Vorteile und Grenzen von Tower-Top-Verstärkern (TTA)

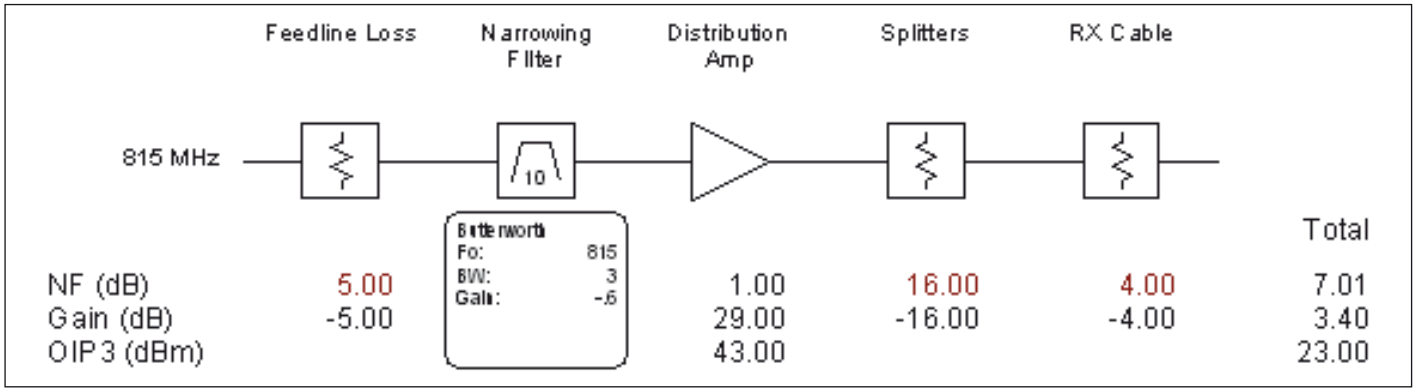


Bild 1: Empfangssystem mit RX-Multicoupler, ohne TTA. Ohne Front-end-LNA zur Kompensation der Feedline-Verluste beträgt die Gesamtrauschzahl des Systems ungefähr 7,0 dB. Beachten Sie, dass sich die Empfängerempfindlichkeit proportional zur Zunahme der Rauschzahl verringert

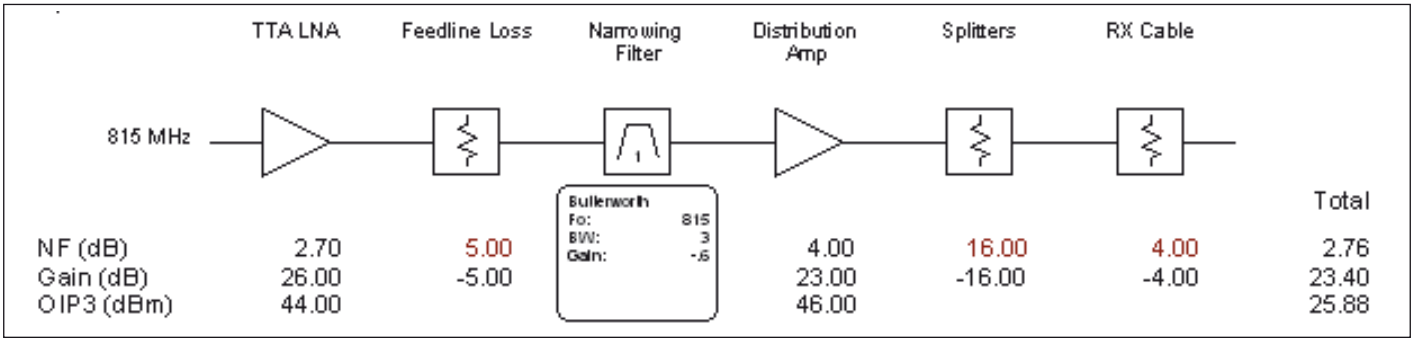


Bild 2: Dieses System verwendet einen TTA. Der Front-end-LNA kompensiert in diesem Fall den Leitungs-Verlust, so dass die Gesamt-Rauschzahl nur ungefähr 2,8 dB beträgt

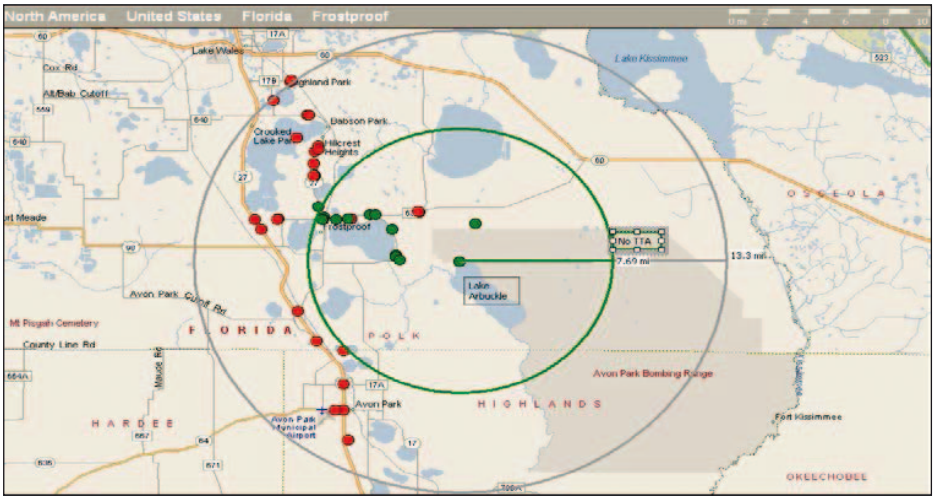
Die Aufgabe eines Tower-Top-Verstärkers besteht darin, die Empfängerempfindlichkeit einer Basisstation zu verbessern, indem er den Verlust des Koaxialkabels kompensiert, das die Empfangsantenne mit dem System verbindet. Der TTA besteht üblicherweise aus dem TA-Gehäuse sowie einer Steuer- und Überwachungseinheit (CMU) oder einem Multicoupler.

Viele glauben, dass TTAs eine Vielzahl von Problemen an jedem möglichen Standort lösen können. Dies ist in vielen Fällen nicht so und dafür gibt es einige Gründe. Ein Missverständnis beim Einsatz eines TTA besteht z.B. in der Annahme, dass er den Empfang an einem Standort mit vorhandenem starkem Rauschen verbessern könnte. In diesem Fall verstärkt der TTA aber nur das Rauschen und erzeugt damit evtl. noch mehr Störungen im Empfänger. Weniger Rauschen dagegen sorgt für eine bessere Systemempfindlichkeit, die es dem Empfänger ermöglicht, ein noch schwächeres Signal aufzunehmen.

Der Hauptzweck des TTA besteht darin, den Verlust der Speiseleitung zu kompensieren, die am Mast heruntergeführt wird. Der TTA verstärkt dazu das schwache Empfangssignal, bevor es in die verlustbehaftete Speiseleitung gelangt. TTAs werden überwiegend ab 700/800 MHz eingesetzt, da die Leitungsdämpfung in diesem Bereich größer als bei den unteren Bändern ist. Ein TTA verbessert nicht die Empfindlichkeit, sondern verringert nur die Effekte der Leitungsdämpfung. Deshalb bringt es normalerweise keinen Nutzen, einen TTA bei VHF/UHF einzusetzen.

Der Rauschboden am Standort sollte zunächst gemessen werden, um die Frage zu klären, ob das Hinzufügen eines TTA zum System die gewünschte Zunahme der Empfindlichkeit bewirkt. Nach der Messung muss man sich natürlich fragen, ob die erreichbare Zunahme der Systemempfindlichkeit den zusätzlichen Preis des TTA wert ist. Die Empfindlichkeit an jedem Standort wird durch die Höhe des Rauschbodens

Bird Systems/Application Engineering
Bird Technologies
www.bird-technologies.com

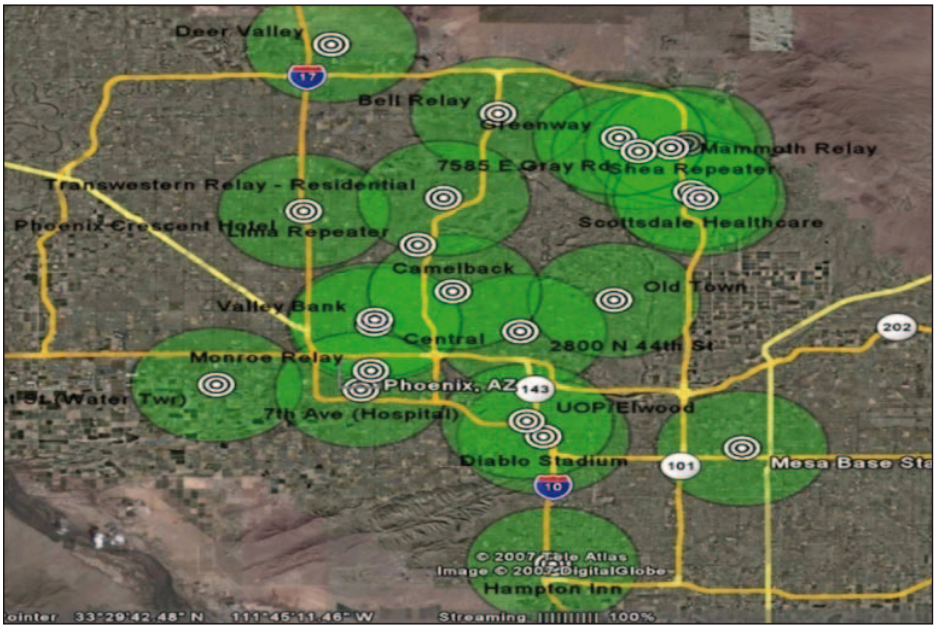


begrenzt, also kann ein TTA die Empfindlichkeit nicht höher als den Rauschboden machen; d.h. Signale im Rauschen, die kleiner als der Rauschboden sind, werden auch durch den TTA nicht hörbar.

Hier ein Beispiel: Der Rauschboden einer Site wird mit -115 dBm gemessen. Zur Verbindung der Antenne mit dem Rest des Systems werden 300' ½"-LDF-Kabel verwendet. Das ½" LDF-Kabel ist mit 2,21 dB Dämpfung/100´spezifiert, das bedeutet einen Gesamtverlust von 6,63 dB. Die Systemempfindlichkeit mit TTA beträgt dagegen ca. -110 dBm. Bei 6,63 dB Leitungsdämpfung würde die Empfängerempfindlichkeit, ohne TTA dagegen nur ca.- 104 dBm erreichen, so dass er in diesem Fall nützlich sein kann. Er erhöht die Empfindlichkeit, die aber immer noch über dem Rauschboden der Site liegt.

Nicht sinnvoll ist dagegen ein TTA, wenn der Rauschboden bei ungefähr -115 dBm liegt, und die kalkulierte Systemempfindlichkeit, beim Einsatz eines TTA, ca. -123 dBm erreichen würde. Subtrahiert man den Leitungsverlust von 6,63 dB, dann erreicht die Systemempfindlichkeit -117 dBm, ohne TTA. Sie ist damit höher als der Rauschboden, so dass der TTA von keinerlei Nutzen wäre, da die Empfindlichkeit letztlich durch den Rauschboden begrenzt wird.

Der TTA bestimmt somit die Gesamtrauschzahl und Systemempfindlichkeit der Basisstation. Aus dem Gesamtrauschmaß lässt sich ersehen, wie gut das System arbeiten wird. Eine niedrigere Rauschzahl ergibt eine bessere Empfänger-Empfindlichkeit. An Standorten, wo nur ein Empfänger-Multikoppler verwendet wird, ist die Rauschzahl höher und verringert die Empfängerempfindlichkeit. Dies liegt daran, dass kein Eingangs-LNA zum Ausgleich der Dämpfung der Speiseleitung vorgesehen ist und das Rauschmaß proportional zum Anstieg der Speiseleitungsverluste anwächst. Der



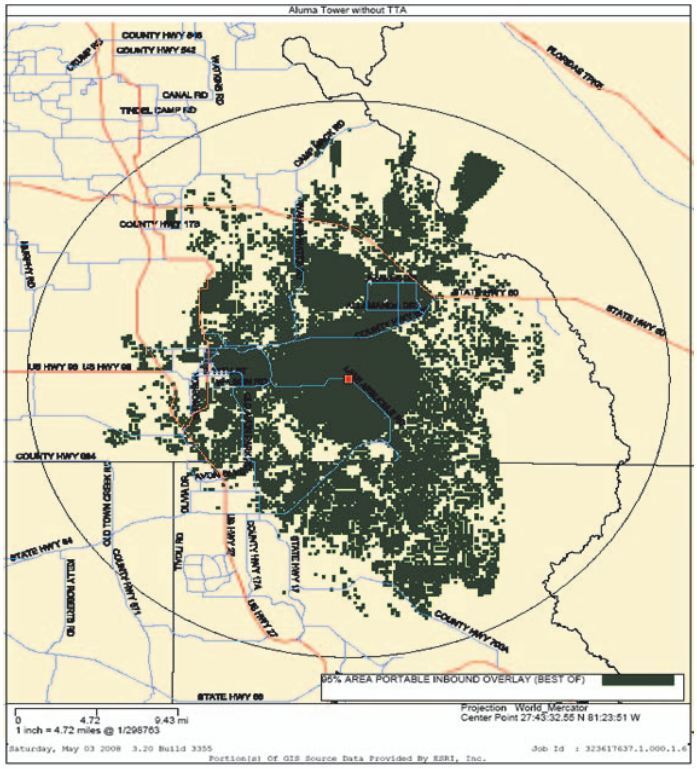


Bild 3: Funkabdeckungsbereich ohne TTA

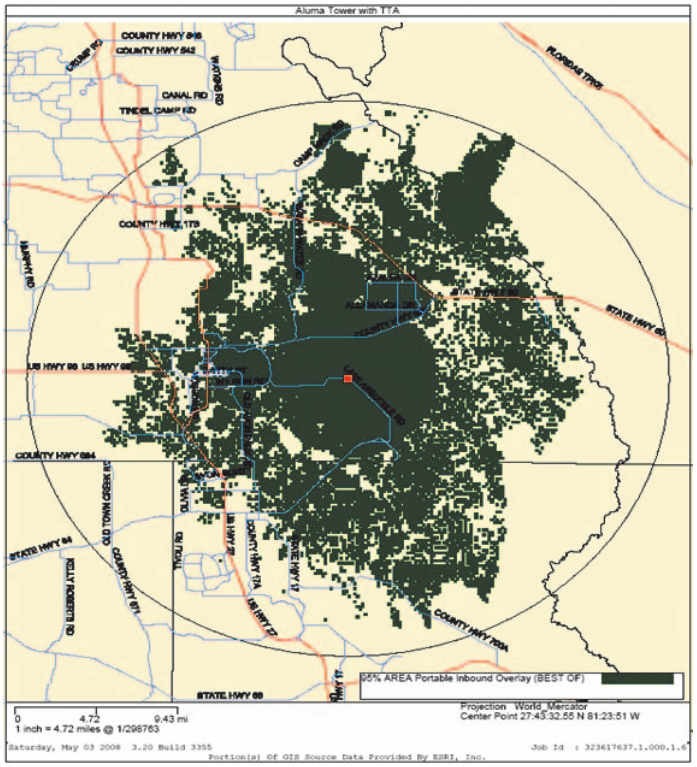


Bild 4: Funkabdeckungsbereich mit TTA

Empfänger-Multicoupler befindet sich am Mastfuß, so dass der Verlust der Übertragungsleitung nicht durch den LNA im TTA ausgeglichen wird, bevor das Signal in die Leitung gelangt. Dieser Verlust erhöht die Gesamtrauschzahl des Systems.

Die erste Stufe in einem Kommunikations-System (in diesem Fall der TTA), ist rauscharm und hat eine hohe Verstärkung. Jegliche Rauschquellen hinter dieser Stufe haben nur einen geringfügigen Einfluss auf das System. Die Gesamt-Rauschzahl eines Empfangssystems wird vor allem durch das Rauschen der ersten Stufe bestimmt. Daher werden im HF-Verstärker eines Empfängers rauscharme Bauelemente eingesetzt. Sobald das Signal die erste Stufe durchlaufen hat, ist es hinreichend verstärkt worden, so dass Rauschbeiträge, die vom Rest des Empfängers beigetragen werden, zu klein sind, um einen Einfluss auf das System zu haben. Die Friis-Formel zeigt, warum das so ist.

$$F_{total} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \ldots$$

Das Gesamtrauschmaß, $F_{receiver}$, wird durch das Rauschmaß des LNA, F_{LNA}, bestimmt, wenn die Verstärkung groß genug ist.

$$F_{receiver} = F_{LNA} + \frac{(F_{rest} - 1)}{G_{LNA}}$$

F bezeichnet das Rauschmaß des Systems. Mit der nachfolgenden Formel kann man den Rauschfaktor in die Rauschzahl (in dB) umrechnen:

10 log (Rauschmaß) = (Rauschzahl) dB

Dies zeigt, dass es wichtig ist, einen LNA als erste Stufe in einem Empfangssystem vorzusehen, das hohe Leitungsverluste aufweist. Dadurch wird verhindert, dass die Leitungsdämpfung das Signal-/Rausch-Verhältnis verschlechtert.

Die nachfolgenden beiden Beispiele veranschaulichen dies numerisch. Bei den betrachteten Systemen handelt es sich um einen Empfänger, der nur einen RX-Multicoupler verwendet (kein TTA) sowie um ein Empfangssystem, das einen TTA benutzt. Man sieht deutlich, welche Vorteile ein TTA für eine Site bringt, die hohe Feedline-Verluste aufweist.

Entscheidende Vorteile eines TTA sind somit einerseits die Kompensation der Leitungsverluste und die daraus resultierende niedrigere Rauschzahl, andererseits muss auch berücksichtigt werden, dass der TTA die Verwendung eines preiswerteren Kabels mit kleinerem Durchmesser und höherer Dämpfung ermöglicht, da er diese Verluste kompensiert. Das dünnere Kabel verringert nicht nur die mechanische Belastung des Masts, sondern auch die Kabelkosten.

Ein TTA auf der Mastspitze hat aber, bedingt durch die größere Empfängerempfindlichkeit, auch Einfluss auf den Abdeckungsbereich. Die Karten in Bild 3 und 4 wurden auf einem Testgelände in Florida hergestellt:

Wie man sieht, wurde die Funkabdeckung im vorgesehene Bereich durch den Einsatz des TTA erheblich verbessert. Die Messungen zeigten eine erhebliche Zunahme der Abdeckungsdichte um 30% bei aktivem TTA.

Ein TTA kann jedoch im Betrieb auch den nachteiligen Effekt haben, dass manche schwächeren Signale jetzt zwar von der Basis besser empfangen werden können, umgekehrt jedoch die Signale von der Basis bei der mobilen Station nach wie vor nicht oder nur schwer gehört werden können. Das Verhältnis zwischen „hören“ und „gehört werden“ sollte daher möglichst ausgeglichen sein. Daher ist von einem TTA abzusehen, wenn er – meist aufgrund topographischer Bedingungen - zwar die empfangsmäßige Abdeckung verbessert, nicht aber den Empfang der Basissignale bei der mobilen Station. Das wäre keine gute Betriebssituation, da eventuell wichtige Anrufe verlorengehen können. Ebenfalls nicht wünschenswert kann eine Erhöhung der Empfangsreichweite sein. Dadurch kann es zu einem Überlappen mit angrenzenden Bereichen kommen, bei dem sich Anrufe zum Teil überlagern oder total ausfallen.