



# Range to Fault-Technologie

---

White Paper

Von Tom Bell und John Nankivell

## Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
2. Bestehende PIM-Testgeräte / Test-Prozess	2
3. Neue RTF-Analyse / technische Grenzen	3
4. Flussdiagramm für PIM-Test incl. RTF	5
5. Beispieldaten	6
6. Schlussfolgerung	9

## 1. Einführung:

Passive Intermodulation (PIM) ist seit fast 50 Jahren als Störungsquelle in Kommunikationssystemen bekannt. Das Phänomen tritt auf, wenn zwei oder mehr Signale sich nichtlinear kreuzen und "Kind"-Frequenzen entstehen, die mathematisch mit den "Eltern"-Frequenzen verwandt sind. Seit dem Aufkommen der Telekommunikation hat die Bedeutung des PIM-Problems aufgrund der Auswirkungen auf die Dienstqualität stetig zugenommen, da diese unerwünschten Signale den Empfangskanal (uplink) der Basisstation stören oder blockieren können.

Die ersten PIM-Testgeräte wurden 1996 von Kaelus (ehemals Summitek Instruments) entwickelt. Damit konnten Hersteller von RF-Geräten erstmals die PIM-Resistenz ihrer Geräte testen. Kaelus hat 2005 tragbare PIM-Testgeräte eingeführt, mit deren Hilfe Mobilfunkbetreiber PIM-Feldtests durchführen können. Diese Tests haben sich als hocheffizient zur Erkennung von eventuellen Transportschäden und Installationsfehlern an Geräten in der RF-Infrastruktur erwiesen. Als Folge hieraus haben Mobilfunkbetreiber weltweit diese PIM-Tests immer stärker in ihre Systemtests zur Sicherstellung der optimalen Systemleistung eingebunden.

PIM-Tests unterscheiden sich von traditionellen VSWR-Tests darin, dass eine mechanische Stimulation (Klopfen oder Biegen) während des Tests notwendig ist, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Wenn die PIM-Spitzenwerte beim dynamischen Test einen bestimmten Schwellenwert überschreiten, muss die Komponente oder lose Verbindung repariert oder ersetzt werden. In den meisten Fällen ist die Erkennung des PIM-Fehlers recht einfach: der Fehler ist dort, wo geklopft wurde.

Gelegentlich können jedoch PIM-Fehler auftreten, die beim dynamischen Test keine starken Ausschläge verursachen. Die Erkennung dieser "nicht-ansprechenden" oder "statischen" PIM-Quellen kann unter Umständen anspruchsvoll und zeitraubend sein. Aus diesem Grund hat Kaelus die Range to Fault (RTF)-Technologie analog zu der beim VSWR-Test verwendeten Technik entwickelt. Damit können diese statischen PIM-Quellen leichter gefunden werden. Diese Arbeit beschreibt die Möglichkeiten und Beschränkungen dieser neuen Technologie sowie eine empfohlene Testmethode für den Einsatz der RTF-Analyse im Außendienst.



## 2. Bestehende PIM-Testgeräte / Test-Prozess

Das Testgerät für passive Intermodulation sendet zwei 20W (+43dBm) Testsignale in die zu testende Leitung oder Gerät. Falls das Testsignal auf eine nichtlineare Kreuzung trifft entsteht eine Mischung, und die PIM-Frequenzen entstehen. Das PIM-Testgerät misst den Ausschlag des durch die Testsignale erzeugten PIM und zeigt dem Benutzer die entsprechenden Informationen an.

Das Produkt der dritten Ordnung (IM3) kann zur Charakterisierung von PIM-Leistung sowohl bei der Herstellung als auch im Außendienst verwendet werden. Das durch eine nichtlineare Kreuzung erzeugte IM3-Signal hat normalerweise einen höheren Ausschlag als andere PIM-Produkte und erlaubt daher eine exaktere Messung. Bei Produkten höherer Ordnungen (IM5, IM7, IM9, usw.) kann üblicherweise ein Abfall des Ausschlags um 5 bis 10dB pro weiteres PIM-Produkt beobachtet werden. Durch Steuerung des IM3 auf ein bestimmtes Niveau können die Produkte höherer Ordnung (die vermutlich eher in das eigene Rx-Band des Betreibers fallen) deutlich unter dem angegebenen IM3-Niveau gehalten werden.

Die genauen Testfrequenzen zur Provokation von PIM-Defekten an einer Funkstation sind nicht entscheidend, solange die folgenden Kriterien erfüllt sind.

- Sämtliche RF-Komponenten auf dem Weg (Kabel, Antennen, TMAs, usw.) müssen beide Testfrequenzen und die zu messende IM3-Frequenz leiten.
- Beide Testfrequenzen *müssen* im lizenzierten Spektrum des Betreibers liegen oder Schutzfrequenzen zwischen lizenzierten Blöcken sein, um Interferenzen mit anderen Betreibern zu vermeiden. Dies gilt für alle Tests auf Systemebene, bei denen die Frequenzen über die Antenne gesendet werden.
- Die zwei Testfrequenzen müssen so gewählt werden, dass sie IM3 innerhalb des Empfangsbands des jeweiligen Systems erzeugen. Hierfür sind üblicherweise Testtöne mit breiterem Frequenzabstand notwendig, als normalerweise innerhalb des lizenzierten Spektrums für einen bestimmten Markt erreicht werden kann. Aus diesem Grund muss mindestens eine Schutzbandfrequenz ausgewählt werden.

Während des PIM-Tests sollten sämtliche Komponenten und RF-Verbindungen dynamischen Testbedingungen unterworfen werden. Wenn eine Komponente oder RF-Verbindung unter leichter mechanischer Belastung inakzeptable PIM-Werte erzeugt, muss sie repariert werden. Mit Hilfe des PIM-Tests kann sichergestellt werden, dass die RF-Infrastruktur robust ist und unter normalen Umgebungsbelastungen wie Wind und extremen Temperaturen korrekt funktionieren wird.

Für den Test einer Funkstation ist es empfehlenswert, den Ausgangszustand des Systems mit Hilfe eines vorherigen statischen PIM-Tests zu bestimmen. Wenn das System den statischen Test besteht, kann der Benutzer direkt mit dem dynamischen Test fortfahren. Wenn das System den statischen Test nicht besteht, muss der Benutzer die Zuleitung von der Antenne trennen und eine niedrige PIM-Last am Kabelende anlegen. Mit dieser Methode kann das Testteam die Zuleitung isolieren, um PIM-Probleme unabhängig von der Antenne und sonstigen Objekten beheben. Sobald die Zuleitung den dynamischen Test besteht, kann sie erneut zur Leistungsmessung an die Antenne angeschlossen werden.

An manchen Orten, insbesondere auf Dächern, kann die PIM-Quelle unterhalb der Antenne liegen. Da die Behebung externer PIM-Quellen normalerweise nicht Aufgabe des

Installationsteams ist, akzeptieren Betreiber üblicherweise die folgenden drei Informationen als Garantie dafür, dass die Funkstation gemäß der Spezifikationen installiert wurde, selbst wenn der PIM-Systemtest fehlschlägt:

- 1) Zuleitung besteht dynamischen Test (in geringe PIM-Last)
- 2) Antennentest bestanden (Antenne himmelwärts gerichtet)
- 3) Systemtest schlägt fehl, wenn Antenne und Zuleitung miteinander verbunden werden

### 3. Neue RTF-Analyse / technische Grenzen:

Die Range to Fault- (RTF) Technologie von Kaelus ist ein Analysewerkzeug zur Erweiterung, und nicht als Ersatz, für den Standard-PIM-Test mit Fixton. Die RTF-Lösung enthält alle notwendige Hardware und Signalverarbeitungssoftware zur Umwandlung von Frequenzinformationen in Zeitbereiche mittels schneller Fourier-Transformation (FFT) und digitaler Algorithmen zur Signalverstärkung. Die RTF-Technologie ähnelt der Distance to Fault- (DTF) Technologie, die zur Feststellung von VSWR-Fehlerquellen an Funkstationen verwendet wird.

Bei der RTF-Analyse werden zwei Frequenzen mit 20W (+43 dBm) in das zu testende System gesendet. Eine der Testfrequenzen ist statisch, während die zweite Frequenz ein breites Spektrum durchläuft, um IM-Produkte im Empfangsband des zu testenden Systems zu erzeugen. Da für die RTF-Analyse hochenergetische Signale außerhalb des lizenzierten Spektrums benötigt werden, **sollte dieser Test nur an Systemen durchgeführt werden, die in einer niedrigen PIM-Last enden**, um Interferenzen zu vermeiden.

Mit Hilfe des umgekehrten FFT-Algorithmus werden Zeitbereich-Pulse rekonstruiert, indem quantisierte Phase und Amplitudenkomponenten der einzelnen Frequenzen digital addiert werden. Je mehr Bandbreite für die Analyse zur Verfügung steht, desto schärfer werden die Kanten der mathematischen Pulse, und desto höher die Auflösung von eng beieinander liegenden PIM-Quellen.

Die Auflösung ist hierbei definiert als der Abstand zwischen zwei Pulsen mit gleicher Amplitude, getrennt durch ein 6dB-Nullsignal. Die mit dieser Analyse erreichbare Auflösung kann durch die folgende Formel ermittelt werden:

$$\Delta d = 150 \text{ vf} / \text{BW} \quad \text{Wenn:} \quad \begin{array}{l} 1d = \text{Auflösung in Meter} \\ \text{vf} = \text{Geschwindigkeitsfaktor (\% der} \\ \text{Lichtgeschwindigkeit)} \\ \text{BW} = \text{PIM-Durchgangsbandbreite in MHz} \end{array}$$

Am Beispiel des PCS-Spektrums (Tx = 1930–1990MHz und Rx = 1850–1910MHz) ist die maximal erreichbare IM3-Durchgangsbandbreite im PCS Rx-Band mit zwei PCS Tx-Tönen 40MHz. Dies wird erreicht, indem eine Testfrequenz bei 1930MHz gehalten wird und die andere Testfrequenz zwischen 1950 und 1990MHz schweift. Diese Kombination erzeugt IM3-Produkte zwischen 1870 und 1910MHz im PCS Rx-Band. Unter Verwendung dieser 40MHz an durchlaufener IM3-Bandbreite und einem Kabel-Geschwindigkeitsfaktor von 0.88 ist die maximal erreichbare Auflösung nur unter Verwendung des PCS-Spektrums

3.3m. Kaelos verwendet eigene Signalverarbeitungstechniken, um die Auflösung weiter zu verbessern. Die absolute Genauigkeit des Prognose-Algorithmus leidet dennoch, wenn im minimalen Auflösungsabstand der Leitung mehrere PIM-Quellen beieinander liegen.

Bei der effektivsten Anwendung der RTF-Analyse wird systematisch die jeweils stärkste identifizierte PIM-Quelle entfernt. Anschließend wird die Analyse wiederholt und erneut die stärkste PIM-Quelle entfernt, bis alle signifikanten statischen PIM-Quellen beseitigt sind. Die Entfernung zur stärksten PIM-Quelle wird vom Algorithmus unabhängig von der Lage auf der Leitung höchst akkurat berechnet. Mit jeder behobenen PIM-Quelle steigt die Genauigkeit für die Entdeckung der nächstschwächeren PIM-Quelle.

Die RTF-Analyse ist wie bereits erwähnt kein Ersatz für dynamische PIM-Tests. Die RTF-Analyse unterstützt Standorttests und kann die Behebung von statischen PIM-Quellen an einer Funkstation beschleunigen. Die Analyse alleine sollte jedoch nicht zur Zertifizierung der Installationsqualität verwendet werden, da:

- Die Kenntnis des Abstands zu einer Fehlerquelle bietet einen hilfreichen Ausgangspunkt, garantiert jedoch nicht, dass keine weiteren versteckten PIM-Quellen in der RF-Zuleitung existieren.
- Der absolute Wert des RTF-PIM-Ausschlags kann durch frequenzempfindliche Gruppenlaufzeiten in RF-Geräten wie Überspannungsableitern, Filtern, TMAs usw. verzerrt werden.
- "Geister-" PIM-Quellen können durch mathematische Faktoren und/oder durch Impedanzfehlanspassungen im System entstehen, die PIM-Signale von verschiedenen Orten auf der Leitung reflektieren

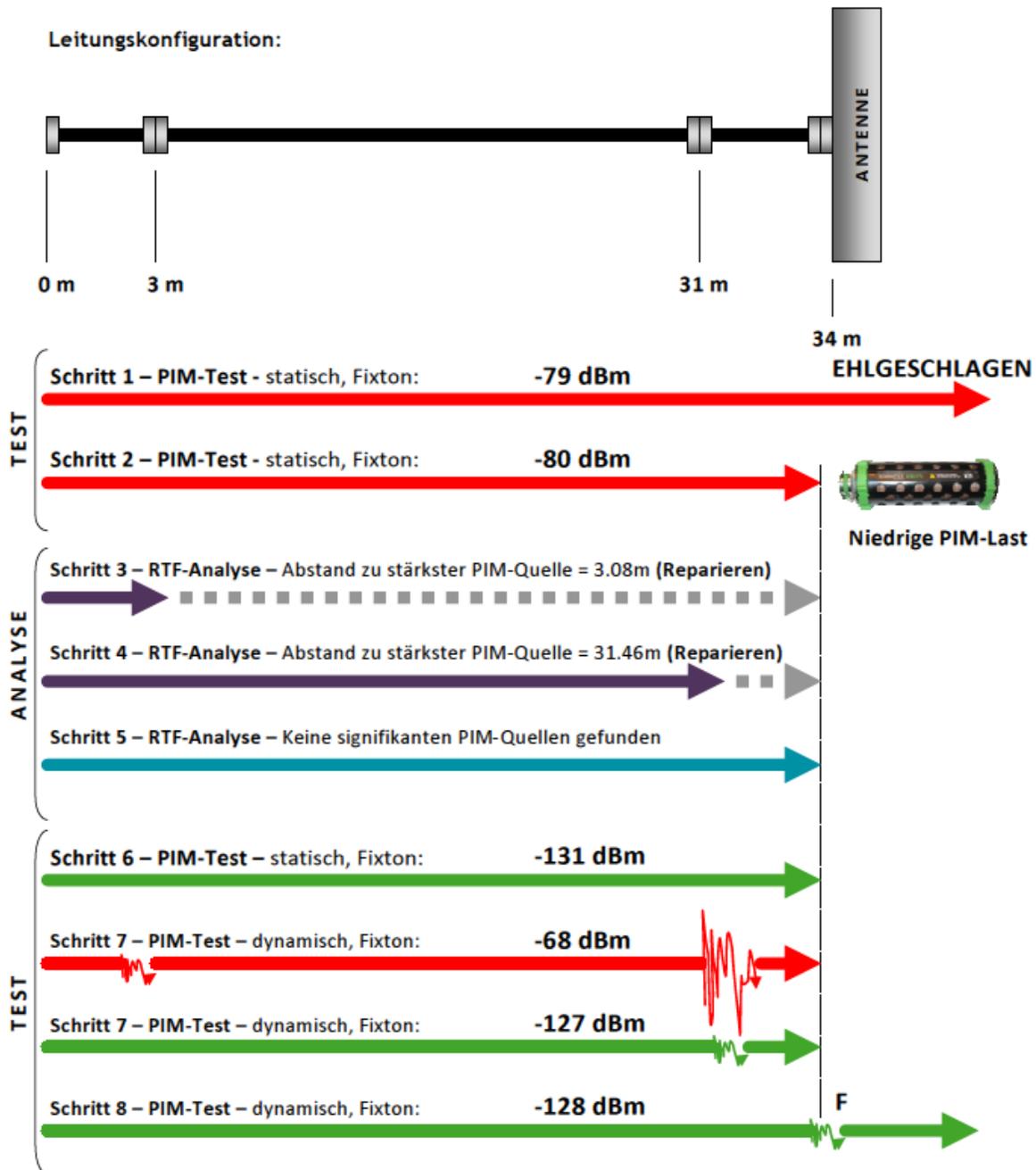
Das Ablaufschema in Kapitel 4 erläutert den korrekten Arbeitsablauf der RTF-Analyse beim PIM-Test einer Funkstation. Die gelb hervorgehobenen Zellen bilden die RTF-Testschleife zur Entfernung von statischen PIM-Quellen ab.

Die Daten in Kapitel 5 stammen aus tatsächlichen Messungen unter Befolgung des Ablaufschemas bei der Behebung mehrerer statischer und dynamischer PIM-Probleme auf einer Leitung.



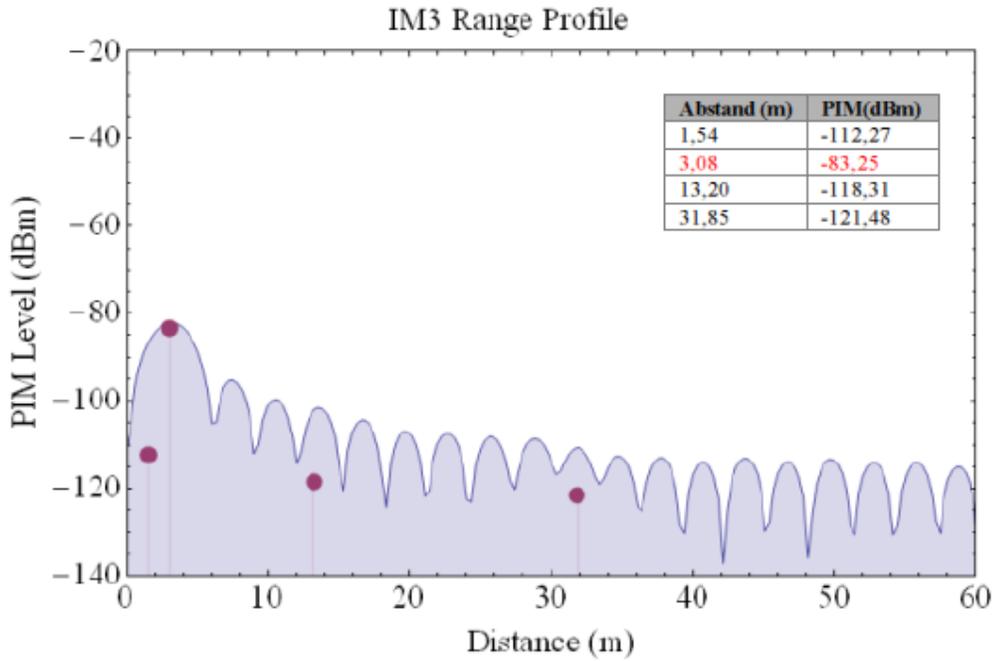
### 5. Beispieldaten:

Das folgende Beispiel zeigt tatsächliche Testergebnisse aus einer Zuleitung mit mehreren statischen und dynamischen PIM-Problemen. Die Ergebnisse zeigen nicht nur die Vorteile der RTF-Technologie, sondern bestätigen auch die Notwendigkeit von dynamischen PIM-Tests an einer Funkstation.

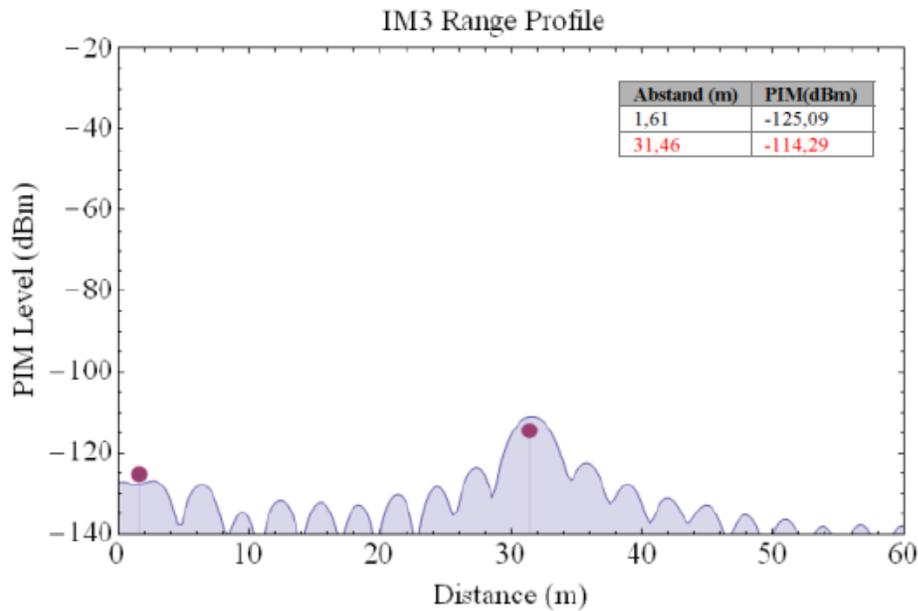


### Ausgewählte Berichte / Bildschirmfotos:

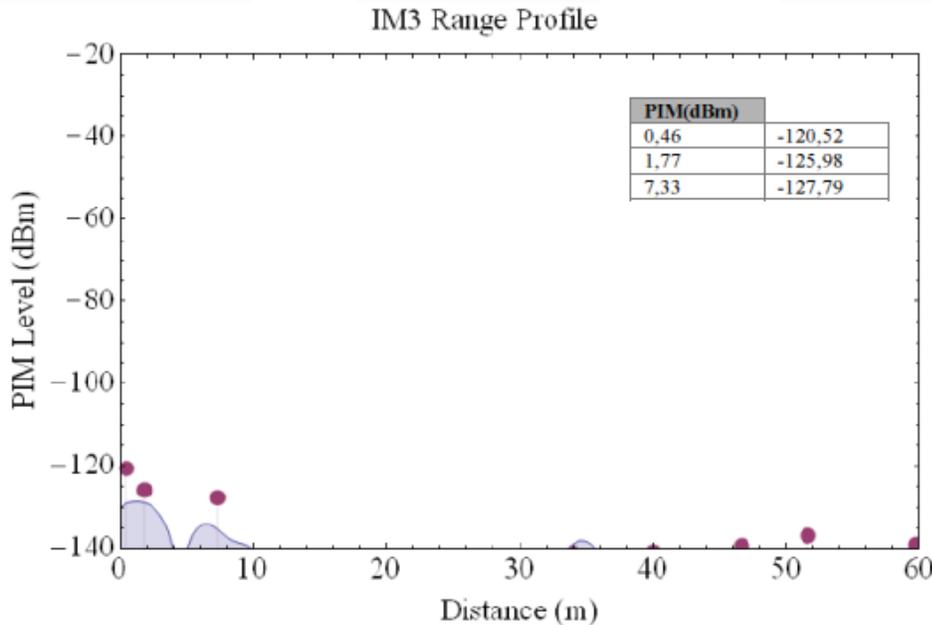
**Schritt 3 – 1. RTF-Analyse:**



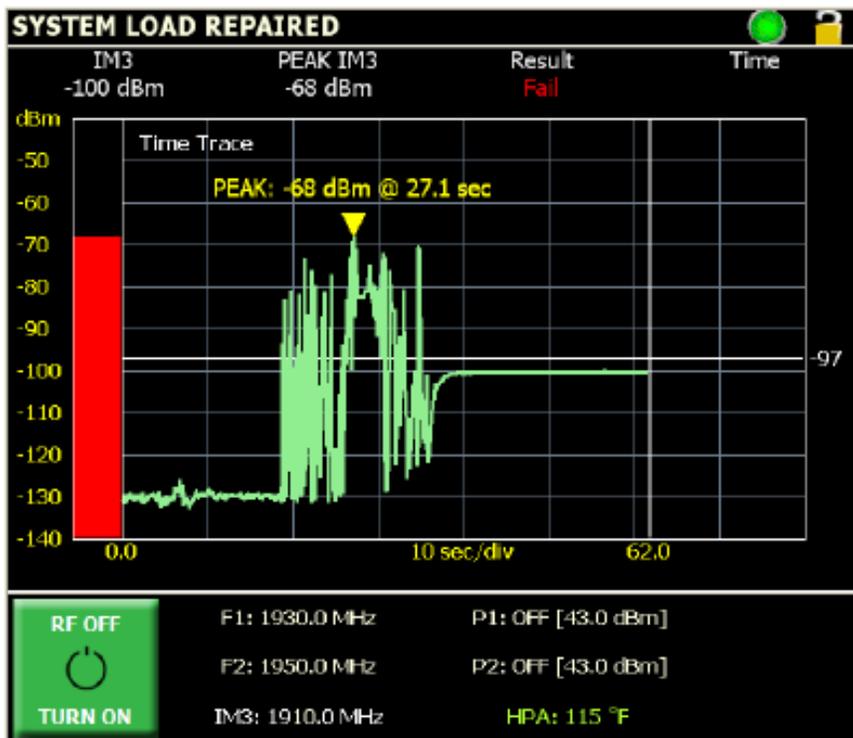
**Schritt 4 – 2. RTF-Analyse (nach Behebung der PIM-Quelle in 3m Entfernung)**



**Schritt 5** – Abschließende RTF-Analyse (nach Behebung der PIM-Quellen in 3m und 31m Entfernung)



**Schritt 7** – Ergebnisse des dynamischen PIM-Tests (zeigen ein PIM-Problem, das weder beim statischen PIM-Test noch bei der RTF-Analyse entdeckt wurde)



## 6. Schlussfolgerung:

Die RTF-Analyse kann wie im obigen Beispiel gezeigt die Lage mehrerer statischer PIM-Quellen innerhalb der RF-Infrastruktur exakt bestimmen. Mit diesen Informationen und der beschriebenen Testprozedur kann ein PIM-Testteam Standorte schneller korrigieren und die Schwankungen der Reparaturzeiten zwischen verschiedenen Standorten verringern.

Die RTF-Analyse ist, wie ebenfalls im obigen Beispiel gezeigt, kein Ersatz für die dynamische PIM-Analyse des RF-Zuleitungssystems. Die RTF-Analyse kann die Lage von sichtbaren statischen PIM-Quellen exakt bestimmen. Sie ist jedoch nicht in der Lage, PIM-Quellen zu erkennen, die nur unter mechanischer Belastung zutage treten.

Abschließend sollte die RTF-Analyse nur an Systemen eingesetzt werden, die in einer niedrigen PIM-Last enden, da ein breites Frequenzspektrum durchlaufen wird. Durch Anbringung der Last wird die Aussendung von hochenergetischen Testfrequenzen außerhalb des lizenzierten Spektrums des Betreibers und somit Interferenzen vermieden.



Amerika  
+1.303.768.8080

---