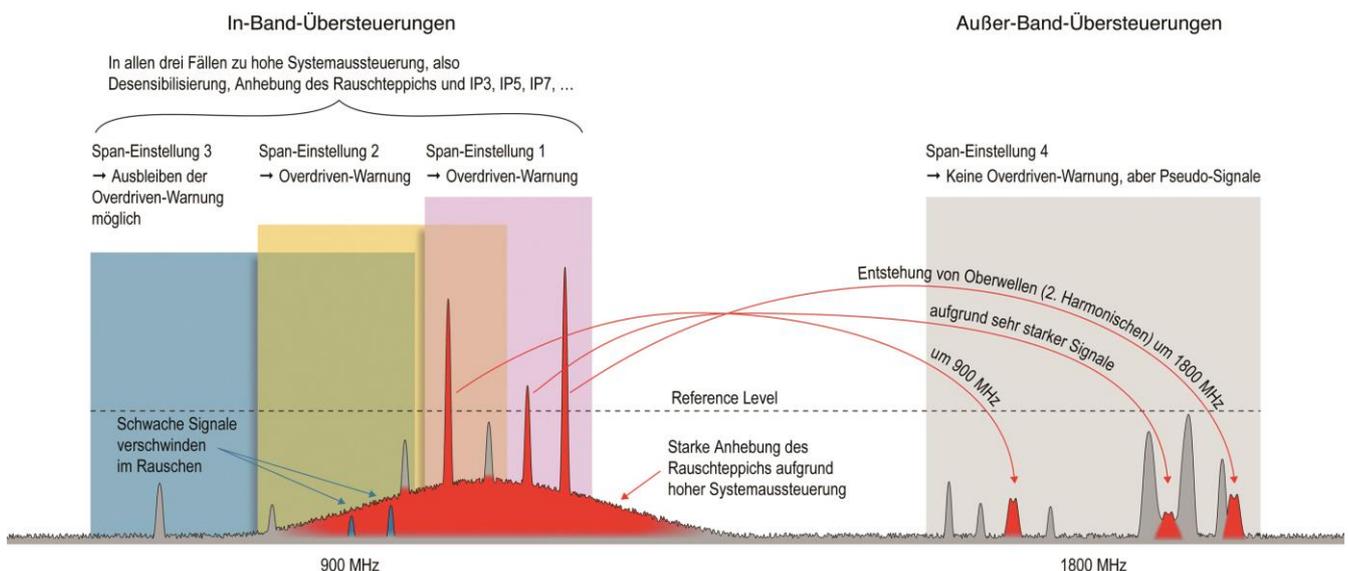


# Verwendung externer Filter zur Erhaltung der Messempfindlichkeit in hochdynamischen Messumgebungen

## Kurzfassung

Häufig ist es erforderlich schwache Funksignale unter Einfluss von starken Funksignalen zu messen. Während die Analyse schwacher Funksignale eine hohe Messempfindlichkeit erfordert, führt genau diese Anforderung bei der Messung starker Funksignale schnell zu Übersteuerungen moderner Messem Empfänger und Signalanalytoren. Aus diesem Grund erklärt diese Technical Note wie In-Band- und Außer-Band-Übersteuerungen erkannt und beseitigt werden können. Eine besondere Rolle spielen dabei Übersteuerungseffekte in Form von Oberwellen und Intermodulationsprodukten 2. Ordnung. Auf Intermodulationsprodukte ungerader (3., 5., ...) Ordnung geht diese Technical Note nur am Rande ein.



**Bild 1. Anschauliche Darstellung der Effekte einer hohen Systemaussteuerung in modernen Analysatoren**

## Inhalt

1	Einleitung & Problemstellung .....	Seite 2
2	Erkennung von In-Band-Übersteuerung .....	Seite 2
3	Erkennung von Außer-Band-Übersteuerung .....	Seite 3
4	Gegenmaßnahmen und ihre Vor- und Nachteile .....	Seite 5
5	Externe Filter im Detail .....	Seite 6
6	Vorteile externer Filter im Vergleich zu Vorselektionsfiltern.....	Seite 7
7	Schlussfolgerungen .....	Seite 7

Autor: Mark Reinhard

© 2016

Narda Safety Test Solutions GmbH

Sandwiesenstr. 7

72793 Pfullingen, Deutschland

Tel.: +49 7121 9732-0

Fax: +49 7121 9732-790

E-mail: [info@narda-sts.com](mailto:info@narda-sts.com)

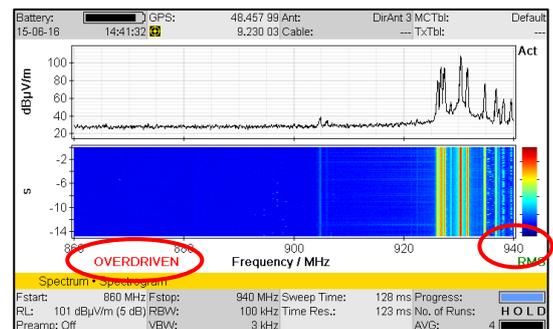
[www.narda-sts.com](http://www.narda-sts.com)

## 1 Einleitung & Problemstellung

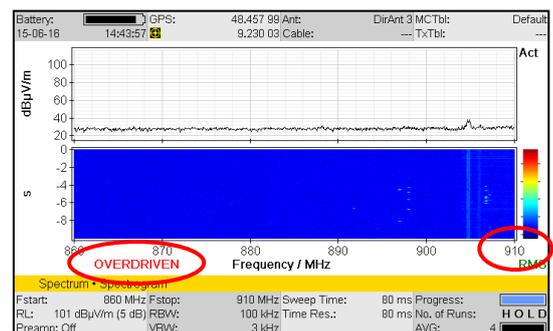
Generell ist zur Analyse von Funksignalen eine hohe Empfindlichkeit erwünscht: Mit steigender Empfindlichkeit sinkt der angezeigte Rauschteppich, sodass sich auch schwache Signale davon abheben können. Die Empfindlichkeit von Spektrumanalysatoren kann durch Reduktion der Bandbreite (RBW), der Eingangsdämpfung bzw. des Reference Levels (RL) und durch Einschalten des Vorverstärkers gesteigert werden. Problematisch daran ist allerdings, dass dies die Erfassung starker Signale meist verbietet, da diese den Analysator übersteuern würden. Natürlich können in einem solchen Fall der Reference Level erhöht und der Vorverstärker ausgeschaltet werden. Allerdings führen diese Maßnahmen wiederum zu einer Anhebung des Rauschteppichs. Aus diesem Gegensatz ergibt sich eine wichtige Fragestellung: Wie ist ein Empfangssystem zu konfigurieren und welche Maßnahmen sind zu ergreifen, wenn schwache Funksignale in der Umgebung starker Funksignale gemessen werden sollen? Im Folgenden wird dieses Szenario als „hochdynamische Messumgebung“ bezeichnet. Darin kann der IDA, wie auch die meisten anderen mit dem IDA vergleichbaren Messinstrumente, durch In-Band- und Außer-Band-Übersteuerungen übersteuert werden. Zu begründen ist dies vor allem durch das Messprinzip eines Superheterodynempfängers, welches auf typischen HF-Bauelementen wie Mischern und (ZF-)Verstärkern mit begrenztem Dynamikbereich basiert. Während In-Band-Übersteuerungen im IDA meist durch die Overdriven-Warnung gemeldet werden, sind Außer-Band-Übersteuerungen zunächst nur durch den Nutzer erkennbar. Detaillierte Erläuterungen hierzu finden sich in den beiden folgenden Kapiteln.

## 2 Erkennung von In-Band-Übersteuerung

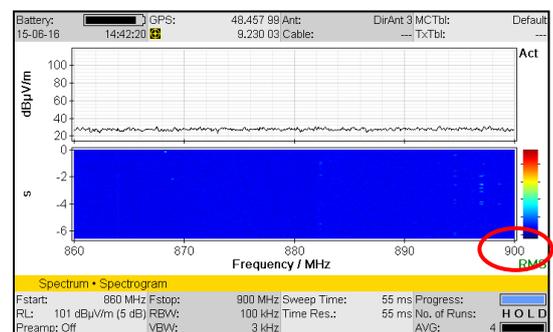
In-Band-Übersteuerungen, also Übersteuerungen im oder nahe dem eingestellten Span werden im IDA meist durch die Overdriven-Warnung gemeldet. Sie treten dann auf, wenn der Pegel eines Signals den Reference Level überschreitet (siehe Bild 2). In-Band-Übersteuerungen können aber auch durch Signale verursacht werden, die außerhalb des angezeigten Spans, aber noch in dessen Nähe liegen (siehe Bilder 3 und 4, beachte  $F_{stop}$  im Vergleich zu Bild 2). Dies ist mit der breitbandigen Signalverarbeitung des IDA zu begründen. Zur Vermeidung von In-Band-Übersteuerungen müssen der Reference Level am IDA erhöht und der Vorverstärker abgeschaltet werden. Natürlich steigt der Rauschteppich dadurch an, jedoch können so Übersteuerungsartefakte reduziert werden. Ebenso können eine andere Antennenausrichtung oder eine Verlegung des Messpunktes In-Band-Übersteuerungen eliminieren.



**Bild 2. Übersteuerung des IDA durch sichtbare Überschreitung des Reference Levels im eingestellten Span mit Overdriven-Warnung (vgl. Bild 1, Span-Einstellung 1)**



**Bild 3. Weiterhin Übersteuerung des IDA durch Überschreitung des Reference Levels außerhalb des eingestellten Spans, Erscheinen der Overdriven-Warnung (vgl. Bild 1, Span-Einstellung 2)**



**Bild 4. Keine Overdriven-Warnung des IDA bei gleichem Signal wie in Bild 2/3, aber anderem Span, trotzdem Artefakte von Übersteuerung (angehobener Rauschteppich, IP3, IP5, ...) möglich (vgl. Bild 1, Span-Einstellung 3)**

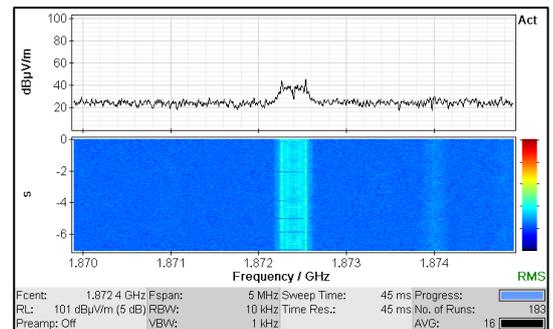
### 3 Erkennung von Außer-Band-Übersteuerung

Neben In-Band-Übersteuerungen können in Spektrumanalysatoren auch Außer-Band-Übersteuerungen auftreten. Das übersteuernde Funksignal und der angezeigte Span können dabei sehr weit auseinander liegen. Außer-Band-Übersteuerungen verursachen Oberwellen, also ganzzahlige Frequenzvielfache, und täuschen so reale Signale vor. Klar abzugrenzen ist dieser Sachverhalt von Intermodulationsprodukten dritter Ordnung!

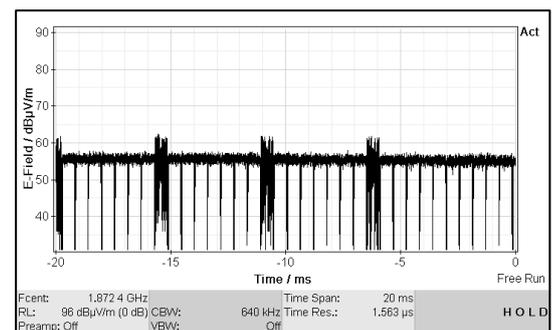
Zur Verdeutlichung der Problematik dienen der folgende Abschnitt und die Bilder 5 bis 7, welche ein reales Szenario beschreiben. Kurz gefasst verursacht hier ein starkes GSM-900-Signal im IDA ein Pseudo-Signal um 1.800 MHz. Bei dem Pseudo-Signal handelt es sich um die erste Oberwelle. Durch die Frequenzverdopplung verdoppelt sich auch die Bandbreite des modulierten GSM-900-Signals. Eine Overdriven-Warnung erscheint zunächst nicht, da nur der 1800 MHz-Frequenzbereich beobachtet wird.

Bild 5 zeigt ein Signal bei 1.872,4 MHz im Spektrum und im Spektrogramm. Zunächst mag dieses Signal nicht auffällig erscheinen, da es im Frequenzbereich des GSM-1800-Downlinks (ITU-Region 1: 1.805 MHz - 1.880 MHz) liegt und „auf den ersten Blick“ ein typisches GSM-Verhalten aufweist. Erst bei einer genaueren Betrachtung der Darstellungen fällt auf, dass das vermeintliche GSM-Signal eine übergroße Bandbreite besitzt. Während die Bandbreite echter GSM-Signale auf etwa 200 kHz zu beziffern ist, liegt sie in Bild 5 bei rund 400 kHz. Trotz dieser Abweichung kann beobachtet werden, dass das Signal einem echten GSM-Signal bzw. einem Broadcast-Kanal sehr ähnelt. Dafür spricht auch der Signalverlauf im Zeitbereich (Bild 6). Hier zeigen sich die etwa 577  $\mu$ s langen GSM-Zeitschlitz, die abhängig von der verwendeten Modulation (GMSK für GSM, 8-PSK für EDGE) größere oder kleinere Pegelschwankungen aufweisen. Somit bleibt an dieser Stelle noch offen, um was für ein Signal es sich hier tatsächlich handelt.

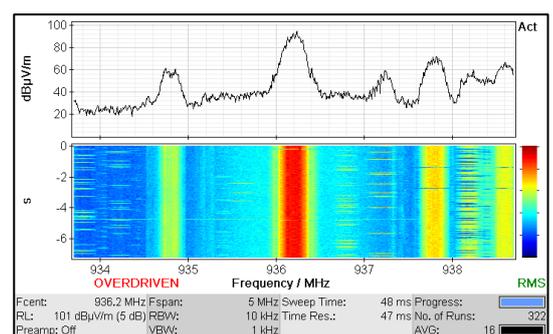
Eine Antwort liefert die Kontrolle des GSM-900-Frequenzbereichs. Dabei ergibt sich Bild 7. Es zeigt einen sehr starken GSM-900-Broadcast-Kanal bei 936,2 MHz. Das Signal führt sogar zur Übersteuerung und besitzt genau die halbe Frequenz des besprochenen Pseudo-Signals (1.872,4 MHz). Somit erschließt sich dessen Herkunft: Es handelt sich um eine Oberwelle, die im IDA durch den starken Sender bei 936,2 MHz verursacht wurde. Eine Bestätigung dieses Problems liefert auch die präzise Untersuchung der Signalbandbreite im Vergleich zu einem echten GSM-900-Signal. Bild 8 (oben) auf der Folgeseite zeigt zuerst den Frequenzhub des echten GSM-900-Signals. Dieser beträgt rund 67 kHz und ist im Spektrum an kleinen Spitzen zu erkennen. Dahingegen weist der ebenso an seinen Spitzen zu erkennende Frequenzhub beim Pseudo-Signal in Bild 8 (unten) einen Hub von etwa 134 kHz auf.



**Bild 5. GSM-ähnliches Signal bei 1.872,4 MHz mit doppelter Bandbreite (400 kHz) im Vergleich zu GSM (200 kHz) (vgl. Bild 1, Span-Einstellung 4)**



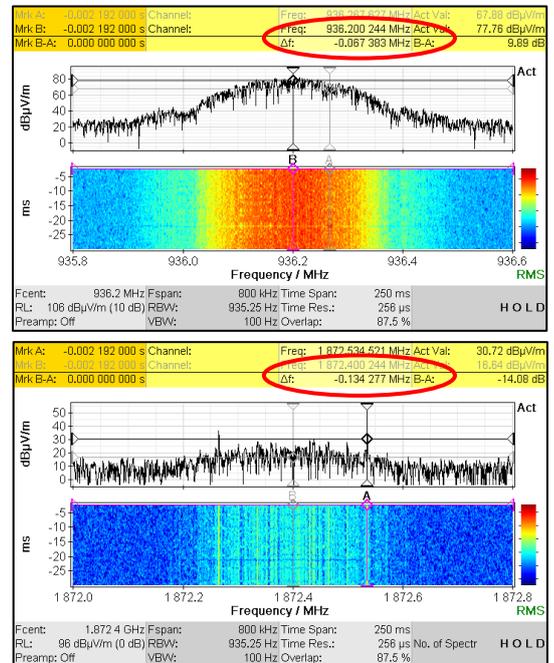
**Bild 6. GSM-ähnliches Pseudo-Signal weist GSM-typischen Zeitverlauf auf**



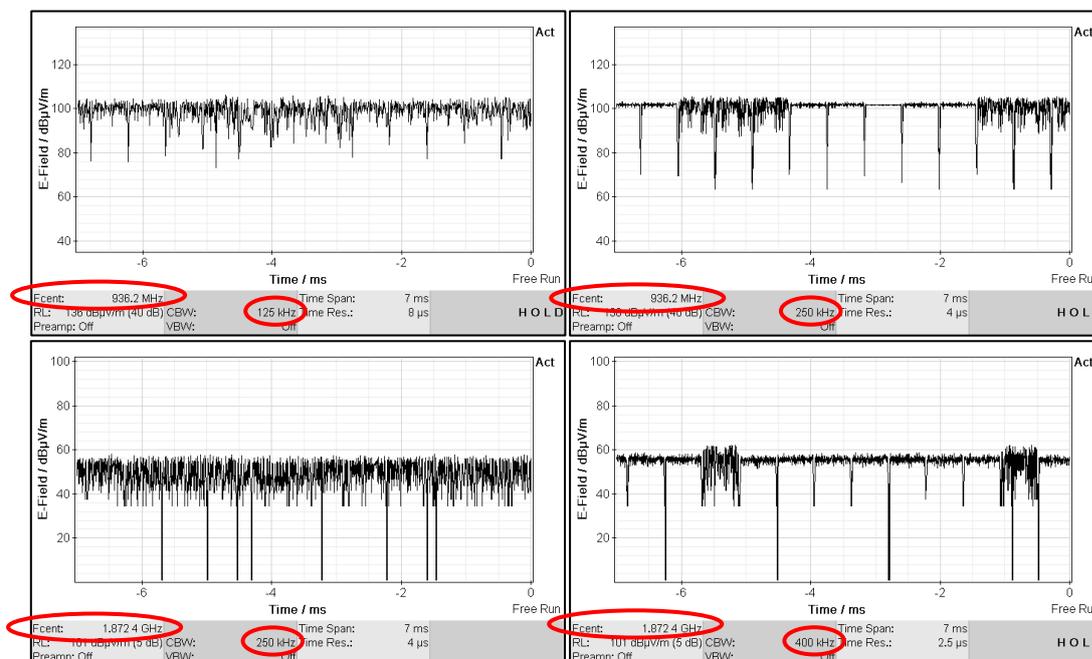
**Bild 7. Signalbetrachtung bei 936,2 MHz (Hälfte von 1.872,4 MHz) offenbart starken, zur Übersteuerung führenden GSM-Broadcast-Kanal**

Die Messung mittels Delta-Marker bestätigt also, dass es sich beim vermeintlichen Störsignal um eine Oberwelle handelt. Dieses erlangt durch die frequenzmäßige Verdopplung auch die doppelte Bandbreite. Ohne Marker ist dieser Sachverhalt nicht immer gut zu erkennen, denn starke GSM-900-Signale treten deutlich stärker aus dem Rauschen hervor als deren relative schwache Oberwellen.

Die Identifizierung von Pseudo-Signalen, die durch Übersteuerung bzw. hohe Signalpegel verursacht werden, kann nicht nur unter Zuhilfenahme der Marker-Funktion erfolgen, sondern auch im IDA Scope-Modus. Bild 9 zeigt wie mit Hilfe der CBW echte GSM-Signale von Pseudo-GSM-Signalen unterschieden werden können. Das Bild links oben verdeutlicht anhand von GSM-900, dass eine CBW von 125 kHz nicht genügt, um die 577  $\mu$ s langen GSM-Zeitschlitz deutlich anzuzeigen. Hingegen genügt eine CBW von 250 kHz (rechts oben). Dann sind auch die jeweiligen Modulationsarten sicher zu erkennen. Wird die CBW von 250 kHz allerdings auf das Pseudo-Signal angewandt, so ist die Erkennung einzelner Zeitschlitz wiederum nicht möglich (links unten). Erst die Vergrößerung der CBW auf 400 kHz, also die tatsächliche Bandbreite des Pseudo-Signals, macht die Zeitschlitz sichtbar (Bild 9, rechts unten).

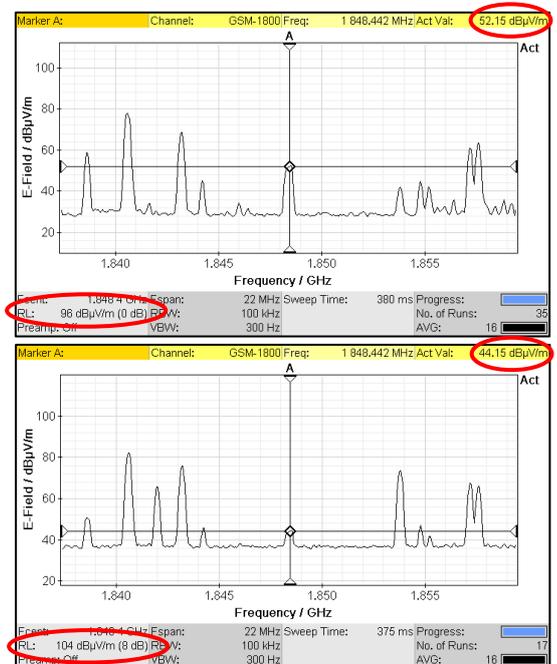


**Bild 8. Unterscheidung von echtem GSM-Signal und Pseudo-Signal durch Frequenzhub-Messung**



**Bild 9. Unterscheidung von echtem GSM-900-Signal und Pseudo-Signal (Oberwellen) durch Anwendung verschiedener CBWs im IDA Scope Mode**

Bisher traten Pseudo-Signale im IDA dann auf, wenn deren Grundsignale eine Overdriven-Warnung erzeugten. Aufgrund von Nichtlinearitäten außerhalb des Überwachungsbereiches für die Overdriven-Warnung können Pseudo-Signale jedoch auch dann entstehen, wenn ihre Grundsignale eben dort auftreten. Dies trifft auf Bild 10 zu. Hier wird lediglich das resultierende Pseudo-Signal gezeigt und überprüft wie dessen Pegel auf Veränderungen des Reference Levels reagiert. Veränderungen des Reference Levels dürfen zu keinen Änderungen des Pegels eines gemessenen realen Signals führen! Im Gegensatz dazu verändern Oberwellen, und so auch das Pseudo-Signal in Bild 10, aufgrund ihrer internen Entstehung an aktiven Komponenten des Analysators ihren Pegel durchaus. In Bild 10 (oben) liegt der Pegel des vermeintlichen GSM-Signals bei 52 dB $\mu$ V/m. Ein Erhöhen des Reference Levels um 8 dB (Bild 10 unten) bewirkt einen Signalpegel von 44 dB $\mu$ V/m – dies deutet auf ein Übersteuerungsprodukt 2. Ordnung hin. Zusammenfassend können Oberwellen im IDA durch Messung der Signalbandbreite / des Frequenzhubs, durch versch. CBWs im Scope Mode und durch Veränderung des Reference Levels erkannt werden. Zudem können sie auch dann entstehen, wenn keine Overdriven-Warnung vorliegt. Häufig ist es deshalb sinnvoll, Messungen nicht sofort mit dem interessierenden Span zu beginnen, sondern auch benachbarte und modulierende Frequenzbereiche zu kontrollieren. Im Zuge solcher Übersichtsmessungen sollte der Vorverstärker zunächst nicht eingeschaltet werden.



**Bild 10. Erkennung von Oberwellen bzw. Pseudo-Signalen durch Pegelveränderungen bei Reference Level-Änderung**

#### 4 Gegenmaßnahmen und ihre Vor- und Nachteile

Mit Hilfe der Kapitel 2 und 3 ist es möglich In-Band- und Außer-Band-Übersteuerungen zu identifizieren und zu vermeiden, konkrete Maßnahmen zum Umgang in hochdynamischen Messumgebungen enthalten diese Kapitel jedoch nur stellenweise. Schließlich ist die Zielsetzung in hochdynamischen Messumgebungen schwache Funksignale zu messen ohne an Messempfindlichkeit einzubüßen. Eine Möglichkeit dieser Anforderung gerecht zu werden, besteht in der Verlegung des momentanen Messpunktes und der Ausrichtung der Peilantenne. In Bild 11 wird deshalb vorgeschlagen den Messpunkt aus dem Hauptstrahl einer Basisstation hinaus zu verlegen in den „Funkschatten“ einiger Häuser. Von dort trägt die Ausrichtung der Peilantenne zur hinteren Hausreihe weiter zum Schutz vor Übersteuerungen bei. Natürlich sind diese Maßnahmen, vor allem bei Störersuchen, nicht immer realistisch oder sinnvoll. Deshalb kommen häufig auch externe Filter zum Einsatz. Diese unterdrücken starke Funksignale in nicht interessierenden Frequenzbereichen, während schwache Signale in interessierenden Frequenzbereichen weiterhin mit hoher Messempfindlichkeit erfasst werden können. Mit dieser Maßnahme befasst sich das folgende Kapitel im Detail.



**Bild 11. Veränderung des Messpunktes zur Vermeidung von Regionen mit starken Funksignalen**

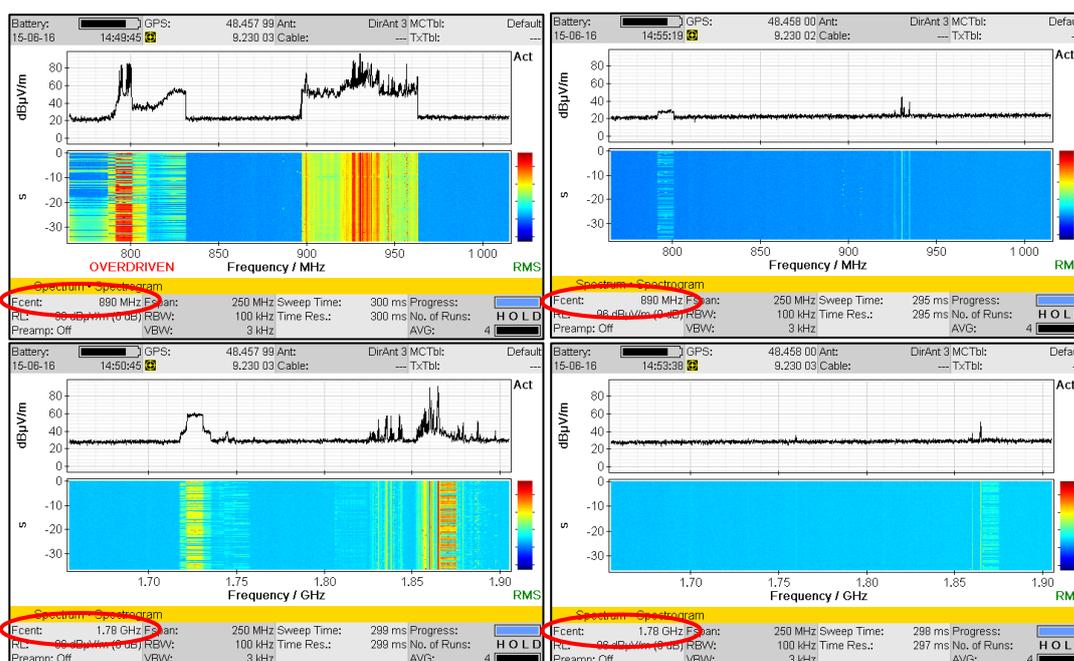
## 5 Externe Filter im Detail

Externe, also am Analysatoreingang auf- und abschraubbare Filter erlauben eine bandselektive Erhaltung der Messempfindlichkeit. Im IDA sind sie zwischen Antennenkabel und Grundgerät einsetzbar. Die Spezifikation eines Filters ist von der erforderlichen Messung abhängig. Normalerweise wird der interessierende Frequenzbereich betrachtet und berücksichtigt, bei welchen Frequenzen starke bzw. übersteuernde Signale vorliegen könnten. Prädestiniert für diese Betrachtung sind moderne Mobilfunksysteme. Hier ist es realistisch, dass empfindliche Messungen im Uplink erforderlich sind, während der von Basisstationen abgestrahlte Downlink zu Übersteuerung führen würde. Filter sind demnach so zu spezifizieren, dass Downlinksignale gedämpft werden und Signale im Uplink ungehindert messbar sind. Nicht nur mögliche In-Band-Übersteuerungen (z. B. durch starke Funksignale in benachbarten Kanälen) sind dabei zu berücksichtigen, sondern auch Außer-Band-Übersteuerungen durch modulierende Frequenzbereiche (typischerweise halbe Frequenz). Zur Orientierung listet Tabelle 1 die Up- und Downlink-Frequenzbereiche gängiger Mobilfunksysteme auf. Dabei wird deutlich, dass Up- und Downlink oftmals nah beieinander liegen. Schlussfolgernd sollte die Filterkurve eine hohe Flankensteilheit besitzen. Genau diese Eigenschaft steigert allerdings häufig die Baugröße des Filters. Die Dimensionierung eines externen Filters stellt somit immer einen Kompromiss zwischen Wunsch-Frequenzbereich, Filter-Steilheit und Filtergröße/-gewicht dar.

	Uplink [MHz]	Downlink [MHz]
GSM-900	880 - 915	925 - 960
GSM-1800	1.710 - 1.785	1.805 - 1.880
UMTS	1.920 - 1.980	2.110 - 2.170
LTE-800	832 - 862	791 - 821
LTE-1800	1.710 - 1.730	1.805 - 1.825
LTE-2600	2.500 - 2.570	2.570 - 2.690

Bild 12 zeigt beispielhaft je zwei Messungen ohne (links) und mit (rechts) Bandpassfilter für den Bereich 1.710 – 1.785 MHz. Während links oben und unten noch deutliche Übersteuerungen und Harmonische hervorgerufen werden, treten diese rechts nicht mehr auf. Somit wird deutlich, dass mit Hilfe von Filtern In-Band- und auch Außer-Band-Übersteuerungen vermieden werden können!

**Tabelle 1. Up- und Downlink-Frequenzbereiche moderner Mobilfunksysteme in Deutschland (Angaben in MHz, Nutzungsstand am 09.02.2016)**



**Bild 12. Up- und Downlinks verschiedener Mobilfunksysteme ohne (links) und mit (rechts) ext. Filter**

## 6 Vorteile externer Filter im Vergleich zu Vorselektionsfiltern

Ein sinnvoller Ansatz ist die Integration von Vorselektionsfiltern (engl. Preselectors) in das Design eines Spektrumanalysators. Idealerweise leiten diese nur den interessierenden Frequenzbereich weiter. Signale in unerwünschten Bereichen, welche das System übersteuern könnten, werden unterdrückt. Qualitativ hochwertige Vorselektionsfilter (z. B. in der Frequenz mitlaufende YIG-Filter) finden sich häufig in EMV-Messempfängern. Bei portablen Messgeräten, also bei geringer Größe und limitierter Leistungsaufnahme, sowie bei Anforderungen an eine hohe Scan-Geschwindigkeit sind effektive Mitlauffilter mit aktuellen Technologien jedoch nicht realisierbar. Eine Alternative stellen dann Sub-Oktav-Filter dar. Durch die eingeschränkte Baugröße ist aber auch deren Dämpfungsverhalten nur begrenzt. Somit ist der Einsatz externer Filter zur Erhaltung des maximalen Dynamikbereichs ratsam.



**Bild 15. IDA mit externem Filter (hier ohne Klettbandbefestigung)**

## 7 Schlussfolgerungen

Bei Messungen in hochdynamischen Umgebungen sollten folgende wichtige Punkte berücksichtigt werden:

- Bereits vor Beginn einer Messung sollte man sich der Messumgebung bewusst werden und hinterfragen, welche Funk-signale (und Feldstärken) zu erwarten sind und welche Messeinstellungen am IDA erforderlich sind, um ein bestimmtes Signal zu detektieren. Die Auswahl des ersten Messpunktes ist hier von großer Relevanz und eröffnet drei Optionen:
  - 1) Direkter Anschluss des IDA an die z. B. gestörte Antenne einer Basisstation  
Vorteil: Direkte Übernahme der Antennenausrichtung und des Gewinns, Nachteil: Ggf. starke Funk-signale
  - 2) Verwendung des kompletten IDA-Systems in nächster Nähe der Basisstation  
Vorteil: Ähnliche Messung im Vgl. zu betroffener Antenne, Nachteil: Ggf. starke Funk-signale
  - 3) Verwendung des kompletten IDA-Systems in gewisser Distanz zur Basisstation  
Vorteil: Vermeidung starker Funk-signale, Nachteil: Ggf. Geringere Detektions-wahrscheinlichkeit
- Nach Möglichkeit sollten die räumliche Auswahl von Messpunkten und die Ausrichtung der Antenne so erfolgen, dass starke Funk-signale signifikant gedämpft werden und weder In-Band- noch Außer-Band-Übersteuerungen auslösen.
- Nach einer Übersichtsmessung sollte der Vorverstärker stets mit Bedacht eingesetzt werden.
- Die Verringerung der RBW erhöht die Empfindlichkeit weiter, wenn die Reference Level-Einstellung ausgereizt ist.
- Mit Hilfe spezifisch ausgelegter externer Filter ist trotz starker Funk-signale eine hohe Empfindlichkeit im erwünschten Frequenzbereich möglich. Zur weiterhin korrekten Feldstärkeanzeige muss die Filterkurve im IDA hinterlegt werden.
- Möglichkeiten zur Erkennung von Übersteuerung sind: Overdriven-Warnung, Übersichtsmessung mit großem Span, Vergleich Signalpegel und Reference Level, Bandbreiten-Messung mittels Marker, Zeitverlauf bei versch. CBWs

**Narda Safety Test Solutions GmbH**  
Sandwiesenstrasse 7  
72793 Pfullingen, Germany  
Phone +49 7121 97 32 0  
info@narda-sts.com

**Narda Safety Test Solutions**  
North America Representative Office  
435 Moreland Road  
Hauppauge, NY11788, USA  
Phone +1 631 231 1700  
info@narda-sts.com

**Narda Safety Test Solutions GmbH**  
Beijing Representative Office  
Xiyuan Hotel, No. 1 Sanlihe Road, Haidian  
100044 Beijing, China  
Phone +86 10 6830 5870  
support@narda-sts.cn

www.narda-sts.com

® Namen und Logo sind eingetragene Warenzeichen der Narda Safety Test Solutions GmbH – Handelsnamen sind Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer.