenster "Test Packet Configuration" schließen.
12. Taste *FREQ* drücken und den Frequenzwert f_{RX} (middle) gemäß Kapitel 6.2 *Frequencies for Testing* aus der Testspezifikation eingeben.
13. Taste *LEVEL* drücken und den Pegelwert $L_{WS} = -67 \text{ dBm} + L_a$ (siehe auch [Tabelle 6-9](#), [Tabelle 6-10](#) und [Bild 6-51](#)) eingeben.
14. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.

Einstellungen am SGS100A #1 (Interferer):

15. In der SGMA GUI Software einen *Preset* durchführen (unter SGS100A -> Preset)

Testdurchlauf 1:

16. Die Startfrequenz des Störers, $f_i = 30 \text{ MHz}$, unter *Freq* eingeben (Bild 6-54).

17. Unter *Level* den Pegelwert L_b aus Tabelle 6-9 entsprechend dem Frequenzbereich des Störsignals eingeben. Hier -30 dBm. Hinweis: Den Wert für L_a (Bild 6-51) bei der PegelEinstellung berücksichtigen (Bild 6-54).
18. Mit RF OFF das RF-Signal anschalten (Bild 6-54).

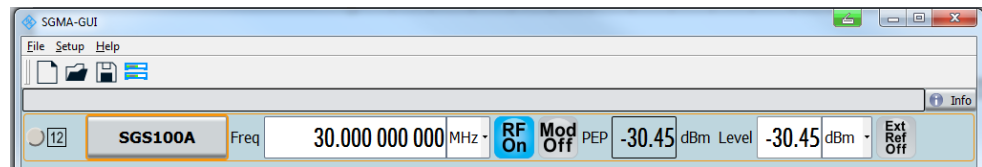


Bild 6-54: Signaleinstellung für das CW Störsignal am SGS100A mit der R&S SGMA GUI Software

19. PER Messung an allen Frequenzpunkten, die sich aus Tabelle 6-9 ergeben mit den zugehörigen Pegelwerten durchführen. Alle Frequenzen, welche die unten genannten Bedingungen für Testdurchlauf 1 nicht erfüllen, werden als $f_{b,1}$ notiert.

Testdurchlauf 2:

20. Wie Testdurchlauf 1 durchführen aber die Parameter für das Störsignal aus [Tabelle 6-10](#) verwenden. Alle Frequenzen welche die unten genannten Bedingungen für Testdurchlauf 2 nicht erfüllen werden als $f_{b,2}$ notiert.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Testdurchlauf 1 : PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben. Die Anzahl der notierten Werte $f_{b,1}$ darf nicht größer als 10 sein.
- Testdurchlauf 2 : PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben. Die Anzahl der notierten Werte $f_{b,2}$ darf nicht größer als 3 sein.

6.2.3.2 Blocking Performance Test 10 (LE2M, uncoded data at 2 Ms/s)

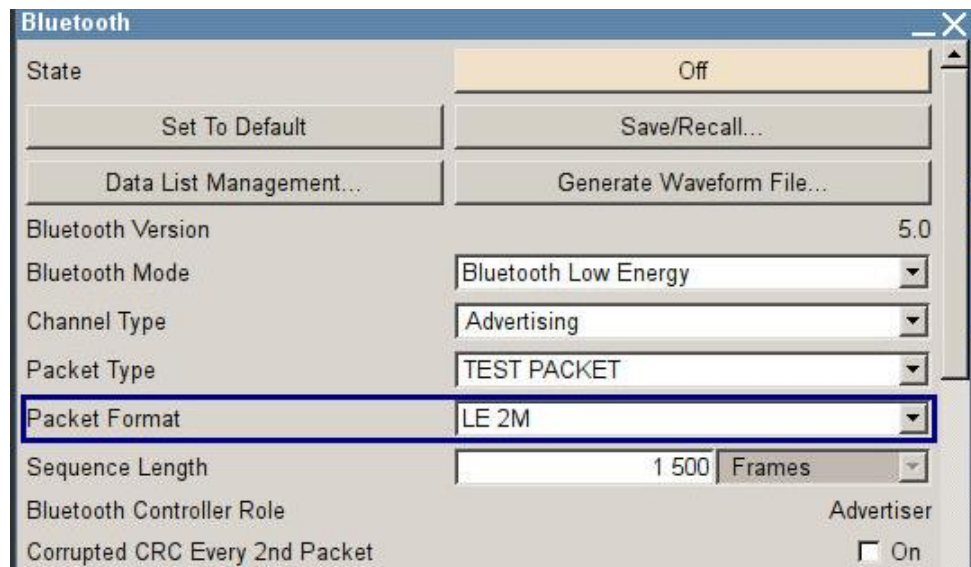
Dieser Test prüft ob ein BLE Empfänger beim Empfang von uncodierten Daten mit einer Symbolrate von 2 Ms/s, in Anwesenheit eines CW-Störers ausserhalb des Bluetooth Frequenzbandes, zufriedenstellend arbeitet.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter [6.2.3.1](#) beschrieben aber eine Symbolrate von 2 Ms/s einstellen.

Einstellungen am SMBV100A #2 (Wanted Signal):

- Wie unter [6.2.3.1](#) beschrieben, aber für das Paket Format LE2M einstellen:



Einstellungen am SGS100A #1 (Interferer):

- Wie unter 6.2.3.1 beschrieben

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.3.1 beschrieben

6.2.3.3 Blocking Performance Test 16 (LE1M, uncoded data at 1 Ms/s, Stable Modulation Index)

Dieser Test prüft ob ein BLE Empfänger beim Empfang von uncodierten Daten mit einer Symbolrate von 2 Ms/s, in Anwesenheit eines CW-Störers ausserhalb des Bluetooth Frequenzbandes, zufriedenstellend arbeitet. Der Empfänger erwartet dabei einen Sender mit Stable Modulation Index.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.3.1 beschrieben, aber das Messobjekt so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am SMBV100A #2 (Wanted Signal):

- Wie unter 6.2.3.1 beschrieben

Einstellungen am SGS100A #1 (Interferer):

- Wie unter 6.2.3.1 beschrieben

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.3.1 beschrieben

6.2.3.4 Blocking Performance Test 22 (LE2M, uncoded data at 2 Ms/s, Stable Modulation Index)

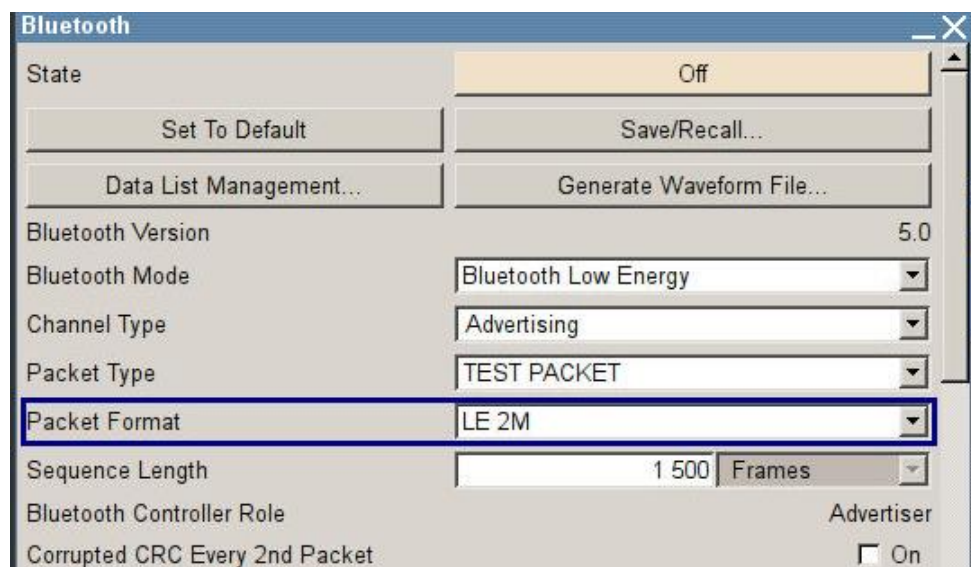
Dieser Test prüft ob ein BLE Empfänger beim Empfang von uncodierten Daten mit einer Symbolrate von 2 Ms/s, in Anwesenheit eines CW-Störers ausserhalb des Bluetooth Frequenzbandes, zufriedenstellend arbeitet. Der Empfänger erwartet dabei einen Sender mit Stable Modulation Index.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.3.1 beschrieben aber eine Symbolrate von 2 Ms/s einstellen und das Messobjekt so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am SMBV100A #2 (Wanted Signal):

- Wie unter 6.2.3.1 beschrieben, aber für das Paket Format LE2M einstellen:



Einstellungen am SGS100A #1 (Interferer):

- Wie unter 6.2.3.1 beschrieben

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.3.1 beschrieben

6.2.4 Intermodulation Performance

Bei diesem Test wird das Verhalten des Empfängers unter Einfluss zweier Signale überprüft. Der erste Störer ist ein unmoduliertes Signal (CW). Der zweite Störer ist ein kontinuierlich moduliertes Bluetooth-Signal. Dazu werden die Störer mit bestimmten Pegeln und Frequenzabständen zum gewünschten Bluetooth-Signal eingestellt und jeweils die PER-Messung am gewünschten Signal durchgeführt.

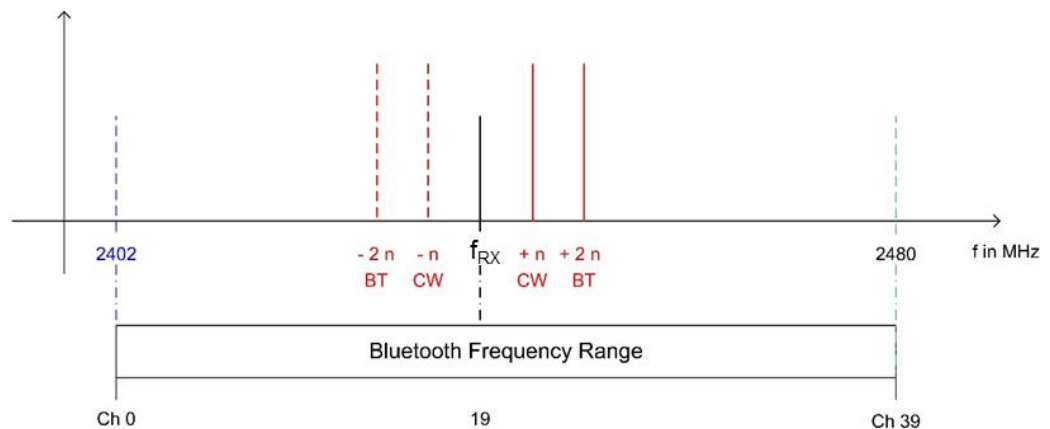


Bild 6-55: Intermodulation performance für LEM1: für drei Kanäle wird die PER in Anwesenheit eines CW Störers im Abstand $\pm n$ und eines Bluetooth Störers im Abstand von $\pm 2n$ gemessen.

Dieser Test ist für folgende PHYs vorgeschrieben:

Intermodulation und PHYs	
PHY	Testnummer
LE1M	05
LE2M	11
LE1M, SMI	17
LE2M, SMI	23

Tabelle 6-11: Verschiedene Tests für Intermodulation

Messaufbau:

Der Messaufbau in [Bild 6-56](#) beinhaltet drei Signalgeneratoren, deren Signale über einen Power Combiner dem Messobjekt als Summensignal zugeführt wird. Dabei erzeugt Generator #1 ein unmoduliertes sinusförmiges Störsignal (CW) im Abstand $\pm n \cdot 1$ MHz zur Empfangsfrequenz. (Hinweis: Die Einstellungen an Generator #1 werden mit der R&S SGMA GUI Software vorgenommen.) Generator #2 liefert ein kontinuierlich moduliertes BLE Störsignal im Abstand $\pm 2n \cdot 1$ MHz zur Empfangsfrequenz. Der Wert für n wird vom Hersteller des Empfängers spezifiziert ($n = 3, 4$ oder 5). Generator #3 liefert das BLE Nutzsignal mit PRBS9 bei den drei Empfangsfrequenzen f_{RX} (lowest), f_{RX} (middle) und f_{RX} (highest). Damit sich die drei Signale gegenseitig nicht beeinflussen, werden geeignete Isolatoren eingesetzt. Der zusätzliche Dämpfungswert L_a , verursacht durch Kabel, Isolator und Power Combiner ist bei allen Pegelinstellung einsprechend zu berücksichtigen.

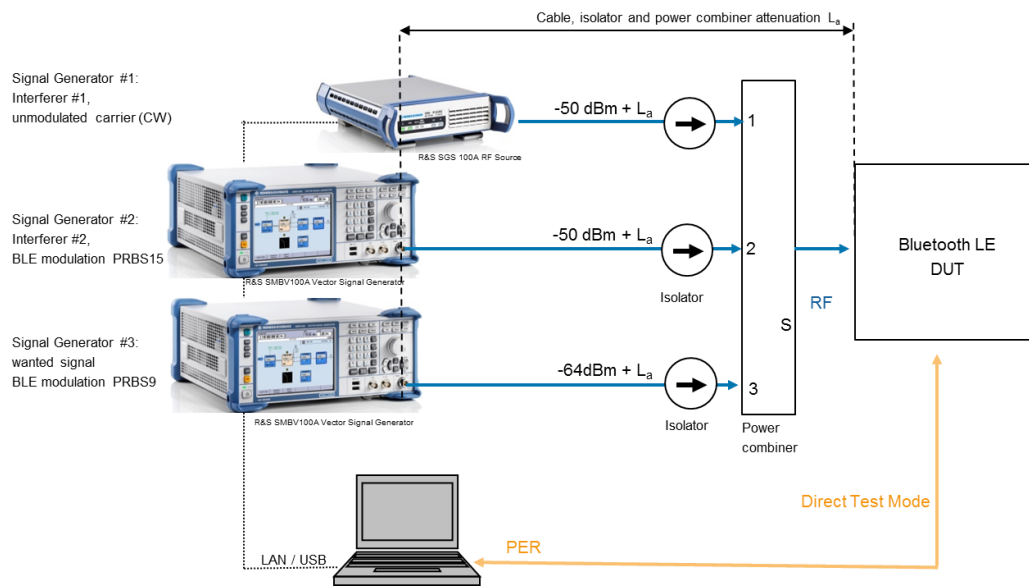


Bild 6-56: Messaufbau Intermodulation Performance Test

6.2.4.1 Intermodulation Performance Test 05 (LE1M, uncoded data at 1 Ms/s)

Dieser Test prüft ob die Intermodulation Performance des Empfängers bei einem uncodierten Empfangssignal mit 1 Ms/s zufriedenstellend ist.

Einstellungen am Testobjekt:

1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Symbolrate von 1 Ms/s einstellen.
4. Das Messobjekt so einstellen, dass ein Sender mit Standard Modulation Index erwartet wird.
5. Abhängig vom Testobjekt die Empfangsfrequenz f_{RX} (lowest) gemäß Test Spezifikation, Kapitel 6.2. Frequencies for Testing, einstellen.

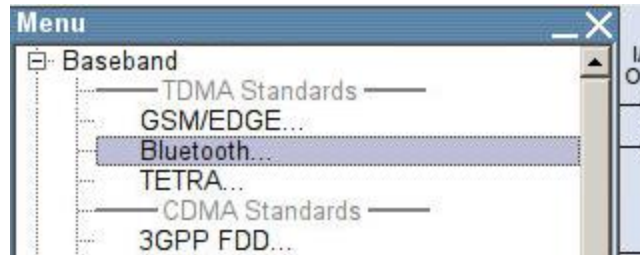
Einstellungen am Signalgenerator #1 SGS100A (Interferer #1):

6. In der R&S SGMA GUI Software einen *Preset* durchführen
7. Unter *Level* den Pegel von -50dB + L_a eingeben
8. Unter *Freq* den Wert f_{RX} (lowest) + $n \cdot 1$ MHz eingeben.
9. Mit *RF OFF* das Signal einschalten.

Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A (Interferer #2):

10. Taste *PRESET* drücken.

11. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



12. Einstellungen gemäß Bild 6-57 vornehmen.

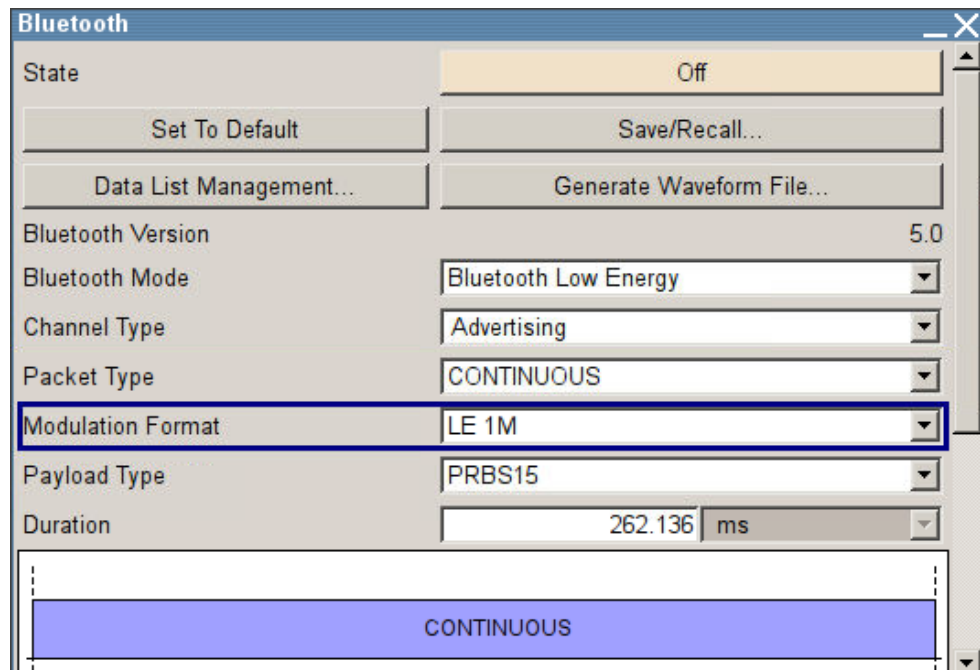
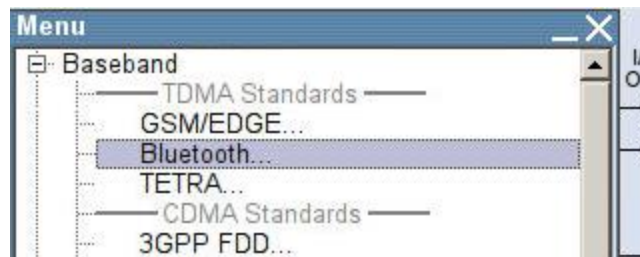


Bild 6-57: Generatoreinstellungen für das Störsignal

13. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten.
 14. Taste *LEVEL* drücken und -50dB +L_a eingeben,
 15. Taste *FREQ* drücken und den Wert $f_{RX} (lowest) + 2n \cdot 1$ MHz eingeben.
 16. Mit der Taste RF ON/OFF das Signal einschalten.

Einstellungen am Signalgenerator #3 SMBV100A (Nutzsignal):

17. Taste *PRESET* drücken.
 18. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



19. Einstellungen gemäß Bild 6-58 vornehmen. Für die *Sequence Length* muss der Wert mindestens 1500 betragen.

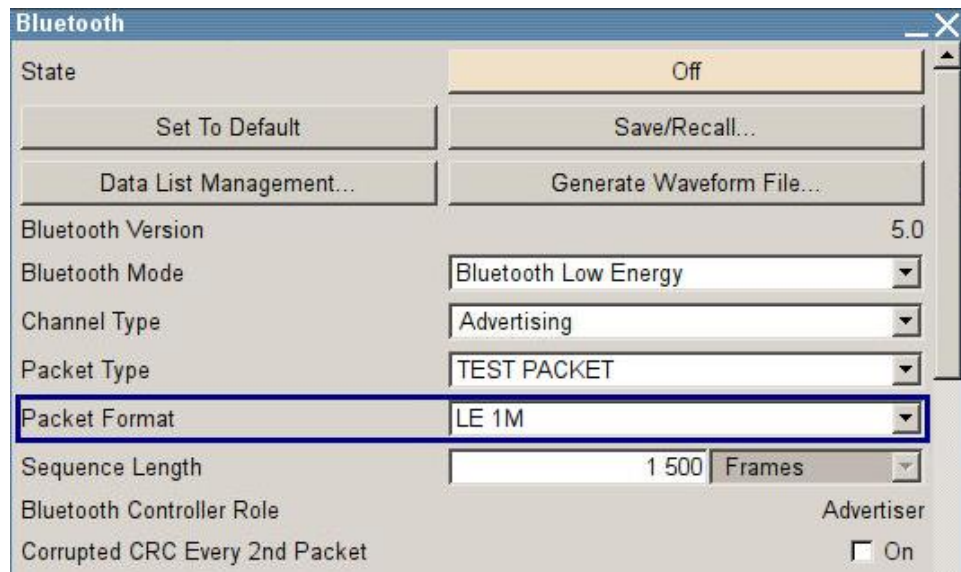
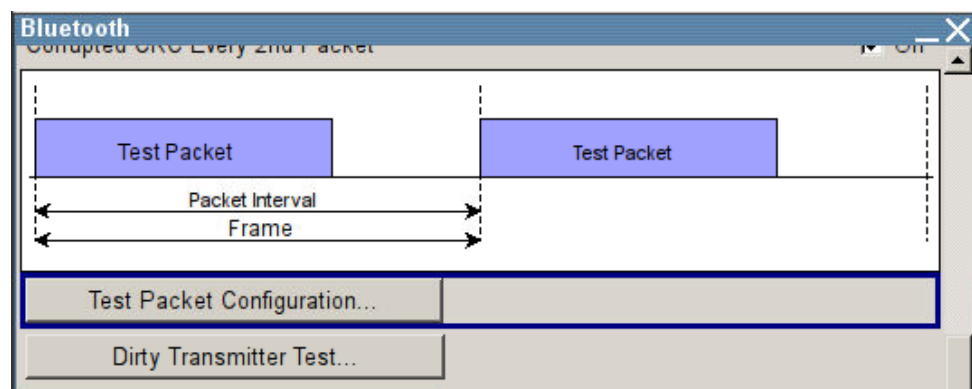


Bild 6-58: Generatoreinstellungen für das Nutzsignal

20. Im Bluetooth Fenster (Bild 6-58) mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Test Packet Configurationn...* auswählen:



21. Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

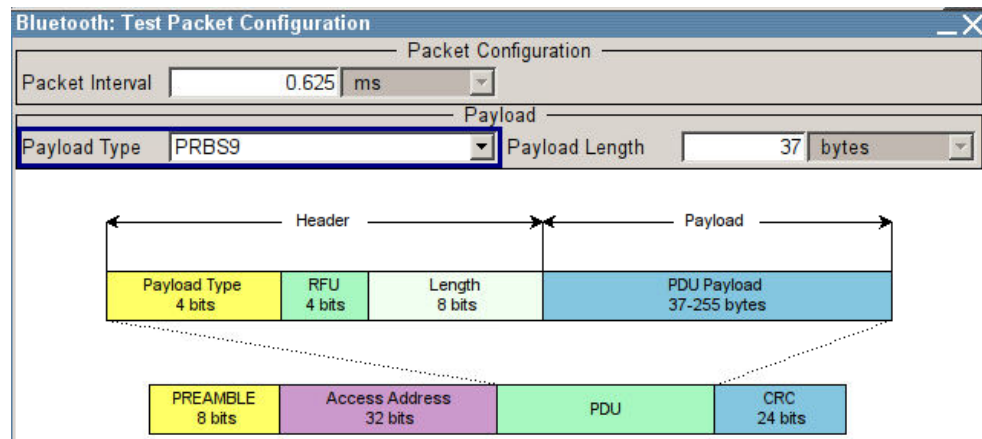


Bild 6-59: Test Packet Konfiguration

22. Das Fenster "Test Packet Configuration" schließen.
23. Taste *FREQ* drücken und den Wert für f_{RX} (lowest) eingeben.
24. Taste *LEVEL* drücken und den Pegelwert $-64 \text{ dBm} + L_a$ eingeben.
25. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.
26. PER bestimmen
27. Die Frequenz von Signalgenerator #1 auf f_{RX} (lowest) - $n \cdot 1$ MHz einstellen.
28. Die Frequenz von Signalgenerator #2 auf f_{RX} (lowest) - $2n \cdot 1$ MHz einstellen.
29. PER bestimmen

Folgende Bedingung muss für alle Frequenzeinstellungen erfüllt sein:

1. PER < 30.8 % (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.
30. Den oben beschriebenen Test für f_{RX} (middle) und f_{RX} (highest) wiederholen.

6.2.4.2 Intermodulation Performance Test 11 (LE2M, uncoded data at 2 Ms/s)

Dieser Test prüft ob die Intermodulation Performance des Empfängers bei einem uncodierten Empfangssignal mit 2 Ms/s zufriedenstellend ist.

Einstellungen am Testobjekt:

1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Symbolrate von 2 Ms/s einstellen.
4. Das Messobjekt so einstellen, dass ein Sender mit Standard Modulation Index erwartet wird.

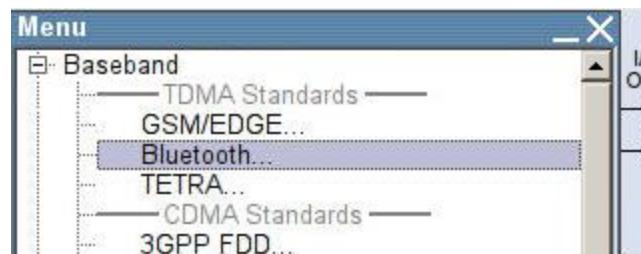
5. Abhängig vom Testobjekt die Empfangsfrequenz f_{RX} (lowest) gemäß Test Spezifikation, Kapitel 6.2. Frequencies for Testing, einstellen.

Einstellungen am Signalgenerator #1 SGS100A (Interferer #1):

6. In der R&S SGMA GUI Software einen *Preset* durchführen
7. Unter *Level* den Pegel von $-50\text{dB} + L_a$ eingeben
8. Unter *Freq* den Wert f_{RX} (lowest) + $n \cdot 2$ MHz eingeben.
9. Mit *RF OFF* das Signal einschalten.

Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A (Interferer #2):

10. Taste *PRESET* drücken.
11. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



12. Einstellungen gemäß [Bild 6-60](#) vornehmen.

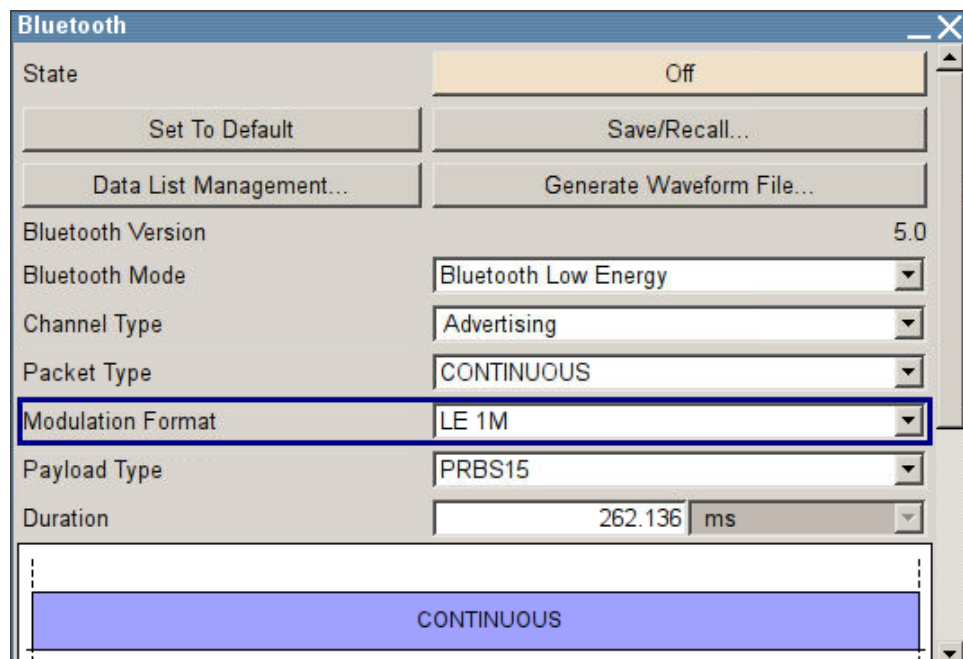
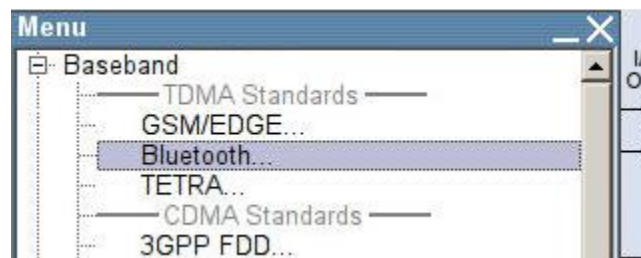


Bild 6-60: Generatoreinstellungen für das Störsignal

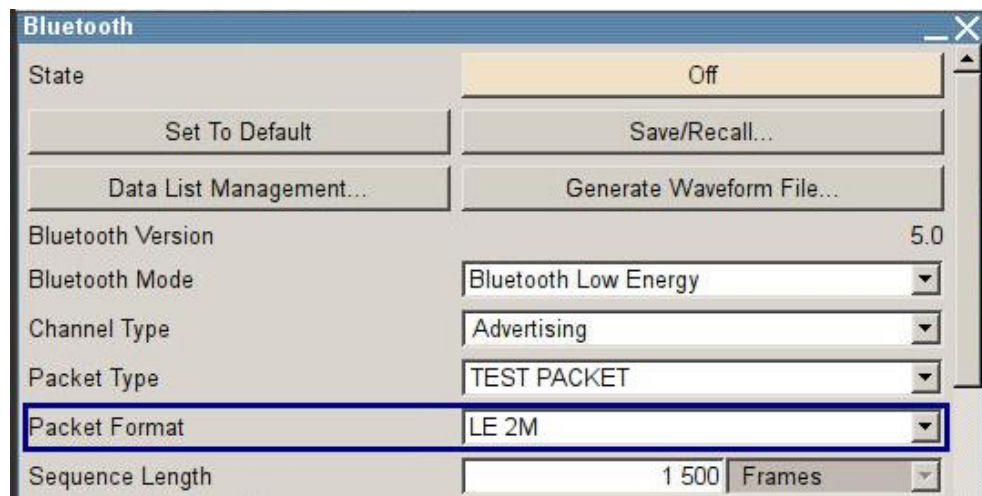
13. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten.
14. Taste *LEVEL* drücken und -50dB + L_a eingeben,
15. Taste *FREQ* drücken und den Wert f_{RX} (lowest) + $2n \cdot 2$ MHz eingeben.
16. Mit der Taste RF ON/OFF das Signal einschalten.

Einstellungen am Signalgenerator #3 SMBV100A (Nutzsignal):

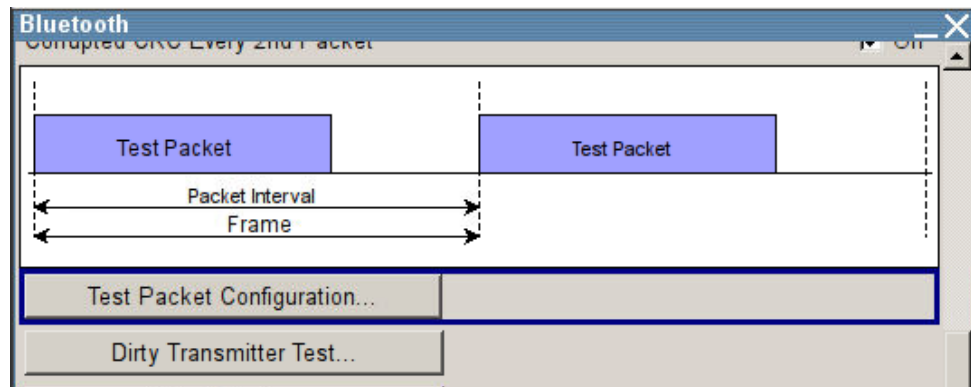
17. Taste *PRESET* drücken.
18. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



19. Einstellungen gemäß Bild 6-61 vornehmen. Für die *Sequence Length* muss der Wert mindestens 1500 betragen.



20. Bild 6-61: Generatoreinstellungen für das Nutzsignal
21. Im Bluetooth Fenster (Bild 6-61) mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scollen und *Test Packet Configurationn...* auswählen:



22. Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

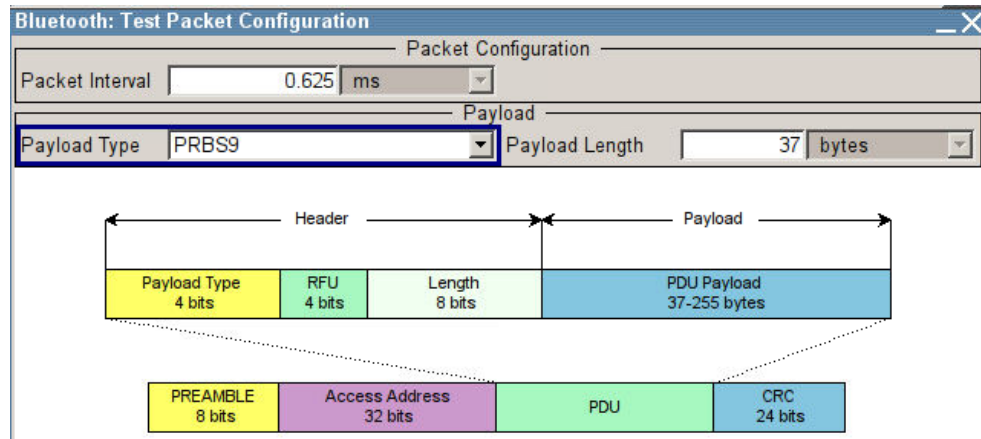


Bild 6-62: Test Packet Konfiguration

23. Das Fenster "Test Packet Configuration" schließen.
24. Taste *FREQ* drücken und den Wert für f_{RX} (lowest) eingeben.
25. Taste *LEVEL* drücken und den Pegelwert $-64\text{dBm} + L_a$ eingeben.
26. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten.
27. Die Frequenz von Signalgenerator #1 auf f_{RX} (lowest) $-n \cdot 1$ MHz einstellen.
28. Die Frequenz von Signalgenerator #2 auf f_{RX} (lowest) $-2n \cdot 1$ MHz einstellen.

Folgende Bedingung muss für alle Frequenzeinstellungen erfüllt sein:

1. $PER < 30.8\%$ (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete). Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.
29. Den oben beschriebenen Test für f_{RX} (middle) und f_{RX} (highest) wiederholen.

6.2.4.3 Intermodulation Performance Test 17 (LE1M, uncoded data at 1 Ms/s, Stable Modulation Index)

Dieser Test prüft ob die Intermodulation Performance des Empfängers bei einem uncodierten Empfangssignal mit 1 Ms/s zufriedenstellend ist. Der Empfänger erwartet einen Sender mit Stable Modulation Index.

Einstellungen am Testobjekt:

- ▮ Wie unter 6.2.4.1 beschrieben, aber den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am Signalgenerator # 1 SGS100A (Interferer #1):

- ▮ Wie unter 6.2.4.1 beschrieben.

Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A (Interferer #2):

- ▮ Wie unter 6.2.4.1 beschrieben

Einstellungen am Signalgenerator #3 SMBV100A (Nutzsignal):

- ▮ Wie unter 6.2.4.1 beschrieben

Folgende Bedingung muss für alle Frequenzeinstellungen erfüllt sein:

- ▮ Wie unter 6.2.4.1 beschrieben

6.2.4.4 Intermodulation Performance Test 23 (LE2M, uncoded data at 2 Ms/s, Stable Modulation Index)

Dieser Test prüft ob die Intermodulation Performance des Empfängers bei einem uncodierten Empfangssignal mit 2 Ms/s zufriedenstellend ist. Der Empfänger erwartet einen Sender mit Stable Modulation Index.

Einstellungen am Testobjekt:

Wie unter 6.2.4.2 beschrieben, aber den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am Signalgenerator #1 SGS100A (Interferer #1):

- ▮ Wie unter 6.2.4.2 beschrieben.

Einstellungen am Signalgenerator #2 SMBV100A (Interferer #2):

- ▮ Wie unter 6.2.4.2 beschrieben

Einstellungen am Signalgenerator #3 SMBV100A (Nutzsignal):

- Wie unter 6.2.4.2 beschrieben

Folgende Bedingung muss für alle Frequenzeinstellungen erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.4.2 beschrieben

6.2.5 Maximum Input Signal Level

Dieser Test prüft ob der Empfänger unterschiedliche Signal bei einem hohen Eingangspegel noch richtig demodulieren kann.

Messaufbau:

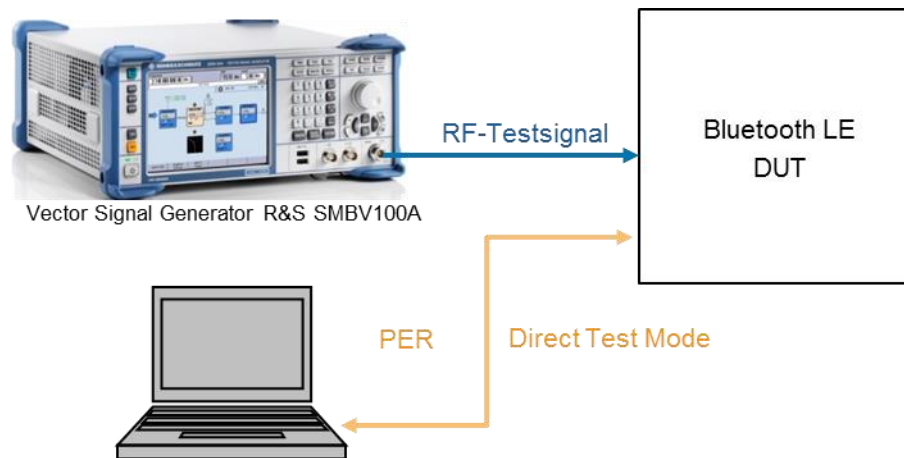


Bild 6-63: Testsetup mit einem Signalgenerator und einem PC für die Signalisierung und Auslesen der PER

Dieser Test ist für folgende PHYs vorgeschrieben:

Maximum Input Signal Level und PHYs	
PHY	Testnummer
LE1M	06
LE2M	12
LE1M, SMI	18
LE2M, SMI	24

Tabelle 6-12: Verschiedene Tests für Maximum Input Signal Level

6.2.5.1 Maximum Input Level Test 06 (LE1M, uncoded data at 1 Ms/s)

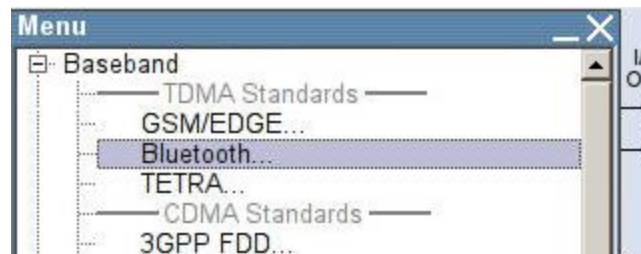
Dieser Test prüft ob der Empfänger ein Signal mit 1 Ms/s bei einem hohen Eingangspegel noch richtig demodulieren kann.

Einstellungen am Testobjekt:

1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Symbolrate von 1 Ms/s einstellen.
4. Das Messobjekt so einstellen, dass ein Sender mit Standard Modulation Index erwartet wird.
5. Abhängig vom Testobjekt die Empfangsfrequenz f_{RX} (lowest) gemäß Test Spezifikation, Kapitel 6.2. Frequencies for Testing, einstellen.

Einstellungen am SMBV100A:

6. Taste *PRESET* drücken
7. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



8. Einstellungen gemäß Bild 6-64 vornehmen. Für die *Sequence Length* muss der Wert mindestens 1500 betragen.

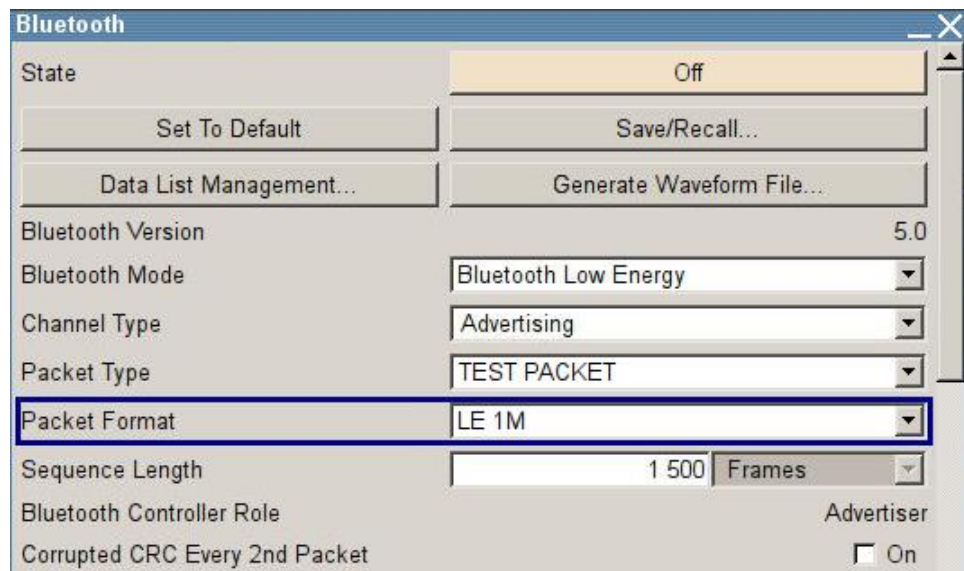
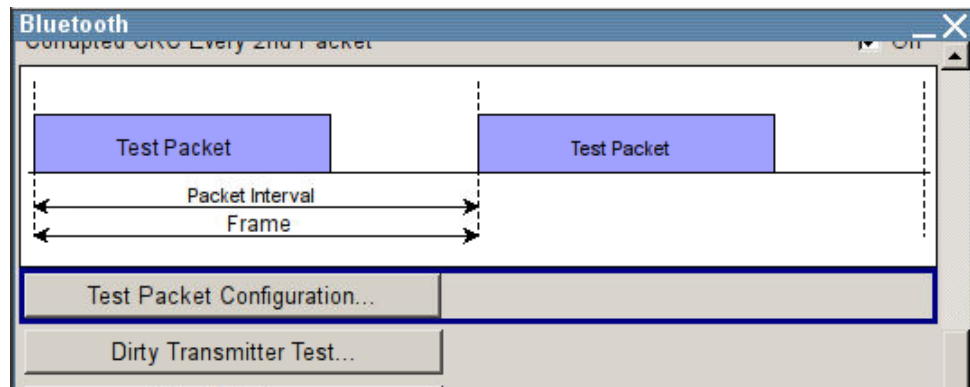


Bild 6-64: Generatoreinstellungen für Maximum Input Level Testnummer 06

9. Im Bluetooth Fenster (Bild 6-64) mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Test Packet Configuration...* auswählen:



10. Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die **Payload Length** auf 37 byte eingestellt:

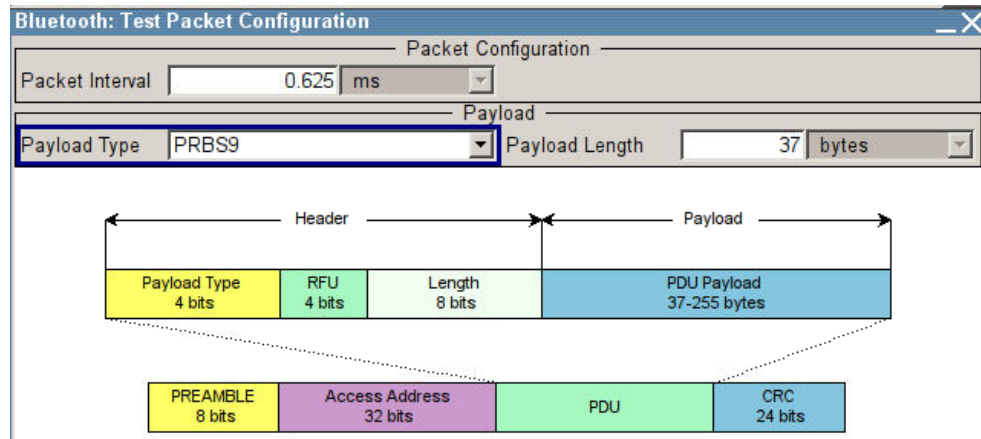


Bild 6-65: Test Packet Konfiguration

11. Das Fenster "Test Packet Configuration" schließen.
12. Taste *FREQ* drücken und die vorher eingestellte Empfangsfrequenz des Messobjektes eingeben.
13. Taste *LEVEL* drücken und -10 dBm einstellen.
14. Hinweis: Da die Testspezifikation den Pegel am Eingang des Bluetooth Empfängers definiert, muss eine zusätzlich vorhandene Kabeldämpfung bei der Eingabe des Reference Levels entsprechend berücksichtigt werden.
15. Die Berechnung des Bluetooth Testsignals mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten. Das Messobjekt empfängt nun ein Testsignal mit einem Pegel von -10 dBm.

Nach dem Empfang des Testsignals durch den Bluetooth Empfänger muss folgende Bedingungen erfüllt sein:

- $PER < 30.8 \%$ (für Payload Length = 37Byte und mindestens 1500 Pakete)

Für andere Payloadlängen ist die PER Grenzwert in Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Test Spezifikation angegeben.

16. Den Test mit zwei weiteren Empfangsfrequenzen f_{TX} (middle) und f_{TX} (highest) gemäß Kapitel 6.2. *Frequencies for Testing* durchführen.

6.2.5.2 Maximum Input level Test 12 (LE2M, uncoded data at 2 Ms/s)

Dieser Test prüft ob der Empfänger ein Signal mit 2 Ms/s bei einem hohen Eingangspegel noch richtig demodulieren kann.

Einstellungen am Testobjekt:

- ▮ Wie unter 6.2.5.1 beschrieben aber Symbolrate von 2 Ms/s einstellen.

Einstellungen am SMBV100A:

- ▮ Wie unter 6.2.5.1 beschrieben aber unter *Packet Format* LE2M einstellen:

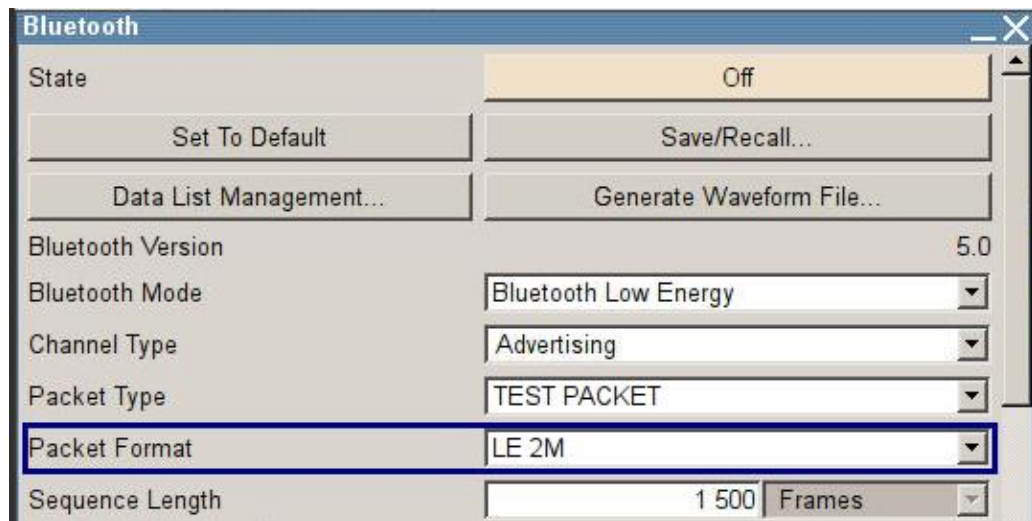


Bild 6-66: Generatoreinstellungen für Maximum Input Level Testnummer 12

Nach dem Empfang des Testsignals durch den Bluetooth Empfänger muss folgende Bedingungen erfüllt sein:

- ▮ Wie unter 6.2.5.1 beschrieben
- ▮ Den Test mit zwei weiteren Empfangsfrequenzen f_{TX} (middle) und f_{TX} (highest) gemäß Kapitel 6.2. *Frequencies for Testing* durchführen.

6.2.5.3 Maximum Input level Test 18 (LE1M, uncoded data at 1 Ms/s, Stable Modulation Index)

Dieser Test prüft ob das Messobjekt, welches einen Sender mit Stable Modulation Index erwartet, ein Signal mit 1 Ms/s bei einem hohen Eingangspegel noch richtig demodulieren kann.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.5.1 beschrieben aber das Messobjekt so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am SMBV100A:

- Wie unter 6.2.5.1 beschrieben.

Nach dem Empfang des Testsignals durch den Bluetooth Empfänger muss folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.5.1 beschrieben
- Den Test mit zwei weiteren Empfangsfrequenzen f_{TX} (middle) und f_{TX} (highest) gemäß Kapitel 6.2. *Frequencies for Testing* durchführen.

6.2.5.4 Maximum Input level Test 24 (LE2M, uncoded data at 2 Ms/s, Stable Modulation Index)

Dieser Test prüft ob das Messobjekt, welches einen Sender mit Stable Modulation Index erwartet, ein Signal mit 2 Ms/s bei einem hohen Eingangspegel noch richtig demodulieren kann.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.5.1 beschrieben aber Symbolrate von 2 Ms/s einstellen und das Messobjekt so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am SMBV100A:

- Wie unter 6.2.5.1 beschrieben aber unter *Packet Format* LE2M einstellen:

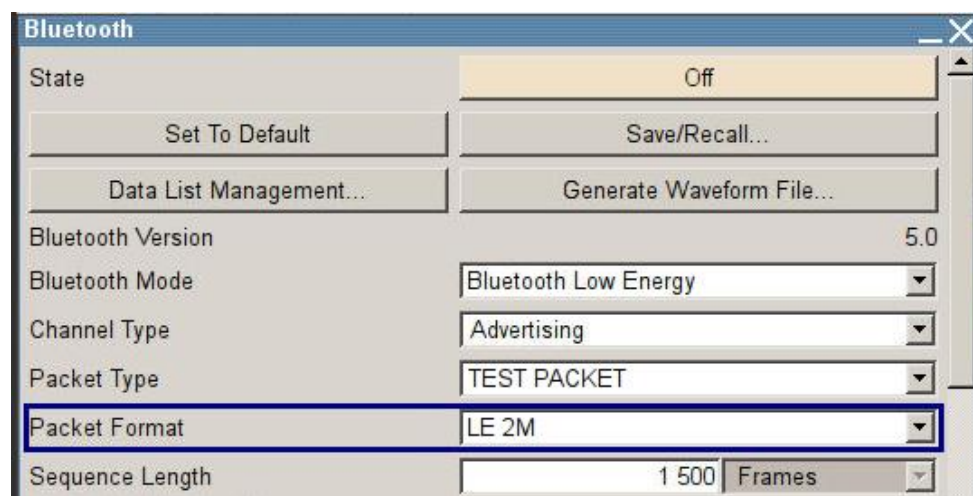


Bild 6-67: Generatoreinstellungen für Maximum Input Level Testnummer 18

Nach dem Empfang des Testsignals durch den Bluetooth Empfänger muss folgende Bedingungen erfüllt sein:

- ▮ Wie unter 6.2.5.1 beschrieben
- ▮ Den Test mit zwei weiteren Empfangsfrequenzen f_{TX} (middle) und f_{TX} (highest) gemäß Kapitel 6.2. *Frequencies for Testing* durchführen.

6.2.6 PER Report Integrity

Bei diesem Test sendet der Signalgenerator in jedem zweiten Paket eine nicht-korrekte CRC (Cyclic Redundancy Check) aus. Anschließend wird die PER ausgewertet.

Dieser Test ist für alle PHYs vorgeschrieben:

PER Report Integrity und PHYs	
PHY	Testnummer
LE1M	07
LE2M	13
LE1M, SMI	19
LE2M, SMI	25
LE coded, S=2	30
LE coded, S=8	31
LE coded, S=2, SMI	36
LE coded, S=8, SMI	37

Tabelle 6-13: Verschiedene Tests für PER Report Integrity

Messaufbau:

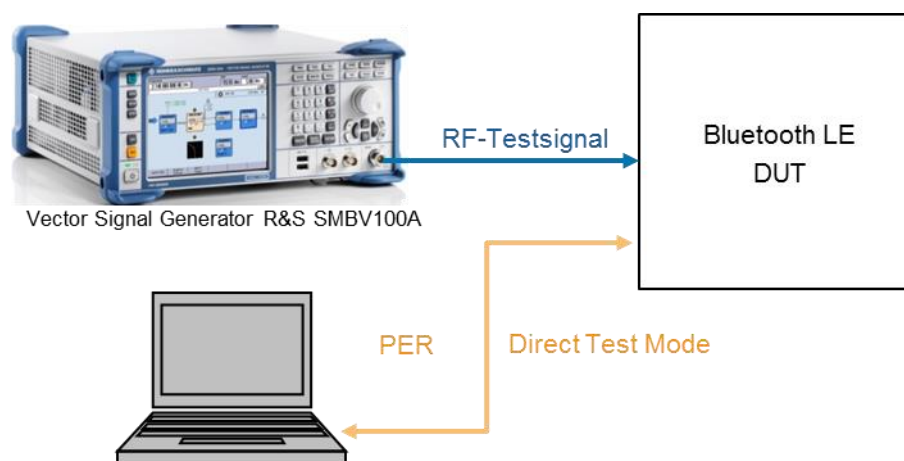


Bild 6-68: Testsetup mit einem Signalgenerator und einem PC für die Signalisierung und Auslesen der PER

6.2.6.1 PER Report Integrity Test 07 (LE1M, uncoded data at 1 Ms/s)

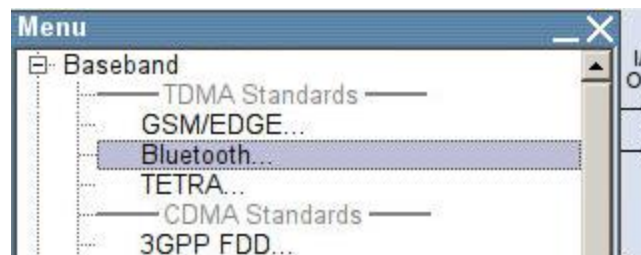
Dieser Test verifiziert ob der PER-Berichtsmechanismus im Messobjekt die korrekte Anzahl der empfangenen Pakete mit uncodierten Daten bei 1 Ms / s meldet.

Einstellungen am Testobjekt:

1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Symbolrate von 1 Ms/s einstellen.
4. Den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Standard Modulations Index erwartet wird.
5. Abhängig vom Testobjekt die Empfangsfrequenz f_{rx} (middle) gemäß Kapitel 6.2. Frequencies for Testing einstellen.

Einstellungen am SMBV100A:

6. Taste *PRESET* drücken
7. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



8. Einstellungen gemäß Bild 6-69 vornehmen. Für die *Sequence Length* einen beliebigen zufälligen Wert von 100 bis 1500 eintragen.

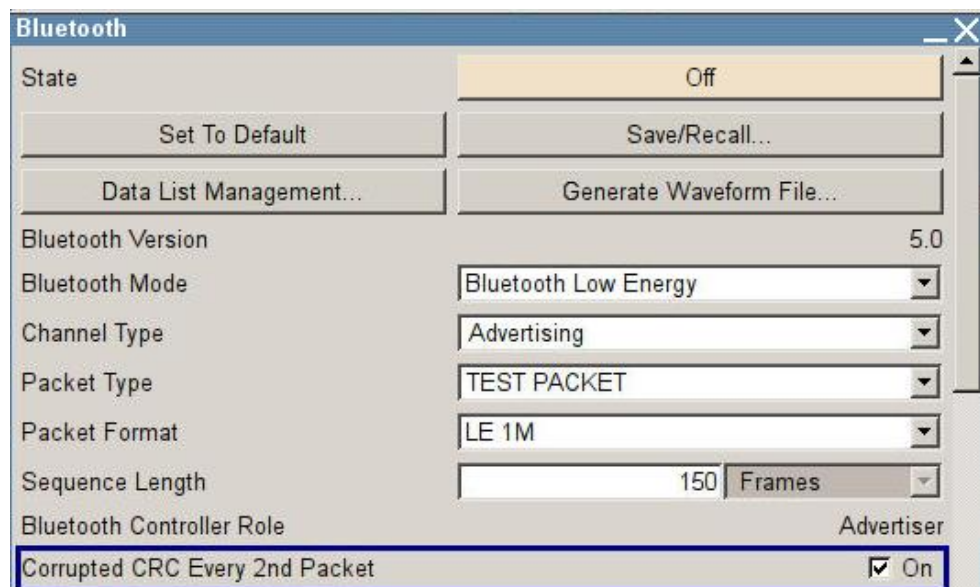
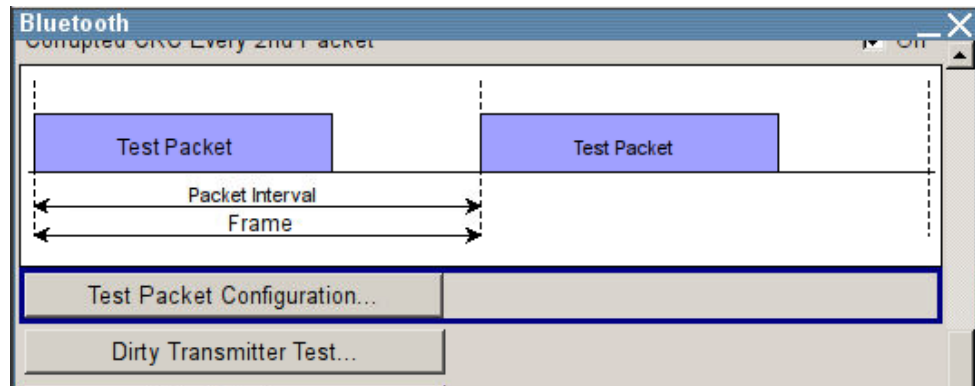


Bild 6-69: Generatoreinstellungen für PER Report Integrity Testnummer 07

9. Im Bluetooth Fenster (Bild 6-69) mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Test Packet Configuration...* auswählen:



Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

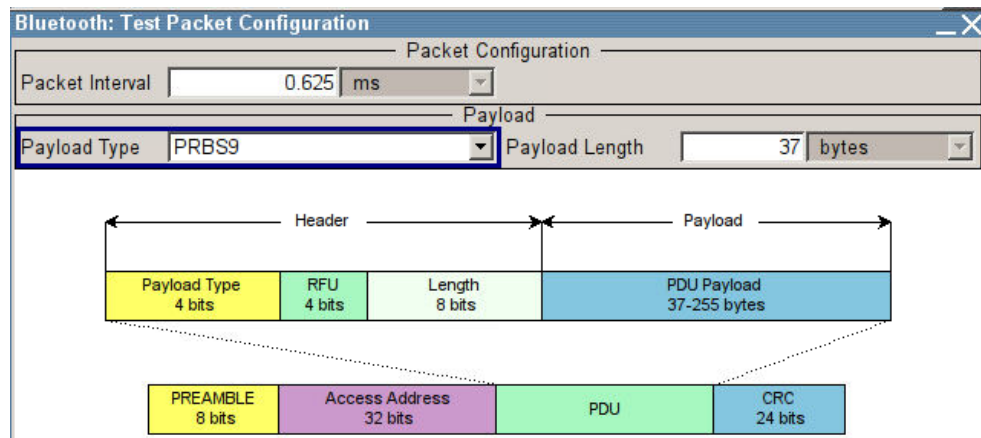


Bild 6-70: Test Packet Konfiguration

10. Das Fenster "Test Packet Configuration" schließen.
11. Taste *FREQ* drücken und die vorher eingestellte Empfangsfrequenz des Messobjektes eingeben.
12. Taste *LEVEL* drücken und -30 dBm einstellen.
13. Hinweis: Da die Testspezifikation den Pegel am Eingang des Bluetooth Empfängers definiert, muss eine zusätzlich vorhandene Kabeldämpfung bei der Eingabe des Reference Levels entsprechend berücksichtigt werden.
14. Die Berechnung des Bluetooth Testsignales mit *Sate* = On starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten. Das Messobjekt empfängt nun ein Testsignal bei dem bei jedem zweiten Paket der CRC beschädigt ist.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- $50\% \leq \text{PER} \leq (50+P/2)\%$ wobei P der entsprechende PER Wert aus Tabelle 6.4: *PER level by maximum payload length in receiver* der Testspezifikation ist. Dieser Wert ist abhängig von der maximalen Payload Length die das Messobjekt unterstützt.
15. Den Test zwei weitere Male mit einer unterschiedlichen, zufälligen Anzahl von Paketen im Bereich 100....1500 Pakete wiederholen.

6.2.6.2 PER Report Integrity Test 13 (LE2M, uncoded data at 2 Ms/s)

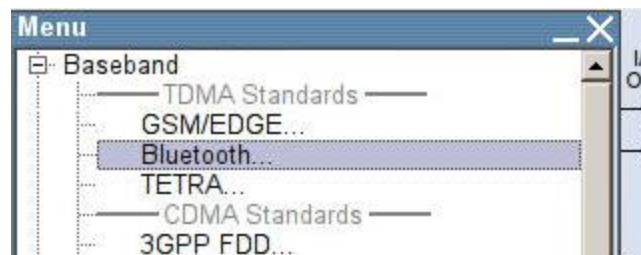
Dieser Test verifiziert ob der PER-Berichtsmechanismus im Messobjekt die korrekte Anzahl der empfangenen Pakete mit uncodierten Daten bei 2 Ms / s meldet.

Einstellungen am Testobjekt:

1. Direct RX Modus einschalten. Dewhitening ausschalten.
2. Frequency hopping ausschalten.
3. Symbolrate von 2 Ms/s einstellen.
4. Den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Standard Modulation Index erwartet wird.
5. Abhängig vom Testobjekt die Empfangsfrequenz f_{TX} (middle) gemäß Kapitel 6.2. Frequencies for Testing einstellen.

Einstellungen am SMBV100A:

6. Taste *PRESET* drücken
7. Taste *MENU* drücken und *Bluetooth* aus der Liste auswählen:



Einstellungen gemäß Bild 6-71 vornehmen. Für die *Sequence Length* einen beliebigen zufälligen Wert von 100 bis 1500 eintragen.

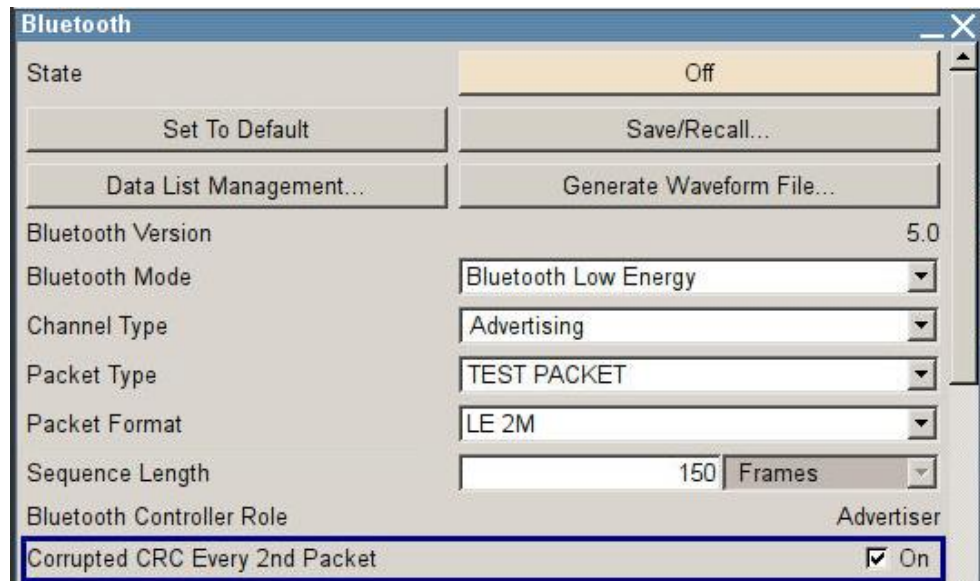
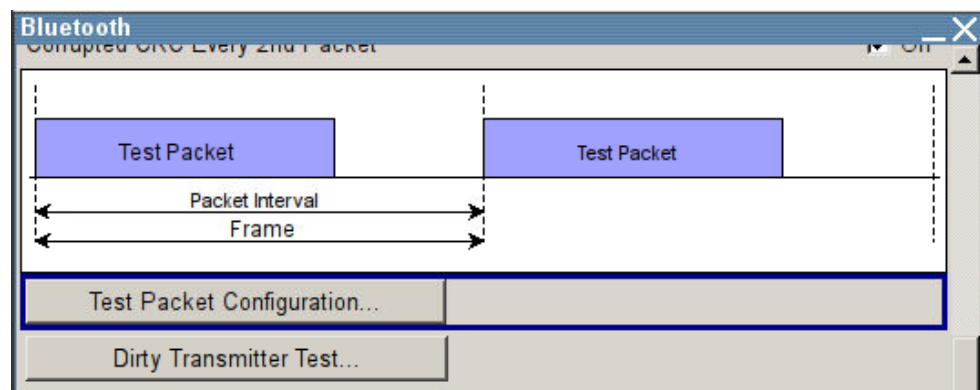


Bild 6-71: Generatoreinstellungen für PER Report Integrity Testnummer 13

8. Im Bluetooth Fenster (Bild 6-71) mit der Pfeiltaste ↓ nach unten scrollen und *Test Packet Configuration...* auswählen:



9. Sicherstellen, dass als Payload Type **PRBS9** ausgewählt ist. Unterstützt das Messobjekt das Feature "Extended Packet Length" (nach Core Spezifikation 4.2), so ist die maximal mögliche, vom Messobjekt unterstützte Paketlänge als **Payload Length** einzustellen. Wird "Extended Packet Length" nicht unterstützt wird die *Payload Length* auf 37 byte eingestellt:

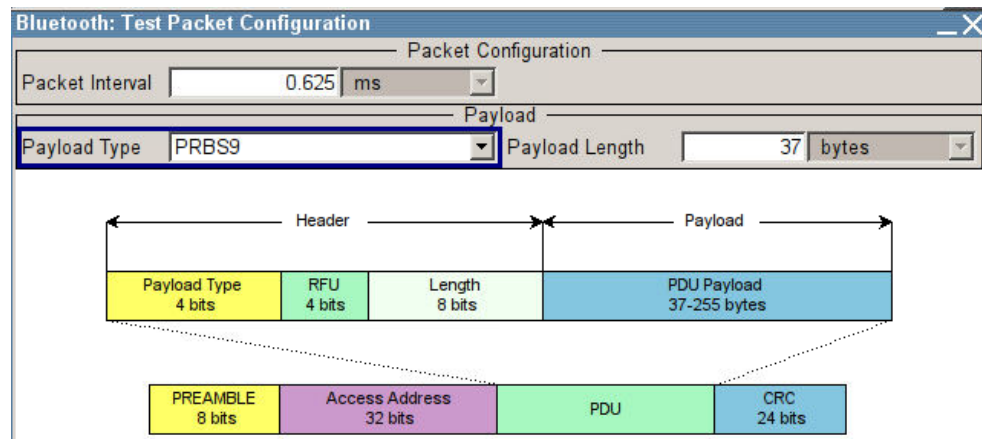


Bild 6-72: Test Packet Konfiguration

10. Das Fenster "Test Packet Configuration" schließen.
11. Taste *FREQ* drücken und die vorher eingestellte Empfangsfrequenz des Messobjektes eingeben.
12. Taste *LEVEL* drücken und -30 dBm einstellen.
13. Hinweis: Da die Testspezifikation den Pegel am Eingang des Bluetooth Empfängers definiert, muss eine zusätzlich vorhandene Kabeldämpfung bei der Eingabe des Reference Levels entsprechend berücksichtigt werden.
14. Die Berechnung des Bluetooth Testsignales mit *State = On* starten. Nach der Berechnung durch Drücken der Taste *RF OFF* das Bluetooth RF-Signal einschalten. Das Messobjekt empfängt nun ein Testsignal bei dem bei jedem zweiten Paket der CRC beschädigt ist.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- $50\% \leq \text{PER} \leq (50+P/2)\%$ wobei P der entsprechende PER Wert aus Tabelle 6.4 der Testspezifikation ist. Dieser Wert ist abhängig von der maximalen Payload Length die das Messobjekt unterstützt.
15. Den Test zwei weitere Male mit einer unterschiedlichen, zufälligen Anzahl von Paketen im Bereich 100....1500 Pakete wiederholen.

6.2.6.3 PER Report Integrity Test 19 (LE1M, uncoded data at 1 Ms/s, Stable Modulation Index)

Dieser Test verifiziert ob der PER-Berichtsmechanismus im Messobjekt die korrekte Anzahl der empfangenen Pakete mit 1 Ms/s meldet, wenn das Messobjekt einen Sender mit Stable Modulation Index erwartet.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben, aber den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am SMBV100A:

- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben.

6.2.6.4 PER Report Integrity Test 25 (LE2M, uncoded data at 2 Ms/s, Stable Modulation Index)

Dieser Test verifiziert ob der PER-Berichtsmechanismus im Messobjekt die korrekte Anzahl der empfangenen Pakete mit 2 Ms/s meldet, wenn das Messobjekt einen Sender mit Stable Modulation Index erwartet.

Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.6.2 beschrieben, aber den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

Einstellungen am SMBV100A:

- Wie unter 6.2.6.2 beschrieben.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.6.2 beschrieben.

6.2.6.5 PER Report Integrity Test 30 (LE Coded, S=2)

Dieser Test verifiziert ob der PER-Berichtsmechanismus im Messobjekt die korrekte Anzahl der empfangenen Pakete meldet, wenn das Messobjekt den LE Coded PHY mit data coding $s = 2$ verwendet.

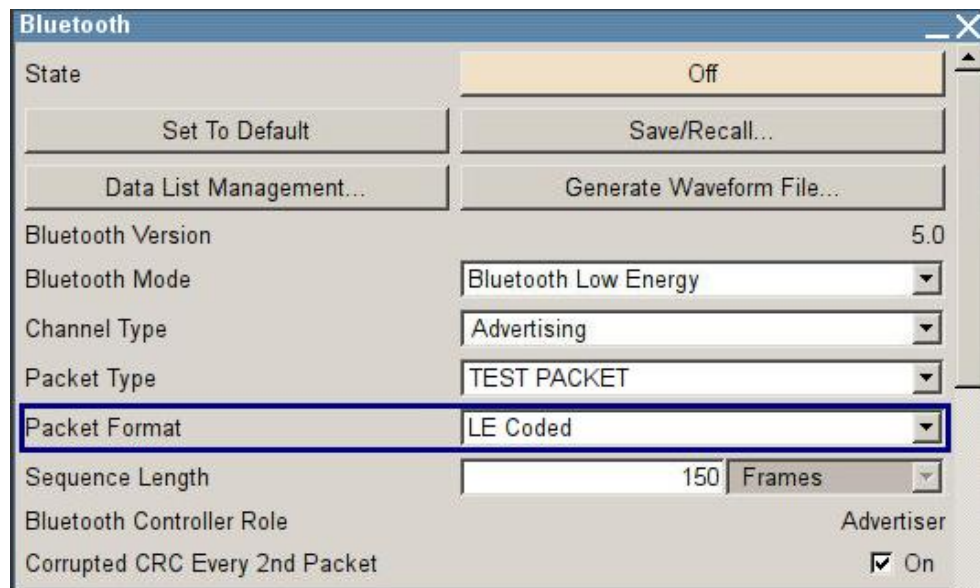
Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben, aber den Empfänger nicht auf eine Symbolrate von 1Ms/s einstellen sondern auf LE coded PHY mit Data Coding $S = 2$ einstellen.

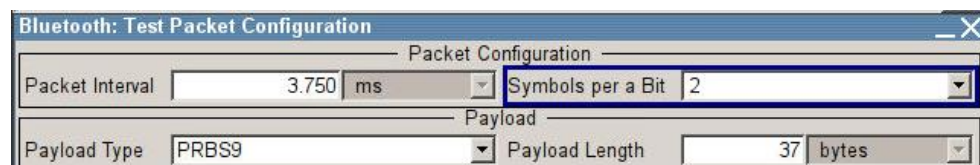
Einstellungen am SMBV100A:

Wie unter 6.2.6.1 beschrieben aber:

- Unter *Packet Format LE coded* einstellen:



- Im Fenster "Test Packet Configuration" *Symbols per Bit* = 2 einstellen:



Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben.

6.2.6.6 PER Report Integrity Test 31 (LE Coded, S=8)

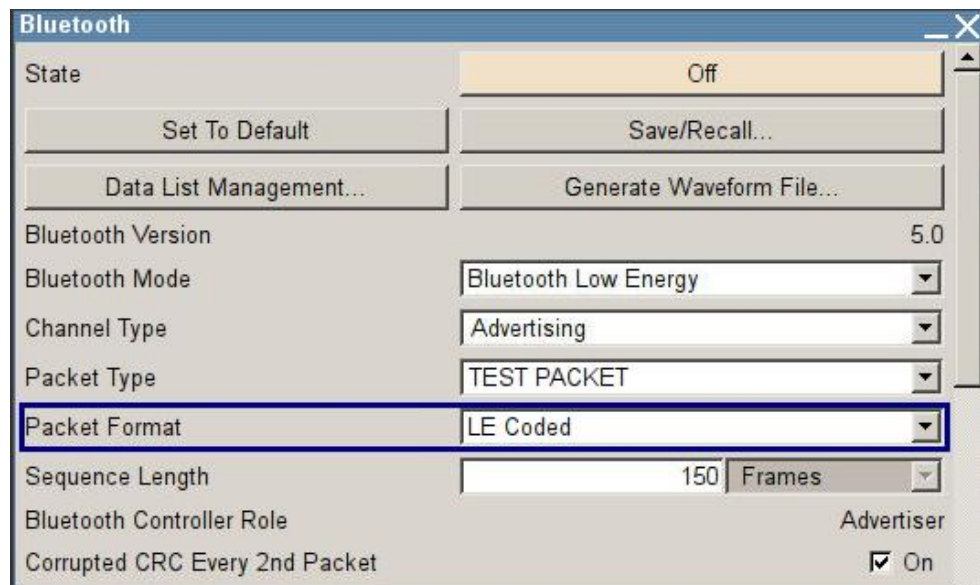
Dieser Test verifiziert ob der PER-Berichtsmechanismus im Messobjekt die korrekte Anzahl der empfangenen Pakete meldet, wenn das Messobjekt den LE Coded PHY mit data coding $s = 8$ verwendet.

Einstellungen am Testobjekt:

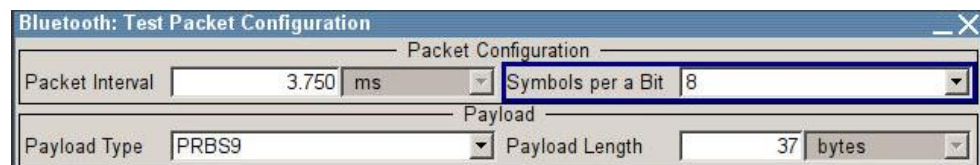
- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben, aber den Empfänger nicht auf eine Symbolrate von 1Ms/s einstellen sondern auf LE coded PHY mit Data Coding S=8 einstellen.

Einstellungen am SMBV100A:

- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben aber : unter *Packet Format* *LE coded* einstellen:



- Im Fenster "Test Packet Configuration" *Symbols per Bit* = 8 einstellen:



Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben.

6.2.6.7 PER Report Integrity Test 36 (LE Coded, S=2, Stable Modulation Index)

Dieser Test verifiziert ob der PER-Berichtsmechanismus im Messobjekt die korrekte Anzahl der empfangenen Pakete meldet, wenn das Messobjekt den LE Coded PHY mit data coding $s = 2$ verwendet und einen Sender mit Stable Modulation Index erwartet.

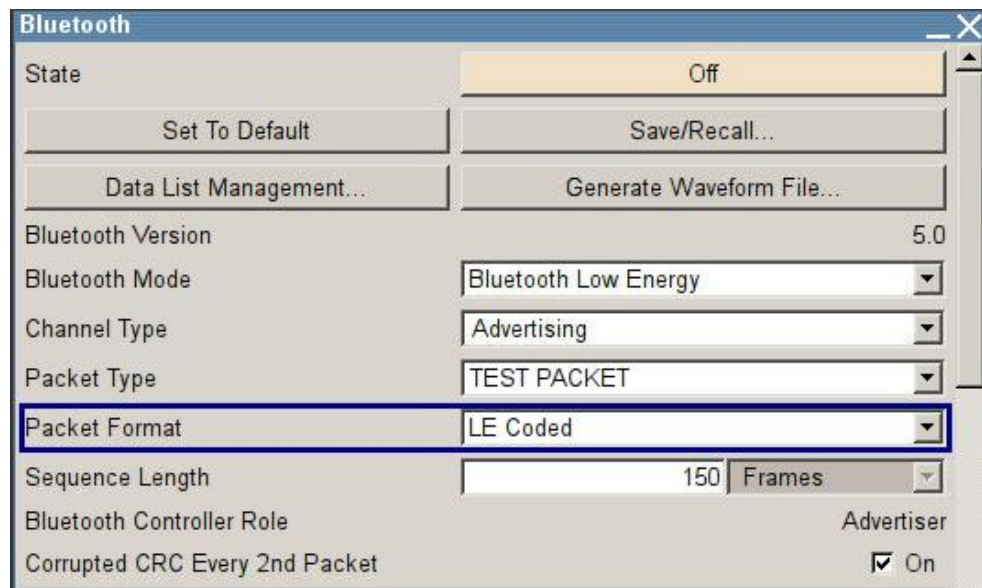
Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben, aber den Empfänger nicht auf eine Symbolrate von 1Ms/s einstellen sondern auf LE coded PHY mit Data Coding S=8 einstellen und den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

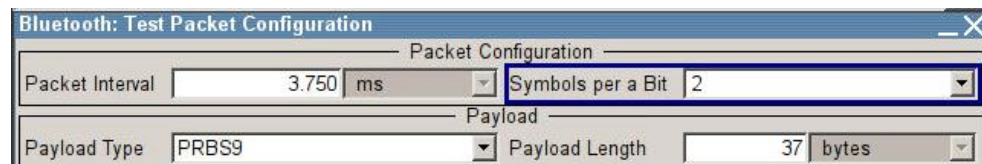
Einstellungen am SMBV100A:

Wie unter 6.2.6.1 beschrieben aber:

- Unter *Packet Format* *LE coded* einstellen:



- Im Fenster "Test Packet Configuration" *Symbols per Bit* = 2 einstellen:



Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben.

6.2.6.8 PER Report Integrity Test 37 (LE Coded, S=8, Stable Modulation Index)

Dieser Test verifiziert ob der PER-Berichtsmechanismus im Messobjekt die korrekte Anzahl der empfangenen Pakete meldet, wenn das Messobjekt den LE Coded PHY mit data coding $s = 8$ verwendet und einen Sender mit Stable Modulation Index erwartet.

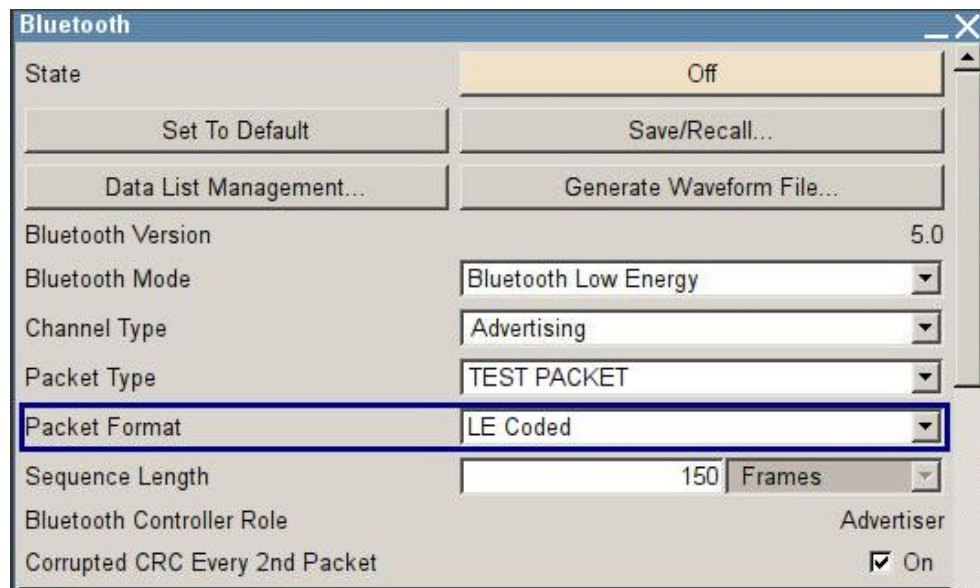
Einstellungen am Testobjekt:

- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben, aber den Empfänger nicht auf eine Symbolrate von 1Ms/s einstellen sondern auf LE coded PHY mit Data Coding $S=2$ einstellen und den Empfänger so einstellen, dass ein Sender mit Stable Modulation Index erwartet wird.

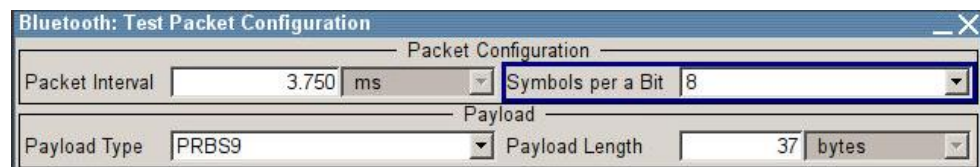
Einstellungen am SMBV100A:

- Wie unter 6.2.6.1 beschrieben aber:

Unter *Packet Format* *LE coded* einstellen:



Im Fenster "Test Packet Configuration" *Symbols per Bit* = 8 einstellen:



Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Wie unter [6.2.6.1](#) beschrieben.

7 Literaturverzeichnis

- [1] 1. **Schulz, Bernhard**. 1MA108. *From cable replacement to the IoT: Bluetooth 5*. s.l. : Rohde & Schwarz, 2016. 3e.
- [2] 2. **Coupe, Cheryl**. *A Guide to Joining the Internet of Things*. s.l. : Bluetooth SIG, Inc, 2016.
- [3] 3. **Bluetooth SIG**. RF PHY. *Bluetooth Test Specification*. December 2016. RF-PHY.TS.5.0.0.
- [4] 4. —. Bluetooth Core Specification v5.0. 06 December 2016.

8 Bestellangaben

CMW Hardware		
Designation	Type	Order No.
Radio Communication Tester	R&S®CMW500	1201.0002K50
	R&S®CMW290	1201.0002K29
	R&S®CMW270	1201.0002K75
Basic Assembly	R&S®CMW-PS503 (CMW500)	1202.5408.02
	R&S®CMW-PS272 (CMW270)	1202.9303.02
Baseband Measurement Unit	R&S®CMW-B100A	1202.8607.02
Baseband Measurement Generator	R&S®CMW-B110A	1202.5508.02
Baseband Interconnection Board	R&S®CMW-S550B	1202.4801.03
Advanced RF Frontend Module or RF Frontend Module	R&S®CMW-S590D	1202.8707.03
	R&S®CMW-S590A	
Extra RF Frontend Module	R&S®CMW-B590A	1202.5108.02
RF Converter Module Extra RF Converter Module	R&S®CMW-S570B	1202.8659.03
	R&S®CMW-B570B	
Signaling Unit Universal (SUU)	R&S®CMW-B200A	1202.6104.02

CMW Software		
Designation	Type	Order No.
Bluetooth Low Energy Signaling	R&S®CMW-KS611	1207.8805.02
Bluetooth, Low Energy, TX Measurement	R&S®CMW-KM611	1203.9307.02
Spectrum Analyzer	R&S®CMW-KM010	1203.5953.02

Spektrumanalysatoren		
Designation	Type	Order No.
Signal- und Spectrum Analyzer	R&S®FSWxx	1321.8000Kyy
	xx :8,13,26,43,50,67,85	yy: 08,13,26,43,50,67,85
Signal- und Spectrum Analyzer	R&S®FSVxx	1321.3008Kyy
	xx: 4,7,13,30,40	yy: 04,07,13,30,39,40
Signal- und Spectrum Analyzer	R&S®FSVAxx	1321.3008Kyy
	xx: 4,7,13,30,40	yy: 05,08,14,31,41
Vector Signal Analysis for FSW	R&S®FSW-K70	1313.1416.02
Vector Signal Analysis for FSV/A	R&S®FSV/A-K70	1310.8455.02

xx: gibt die obere Frequenzgrenze in GHz an.

Signal Generatoren		
Designation	Type	Order No.
Vector Signal Generator Base Unit ¹⁾	R&S®SMW200A	1412.0000.02
Vector Signal Generator Base Unit ¹⁾	R&S®SMBV100A	1407.6004.02
RF and Microwave Signal Generator Base Unit ¹⁾	R&S®SMB100A	1406.6000.02
Signal Generator Base Unit ¹⁾	R&S®SMC100A	1411.4002.02
SGMA Vector RF Source, 1 MHz to 3 GHz RF, baseband hardware included ¹⁾	R&S®SGT100A	1419.4501.02
SGMA RF Source ¹⁾	R&S®SGS100A	1416.0505.02

1) Die Ausstattungsmöglichkeiten der Base Unit finden Sie unter www.rohde-schwarz.com oder Sie wenden sich an Ihre lokale Rohde & Schwarz Vertretung

Rohde & Schwarz

Der Elektronikkonzern Rohde & Schwarz bietet innovative Lösungen auf den Arbeitsgebieten Messtechnik, Rundfunk- und Medientechnik, sichere Kommunikation, Cyber-Sicherheit sowie Funküberwachungs- und -ortungstechnik. Vor mehr als 80 Jahren gegründet, ist das selbstständige Unternehmen in über 70 Ländern mit einem engmaschigen Vertriebs- und Servicenetz präsent.

In seinen angestammten Arbeitsgebieten zählt der Elektronikkonzern zu den führenden Anbietern weltweit. Der Firmensitz ist in München, Deutschland. Ergänzend steuern je ein regionales Headquarter in Singapur sowie in Columbia, USA, die Geschäfte.

Regional Kontakt

Europa, Afrika, Mittlerer Osten
+49 89 4129 12345
customersupport@rohde-schwarz.com

Nord Amerika
1 888 TEST RSA (1 888 837 87 72)
customer.support@rsa.rohde-schwarz.com

Lateinamerika
+1 410 910 79 88
customersupport.la@rohde-schwarz.com

Asien Pazifik
+65 65 13 04 88
customersupport.asia@rohde-schwarz.com

China
+86 800 810 82 28 | +86 400 650 58 96
customersupport.china@rohde-schwarz.com

Nachhaltige Produktgestaltung

Umweltverträglichkeit und ökologischer Fußabdruck

Energie-Effizienz und geringe Emissionen

Langlebigkeit und optimierte Gesamtbetriebskosten



Die Nutzung dieses Dokuments und der mitgelieferten Programme darf nur unter Anerkennung der Nutzungsbedingungen erfolgen, die im Downloadbereich der Rohde & Schwarz-Website aufgeführt sind.

R&S® ist eingetragenes Warenzeichen der Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. Eigennamen sind Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer.

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
Mühlendorfstraße 15 | D - 81671 München
Telefon + 49 89 4129 - 0 | Fax + 49 89 4129 - 13777
www.rohde-schwarz.com