

# Schätzen des Transponder-Betriebspunktes für eine satellitengestützte Datenstrecke

## Diplomarbeit

durchgeführt von

Yll Bislimi

Institut für Kommunikationsnetze und Satellitenkommunikation  
der Technischen Universität Graz

Leiter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. O. Koudelka

Begutachter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. O. Koudelka

Betreuer: Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wilfried Gappmair

Graz, Februar 2013

# Zusammenfassung

Es sollen mit Hilfe von ADS und Matlab-Software Methoden entwickelt und entworfen werden, um den optimalen Betriebspunkt eines Transponders für eine satellitengestützte Datenstrecke zu bestimmen. Der Algorithmus ist in der ADS-Software zu entwerfen, sodass das Empfangssignal in der Bodenstation gleichermaßen dem am Ausgang eines Transponders entspricht. Dabei wird versucht, das weiße Rauschen vor und nach dem TWTA hinzuzufügen, um die Kennlinien eines Transponders wegen eines nicht linearen Verhaltens des TWTA zu schätzen. Ob ein Transponder optimal betrieben wird, d.h. der TWTA noch immer im linearen Bereich arbeitet, soll mit einem Verstärker variiert werden, den TWTA bis zum Sättigungspegel zu übersteuern und das am Ausgang eines Transponders aufgenommene und normierte Histogramm des Zeitsignales mit einer Gauß-Verteilung zu vergleichen. Eine „Chi-Square“ Methode ist aus der Statistik zu wählen, um die Verteilungsfunktion von Histogramm mit den idealen Gauß-Kurven zu vergleichen. Das Ergebnis des Vergleiches liefert eine eindeutige Zahl, die wiederum auf den eingestellten Arbeitspunkt des Transponders rückschließen lässt.

## Abstract

By using the ADS and Matlab Software, methods are developed and designed to estimate the optimal operating point of transponders for a satellite-based (aided) data link. The algorithm is created in the ADS Software so that the received signal in the base station corresponds with the output of the transponder. Thereby, white noise is added before and after the TWTA in order to estimate the characteristics curves of a transponder due to a non-linear relationship of the TWTA. Whether a transponder operates optimally, i.e. the TWTA works still in linear region, this is to be varied with an amplifier to override the TWTA to reach the saturation level at the output and to compare the received and normalized histogram of the transponder of the time signal with a Gaussian distribution. A „Chi-Square“ statistical method is used to compare the distribution functions of the histogram with the ideal Gaussian curves. The result of the comparison provides a unique number, which confirms the adjusted operating point of the transponder.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	7
1.1	Aufgabenstellung .....	7
1.2	Begründung .....	7
1.3	Motivation der Arbeit.....	8
1.4	Die einzelnen Kapitel im Überblick .....	9
2	Satellitenstrecke.....	10
2.1	Verluste und Störungen des Signals .....	10
2.2	Link Budget .....	11
2.3	Verbindung der Satellitenstrecke mit der Simulation .....	12
3	Der Einfluss AWGN - Rauschens .....	21
3.1	Einfluss des AWGN Rauschens vor TWTA .....	25
3.2	Einfluss des AWGN Rauschens nach TWTA .....	35
3.3	Einfluss des AWGN Rauschens vor und nach TWTA .....	43
4	Die „Chi-Square“ Methode .....	57
4.1	Chi-Squared Test .....	60
4.2	Histogramme des aufgenommenen Zeitsignals .....	63
4.2.1	Mit Matlab Implementierte Funktionen .....	67
4.3	Ergebnisse des Chi-Squared-Tests.....	70
5	Zusammenfassung .....	74
6	Literaturverzeichnis .....	75

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Satellitenstrecke .....	10
Abbildung 2.2 Link Budget .....	11
Abbildung 2.3 ADS-Simulation Satellitenstrecke .....	13
Abbildung 2.4 4QPSK gesendete Signalen auf die Satelliten .....	14
Abbildung 2.5 Empfangene und gemessene Signalen auf die Satelliten .....	16
Abbildung 2.6 Transponder .....	17
Abbildung 2.7 Antennen Gain und Attenuator .....	18
Abbildung 2.8 Empfangene und gemessene Signalen auf der Bodenstation .....	18
Abbildung 2.9 LNB auf der Bodenstation .....	19
Abbildung 2.10 Receiver und gemessene Signalen auf der Bodenstation .....	20
Abbildung 3.1 Der Einfluss AWGN - Rauschens .....	22
Abbildung 3.2 Sende - zu Empfangsleistung .....	23
Abbildung 3.3 Transponderkennlinien .....	23
Abbildung 3.4 Rauschen vor TWTA .....	26
Abbildung 3.5 Rauschleistungsdichte vor TWTA .....	26
Abbildung 3.6 Empfangsleistung beim Empfänger-Rauschen vor TWTA .....	27
Abbildung 3.7 Transponder - Kennlinie bei Rauschen vor TWTA .....	27
Abbildung 3.8 Rauschleistungsdichte vor TWTA -135 dBm .....	29
Abbildung 3.9 Rauschleistungsdichte vor TWTA -130 dBm .....	30
Abbildung 3.10 Rauschleistungsdichte vor TWTA -125 dBm .....	30
Abbildung 3.11 Rauschleistungsdichte vor TWTA -115 dBm .....	31
Abbildung 3.12 Rauschleistungsdichte vor TWTA -100 dBm .....	32
Abbildung 3.13 Alle Rauschleistungsdichten vor TWTA -146 bis -100 dBm .....	33
Abbildung 3.14 Rauschen nach TWTA .....	35
Abbildung 3.15 Rauschleistungsdichte nach TWTA .....	35
Abbildung 3.16 Empfangsleistung beim Empfänger-Rauschen nach TWTA .....	36
Abbildung 3.17 Transponder - Kennlinie bei Rauschen nach TWTA .....	36
Abbildung 3.18 Rauschleistungsdichte nach TWTA -135 dBm .....	38
Abbildung 3.19 Rauschleistungsdichte nach TWTA -130 dBm .....	39
Abbildung 3.20 Rauschleistungsdichte nach TWTA -120 dBm .....	39
Abbildung 3.21 Rauschleistungsdichte nach TWTA -115 dBm .....	40
Abbildung 3.22 Rauschleistungsdichte nach TWTA -100 dBm .....	41
Abbildung 3.23 Alle Rauschleistungsdichten nach TWTA (-151 bis -100 dBm) .....	42

Abbildung 3.24 Rauschen vor und nach TWTA.....	44
Abbildung 3.25 Empfangsleistung beim Empfänger-Rauschen nach und vor TWTA...	45
Abbildung 3.26 Transponder - Kennlinie bei Rauschen nach und vor TWTA .....	45
Abbildung 3.27 Signal Rausch Leistungsverhältnis .....	46
Abbildung 3.28 Rauschleistungsdichte vorTWTA-135dBm nachTWTA-140dBm.....	48
Abbildung 3.29 Rauschleistungsdichte vorTWTA-130dBm nachTWTA-135dBm.....	49
Abbildung 3.30 Rauschleistungsdichte vorTWTA-120dBm nachTWTA-125dBm.....	50
Abbildung 3.31 Rauschleistungsdichte vorTWTA-115dBm nachTWTA-120dBm.....	51
Abbildung 3.32 Rauschleistungsdichte vorTWTA-100dBm nachTWTA-105dBm.....	52
Abbildung 3.33 Alle Rauschleistungsdichten vor und nach TWTA (-146 -151 dBm bis-100 -105 dBm) .....	53
Abbildung 3.34 Das Zeitsignal am Ausgang des Empfänger .....	54
Abbildung 3.35 Histogramm des Zeitsignales (Rauschen vorTWTA-146 nachTWTA-151) .....	55
Abbildung 3.36 Histogramm des Zeitsignales (Rauschen vorTWTA-135 nachTWTA-140) .....	55
Abbildung 3.37 Histogramm des Zeitsignales (Rauschen vorTWTA-130 nachTWTA-135) .....	55
Abbildung 3.38 Histogramm des Zeitsignales (Rauschen vorTWTA-120 nachTWTA-125) .....	56
Abbildung 3.39 Histogramm des Zeitsignales (Rauschen vorTWTA-115 nachTWTA-120) .....	56
Abbildung 4.1 Einfluss des Verstärkers vor dem TWTA .....	58
Abbildung 4.2 Sende zu Empfangsleistung –TWTA und Bodenstation.....	59
Abbildung 4.3 Die vier empfangenen und gemessenen Signale.....	59
Abbildung 4.4 Das aufgenommene Histogramm des Zeitsignales .....	62
Abbildung 4.5 TWTA_IN_-35dBm      Abbildung 4.6 TWTA_IN_-30dBm .....	63
Abbildung 4.7 TWTA_IN_-25dBm      Abbildung 4.8 TWTA_IN_-20dBm .....	63
Abbildung 4.9 TWTA_IN_-15dBm      Abbildung 4.10 TWTA_IN_-10dBm .....	63
Abbildung 4.11 TWTA_IN_-7dBm      Abbildung 4.12 TWTA_IN_-4dBm (1dB C.Point) .....	64
Abbildung 4.13 TWTA_IN_-2dBm      Abbildung 4.14 TWTA_IN_0dBm.....	64
Abbildung 4.15 TWTA_IN_+2dBm      Abbildung 4.16 TWTA_IN_+4dBm.....	64
Abbildung 4.17 TWTA_IN_+6dBm      Abbildung 4.18 TWTA_IN_+8dBm.....	65
Abbildung 4.19 TWTA_IN_+10dBm      Abbildung 4.20 TWTA_IN_+12dBm.....	65
Abbildung 4.21 TWTA_IN_+14dBm      Abbildung 4.22 TWTA_IN_+16dBm.....	65
Abbildung 4.23 TWTA_IN_+18dBm.....	66
Abbildung 4.24 Alle normierte Histogramme 200 Häufigkeitsdaten .....	70
Abbildung 4.25 Alle normierte Histogramme 250 Häufigkeitsdaten .....	70

Abbildung 4.26 Normierte Gaußsche Verteilung .....	71
Abbildung 4.27 Die auf der Gaußsche Verteilung normierten Histogramme (200 Häufigkeitsdaten) .....	71
Abbildung 4.28 Die auf der Gaußsche Verteilung normierten Histogramme (250 Häufigkeitsdaten) .....	72
Abbildung 4.29 Ergebnisse des Chi - Squared - Test (200 Häufigkeitsdaten) .....	72
Abbildung 4.30 Ergebnisse des Chi - Squared - Test (250 Häufigkeitsdaten) .....	73

# Tabellenverzeichnis

Table 1 Signalleistung am Ausgang Rauschen vor TWTA.....	28
Table 2 Ausgang S/N Rauschen vor TWTA .....	28
Table 3 Ausgang S/N Rauschen -135 dBm vor TWTA.....	29
Table 4 Ausgang S/N Rauschen -130 dBm vor TWTA.....	30
Table 5 Ausgang S/N Rauschen -125 dBm vor TWTA.....	31
Table 6 Ausgang S/N Rauschen -115 dBm vor TWTA.....	31
Table 7 Ausgang S/N Rauschen -100 dBm vor TWTA.....	32
Table 8 Signalleistung am Ausgang Rauschen nach TWTA.....	37
Table 9 Ausgang S/N Rauschen nach TWTA .....	37
Table 10 Ausgang S/N Rauschen -135 dBm nach TWTA.....	38
Table 11 Ausgang S/N Rauschen -130 dBm nach TWTA.....	39
Table 12 Ausgang S/N Rauschen -120 dBm nach TWTA.....	40
Table 13 Ausgang S/N Rauschen -115 dBm nach TWTA.....	40
Table 14 Ausgang S/N Rauschen -100 dBm nach TWTA.....	41
Table 15 Signalleistung am Ausgang - Rauschen vor und nach TWTA.....	47
Table 16 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor und nach TWTA.....	47
Table 17 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor TWTA -135dBm und nach TWTA - 140dBm .....	48
Table 18 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor TWTA -130dBm und nach TWTA - 135dBm .....	49
Table 19 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor TWTA -120dBm und nach TWTA - 125dBm .....	50
Table 20 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor TWTA -115dBm und nach TWTA - 120dBm .....	51
Table 21 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor TWTA -100dBm und nach TWTA - 105dBm .....	52

# 1 Einleitung

## 1.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung der Diplomarbeit ist, den Betriebspunkt eines Transponders für eine satellitengestützte Datenstrecke zu bestimmen. Um dies zu erreichen, sollen zunächst die geeigneten Methoden ausgewählt und entwickelt werden und danach mit Hilfe einer Simulationssoftware auf die Richtigkeit überprüft werden.

Als Software für eine solche Simulation eignet sich „Advanced Design System“ (ADS) der Firma Agilent EEsof. Damit ist es möglich eine vollständige Simulation einer satellitengestützten Datenstrecke entworfen werden kann. Ebenso kann man, innerhalb der Simulation die Verarbeitung sowohl analoger als auch digitaler Signale unter Berücksichtigung der Dämpfungen, verschiedene Messungsfunktionen etc. darstellen. Um den Betriebspunkt eines Transponders bestmöglich schätzen zu können, wird der ausgewählte Algorithmus mit Hilfe der ADS Software entworfen[1].

Im Rahmen dieser Arbeit wird zusätzlich auch mit der Matlab - Software [2] simuliert und programmiert werden, um die ADS - Ergebnisse zu verifizieren.

Das zu bearbeitende Thema befasst sich daher mit den zwei geeigneten ausgewählten Methoden, um den Betriebspunkt eines Transponders zu schätzen:

- Die erste Methode beschäftigt sich mit der Schätzung des Transponders – Betriebspunktes durch den geeigneten ausgewählten Algorithmus, der mit Hilfe der ADS-Software erarbeitet wurde [3][4].
- Die zweite Methode ist die statistische “Chi-Square“ Methode aus Wahrscheinlichkeitstheorie und der Statistik [5], die im Zusammenhang mit der ersten Methode in der Matlab - Software erarbeitet wurde.

## 1.2 Begründung

Den Betriebspunkt eines Transponders zu kennen ist deshalb wichtig, damit die Leistung auf einem Satelliten - Kommunikations-System überprüft werden kann und die Qualität sowie der Inhalt des Datenverkehr einer satellitengestützten Datenstrecken gesichert werden kann. Eine hohe abgestrahlte Signalleistung von einer Erdfunkstelle (z.B. TV-Uplink Bodenstation) in der Aufwärtsstrecke wirkt auch so aus, dass ein Transponder gesättigt werden kann. Durch diese fortgeschrittenen Methoden ist es



möglich, den Betriebspunkt eines Transponders für eine satellitengestützten Datenstrecke bestmöglich zu bestimmen.

Es ist auch möglich, dass diese Methoden auf die Richtigkeit überprüft und ausgeführt werden. In Bezug darauf sollen diese Schätzmethoden etwa dem Interesse eines TV – Satelliten – Anbieter dienen, welchem diese entwickelte Schätzmethoden für den Betriebspunkt eines Transponders zur Verfügung gestellt werden.

### *1.3 Motivation der Arbeit*

Satelliten bieten heute die Möglichkeit, dass die Daten schnell und erfolgreich übertragen können. Eine erfolgreiche Datenübertragung über die Satelliten ist aber eng mit dem Betriebspunkt eines Transponders verbunden. Das bedeutet, dass die auf dem Satelliten empfangenen Signale bestmöglich zu verarbeiten sind, damit ein Transponder optimal betrieben kann.

Abgesehen von der Funktionsweise eines Transponders, empfängt er die Daten, die von einer Bodenstation (Erdfunkstelle) zu einem Satelliten kommen. Dieser bereitet die Daten so auf, dass der Endbenutzer in der Bodenstation die ausgesendeten Daten von Satelliten wieder bestmöglich empfangen und verwenden kann. Ein Transponder enthält aber alle notwendigen Bestandteile, die zur Verarbeitung von Daten (analoge und digitale Signalen) wichtig sind. Auf dem Transponder wird ein Wanderfeldröhrenverstärker (TWTA, Travelling Wave Tube Amplifier) eingesetzt. Dieser wird benötigt, um empfängerseitig Signale mit ausreichender Leistung zu verarbeiten[5].

Dabei kann man einen TWTA sowohl in linearen Bereich als auch in der Sättigung (nicht linearen Bereich) betreiben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Auswirkung eines gesättigten Transponders, indem ein TWTA als Endverstärker eingesetzt wurde. Wegen seines nicht linearen Verhaltens entstehen die nicht linearen Verzerrungen, die alle von dem Satelliten empfangenen Träger stören. Eine höhere gesendete Signalleistung wegen eines "Rain fade" und das weiße Rauschen wirken auch so aus, dass der Transponder nicht mehr im linearen Bereich betrieben kann, sondern gesättigt wird.

Die am Ausgang eines Transponders gemessenen Kennlinien erklären deutlich den Betriebspunkt eines Transponders, d.h. für eine niedrige Leistung am Eingang eines TWTA sind die Kennlinien am Ausgang des TWTA noch immer im linearen Bereich,

andernfalls sind sie verzerrt. Am Ausgang eines Transponders zeigt auch das aufgenommene Histogramm des Zeitsignales, dass wegen eines gesättigten Transponders die Gaußförmige Amplitudenverteilung eines Zeitsignals verzerrt wird.

Durch diese fortgeschrittenen Methoden ist es möglich, die erwünschte Ergebnisse zu erzielen, um den Betriebspunkt eines Transponders für eine satellitengestützte Datenstrecke zu schätzen.

#### *1.4 Die einzelnen Kapitel im Überblick*

Im zweiten Kapitel wird allgemein der Aufbau einer Satellitenstrecke beschrieben, indem die Funktionsweise der Bestandteile innerhalb einer Satellitenstrecke sowie die Belegung der Daten und die Störungen zu erläutern sind. Eine Verbindung der Satellitenstrecke mit der Simulationsumgebung ist ebenfalls erklärt.

Im dritten Kapitel soll der Einfluss des AWGN (Additiv White Gaussian Noise)-Rauschens vor und nach dem TWTA auf das Empfangssignal erläutert werden. Am Ausgang eines Transponders und eines Empfängers in der Bodenstation ist die Signalleistung zu messen und die aufgenommenen Kennlinien zu schätzen.

Das vierte Kapitel beschäftigt sich mit einer statistischen Methode, die aus der Wahrscheinlichkeitstheorie ausgewählt wurde. Eine "Chi-Square" statistische Methode soll dabei verwendet werden, um die Gaußförmige Amplitudenverteilung des Zeitsignales zu schätzen und den Einfluss der Sättigung auf der Verteilung zu erklären.

Im fünften Kapitel soll eine Zusammenfassung der zwei verwendeten Schätzmethoden beschrieben werden. Dabei sind die Vor- und Nachteile der zwei verwendeten Methoden zu erläutern.

Die Ergebnisse von den beiden Methoden sind auf einer weiteren Arbeit zu erklären.

## 2 Satellitenstrecke

### 2.1 Verluste und Störungen des Signals

Eine Satellitenstrecke (siehe Abb.2.1) funktioniert im Prinzip so, dass das Sendesignal von der Bodenstation durch die Atmosphäre vom Satelliten empfangen wird (Uplink) und vom Satelliten wieder zurück zur Erde gesendet wird (Downlink). Es sind dabei folgende Einflüsse auf die Übertragung des Signals zu berücksichtigen [6]:

- Anspeiseverluste sind die Verluste, die im Hohlleiter entstehen (typisch 1.5 dB).
- Fehlausrichtung entsteht wegen der schlecht ausgerichteten Sende - zu Empfangantenne (typisch 0.2 dB).
- Übertragungsverluste durch Freiraumdämpfung, Atmosphärische Verluste, Szintillation, Verluste in der Troposphäre und Verluste in der Ionosphäre.

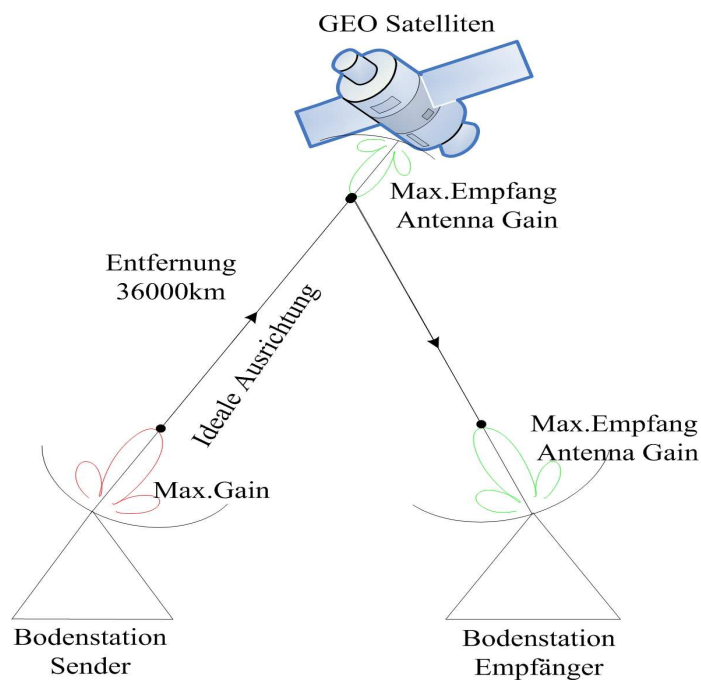


Abbildung 2.1 Satellitenstrecke

Das in der Bodenstation empfangene Signal wird ständig wegen des thermischen Rauschens gestört. Es wird auch das Gaußsche Rauschen genannt, weil die Amplituden normalverteilt sind [6] [7]. Das thermische Rauschen entsteht

- durch die verlustbehafteten Elemente der Antenne (Antennenrauschen),
- durch die Widerstandsbaulemente und
- durch die Verstärkern.

## 2.2 Link Budget

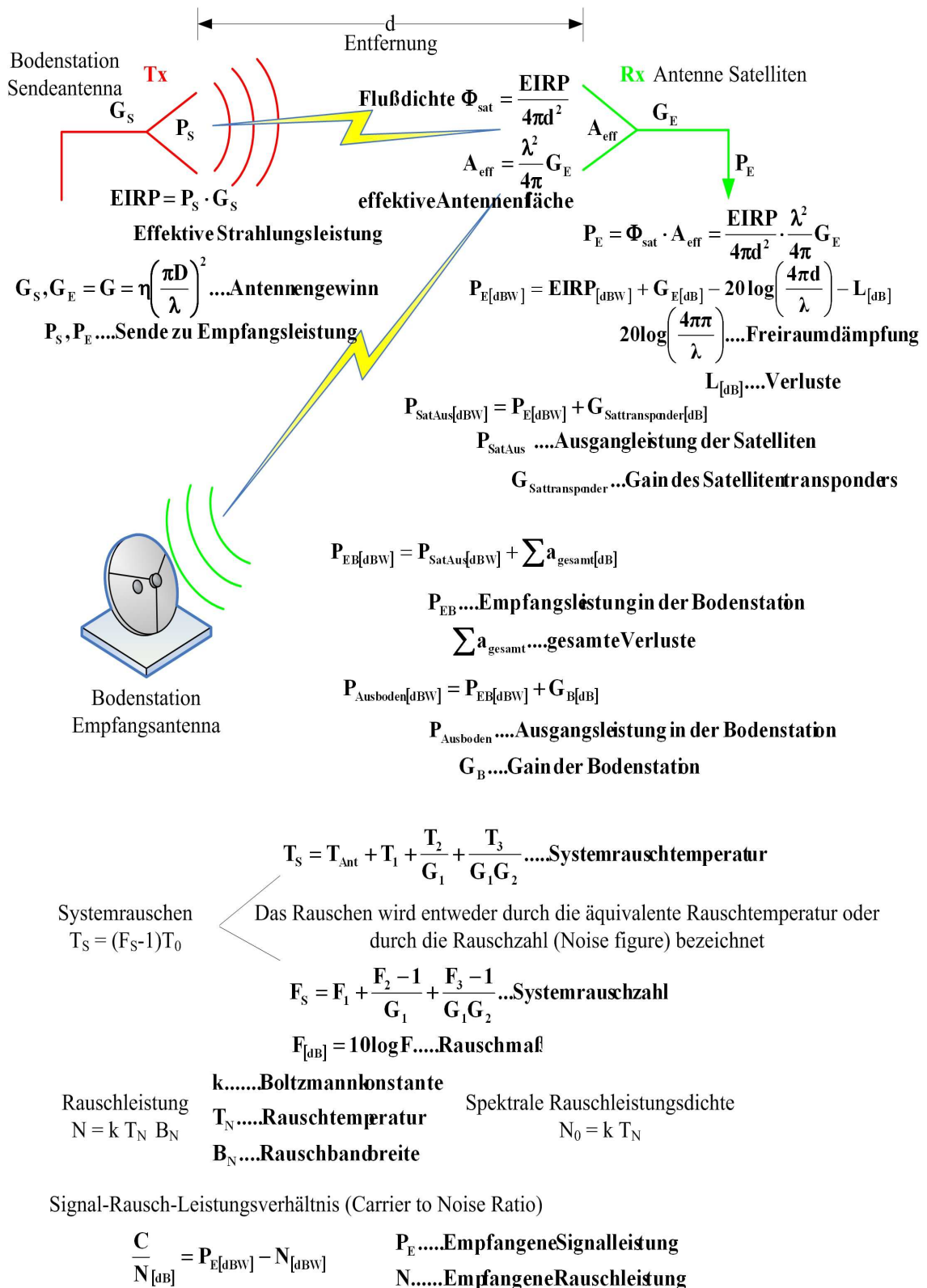


Abbildung 2.2 Link Budget

### *2.3 Verbindung der Satellitenstrecke mit der Simulation*

Es wird mit ADS - Software die Simulation einer Satellitenstrecke dargestellt (siehe Abb.2.3), in dem die vier Signale von der Bodenstation gesendet werden, die in der Folge von einem Transponder empfangen werden. Ein Transponder ist mit allen Bauteilen dargestellt (Antennen, Up-Converter; LNA; Down-Converter). Es ist in dieser Simulation von ADS auch der Empfänger in der Bodenstation mit allen notwendigen Bauteilen enthalten (Antennen, LNB, Empfänger). Am Ende des Transponders wurde auch der Gain (der Gewinn) der Antenne im Satelliten simuliert, da er notwendig für die Sendung des Signals ist. Es ist auch ein Attenuator (Abschwächer) im Gain der Antenne berücksichtigt, der die Freiraumdämpfung des Signals von Satelliten zur Bodenstation bestimmt. Es wurde in dieser Simulation mit einer 100dB Dämpfung gerechnet bzw. simuliert, obwohl in der Praxis im Down Link mit ca.206 dB Dämpfung zurechnen ist. Darüber hinaus soll die Leistung des Signals am Ausgang des Empfängers in der Bodenstation dem Ausgang des Transponders entsprechen. Es ist daher so zu simulieren, dass man unter Berücksichtigung aller Bauteile (Verstärker in der Bodenstation, Freiraumdämpfung, Gain an der Antenne), die gleiche Empfangsleistung beim Ausgang des Transponder und der Bodenstation bekommt. Im Folgenden werden die Abbildungen teilweise von den Bauteilen des Transponders und dem Empfänger der Bodenstation dargestellt und die Funktionsweise auch erklärt.

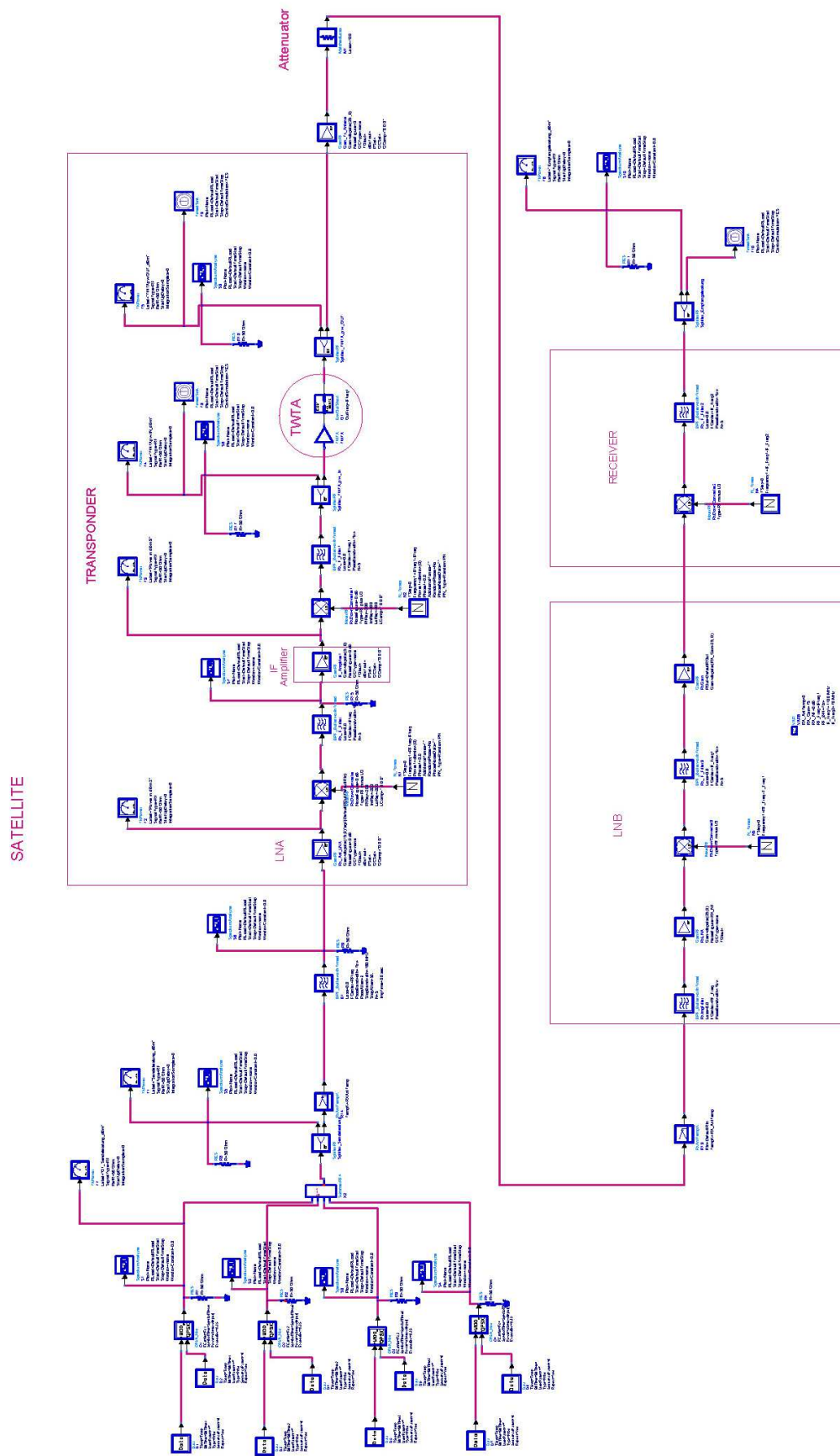


Abbildung 2.3 ADS-Simulation Satellitenstrecke

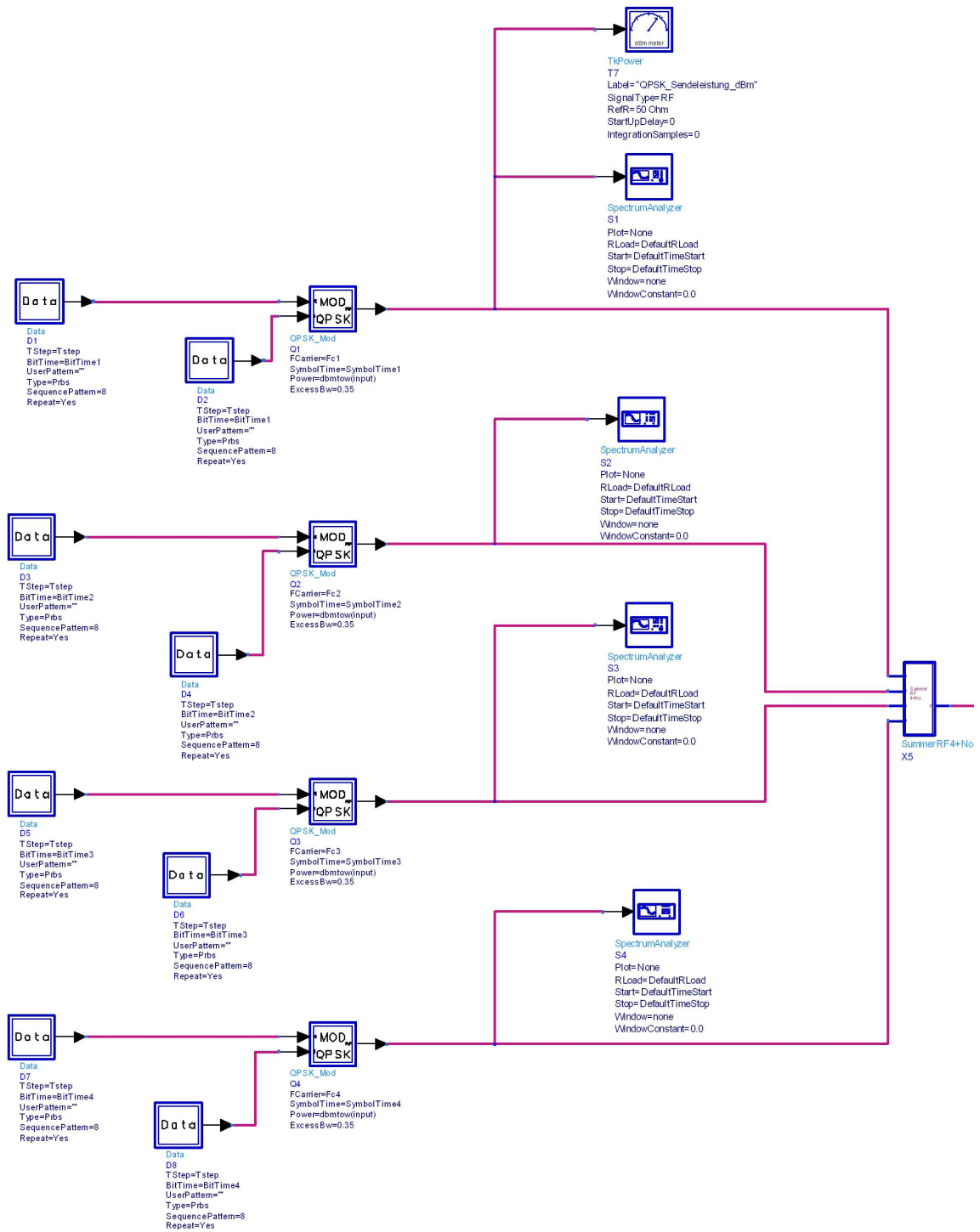


Abbildung 2.4 4QPSK gesendete Signalen auf die Satelliten

Es sind vier QPSK (Quadrature Phase Shift Keying – Vierphasen Modulation) Signale von der Bodenstation zu simulieren, die bei einem Transponder empfangen werden. Jeder Ausgang des QPSK Signals ist mit einem Spektrum Analyzer eingerichtet, um die modulierten QPSK Signal anzusehen. Alle vier QPSK Signale werden mit einem RF - Addierer (Summer) bei der ADS - Simulation verbunden. Es wird daher dargestellt, dass diese QPSK - modulierten Signale von der Antenne am Satelliten aufgefangen werden, die zum Beispiel von den verschiedenen Bodenstationen gesendet werden.

Allerdings ist in diesem Zusammenhang das Zeitmultiplexverfahren zu erwähnen, wobei im Vergleich zu anderen Verfahren wie Frequenzmultiplexverfahren oder Codemultiplexverfahren, jedem Nutzer ein Zeitfenster zugeordnet wird. Während dieser Zeit nutzt jede Station die ganze zur Verfügung stehende Bandbreite. Es ist auch wichtig, dass bei diesem Verfahren die Intermodulationsverzerrungen vermieden werden können, weil nur ein Signal zu einem beliebigen Zeitpunkt verstärkt wird. Bei einem Frequenzmultiplexverfahren wird jede Station kontinuierlich mit eingeschränkter Bandbreite betrieben. Bei einem Codemultiplexverfahren steht das gesamte Band allen Nutzern gleichzeitig zur Verfügung.

Bei einer QPSK- Modulation können zwei Bits pro Symbol übertragen werden. Damit wird die Ausnutzung der Bandbreite, die zur Verfügung steht, verdoppelt. Die Bits eines komplexen Symbols werden mit Real - und Imaginärteil assoziiert. Es werden zwei sinusförmige Signale als Träger zum Einsatz gebracht, die dieselbe Frequenz verwenden und von denen eines um  $90^\circ$  phasenverschoben ist. Daher setzt sich ein QPSK Signal aus zwei addierten BPSK Signalen zusammen gebaut und wird im Empfänger entsprechend demoduliert. Jedem Signal wird eine Trägerfrequenz zugeordnet, die bei der Simulation des QPSK - Signals in ADS Software definiert wird. Es ist möglich, in der Simulation die verschiedenen Funktionen zu entwickeln, indem Variablen wie Trägerfrequenz, Bit time, Symbol time, Timestep, Leistung des Signals bestimmen werden, die für ein QPSK - Signal notwendig sind. Die Symbolrate wird als die Anzahl der übertragenen Symbole pro Zeiteinheit bezeichnet. In diesem Fall wird bei der Simulation in ADS die Symboldauer und die Bandbreite für das QPSK - Signal bestimmt, sodass man die Datenrate abhängig von Symbolrate und die Anzahl der Bits pro Symbol bestimmen kann:

$$\text{Datenrate} = \text{Symbolrate} \times \text{Bits/Symbol}$$

Bei einem QPSK Modulationsverfahren wird die Bandbreite nur halb so groß wie die Datenrate, weil ein Symbol die vier Phasenlagen annehmen kann. Wegen des schmälere Spektrums und da die vier Phasenlagen beim Empfänger wieder richtig erkannt werden müssen, sollte man mit einem größeren Abstand der Signalleistung zur Rauschleistung arbeiten. In diesem Zusammenhang gibt für die Energie pro Bit im Verhältnis zur Rauschleistungsdichte:

$$\frac{E_b}{N_0} = \left( \frac{C}{N_0} \right)_{ges} - B_N$$



Ein Data Generator wird daher bei der ADS - Simulation verwendet, um die Anzahl der Bits innerhalb einer Datenrate des QPSK Signals zu simulieren.

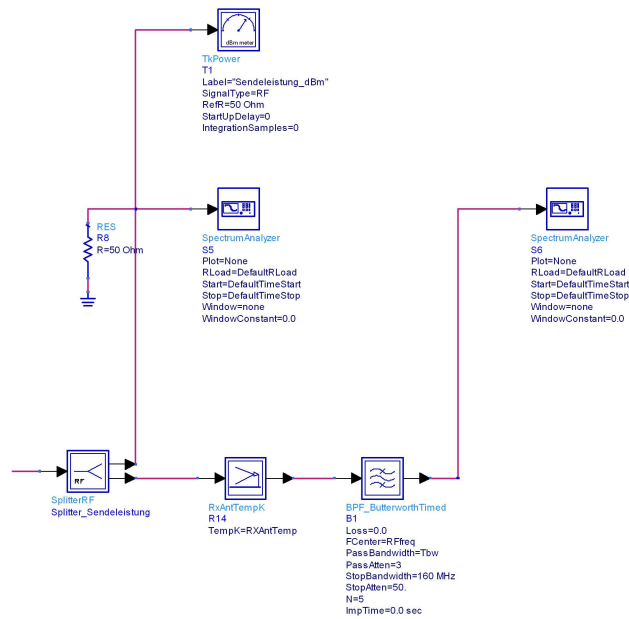


Abbildung 2.5 Empfangene und gemessene Signalen auf die Satelliten

Es wird bei der ADS - Simulation der Empfang der Signale von der Bodenstation simuliert. Alle notwendige Bauteile werden berücksichtigt: Rx-Antennen Temperatur im Satelliten, Bandpass Filter und für die für gemessenen Empfangssignale ein Spektrum Analyzer. Die Bestimmung der Antennentemperatur ist wichtig wegen der Systemrauschtemperatur im Transponder. Es lässt sich daher für verschiedene Temperaturwerte simulieren, damit man entweder die Systemrauschtemperatur oder die Systemrauschzahl im Satelliten bestimmen kann. Es wird im dritten Kapitel über den Einfluss des Rauschens erklärt, indem weißes Rauschen eingeführt werden soll. Ein Bandpass Filter wie Butterworth Filter wird in der ADS Simulation durchgeführt, indem man die Bandbreite des Transponders, die Trägerfrequenz sowie die Temperatur des Filters bestimmen kann. Es ist bei der Simulation mit ADS möglich, dass man an jedem Ausgang des Bauteiles das Signal misst und die Kennlinien, sowie die Eigenschaften des Signals im Frequenz oder Zeitbereich mit einem Spektrum Analyzer darstellen kann.

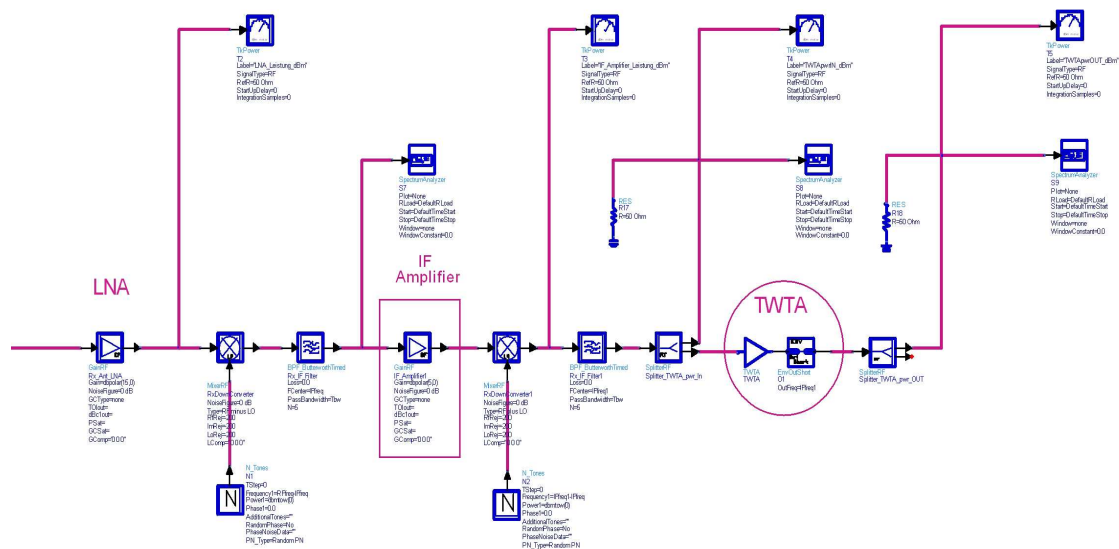


Abbildung 2.6 Transponder

Grundsätzlich ist ein Transponder, wie oben erwähnt wurde, aus LNA (Low Noise Amplifier), Down Converter (Mischer, lokal Oszillator, Bandpass Filter) IF - Verstärker, Up Converter (gleich wie Down Konverter aufgebaut) und TWTA (Travelling Wave Tube Amplifier - Wanderfeldröhre) gesetzt. Ein LNA wurde daher unter die Verwendung eines rauscharmen Bauteils, wie Tunnel - Diode oder GaAs FET Transistoren konstruiert, um die von der Bodenstation gesendeten Signalen wegen einer sehr langen Distanz zu verstärken. Es ist möglich im ADS die Parameter von LNA - Verstärker (Gain, Rauschmaß (Noise Figure, Temperatur) zu bestimmen. Der Down Converter hat die Aufgabe, das empfangene Signal von 14 GHz mit einer Hilfe von lokalem Oszillator und Mischer in eine Zwischenfrequenz umzusetzen. Eine sehr große Rolle in der Verbindung mit der Transponder und der Simulation spielt die Wandelfeldröhre. Diese hat als nicht linearer Verstärker eine Leistung von 200 W (53dBm) und weist einen Gewinn von 50 dB auf. Sie erreicht einen Leistungspegel von 48 dBm beim 1 dB Compression Point und weist eine Gewinnkompression (beim Psat) von 5 dB auf. Der 1dB Compression Point bedeutet, dass die lineare - und die Empfangsleistungskurve sich auf 1dB entfernen. Für ein lineares Verhalten des TWTA sollte man unterhalb des 1dB Compression Point bleiben[6].Es sind daher bei der Simulation im alle notwendigen TWTA - Parametern zu bestimmen und somit am TWTA - Ausgang die Leistung messen und Kennlinien darstellen.

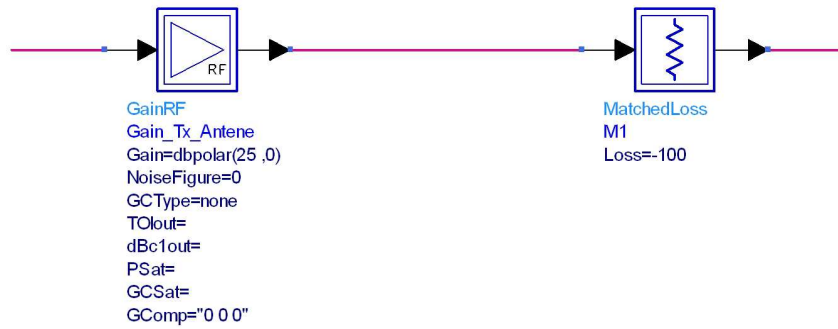


Abbildung 2.7 Antennen Gain und Attenuator

Bei der Simulation mit ADS ist auch der Gewinn der Satelliten - Antenne zu simulieren, indem man auch Parameter wie die Rauschtemperatur einstellen kann. Bei der Simulation mit ADS ist mit einem Gewinn der Antenne von 25 dB zurechnen. Ein Attenuator wird für die Freiraumdämpfung simuliert und ist mit 100 dB Dämpfung anzusetzen. Normalerweise ist für den Down Link von einer Trägerfrequenz von 12 Ghz und einer Dämpfung von 206 dB auszugehen.

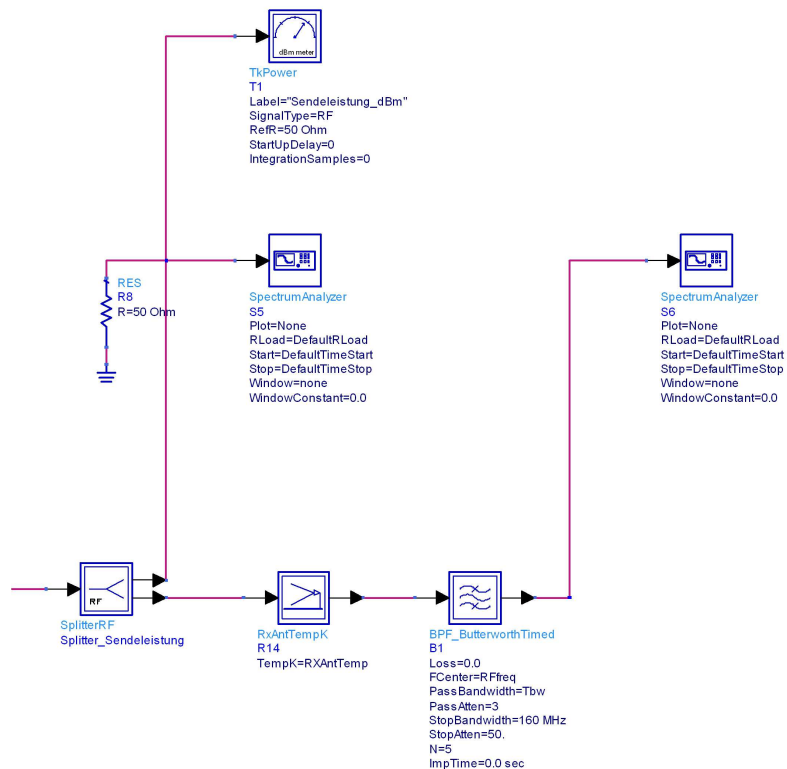


Abbildung 2.8 Empfangene und gemessene Signalen auf der Bodenstation

Die von Satelliten gesendeten Signale werden in der Bodenstation empfangen, wo bei der Simulation mit ADS Software die notwendige Bauteile (Antenne in der

Bodenstation, Bandpass Filter) dargestellt wurden. Es ist möglich, die Trägerfrequenz des Down Link und die Antennen - Temperatur für die empfangenen Signale zu wählen.

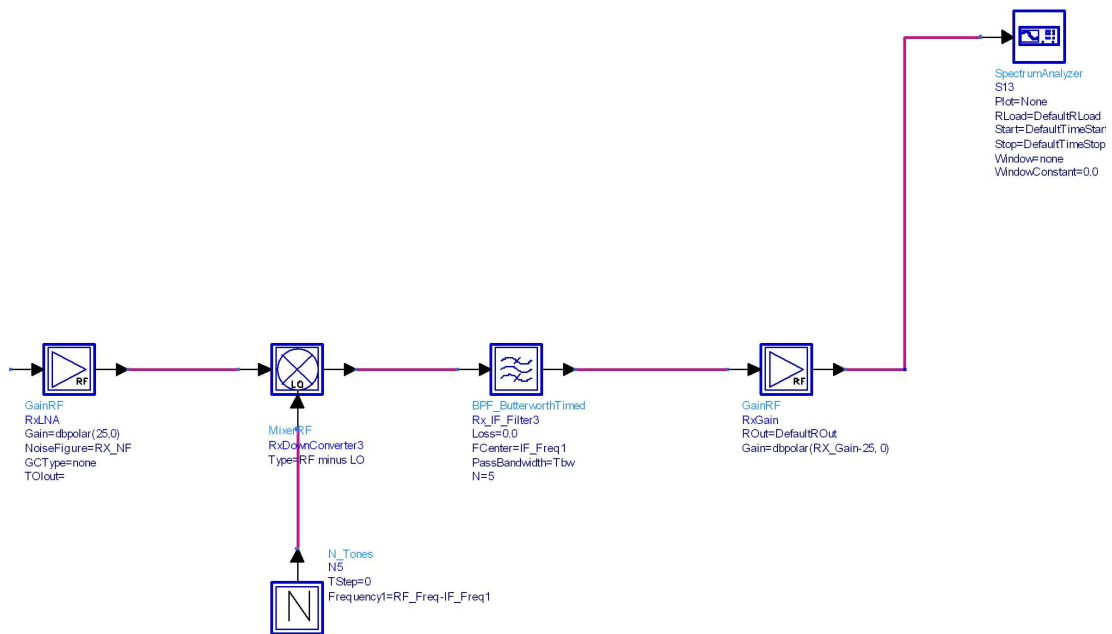


Abbildung 2.9 LNB auf der Bodenstation

Ein LNB (Low Noise Block Converter) ist aus LNA, Frequenzumsetzer und Zwischenfrequenz - Verstärker aufgebaut. Es ist ganz wichtig, für die Schätzung des Transponder - Betriebspunktes mit ADS - Software die Anpassung der Verstärker in einem LNB zu bestimmen. In Bezug auf die Diplomarbeit für die Schätzung des Transponders Betriebspunktes wurde das gesamte Verstärkungssystem bei einem LNB – Pegel von 75dB bestimmt. Dass heißt, dass alle Parametern berücksichtigt wurden, wie: der Gewinn der Satellitenantenne, Freidämpfung vom Satelliten bis zur Bodenstation und die gesamt Verstärkung im LNB, damit man das Empfangsignal in der Bodenstation mit dem Ausgang des Transponders bekommen kann, um den Betriebspunkt des Transponders zu schätzen.

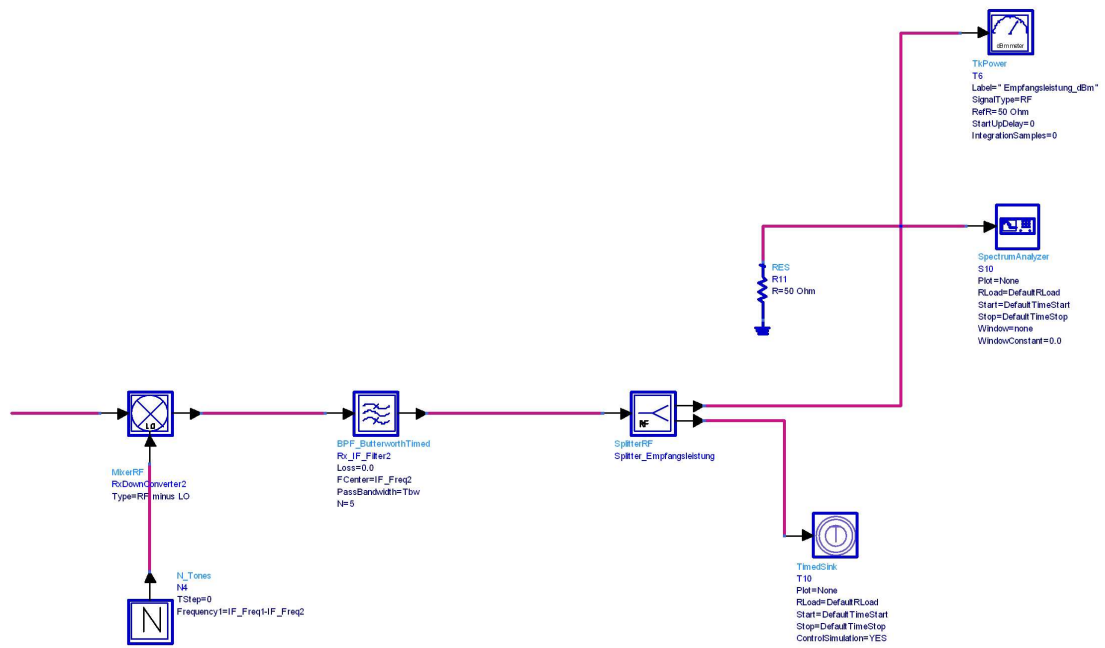


Abbildung 2.10 Receiver und gemessene Signale auf der Bodenstation

Von einer Zwischenfrequenz des LNBs ist das Signal um eine andere Zwischenfrequenz beim Empfänger zu setzen, damit das Signal von einem Endanwender empfangen kann. Normalerweise kann ein Empfänger mit einem bestimmten Modell aufgebaut werden, wobei man in diesem Fall die empfangenen Signale von den Satelliten überprüft und damit auch den Betriebspunkt des Transponders schätzen kann.

### 3 Der Einfluss AWGN - Rauschens

Der Einfluss des AWGN (Additiv White Gaussian Noise)-Rauschens soll vor und nach dem TWTA auf dem Empfangssignal erklärt werden. In der Folge ist dieser Einfluss am Ausgang eines Transponders und eines Empfängers in der Bodenstation auf die Signalleistung zu messen und die aufgenommenen Kennlinien zu bestimmen. Es wird das Rauschen durch die äquivalente Rauschtemperatur (T), bzw. durch die Rauschzahl (F) charakterisiert. Mit Hilfe der Friis-Formel kann man das Signal-Rausch-Verhältnis bestimmen. [6][7]

$$F = F_1 + (F_2 - 1)/G_1 + (F_3 - 1)/(G_1 * G_2) + \dots$$

**F** Rauschzahl (Noise figure)

**G** Gain bzw. Verstärkungsfaktor

Das Rauschmaß ist der logarithmierte Wert:  $F[\text{dB}] = 10 \log F$

$$T_S = T_A + T_{E1} + T_{E2}/G_1 + T_{E3}/(G_1 * G_2) + \dots$$

**T<sub>E</sub>** Rauschtemperatur bezogen auf den Eingang einer Stufe

**G** Verstärkungsfaktor der Stufe

Abbildung 3.1 zeigt das ADS – Modell einer Satellitenstrecke. Es wird bei der Simulation mit der ADS - Software der Einfluss des AWGN - Rauschens vor dem Transponder und nach dem Transponder betrachtet. Man kann in der Bodenstation das System aufbauen, wie man in Abb. 3.1 sieht, sodass die Empfangsleistung gleichermaßen wie nach dem TWTA zu bekommen ist. Es soll daher eine Normierung der Werte erreicht werden, wobei die Werte von der Leistung in der Bodenstation und nach dem TWTA gleich zu bekommen sind. In diesem Fall, wobei kein Rauschen noch eingefügt wird, kann man abhängig von der Sendeleistung die Empfangsleistung beim Empfänger in der Bodenstation und nach dem TWTA messen und dessen Kennlinien erklären.

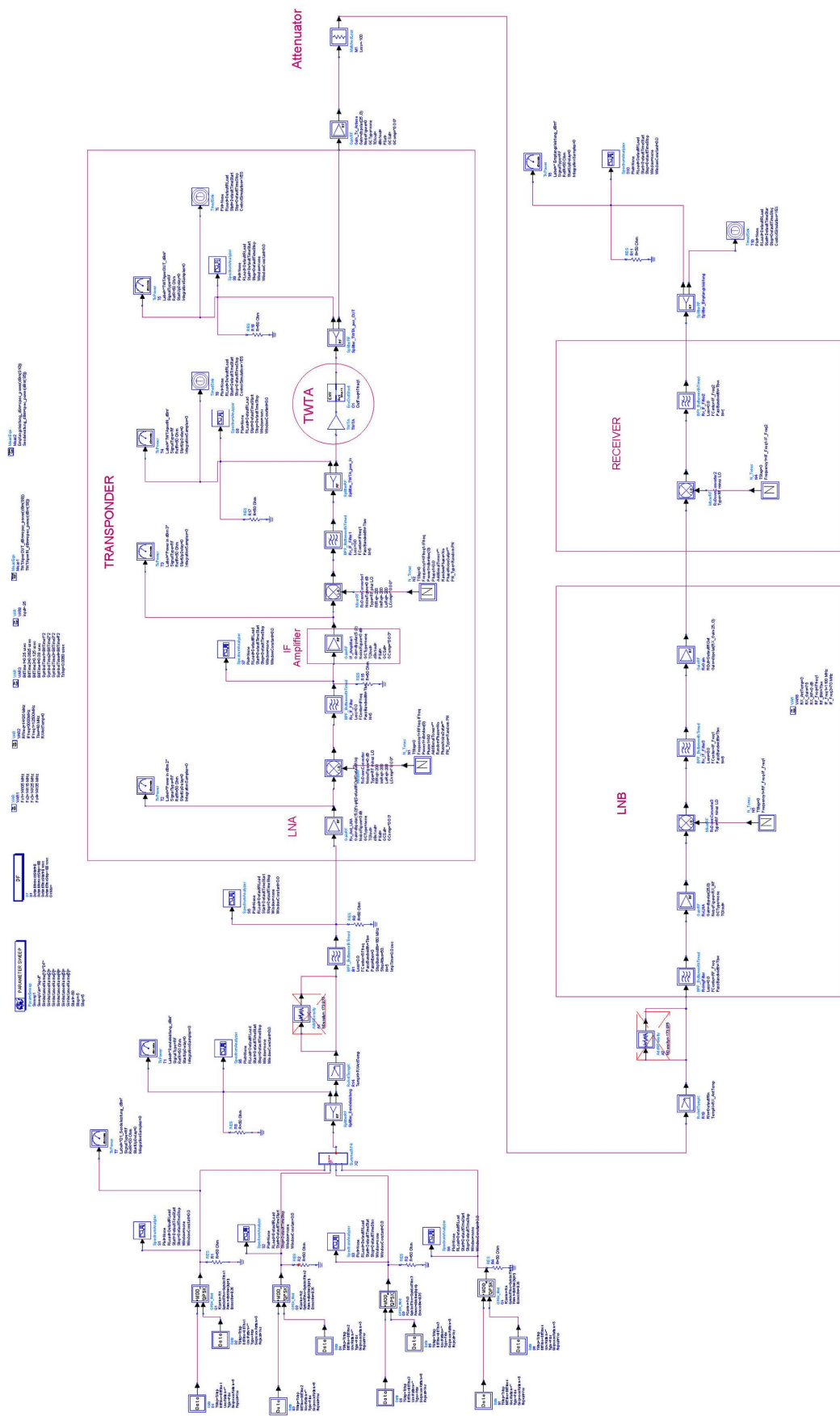


Abbildung 3.1 Der Einfluss AWGN - Rauschens

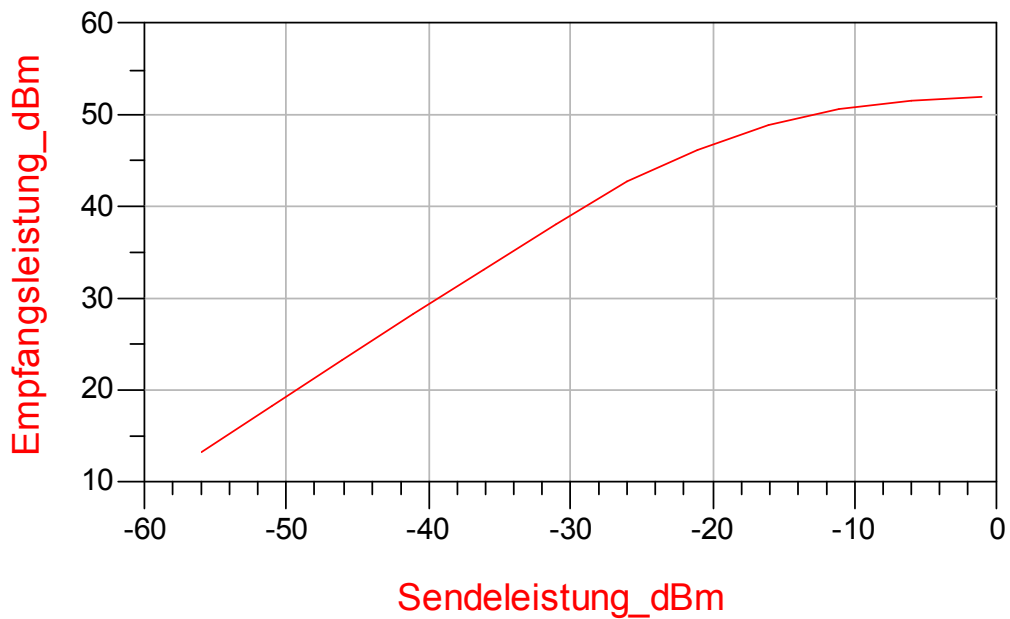


Abbildung 3.2 Sende - zu Empfangsleistung

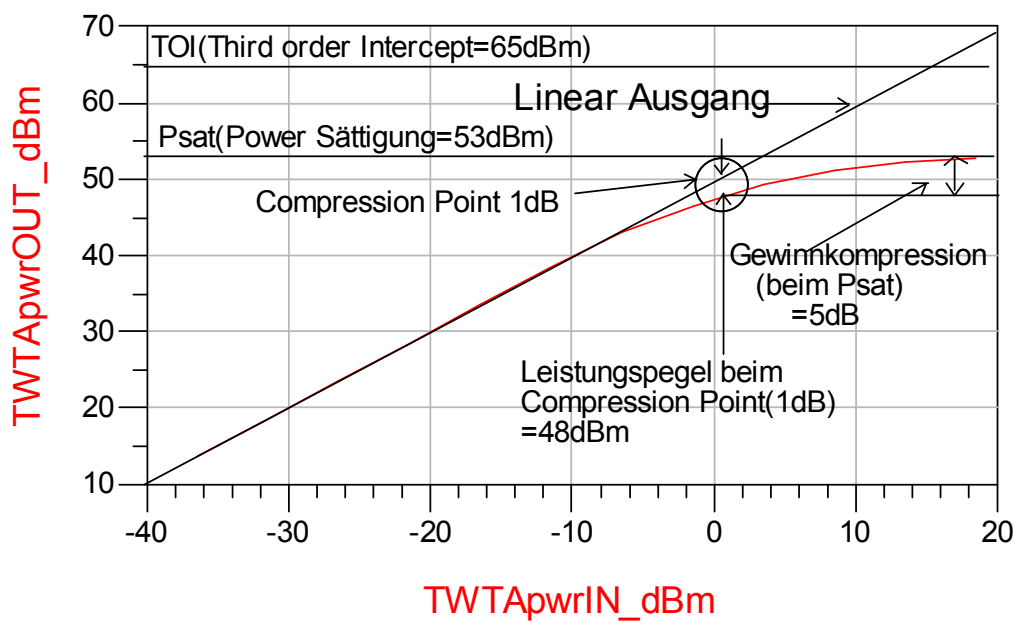


Abbildung 3.3 Transponderkennlinien

Die Abbildung 3.2 zeigt die Abhängigkeit der Empfangsleistung von der Sendeleistung, indem kein Rauschen vor und nach dem TWTA hinzugefügt wurde. Man sieht, dass bei einer Sendeleistung von -50 dBm des Signals am Ausgang 19.5 dBm der Signalleistung empfängt oder bei einer Sendeleistung von -25dBm am Ausgang 44.5dBm zu empfangen ist. Wegen nicht linearen Verhaltens des TWTA - Compression Point ist mit 0.5 dB weniger Signalleistung am Ausgang zu rechnen. Es ist auch wichtig zu erkennen, dass der TWTA eine Gewinnkompression von 5dB aufweist (siehe Abb.3.3). Ein Parameter sweep ist notwendig, um die Kurve in Abb.3.2 aufnehmen zu können. Als



Parameter sweep verwendet man die Eingangsleistung des modulierten Signals (QPSK). Die Leistung des modulierten Signals wurde von -60 dBm bis -5 dBm gesweept. Dabei wurden die vier modulierte Signale gleichwertig gesweept (-60dBm bis-5dBm). Das Signal-Rausch-Leistungsverhältnis entspricht dem Verhältnis Empfangsleistung zu Rauschleistung und wird gewöhnlich mit S/N (Signal to Noise Ratio) bezeichnet (auch als CNR). Das System im Transponder weist ein Gewinn von 70 dB auf (15dB LNA, 5 dB IF – Verstärker, 50 dB TWTA). Wenn man die Eingangsleistung von dem Transponder kennt, kann man abhängig von der Verstärkung des Transponders leicht die Signalleistung am Ausgang des Transponders (nach TWTA) ausrechnen. Berücksichtigt man auch die Rauschleistung am Ausgang des Transponders (gesamte Rauschleistung am Ausgang), dann bekommen wir das Signal-Rausch-Leistungsverhältnis, wie folgt:

Rauschleistungsdichte am Eingang (Antennenrauschen):

$$N0\_in(dBm) = 10 * \log_{10}(K * RX\_AntTemp) + 30 \text{ dB}$$

Rauschleistungsdichte am Ausgang:

$$N0\_out(dBm) = N0\_in(dBm) + RX\_Transponder\_Gain(dB) + LNA\_Transponder\_NF(dB) + TWTA\_Transponder\_NF(dB) + Mischer\_Transponder\_NF(dB)$$

$$RX\_Transponder\_Gain(dB) = LNA\_Gain(dB) + IF\_Gain(dB) + TWTA\_Gain(dB)$$

Total Rauschleistung am Ausgang:

$$N(dBm) = N0\_out(dBm) + 10 * \log_{10}(IF\_BW(Hz))$$

Total Signalleistung am Ausgang:

$$S(dBm) = Pin(dBm) + RX\_Transponder Gain(dB)$$

$$Ausgang\ S/N\ (in\ dB) = S - N$$

Bestimmung des Signal-Rausch-Leistungsverhältnisses ist notwendig, weil es zur Beurteilung der Qualität eines Signals dient. Je größer die Rauschleistung bei konstanten S/N ist, desto kleiner wird die Signalleistung. Das heißt auch, je größer das S/N ist, desto besser wird die Qualität des Signals. Im Zusammenhang mit dem S/N Verhältnis ist der Einfluss des AWGN (Additive White Gaussian Noise) Rauschens stark verbunden. Die Kenntnis darüber ist wichtig, um die Empfindlichkeit des Systems (Transponder und auch Empfänger in der Bodenstation) zu bestimmen. Also man überlagert die empfangenen Signale mit weißem, Gaußschem Rauschen und bestimmt die Empfindlichkeit des Systems (auch das S/N Verhältnis).

Einige wichtige AWGN - Eigenschaften sind:

- Dem Sendesignal  $s(t)$  wird im Kanal das Rauschsignal  $n(t)$  additiv überlagert. Hiermit tritt am Kanalausgang die Summe der beiden Signale  $y(t) = s(t) + n(t)$  auf.
- Die Amplituden der Rauschstörung  $n(t)$  sind zu jedem Zeitpunkt  $t$  normalverteilt (gaußverteilt).
- Die Amplituden der Störung sind zu zwei verschiedenen Zeitpunkten immer unabhängig, (weißes Rauschen).
- Alle Frequenzkomponenten des Rauschsignals haben im Mittel gleiche Leistung.

### 3.1 Einfluss des AWGN Rauschens vor TWTA

Die Abbildung 3.5 zeigt das Rauschelement (Add Noise Density-Rauschleistungsdichte), welches vor den Transponder kommt, wie in der Simulationsdarstellung (Abb. 3.4) gezeigt. Man hat die Rauschleistungsdichte im Eingang des Transponders hinzugefügt, aber kein Rauschen nach dem TWTA (Bodenstation) bestimmt. Das Rauschen (Rauschmaß, Antennenrauschen) wurde in den Bauelementen (Antenne, Mischer, LNA, IF - Verstärker, TWTA) vernachlässigt. Eine Änderung der Rauschleistungsdichte erfolgt, indem man verschiedene Werte von Rauschleistungsdichte hinzufügt (Sweeping). Die Rauschleistungsdichte hat den gewöhnlichen Wert von  $-177.8$  dBm. Ausgehend davon, dass die Rauschtemperatur der Transponderantenne  $40$  K beträgt, muss man mit wenigstens  $60$  bis  $80$  K äquivalenter Rauschtemperatur rechnen, also insgesamt  $100$  bis  $120$  K [7].

$$N_0 = 10 \log(kTN) + 30 \text{ dB} = -177.8 \text{ dBm.}$$

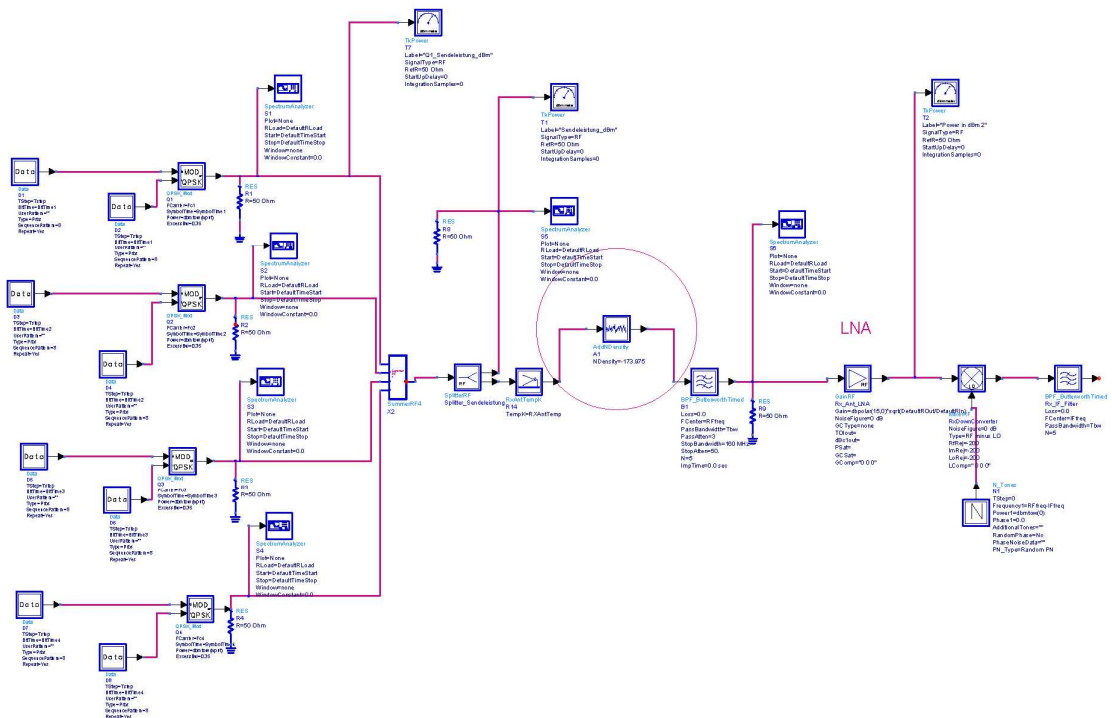


Abbildung 3.4 Rauschen vor TWTA

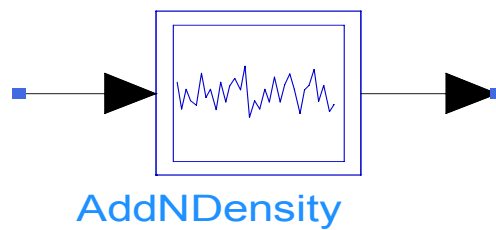


Abbildung 3.5 Rauschleistungsdichte vor TWTA

Eine Änderung der Rauschleistungsdichte von -177.8 dBm bis -100 dBm ist zu betrachten und die Kurven Sendeleistung - zu Empfangsleistung aufzunehmen. Bei einer Änderung der Rauschleistungsdichte von -177.8dBm bis -146dBm bleibt die empfangene Signalleistung wegen kleinen eingefügten Rauschens unverzerrt.

op\_Rauschen\_vor\_TWTA\_\_146..Empfangsleistung\_dBm

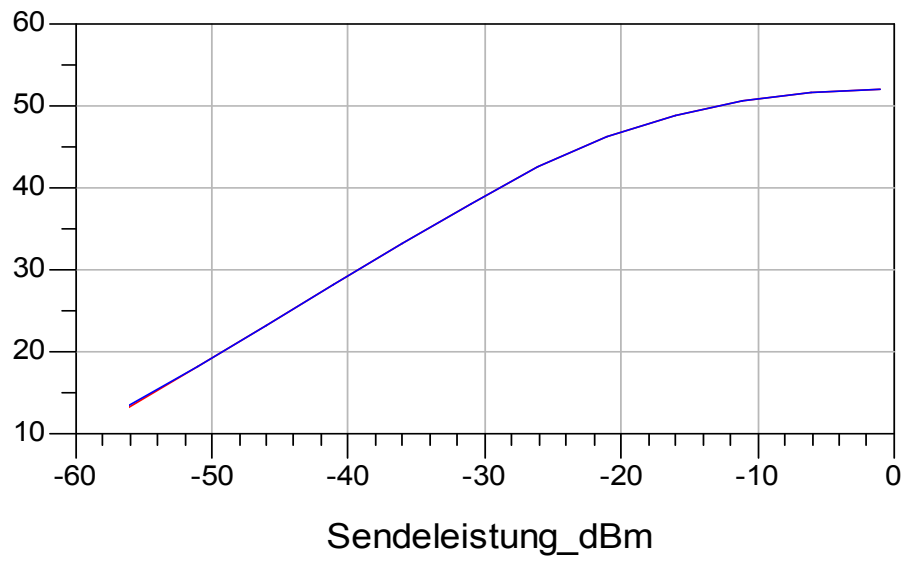


Abbildung 3.6 Empfangsleistung beim Empfänger-Rauschen vor TWTA

op\_Rauschen\_vor\_TWTA\_\_146..TWTApwrOUT\_dBm

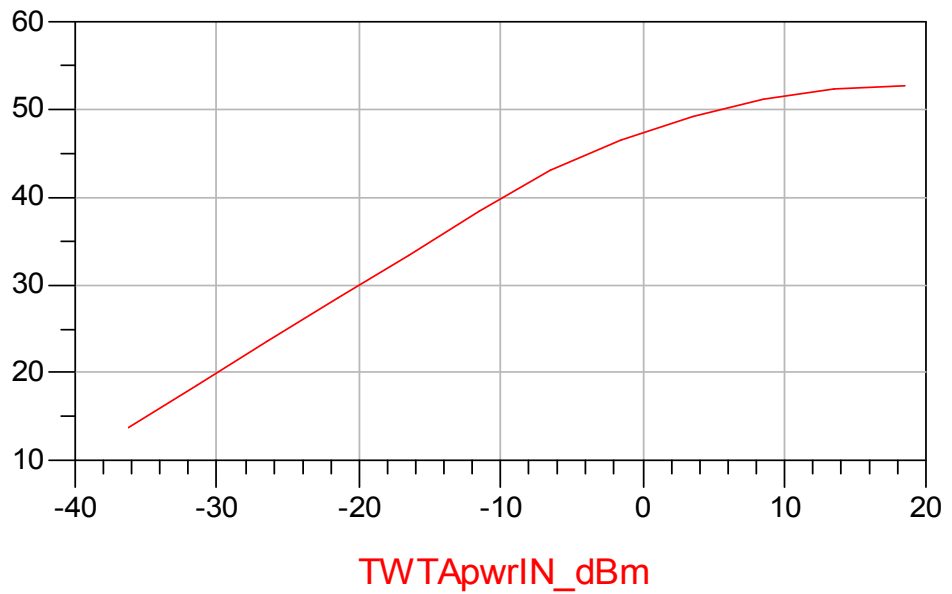


Abbildung 3.7 Transponder - Kennlinie bei Rauschen vor TWTA

Wie man in der Abb. 3.6 und 3.7 zu sehen ist, besteht kein Unterschied zwischen den Empfangsleistungen, wobei keine Rauschleistungsdichte bzw. ein Wert von -146dBm hinzugefügt wurde. Die Kennlinien von den beiden Ausgängen sind unverzerrt, wir wollen um eine Rauschleistungsdichte vor TWTA einfügen, bis die verzerrte Kennlinien des Signals wegen des weißen Rauschens deutlich erkennbar sind.

Nun aber berücksichtigt man das Signal-Rausch-Leistungsverhältnis:

Total Rauschleistung am Ausgang:

$$N \text{ (dBm)} = N0\_out \text{ (dBm)} + 10 * \log_{10} (IF\_BW \text{ (Hz)})$$

$$N0\_out \text{ (dBm)} = -146 \text{ dBm} + 70 \text{ dB (Gain des Ganzesystems beträgt 70 dB)} = -76 \text{ dBm}$$

$$IF\_BW = 40 \text{ MHz} \rightarrow 10 * \log_{10} (IF\_BW \text{ (Hz)}) = 76 \text{ dB}$$

$$N \text{ (dBm)} = -76 \text{ dBm} + 76 \text{ dB} = 0 \text{ dBm}$$

Total Signalleistung am Ausgang:

$$S \text{ (dBm)} = Pin \text{ (dBm)} + RX\_Transponder \text{ Gain (dB)}$$

$$RX\_Transponder \text{ Gain (dB)} = 70 \text{ dB}$$

Table 1 Signalleistung am Ausgang Rauschen vor TWTA

Pin (dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
RX_Tr_Gain (dB)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
S (dBm)	13.5	19.5	24.5	29.5	34.5	39.5	44.5	<b>47</b>	<b>49.5</b>	<b>51</b>	<b>52.5</b>

Table 2 Ausgang S/N Rauschen vor TWTA

S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
S-N (dB)	13.5	19.5	24.5	29.5	34.5	39.5	44.5	47	49.5	51	52.5

Mit diesen Ergebnissen ist zu sehen, wie das S/N-Verhältnis sich abhängig vom eingefügten Rauschen ändert. Es spielt eine große Rolle für die Bestimmung der

Signalqualität und es ergibt auch die Grenze, wo man das mit einer sehr kleinen Leistung gesendete Signal noch immer qualitativ im Empfänger zu bekommen ist. Wie man hier sieht, ist für eine Sendeleistung von -56dBm das  $S/N = 13.5\text{dB}$ . Nachfolgend betrachten wir die Fälle, wo mehr als -146 dBm an Rauschleistung hinzugefügt wird und vergleichen wir mit der aufgenommenen Kurve, wo man kein Rauschen hinzugefügt wurde.

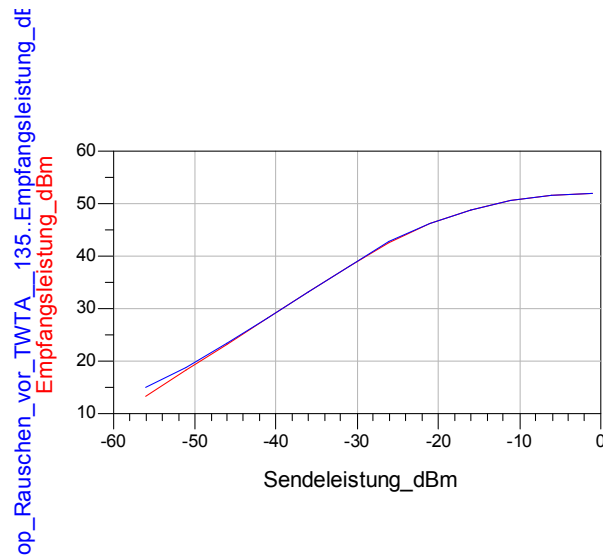


Abbildung 3.8 Rauschleistungsdichte vor TWTA -135 dBm

Table 3 Ausgang S/N Rauschen -135 dBm vor TWTA

Pin(dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19
S-N(dB)	2.5	8.5	13.5	18.5	23.5	28.5	33.5	36	38.5	40	41.5

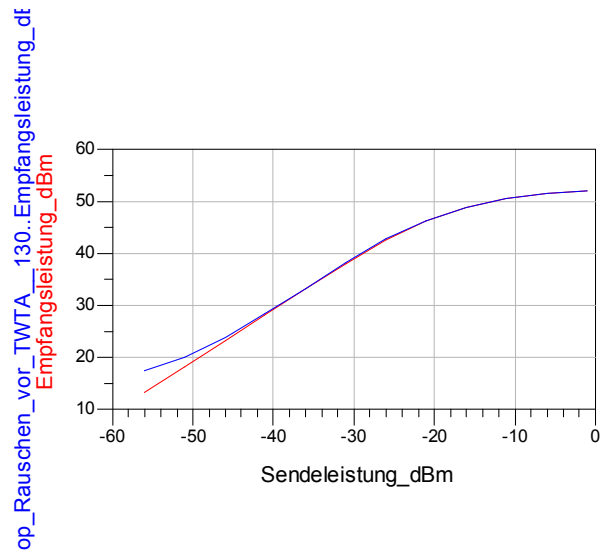


Abbildung 3.9 Rauschleistungsdichte vor TWTA -130 dBm

Table 4 Ausgang S/N Rauschen -130 dBm vor TWTA

Pin(dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
S-N(dB)	-2.5	3.5	8.5	13.5	18.5	23.5	28.5	31	33.5	35	36.5

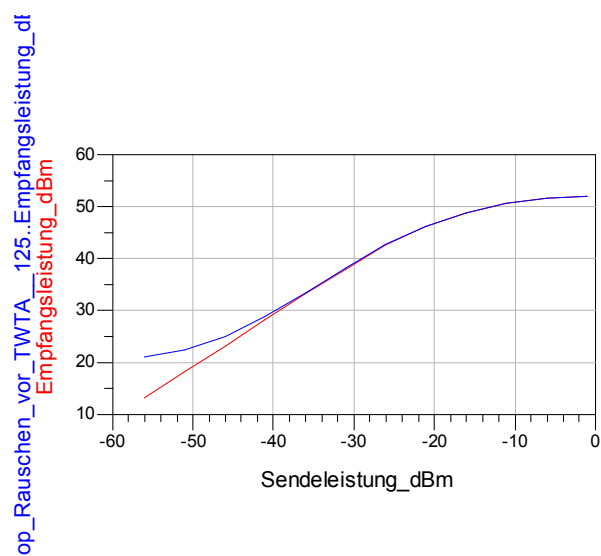


Abbildung 3.10 Rauschleistungsdichte vor TWTA -125 dBm

Table 5 Ausgang S/N Rauschen -125 dBm vor TWTA

Pin(dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9
S-N(dB)	-7.5	-1.5	3.5	8.5	13.5	18.5	23.5	26	28.5	30	31.5

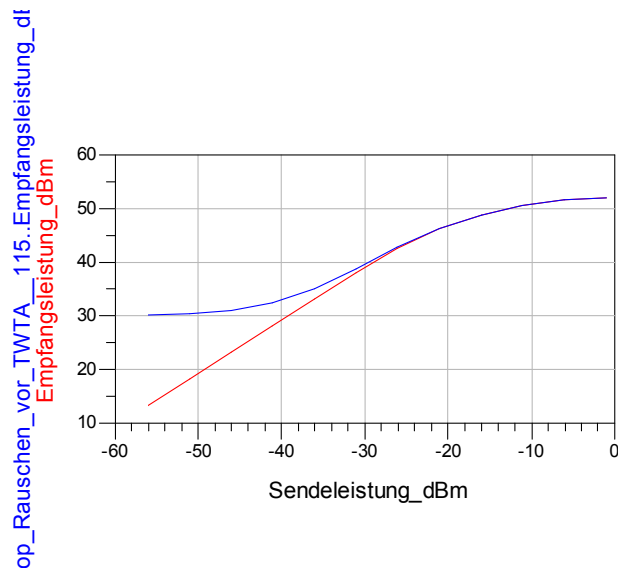


Abbildung 3.11 Rauschleistungsichte vor TWTA -115 dBm

Table 6 Ausgang S/N Rauschen -115 dBm vor TWTA

Pin(dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S-N(dB)	-17.5	-11.5	-6.5	-1.5	3.5	8.5	13.5	16	18.5	20	21.5



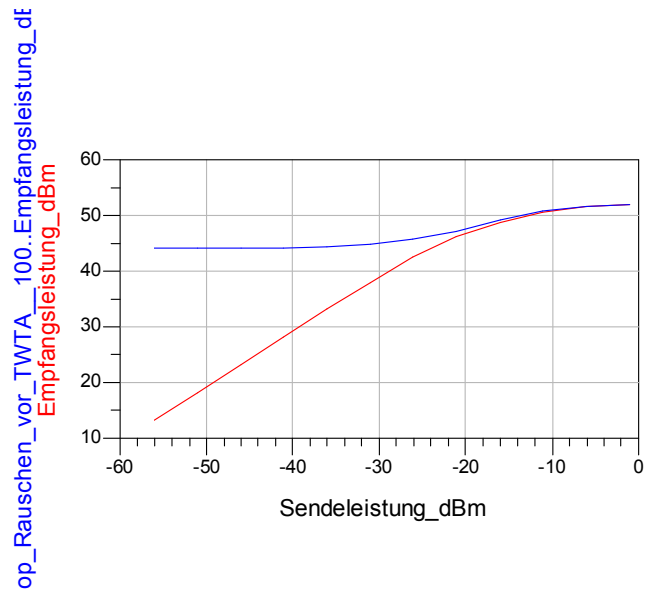


Abbildung 3.12 Rauschleistungsdichte vor TWTA -100 dBm

Table 7 Ausgang S/N Rauschen -100 dBm vor TWTA

Pin (dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
S-N(dB)	-32.5	-26.5	-21.5	-16.5	-11.5	-6.5	-1.5	1	3.5	5	6.5

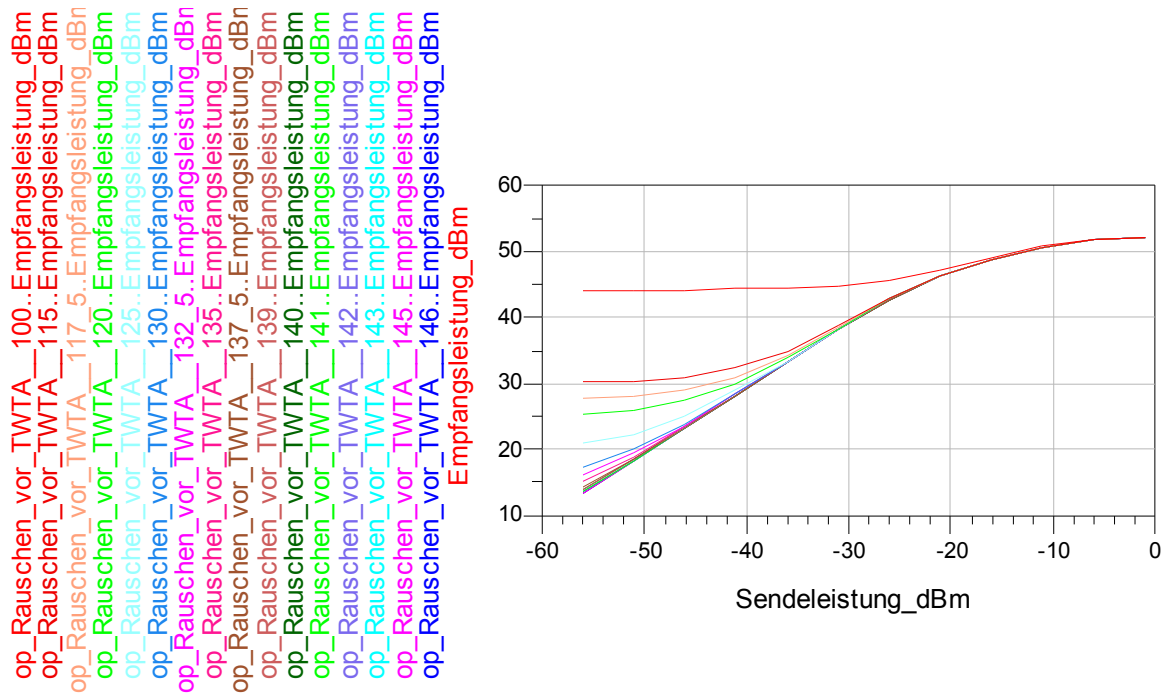


Abbildung 3.13 Alle Rauschleistungsdichten vor TWTA -146 bis -100 dBm

Wie in der Abb. 3.13 zu sehen ist, sind alle aufgenommenen Kurven in Abhängigkeit von den eingefügten Rauschleistungsdichten (Rauschen als Parameter sweep) gezeigt worden. Abhängig vom S/N Verhältnis, wie die oben gezeigten Abbildungen (Abb.3.8-3.12), verändert sich die empfangene Leistungskurve logarithmisch, wie auch tabellarisch gezeigt wurde.

So wie oben erklärt wurde, wird das Rauschsignal dem Sendesignal additiv überlagert. Da die Rauschleistung betragsmäßig eingefügt wurde, wird auch die Rauschamplitude betragsmäßig einen bestimmten Wert übersteigen. Es wird daher am Ausgang des Empfängers die integrierte Signalleistung des Spektrums gewonnen und somit wird auch ein Anstieg der Empfangleistungen, wenn mehr als -146dBm Rauschleistungsdichte hinzugefügt wurde. Es ist daher deutlich zu erkennen, wie die oben gezeigten Abbildungen, dass das AWGN einen starken Einfluss auf das Empfangssignal haben kann. In diesem Zusammenhang ist auch zu sagen, dass je mehr Rauschleistung hinzugefügt wurde, desto kleiner wird das S/N Verhältnis und somit auch die empfangene Signalleistung. Wie hier zu sehen ist, erreicht die Empfangsleistung bei einer höheren eingefügten Rauschleistung den höchsten Pegel, die Nutzsignale selbst liegen im Rauschen verborgen. Eine hohe hinzugefügte Rauschleistung sollte die Wanderfeldröhre des Endverstärkers im Transponder

übersteuern also zur Sättigung führen und andererseits könnte man nicht die vorhandene Leistung eines Satelliten ausnützen. Man sollte bei einer hohen Rauschleistung die Signalleistung erhöhen, um das Signal qualitativ erhalten zu können, das aber führt zu einer Übersteuerung des TWTA durch Sättigungseffekte. Wenn man die Empfindlichkeit des Systems (Transponder) betrachtet, dann ist zu beachten, dass das Signal bis zu einer eingefügten Rauschleistungsdichte von  $-146\text{dBm}$  (entspricht ein S/N Verhältnis von  $13.5\text{dB}$ ) noch immer gut ist. Das heißt auch, dass das Eigenrauschen des Systems und unerwünschtes Rauschen bis dorthin die Qualität des Signals nicht wesentlich vermindern sollen.

### 3.2 Einfluss des AWGN Rauschens nach TWTA

Die Abb. 3.15 zeigt das Rauschelement (Add Noise Density-Rauschleistungsdichte), welches nach dem Transponder (Bodenstation) hinzugefügt worden ist (siehe die Abb.3.14). Man hat die Rauschleistungsdichte am Eingang des Empfängers in der Bodenstation hinzugefügt, das Rauschen vor TWTA ist nicht berücksichtigt. Das Rauschen (Rauschmaß, Antennenrauschen) wurde wiederum in den Bauelementen (Antenne, Mischer, LNA, Receiver - Verstärker) vernachlässigt. Eine Änderung der Rauschleistungsdichte erfolgt, indem man verschiedene Werte von Rauschleistungsdichte hinzufügt (sweeping). Die Rauschleistungsdichte soll den gewöhnlichen Wert von -174 dBm ausgehen haben, welches einer Rauschtemperatur der Empfängerantenne in der Bodenstation von 290 K entspricht.

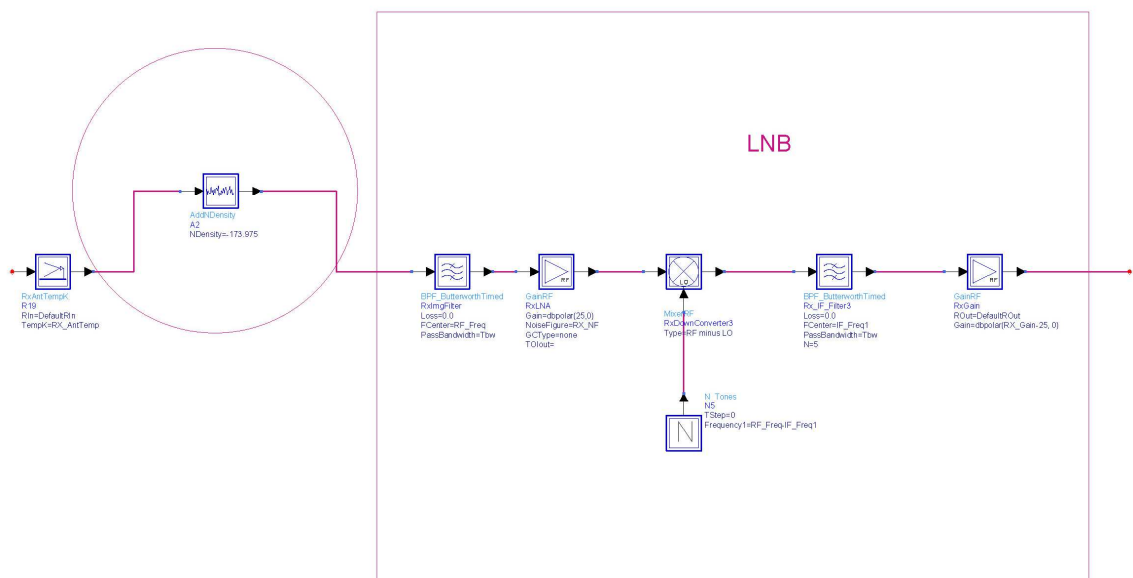


Abbildung 3.14 Rauschen nach TWTA

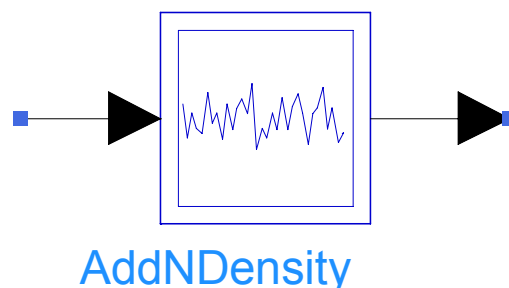


Abbildung 3.15 Rauschleistungsdichte nach TWTA

$$N_0 = 10 \log(kTN) + 30 \text{dB} = -174 \text{dBm}$$

Eine Änderung der Rauschleistungsdichte von -174 dBm bis -100 dBm ist zu betrachten und die Kurven Sende zu Empfangsleistung aufzunehmen. Bei einer Änderung der Rauschleistungsdichte von -174dBm bis -151dBm bleibt die empfangene Signalleistung wegen kleinen eingefügten Rauschens unverzerrt.

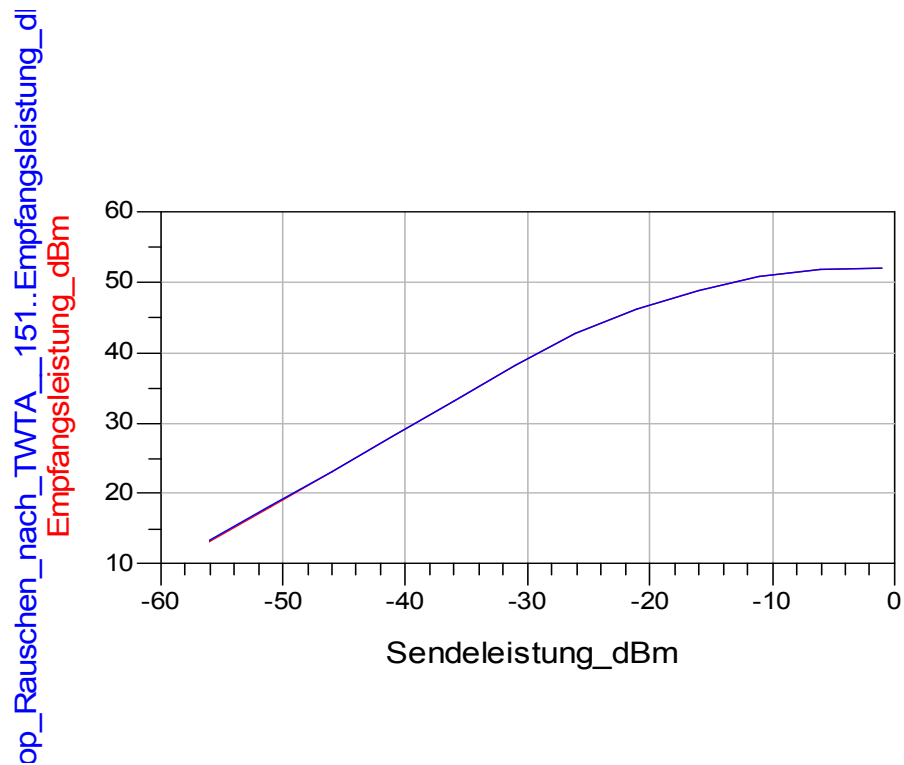


Abbildung 3.16 Empfangsleistung beim Empfänger-Rauschen nach TWTA

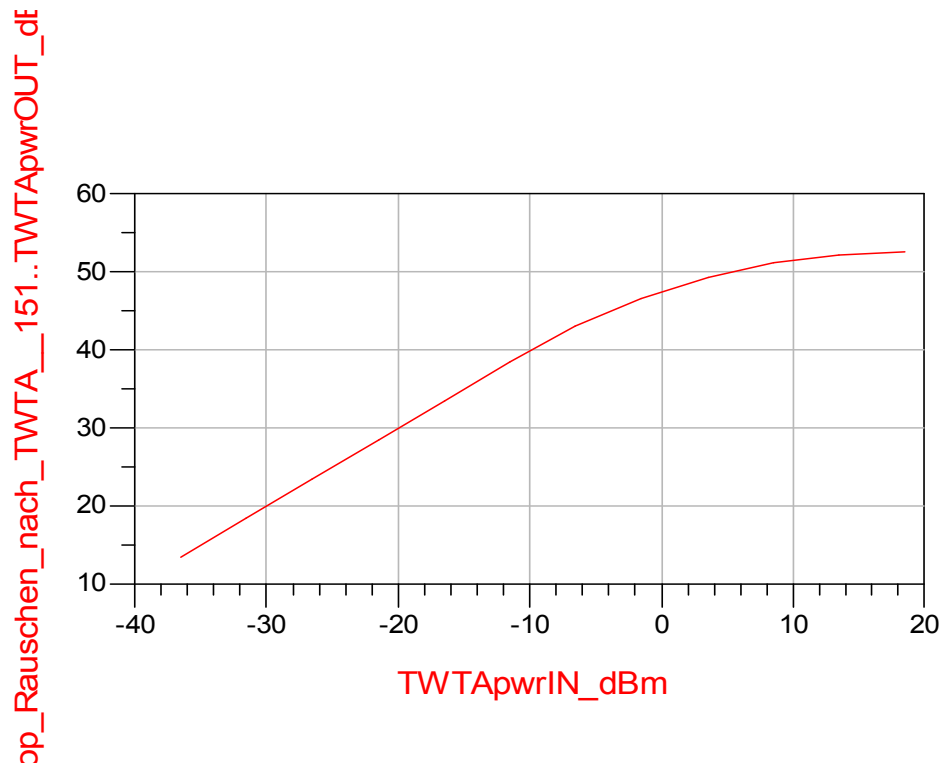


Abbildung 3.17 Transponder - Kennlinie bei Rauschen nach TWTA

Wie man in Abb. 3.16 und 3.17 sieht, ist kein Unterschied zwischen der Empfangsleistungen, wo man keine Rauschleistungsdichte bis -151dBm hinzugefügt wurde. Nun aber berücksichtigt man das Signal-Rausch-Leistungsverhältnis:

**Total Rauschleistung am Ausgang:**

$$N \text{ (dBm)} = N0\_out \text{ (dBm)} + 10 * \log_{10} (\text{IF\_BW (Hz)})$$

$$N0\_out \text{ (dBm)} = -151 \text{ dBm} + 75 \text{ dB (Der ganze Empfänger Gewinn von 75 dB)} = -76 \text{ dBm}$$

$$\text{IF\_BW} = 40 \text{ MHz} \rightarrow 10 * \log_{10} (\text{IF\_BW (Hz)}) = 76 \text{ dB}$$

$$N \text{ (dBm)} = -76 \text{ dBm} + 76 \text{ dB} = 0 \text{ dBm}$$

**Total Signalleistung am Ausgang:**  $S \text{ (dBm)} = Pin \text{ (dBm)} + RX\_Receiver \text{ Gain (dB)}$

$$RX\_Receiver \text{ Gain (dB)} = 70 \text{ dB}$$

Pin (dBm) sollte von -60 dBm bis -5 dBm variieren.

Table 8 Signalleistung am Ausgang Rauschen nach TWTA

Pin (dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
RX_Receiver (dB)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
S (dBm)	13.5	19.5	24.5	29.5	34.5	39.5	44.5	<b>47</b>	<b>49.5</b>	<b>51</b>	<b>52.5</b>

Table 9 Ausgang S/N Rauschen nach TWTA

S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
S-N (dB)	13.5	19.5	24.5	29.5	34.5	39.5	44.5	47	49.5	51	52.5

Nach den Ergebnissen ist hier wiederum zu sehen, wie das S/N-Verhältnis sich abhängig vom Rauschen ändert. Wie man hier sieht, ist für eine Sendeleistung von -56dBm, das  $S/N = 13.5\text{dB}$ . Das heißt auch, dass man bis zu diesem Pegel des S/N-Verhältnisses noch keine Beeinflussung des Rauschens auf das gesendete Signal sieht. Betrachten wir aber die Fälle, indem man mehr als -151 dBm hinzufügt und vergleichen wir mit der aufgenommenen Kurve, wo kein Rauschen hinzugefügt wurde.

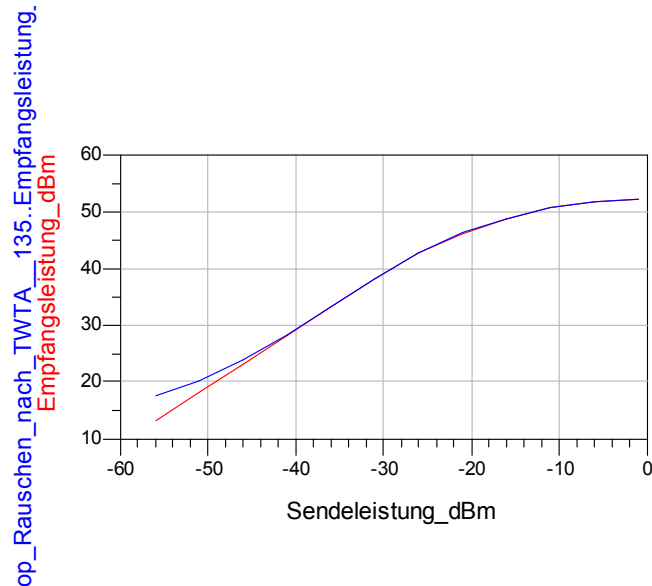


Abbildung 3.18 Rauschleistungsdichte nach TWTA -135 dBm

Table 10 Ausgang S/N Rauschen -135 dBm nach TWTA

Pin dBm	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
S-N(dB)	-2.5	3.5	8.5	13.5	18.5	23.5	28.5	31	33.5	35	36.5

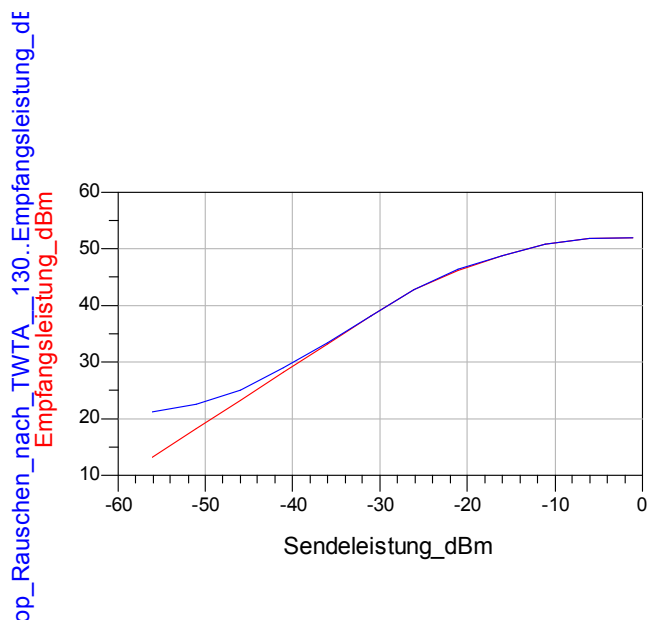


Abbildung 3.19 Rauschleistungsdichte nach TWTA -130 dBm

Table 11 Ausgang S/N Rauschen -130 dBm nach TWTA

Pin (dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9
S-N(dB)	-7.5	-1.5	3.5	8.5	13.5	18.5	23.5	26	28.5	30	31.5

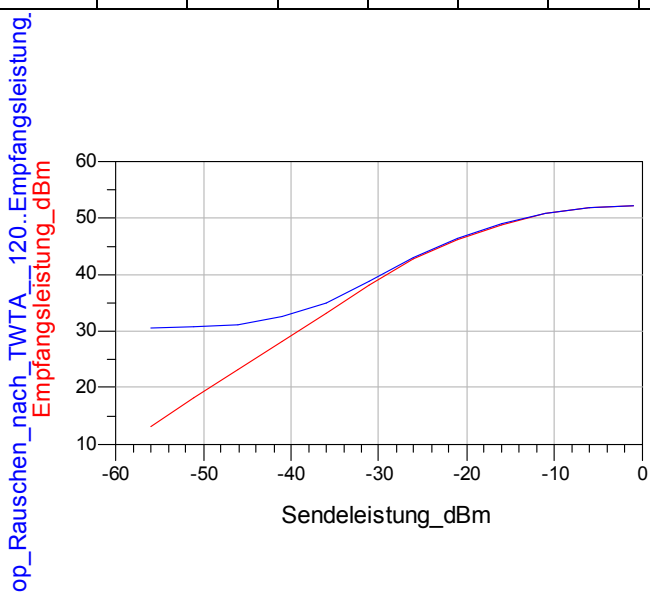


Abbildung 3.20 Rauschleistungsdichte nach TWTA -120 dBm



Table 12 Ausgang S/N Rauschen -120 dBm nach TWTA

Pin (dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S-N(dB)	-17.5	-11.5	-6.5	-1.5	3.5	8.5	13.5	16	18.5	20	21.5

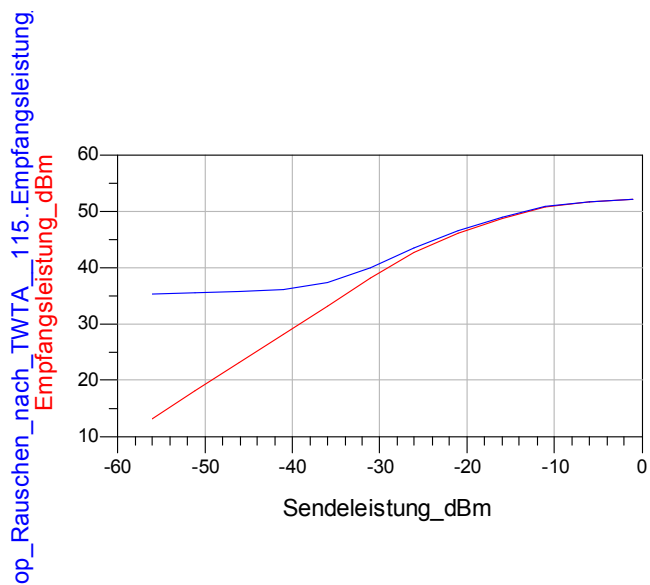


Abbildung 3.21 Rauschleistungsdichte nach TWTA -115 dBm

Table 13 Ausgang S/N Rauschen -115 dBm nach TWTA

Pin(dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
S-N(dB)	-22.5	-16.5	-11.5	-6.5	-1.5	3.5	8.5	11	13.5	15	16.5

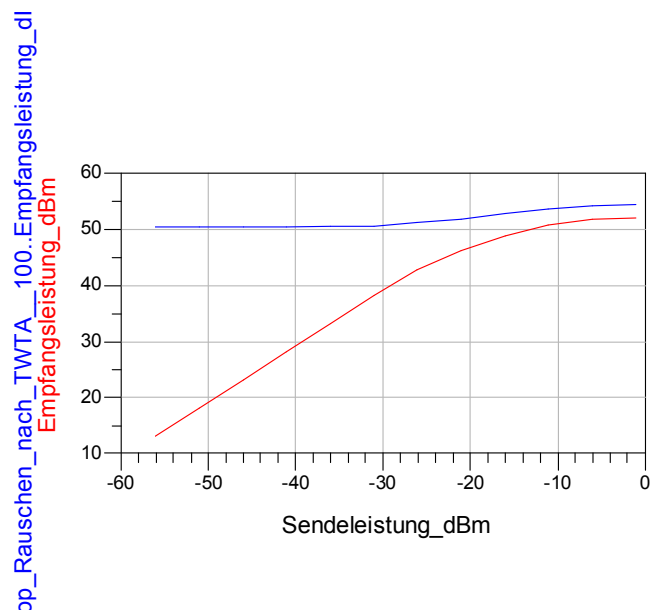


Abbildung 3.22 Rauschleistungsdichte nach TWTA -100 dBm

Table 14 Ausgang S/N Rauschen -100 dBm nach TWTA

Pin(dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N(dB)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
S-N(dB)	-37.5	-31.5	-26.5	-21.5	-16.5	-11.5	-6.5	-4	-1.5	0	1.5

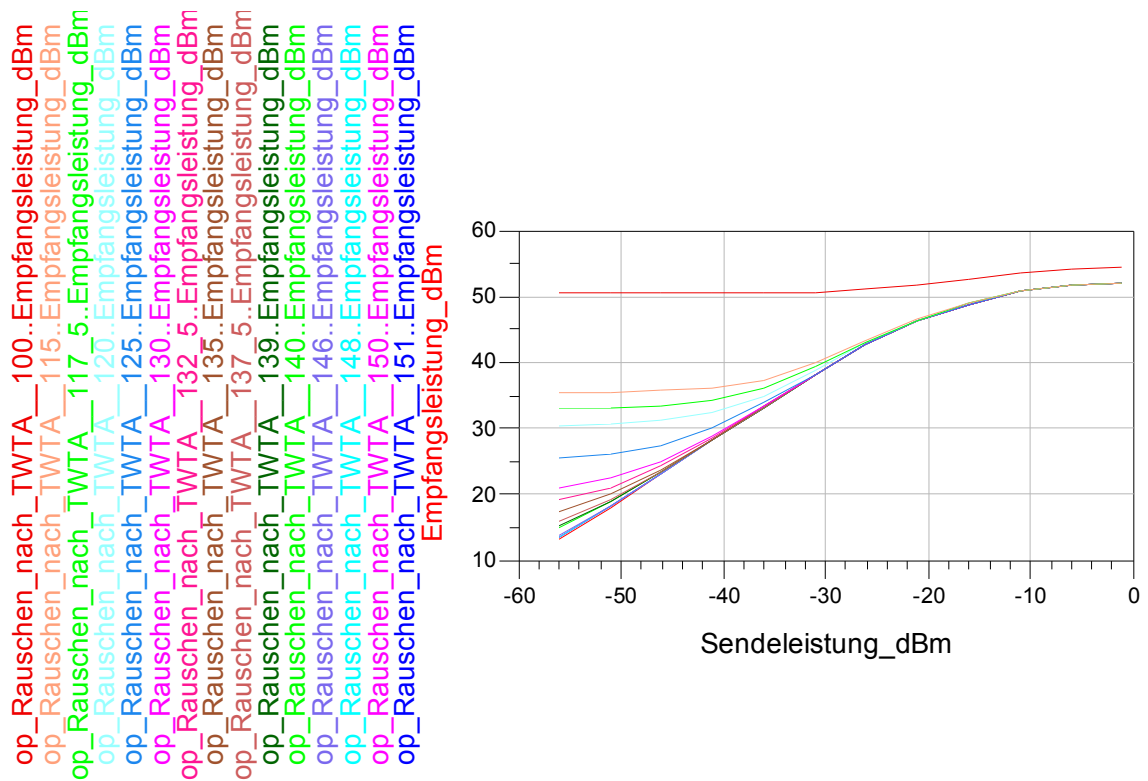


Abbildung 3.23 Alle Rauschleistungsdichten nach TWTA (-151 bis -100 dBm)

Wie in der Abbildung 3.23 zu sehen ist, sind wiederum alle aufgenommenen Kurven in Abhängigkeit von den eingefügten Rauschleistungsdichten (Rauschen als Parameter sweep) gezeigt. Abhängig davon verändert sich die empfangene Leistungskurve logarithmisch, wie tabellarisch gezeigt wurde. Im Zusammenhang mit dem Rauschen ist zu sehen, dass je mehr die Rauschleistung hinzugefügt wurde, desto kleiner wird das S/N Verhältnis. Wie hier wiederum zu sehen ist, erreicht die Empfangsleistung bei einer höheren eingefügten Rauschleistung den höchsten Pegel, wo die Signale bereits tief in dem Rauschen verborgen sind. Andererseits wird eine hohe hinzugefügte Rauschleistung (nach TWTA) den Empfänger der Bodenstation übersteuern, weil die maximale Ausgangsleistung der Satelliten bei richtiger Dimensionierung den Empfänger der Bodenstation gerade richtig aussteuern soll. Wenn man die Empfindlichkeit des Systems (Empfänger der Bodenstation) betrachtet, dann ist zu beachten, dass bis zu einer eingefügten Rauschleistungsdichte von -151dBm die Signale noch immer gut sind. Das heißt auch, dass das Eigenrauschen des Systems und die unerwünschten Rauschanteile bis dorthin die Qualität des Signals nicht vermindern. Es ist ganz wichtig zu wiesen, dass in der Bodenstation nur mit die aktiven Verstärker wie LNA und IF - Verstärker zu berücksichtigen sind, also das System wegen des nicht linearen Verhalten des TWTA so aufgebaut und normiert sein sollte, dass das Signal am Ausgang des

Empfänger dem Ausgang des TWTA entspricht. Es ist ja deutlich bei den empfangenen Kurven mit dem eingefügten Rauschen nach TWTA zu sehen, dass die Kurven oberhalb des Sättigungspegels des TWTA zu bekommen sind.

### 3.3 Einfluss des AWGN Rauschens vor und nach TWTA

In der Abbildung 3.24 wird das Rauschelement (Add Noise Density) vor und nach dem Transponder modelliert. Die Rauschleistungsdichte sollte am Eingang des Transponders und am Eingang des Empfängers in der Bodenstation hinzugefügt werden. Das Rauschen (Rauschmaß, Antennenrauschen) wurde in den Bauelementen (Antenne, Mischer, LNA, IF-Verstärker, TWTA, Receiver-Verstärker) vernachlässigt. Eine Änderung der Rauschleistungsdichte erfolgt, indem man verschiedene Werte von Rauschleistungsdichte hinzufügt. Die Rauschleistungsdichte hat den gewöhnlichen Wert von -177.8 dBm (die Rauschtemperatur der Transponderantenne beträgt 40 K, mit wenigstens 60 bis 80 K äquivalenter Rauschtemperatur, erhält man insgesamt 120 K  $\rightarrow N_0 = 10 \log(kTN) + 30 \text{ dB} = -177.8 \text{ dBm}$ ) und -174 dBm (die Rauschtemperatur der Empfängerantenne in der Bodenstation beträgt 290 K  $\rightarrow N_0 = 10 \log(kTN) + 30 \text{ dB} = -174 \text{ dBm}$ )

Eine Änderung der Rauschleistungsdichte vor TWTA (Transponder) von -177.8 dBm bis -100 dBm und nach TWTA (Bodenstation) von -174 dBm bis -100 dBm ist zu betrachten und die Kurven Sendeleistung zu Empfangsleistung aufzunehmen. Bei einer Änderung der Rauschleistungsdichte von -177.8 dBm bis -146 dBm (vor TWTA) und -174 dBm bis -151 dBm (nach TWTA) bleibt die empfangene Signalleistung unveränderlich.

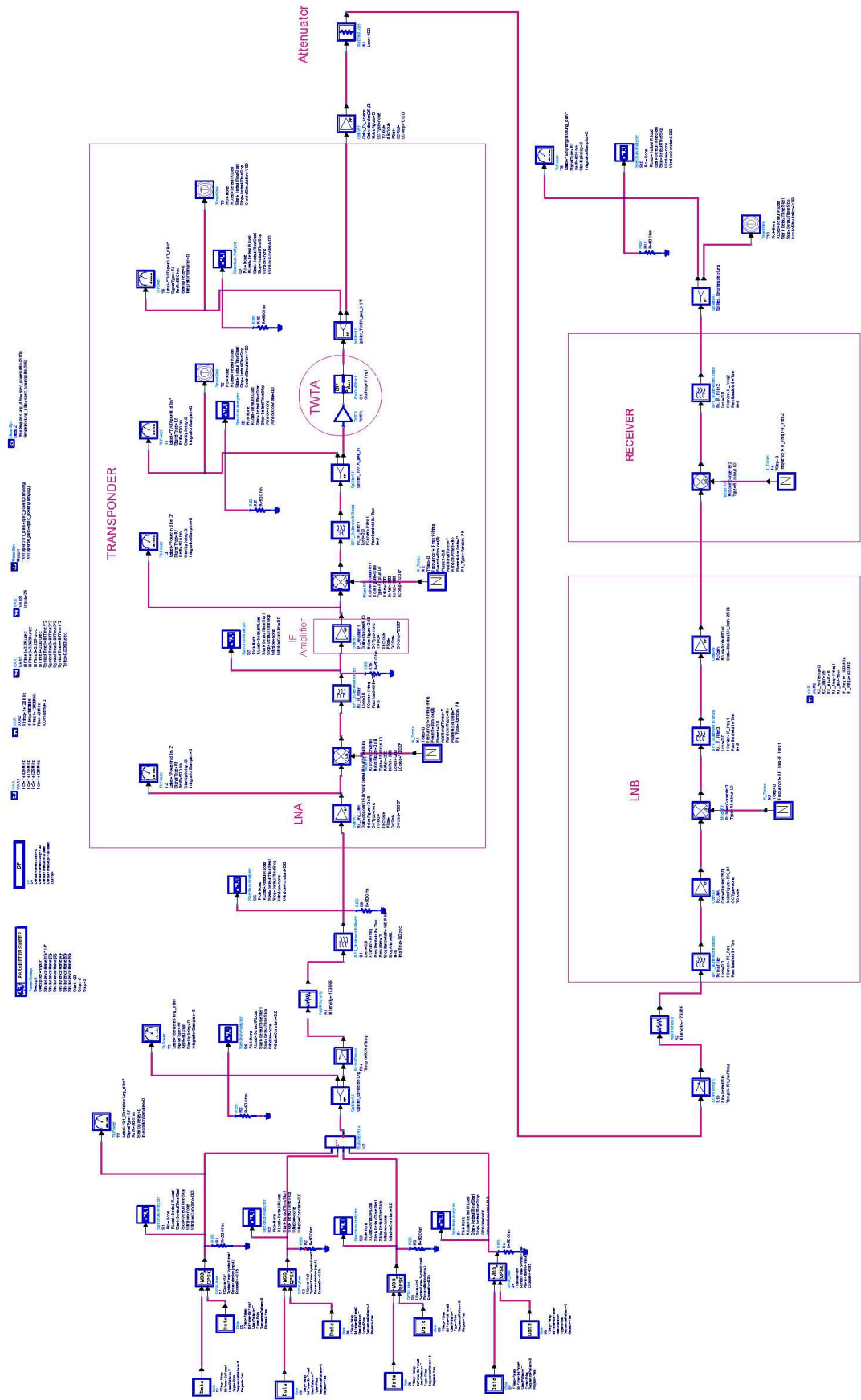


Abbildung 3.24 Rauschen vor und nach TWTA

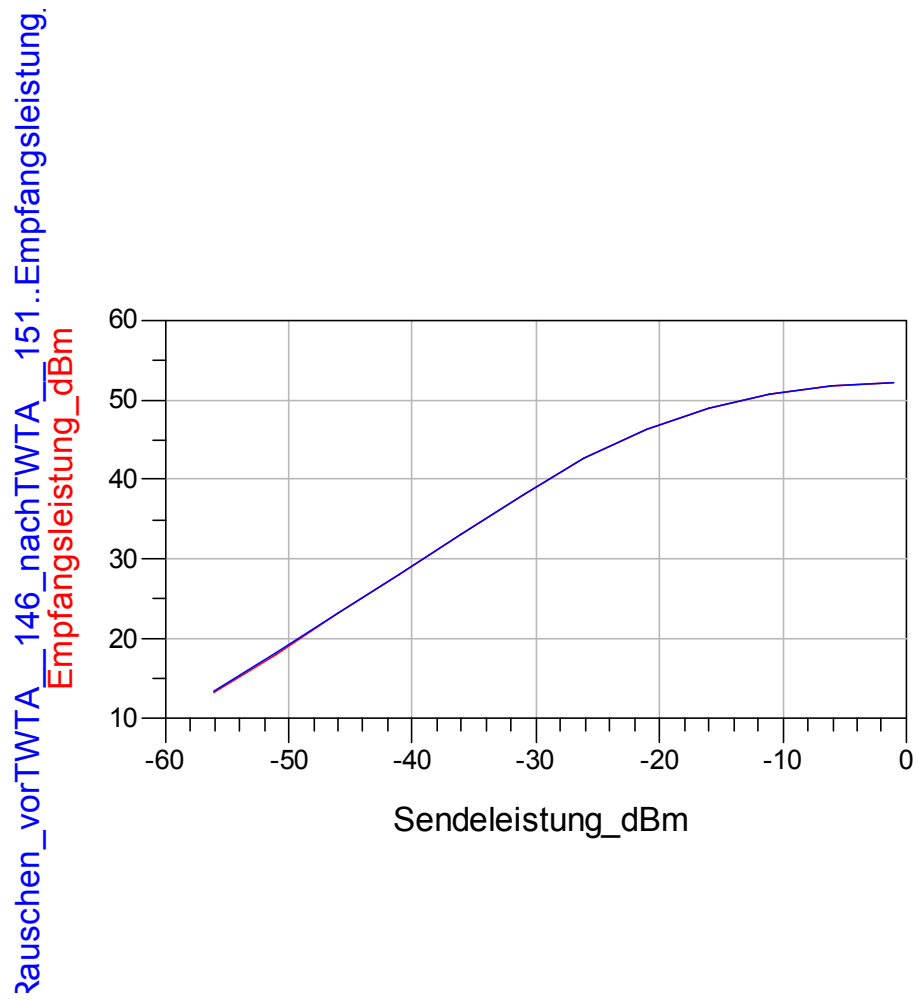


Abbildung 3.25 Empfangsleistung beim Empfänger-Rauschen nach und vor TWTA

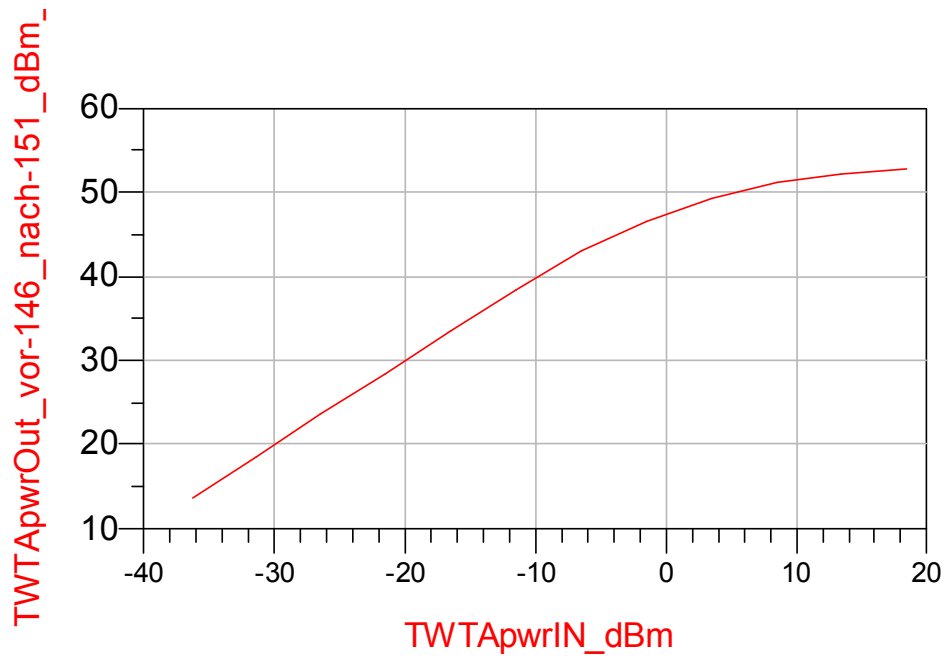


Abbildung 3.26 Transponder - Kennlinie bei Rauschen nach und vor TWTA

Wie man in der Abb. 3.25 sieht, ist kein Unterschied zwischen der Empfangsleistung, wo keine Rauschleistungsdichte hinzugefügt wurde und der, wo man -146dBm (vor TWTA) und -151dBm (nach TWTA) hinzugefügt wurde. Gleiches gilt auch für eine Sende zu Empfangsleistung des TWTA (siehe Abb.3.26).

Nun aber berücksichtigt man das Signal-Rausch-Leistungsverhältnis (siehe Abb.3.27):

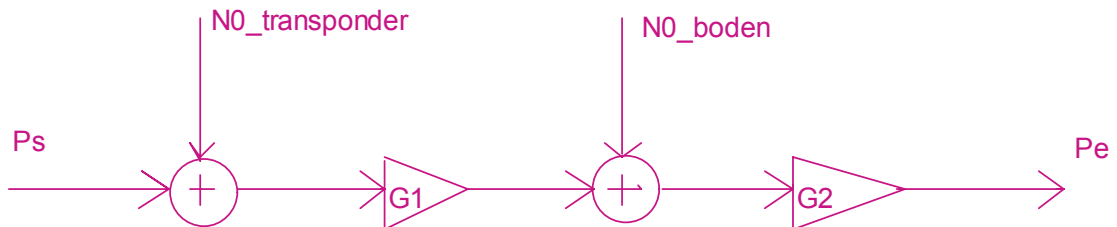


Abbildung 3.27 Signal Rausch Leistungsverhältnis

Wie in der Abb.3.27 gezeichnet ist, sieht man das ganze System und ist einfacher das S/N in der Abb.3.27 zu erklären. Bei der Kombination der S/N Verhältnisse wird stattdessen mit Rausch zu Signalverhältnis gearbeitet, weil es bequem zu berechnen und erklären ist.

$$N/S = P_n / P_e$$

$$P_n = N_{0\_transponder} * G_1 * G_2 * \beta + N_{0\_boden} * G_2 \quad \text{.....Rauschleistung}$$

$$P_e = P_s * G_1 * \beta * G_2 \quad \text{.....Empfangsleistung}$$

$$\beta = \text{Ant. Gain} + \text{AF}$$

$$\text{Ant. Gain} = 25\text{dB} \quad \text{AF} = -100\text{dB (Freiraumdämpfung)}$$

$$N/S = (N_1/S) + (N_2/S)$$

$$N_1(\text{dBm}) = N_{0\_transponder}(\text{dBm}) + G_1 + \beta + G_2 = -70\text{dBm} + 70\text{dB} = 0\text{dBm}$$

$$N_{0\_transponder}(\text{dBm}) = N_0 + 10 * \log_{10}(\text{IF\_BW (Hz)}) = -146\text{dBm} + 76\text{dB} = -70\text{dBm}$$

$$\text{IF\_BW (Hz)} = 40 \text{ MHz} \rightarrow 10 * \log_{10}(\text{IF\_BW (Hz)}) = 76 \text{ dB}$$

$$G_1 + G_2 + \beta = 70\text{dB}$$

$$N_2(\text{dBm}) = N_{0\_boden}(\text{dBm}) + G_2 = -75\text{dBm} + 75\text{dB} = 0\text{dBm}$$

$$N_{0\_boden}(\text{dBm}) = N_0 + 10 * \log_{10}(\text{IF\_BW (Hz)}) = -151\text{dBm} + 76\text{dB} = -75\text{dBm}$$

$$\text{IF\_BW (Hz)} = 40 \text{ MHz} \rightarrow 10 * \log_{10}(\text{IF\_BW (Hz)}) = 76 \text{ dB}$$

$$G_2 = 75\text{dB}$$

**Total Signalleistung am Ausgang S (dBm) = Pin (dBm) + RX\_System Gain (dB) =Pe (dBm)**

Pin (dBm) =Ps (dBm)

RX\_System Gain (dB) =G1+β+G2=70 dB → Normierung

Pin (dBm) ist von -60 dBm bis -5 dBm zu variieren

Table 15 Signalleistung am Ausgang - Rauschen vor und nach TWTA

Pin (dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
RX_System (dB)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
S (dBm)	13.5	19.5	24.5	29.5	34.5	39.5	44.5	<b>47</b>	<b>49.5</b>	<b>51</b>	<b>52.5</b>

Table 16 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor und nach TWTA

S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N1(dB)	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
N2(dB)	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
N-S(dB)	-27	-39	-49	-59	-69	-79	-89	-94	-99	-102	-105

Nach den Ergebnissen ist hier wiederum zu sehen, wie das N/S-Verhältnis sich abhängig vom Rauschen ändert. Es ergibt aber wiederum die Grenze, wo man das mit einer sehr kleinen Leistung gesendete Signal noch immer qualitativ hochwertig in der Bodenstation empfängt. Wie man hier sieht, ist für eine Sendeleistung von -56dBm, das N/S -27dB bzw. S/N = 27dB. Betrachten wir aber die Fälle, indem man mehr als -146dBm vor TWTA und -151dBm nach TWTA hinzufügt und vergleichen wir mit der aufgenommenen Kurve, wo kein Rauschen hinzugefügt wurde.



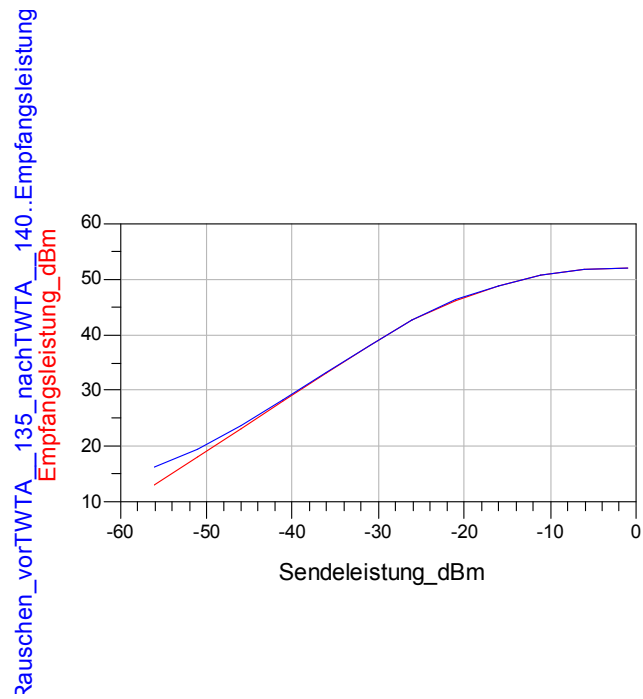


Abbildung 3.28 Rauschleistungsdichte vorTWTA-135dBm nachTWTA-140dBm

Table 17 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor TWTA -135dBm und nach TWTA - 140dBm

Pin(dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N1(dB)	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19
N2(dB)	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19
N-S(dB)	-5	-17	-27	-37	-47	-57	-67	-72	-77	-80	-83

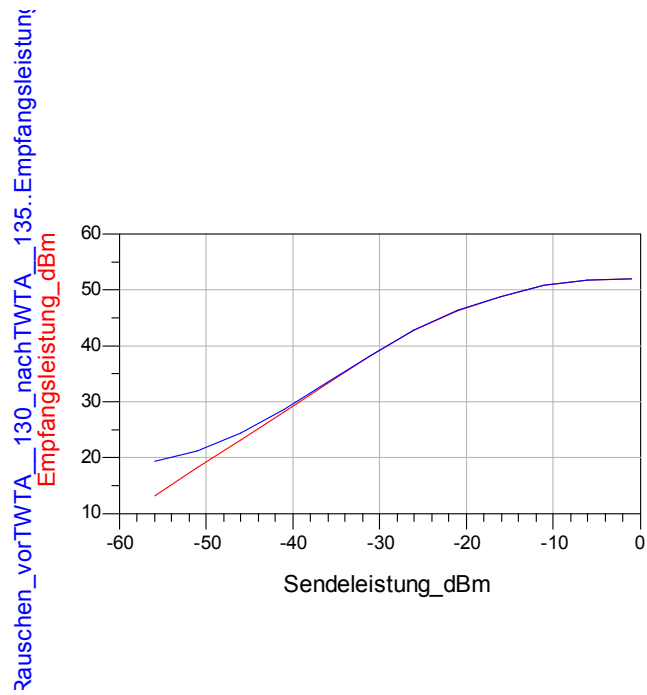


Abbildung 3.29 Rauschleistungsdichte vorTWTA-130dBm nachTWTA-135dBm

Table 18 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor TWTA -130dBm und nach TWTA - 135dBm

Pin(dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N1(dB)	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
N2(dB)	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
N-S(dB)	5	-7	-17	-27	-37	-47	-57	-62	-67	-70	-73

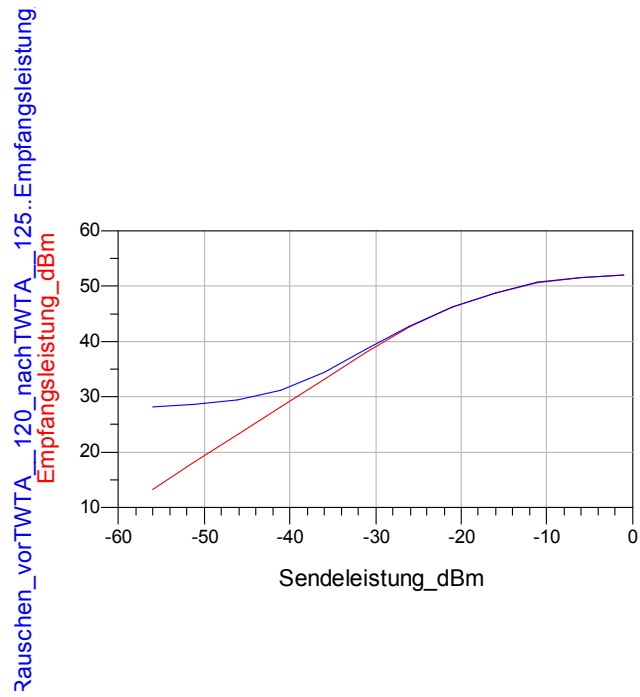


Abbildung 3.30 Rauschleistungsdichte vorTWTA-120dBm nachTWTA-125dBm

Table 19 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor TWTA -120dBm und nach TWTA - 125dBm

Pin(dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N1(dB)	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
N2(dB)	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
N-S(dB)	25	13	3	-7	-17	-27	-37	-42	-47	-50	-53

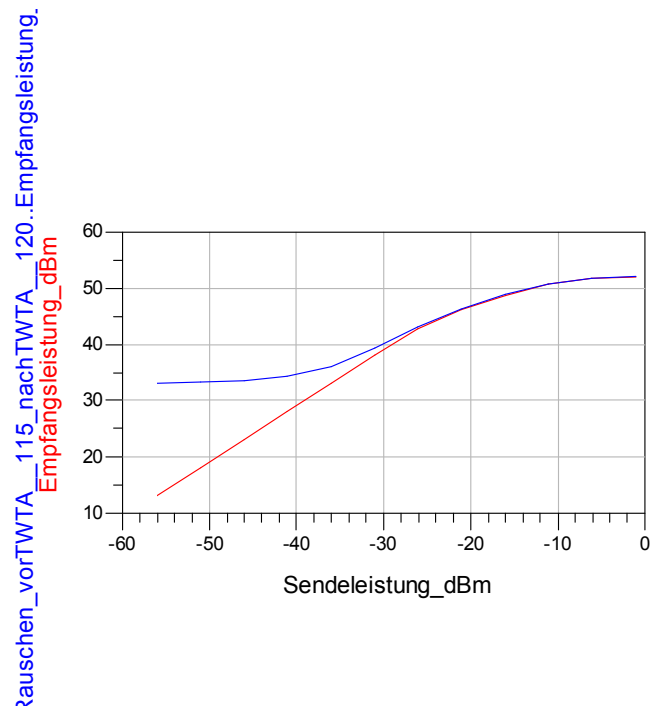


Abbildung 3.31 Rauschleistungsdichte vorTWTA-115dBm nachTWTA-120dBm

Table 20 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor TWTA -115dBm und nach TWTA - 120dBm

Pin(dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N1(dB)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N2(dB)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N-S(dB)	35	23	13	3	-7	-17	-27	-32	-37	-40	-43

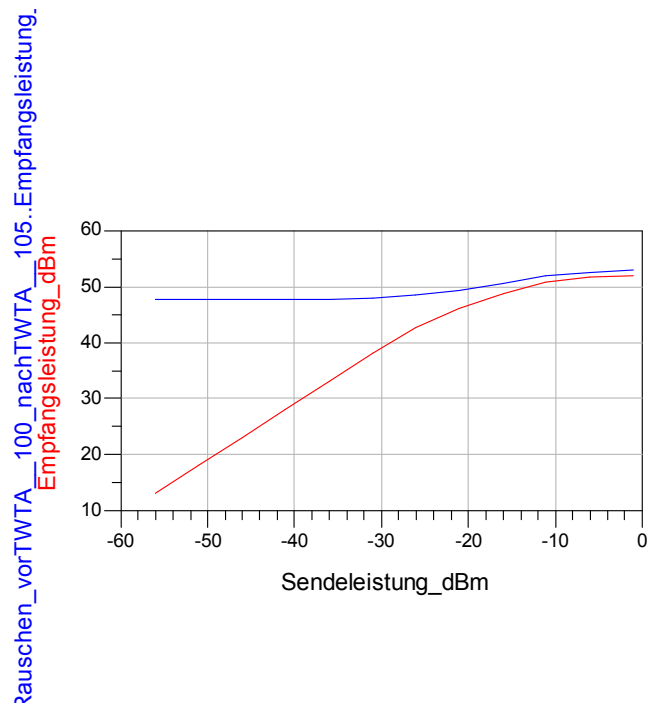


Abbildung 3.32 Rauschleistungsdichte vorTWTA-100dBm nachTWTA-105dBm

Table 21 Ausgang N/S (in dB) – Rauschen vor TWTA -100dBm und nach TWTA - 105dBm

Pin(dBm)	-56	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	0
S(dB)	-16.5	-10.5	-5.5	-0.5	4.5	9.5	14.5	<b>17</b>	<b>19.5</b>	<b>21</b>	<b>22.5</b>
N1(dB)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
N2(dB)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
N-S(dB)	65	53	43	33	23	13	3	-2	-7	-10	-13

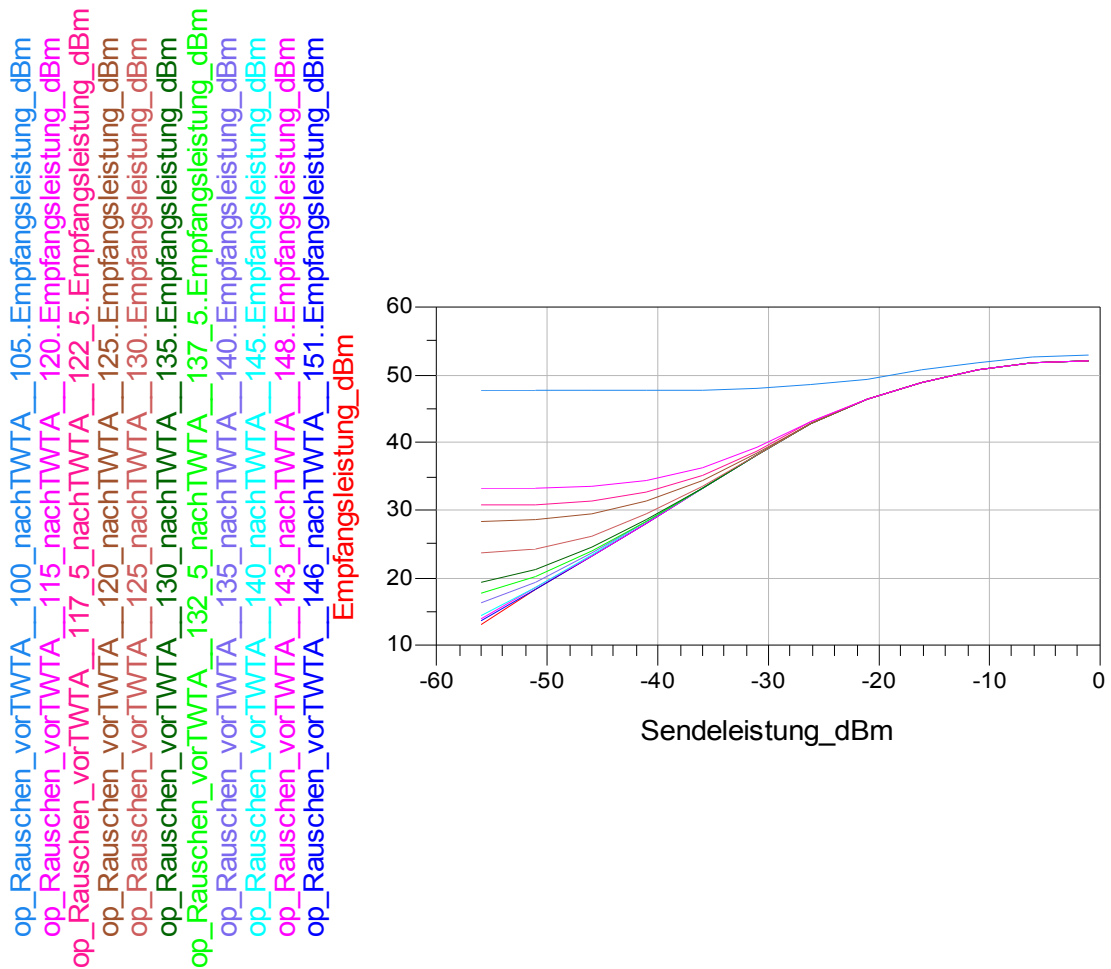


Abbildung 3.33 Alle Rauschleistungsdichten vor und nach TWTA  
 (-146 -151 dBm bis -100 -105 dBm)

In der Abbildung 3.33 sieht man alle aufgenommenen Kurven, die abhängig von den eingefügten Rauschleistungsdichten vor und nach TWTA (Rauschen als Parameter sweep) aufgenommen wurden. Es ist zu sehen, dass die empfangenen Leistungskurven sich logarithmisch ändern, wie auch tabellarisch gezeigt wurde. Also je mehr die Rauschleistung hinzugefügt wurde, desto kleiner wird das S/N Verhältnis. Man fügt verschiedene Werte der Rauschleistungsdichte vor und nach TWTA hinzu und am Ausgang des Empfängers gewinnt man die integrierte Signalleistung des Spektrums. Wie oben aufgeschriebene Formeln zeigen, ist deutlich zu sehen, dass bei einem totalen N/S Verhältnis von -27dB kein Anstieg der empfangenen Leistung erfolgt, daher es ist gerade der Pegel, wo das Signal noch immer gut zu empfangen ist. Andererseits ist das stark mit dem Gewinn des Transponder- und Empfängersystems verbunden, also sollte man -146dBm (die max.“toleriertere“) Rauschleistungsdichte am Eingang des Transponder hinzufügen, die eine totale Rauschleistung von -30dB entspricht, dann gleichwertig sollte man im Empfänger der Bodenstation eine totale „toleriertere“

Rauschleistungsdichte hinzufügen, um das Signal noch qualitativ zu empfangen. In diesem Zusammenhang sollte man das ganze System in der Bodenstation so aufbauen und normieren, dass die Empfangsleistung in der Bodenstation gleich wie der am Ausgang des Transponders ist, wobei alle Parameter eines Transponder wie: TWTA Gewinn Kompression und 1dB Kompression Point , das gesamte Gewinnssystem auf dem Transponder, Antennentemperatur sowie das Rauschmaß und die Freiraumdämpfungen zu berücksichtigen sind. Das Signal im Zeitberich ist zu empfangen, in der Folge kann man ein Histogramm des Zeitsignales, das die Häufigkeit jedes Amplitudenwertes zeigt, darstellen. Wie oben erklärt wurde, ist kein Einfluss des Rauschen bis zum N/S Verhältnis von -27dB (-146dBm vor und -151dBm nach TWTA) auf die gesendeten Signalen zu sehen. Deswegen soll man die Fälle betrachten, wo das Rauschen vor und nach TWTA hinzugefügt wurde und die Histogramme für jeden Fall darstellen.

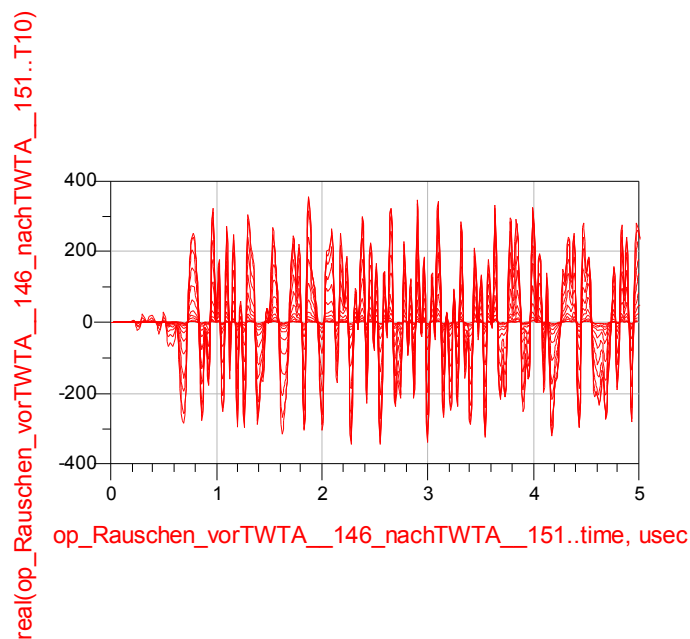


Abbildung 3.34 Das Zeitsignal am Ausgang des Empfänger

Um ein Histogramm zeichnen zu können, sollte man eine genügend große Anzahl der Amplitudenwerte eingeben, damit man einen sinnvollen Verlauf erreichen kann.

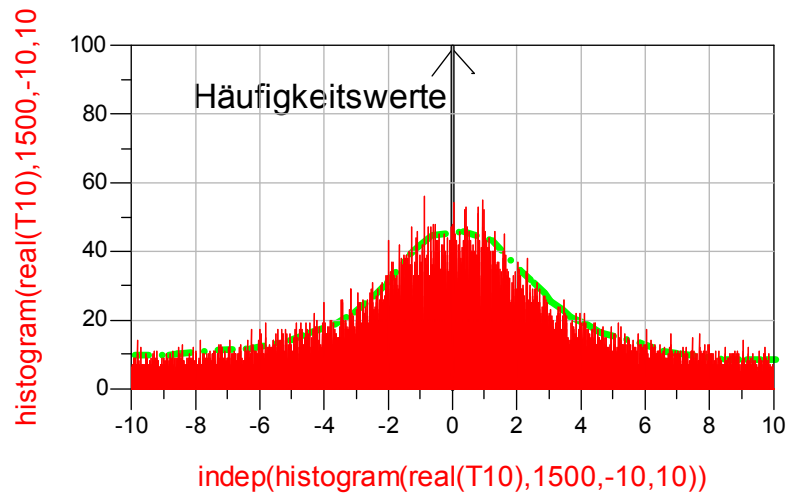


Abbildung 3.35 Histogramm des Zeitsignales (Rauschen vorTWTA-146 nachTWTA-151)

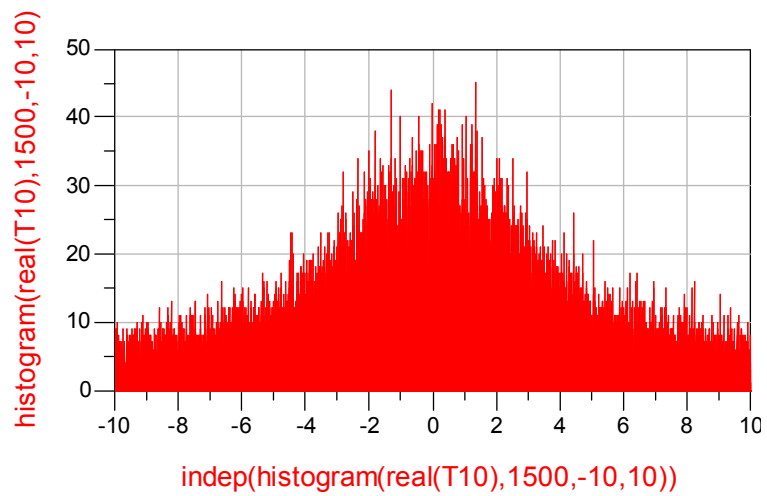


Abbildung 3.36 Histogramm des Zeitsignales (Rauschen vorTWTA-135 nachTWTA-140)

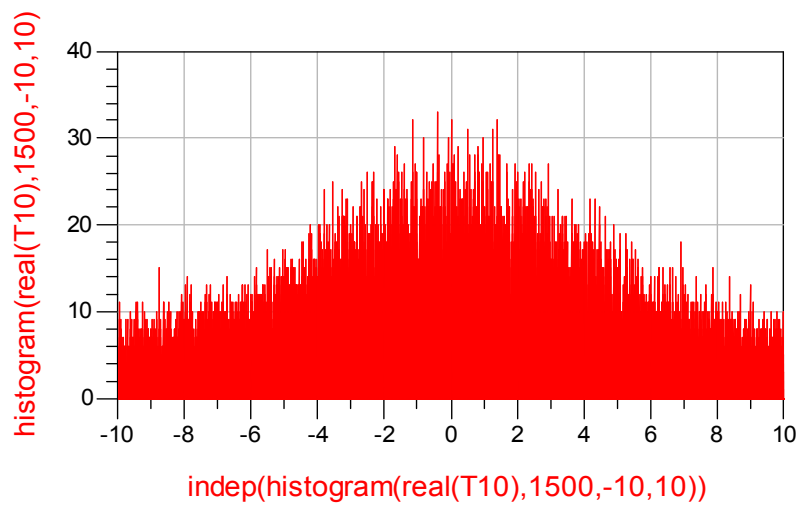


Abbildung 3.37 Histogramm des Zeitsignales (Rauschen vorTWTA-130 nachTWTA-135)



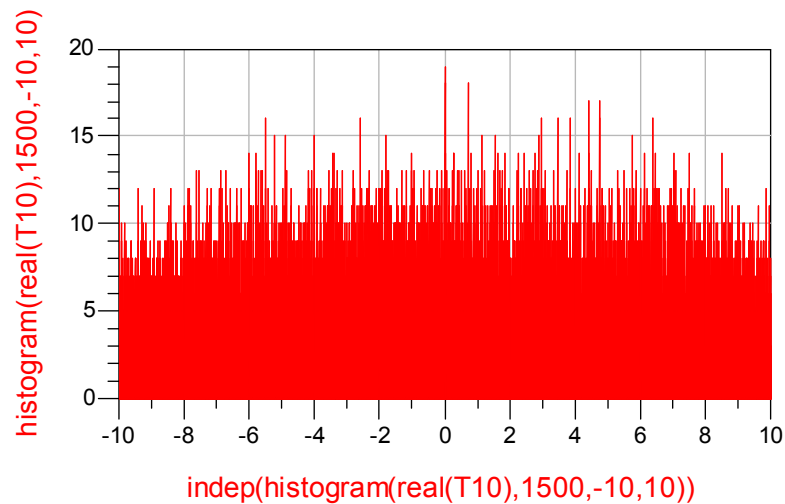


Abbildung 3.38 Histogram des Zeitsignales (Rauschen vorTWTA-120 nachTWTA-125)

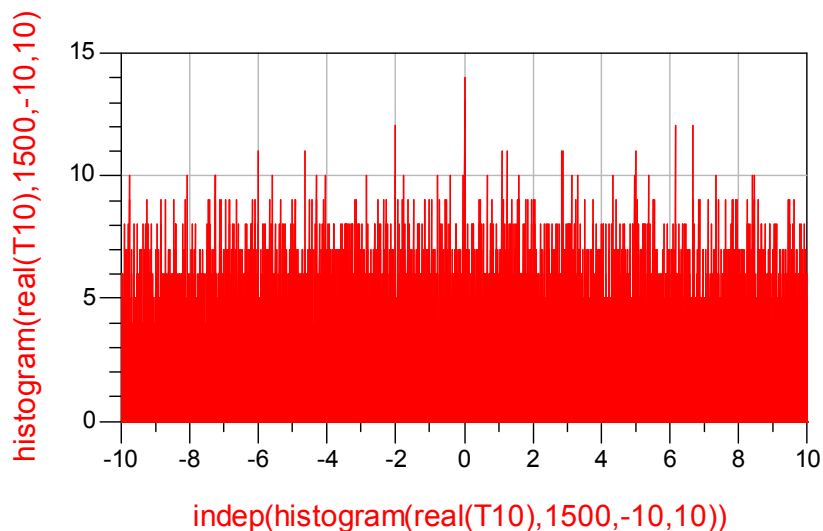


Abbildung 3.39 Histogram des Zeitsignales (Rauschen vorTWTA-115 nachTWTA-120)

Wie man von den Abbildungen sieht, sind die Histogramme für verschiedene Werte der eingefügten Rauschleistung vor und nach TWTA dargestellt. Da die Rauschamplitude abhängig von der Rauschleistung zunimmt, ist deutlich zu erkennen, dass die Rauschamplitude bei einer eingefügten Rauschleistung vor TWTA -146 dBm und nach TWTA -151 dBm aufrecht erhalten wurde, also kein Anstieg der Rauschamplitude. Es entspricht daher einer Gaußschen Verteilung, die in der Abbildung 3.35 dargestellt wurde. Im Unterschied aber zu anderen Abbildungen ist deutlich zu erkennen, wie die Gaußsche Verteilung wegen eines verzerrtes Signals von Rauschen sich verändert, wobei die Rauschamplituden größer werden und anhand der Gaußschen Verteilung ist kaum ein Signal zu erkennen.

## 4 Die „Chi-Square“ Methode

Es soll in diesem Kapitel, wie man in der Abbildung 4.1 sieht, mit einem Verstärker gearbeitet werden, um den TWTA bis zum Sättigungspegel zu übersteuern und das am Ausgang des Transponders aufgenommene und normierte Histogramm des Zeitsignales mit einer Gauß-Verteilung zu vergleichen. Es wird eine „Chi - Square“ Methode aus der Statistik ausgewählt, um die Verteilungsfunktion von Histogramm mit den idealen Gauß-Kurven zu vergleichen. Es wird daher in der ADS - Software ein Verstärker vor TWTA (Transponder im Satelliten) eingebaut, der die Signale verstärken soll. Der Empfänger in der Bodenstation ist so aufzubauen, dass die Empfangsleistung in der Bodenstation gleicherweise dem Ausgang des TWTA (Endstufe des transponder) entspricht. Daher sollte man vor dem Empfänger in der Bodenstation einen Attenuator (Abschwächer) verwenden, damit die Sendeleistung zur Empfangsleistung nach dem TWTA gleich mit der aus dem Empfänger in der Bodenstation ist.

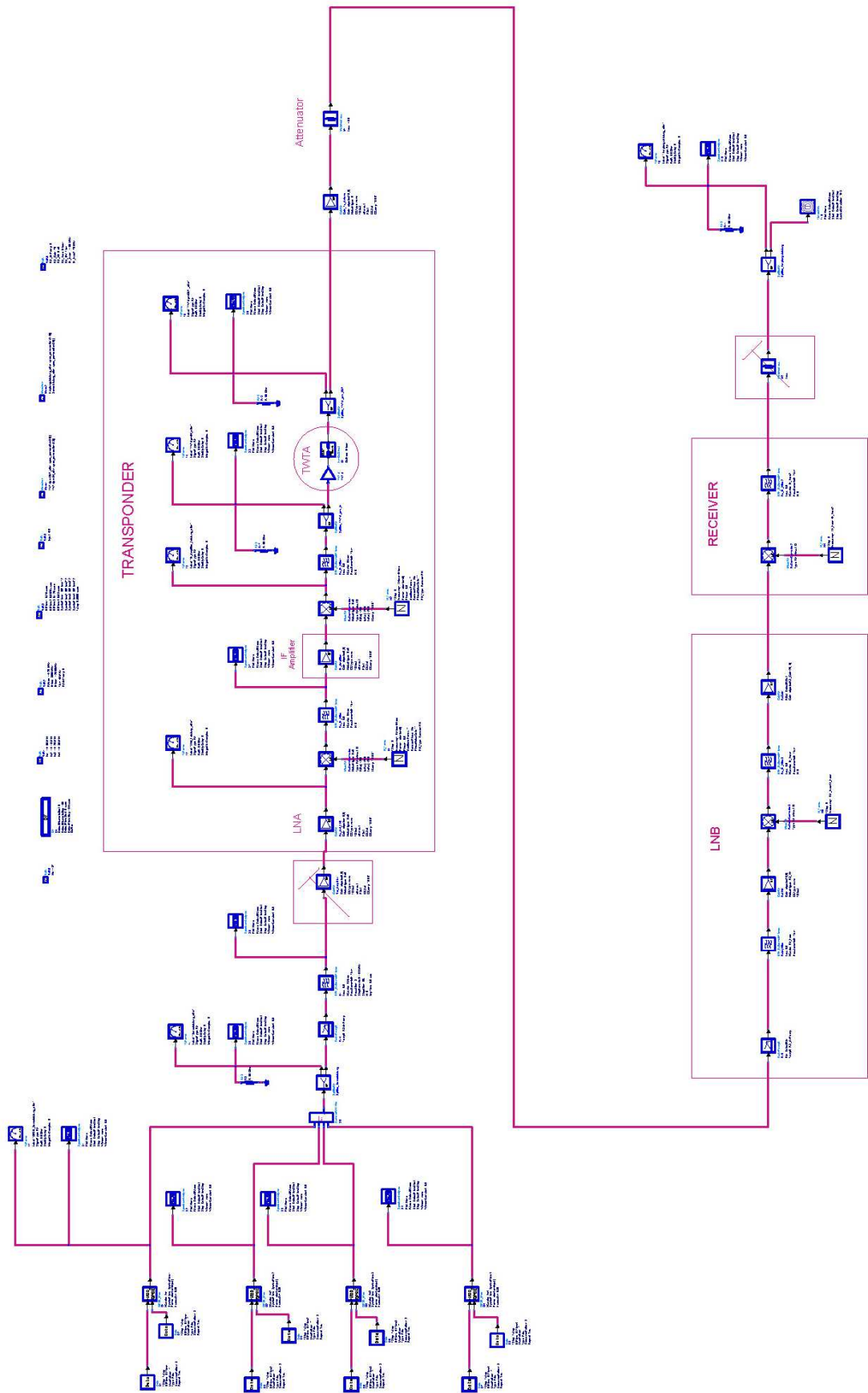


Abbildung 4.1 Einfluss des Verstärkers vor dem TWTA

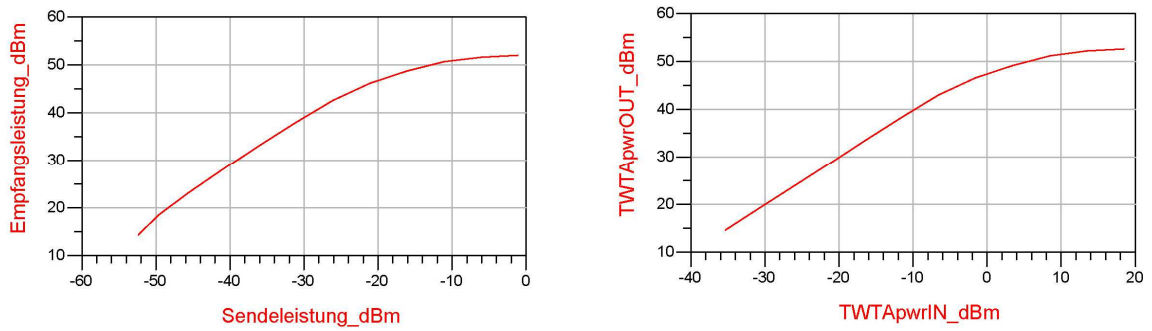


Abbildung 4.2 Sende zu Empfangsleistung – TWTA und Bodenstation

Ein Parameter sweep ist es zu verwenden, indem das Eingangssignal von -60dBm bis -5 dBm gesweept wurde, und wie in der Abbildung 4.2 zusehen ist, bekommt man am Ausgang von Empfänger und TWTA gleiche Werte der Leistung. Es ist auch zu erwähnen, dass außer der Rauschleistungsdichte (Antennentemperatur) die andere Parameter von Verstärkern nicht zu berücksichtigen sind. Im Zusammenhang mit dem Verstärker sollte daher eine Verstärkerquelle simuliert werden, die die Signale stört und den TWTA bis zur Sättigung übersteuert.

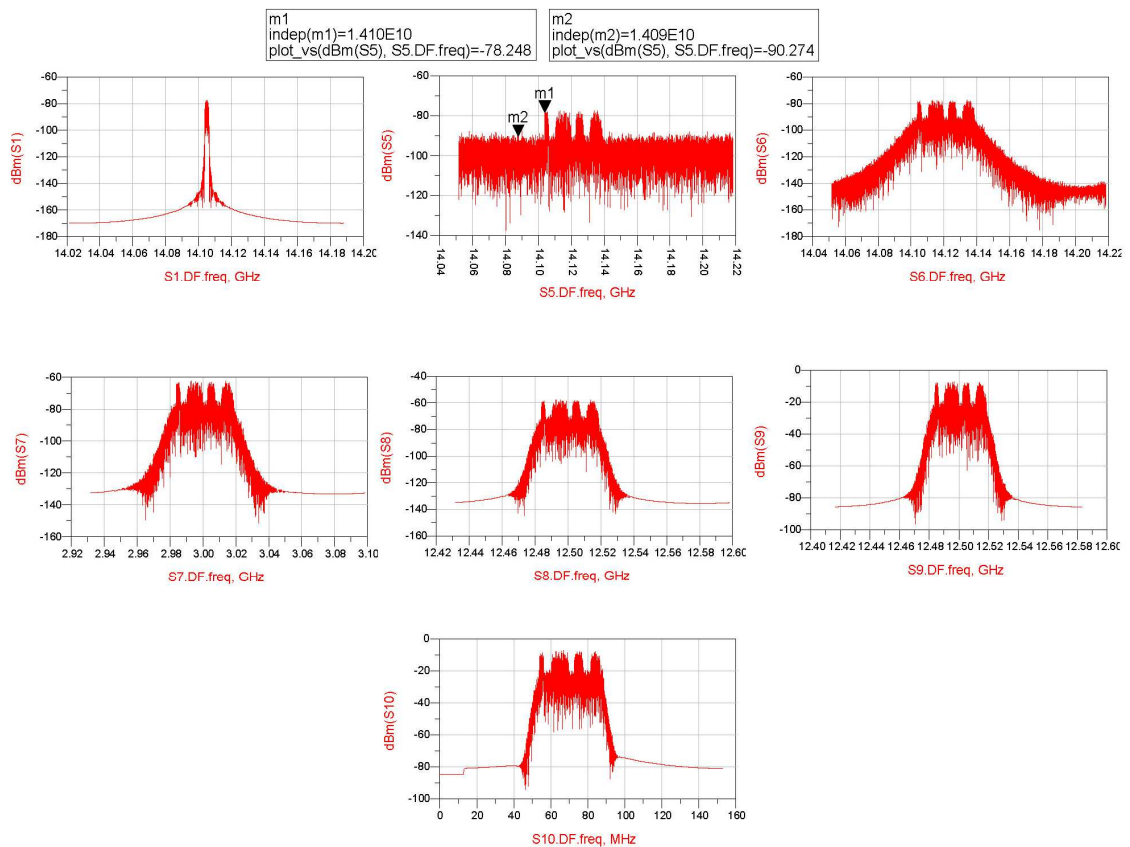


Abbildung 4.3 Die vier empfangenen und gemessenen Signale

Bei der Simulation mit ADS - Software sollen daher, wie in der Abbildung 4.3 dargestellt, die QPSK Signale bei einer -80 dBm Sendeleistung im Transponder empfangen werden. Jedes QPSK - Signal wird mit einer Trägerfrequenz gesendet, wie in der Abbildung 4.3 dargestellt wurde. Vor dem Transponder sind die vier QPSK Signalen zu empfangen, die ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis haben, die natürlich ein Maß für die Qualität des Nutzsignales ist. Es ist auch ganz wichtig zu erwähnen, dass der Transponder einen Gewinn von 70dB insgesamt weist. Die Empfangsleistung am Ende des TWTA und des Empfängers in der Bodenstation, wie in der Abbildung dargestellt wurde, soll gleich sein. Es soll daher weiterhin die Eingangsleistung (als Verstärkungsquelle) vor dem TWTA von -35dBm bis +18dBm gesweept werden, um zu zeigen wie das empfangene Signal bei variabler Eingangsleistung verzerrt wird. Weiters sollen die normierten Histogramme der verzerrten Signale im Zeitbereich aufgenommen werden. Das Zeitsignal hat eine Gaußförmige Amplitudenverteilung In diesem Zusammenhang soll man aus der Wahrscheinlichkeitstheorie die Methode wie „Chi-Squared“ Test auswählen, damit man die normierten Histogramme des Zeitsignales mit einer Gauß-Verteilung vergleicht.

#### 4.1 Chi-Squared Test

Eine Chi-Squared Test auch als Chi Quadrat - Test genannt, ist eine statistische Methode, die in der mathematischen Statistik eine Gruppe von Hypothesentest mit  $\chi^2$  verteilter Testprüfgröße bezeichnet wird[5][10].

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - Np_i)^2}{Np_i}$$

Es sind die statistische Kenngrößen, die wichtig zu erwähnen sind:

Mittelwert = die Summe aller Messwerte geteilt durch die Anzahl der Werten

Mittlerer Fehler = wird als Vergleich eines Messwertes mit dem Mittelwert

Standardabweichung = ist ein wichtiges Maß für die Streuung. Wird auch als die Quadratwurzel der Varianz bezeichnet. Die absoluten Fehler werden vor dem Zusammenzählen quadriert. Nach der Mittelwertbildung wird die Wurzel gezogen und Bei Stichproben wird durch  $n-1$  dividiert.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Mit Hilfe der Streuung kann man feststellen, wie stark die betrachteten Merkmalswerte um ihren Mittelwert streuen.

Den Chi - Quadrat-Test bezeichnet man auch als Anpassungstest. Mit ihm lässt sich prüfen, ob die beobachtete Häufigkeit einer vorgegebenen oder erwarteten Häufigkeit entspricht.

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{beobachteteHäufigkeiten} - \text{erwarteteHäufigkeiten})^2}{\text{erwarteteHäufigkeiten}}$$

Eine grafische Darstellung der gruppierten Daten wird man als Häufigkeitsdiagramm oder Histogramm bezeichnet. In diesem Zusammenhang sollte man die aufgenommenen Histogramme des Zeitsignales für die Anpassung mit einer erwarteten Häufigkeitsdiagramm testen lassen. Da ein Zeitsignal eine gaußförmige Amplitudenverteilung hat, sollte man daher als beobachtete Verteilung eine gaußsche Glockenkurve, die eine Normalverteilung ist, für den Anpassungstest in Betracht ziehen. Die Eigenschaften der Normalverteilung sind zu erwähnen:

- Die Kurve ist symmetrisch um den Mittelwert
- Die Standartabweichung bestimmt die Wendepunkte
- Keine systematischen Fehler
- Sehr viele Messergebnisse [5]

Betrachten wir nun das aufgenommene Histogramme bei der ADS Simulation.

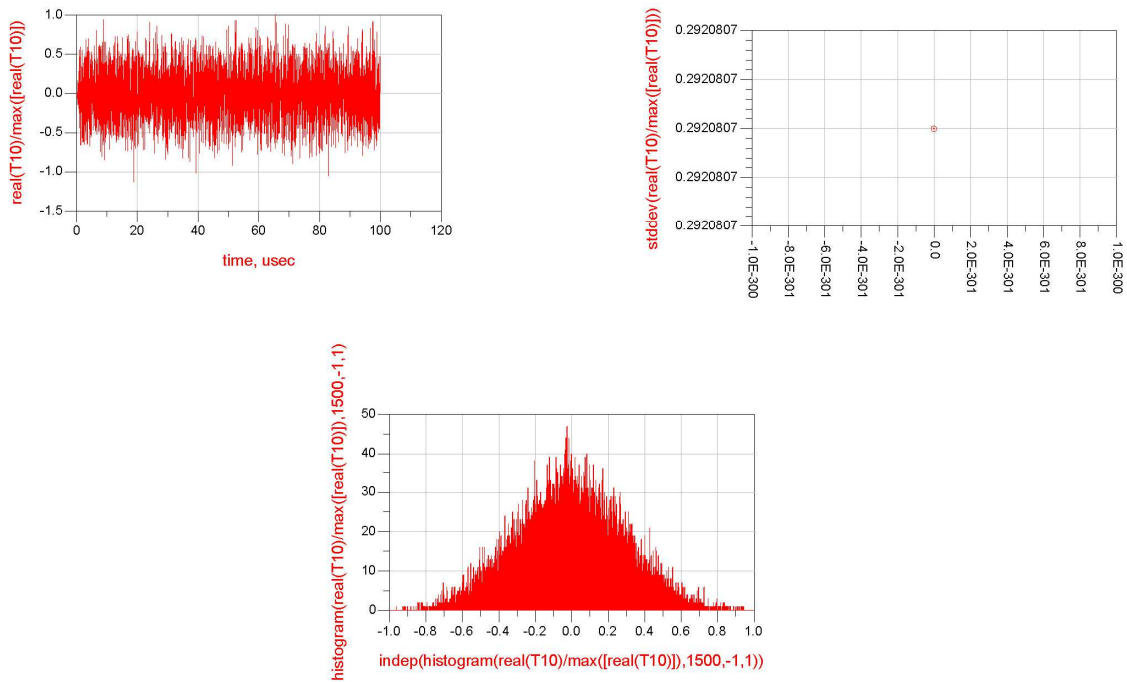


Abbildung 4.4 Das aufgenommene Histogramm des Zeitsignales

Es wurde in der Abbildung 4.4 das aufgenommene und normierte Histogramm sowie die Standardabweichung, die ein wichtiges Maß für die Streuung ist, dargestellt. Jedes Histogramm sollte einem Wert für die Standardabweichung entsprechen, die auch bei der Abbildung oben dargestellt wurde. Es ist auch wichtig, dass das aufgenommene Histogramm des Zeitsignales mit dem Mittelwert auf 0 und die Wendepunkte auf  $\pm 1$  normiert sind. (Fläche des Histogrammes auf 1 normiert) ist. Gleichweise sollte man die Gaußsche Normalverteilungskurve normieren, um die notwendige Formel für einen Anpassungstest zu bestimmen.

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Histogram} - \text{Gauß})^2}{\text{Gauß}}$$

Nachfolgend werden alle aufgenommenen Histogramme des Zeitsignales beschrieben und erklärt.

## 4.2 Histogramme des aufgenommenen Zeitsignals

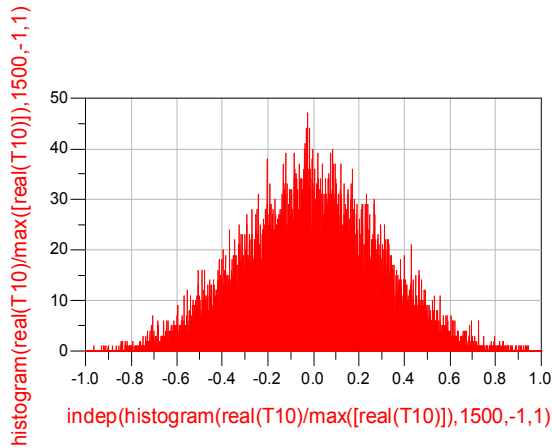


Abbildung 4.5 TWTA\_IN\_-35dBm

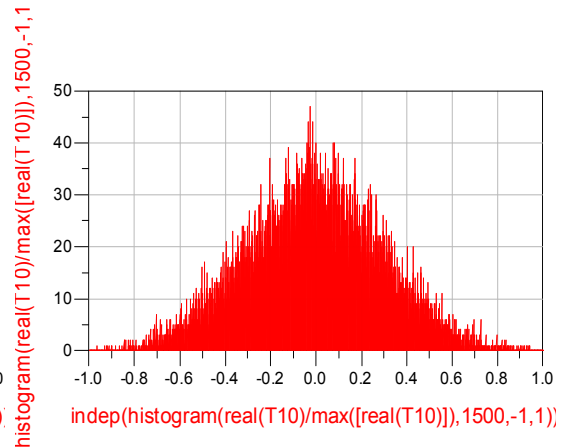


Abbildung 4.6 TWTA\_IN\_-30dBm

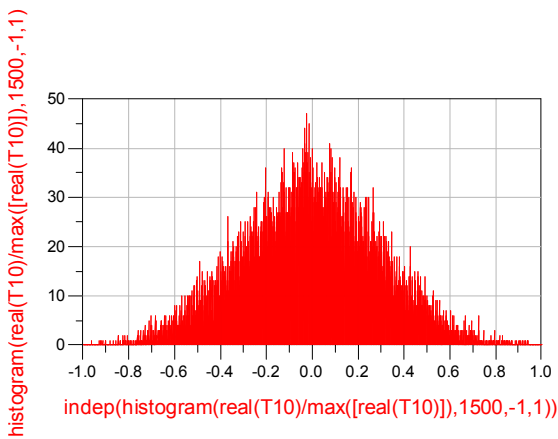


Abbildung 4.7 TWTA\_IN\_-25dBm

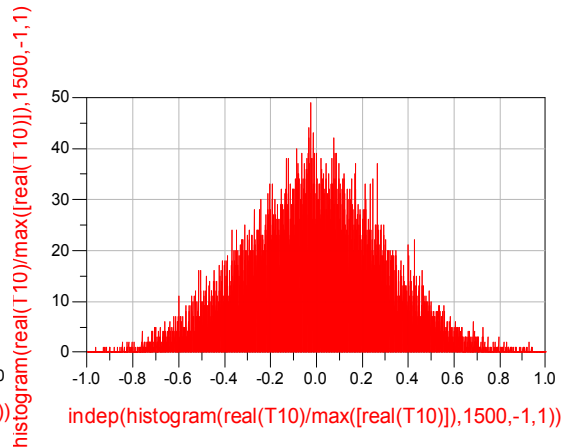


Abbildung 4.8 TWTA\_IN\_-20dBm

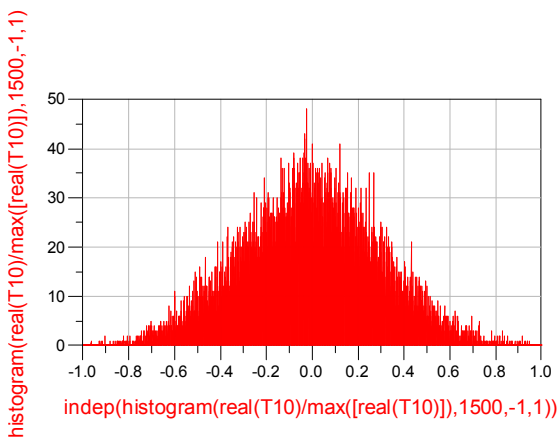


Abbildung 4.9 TWTA\_IN\_-15dBm

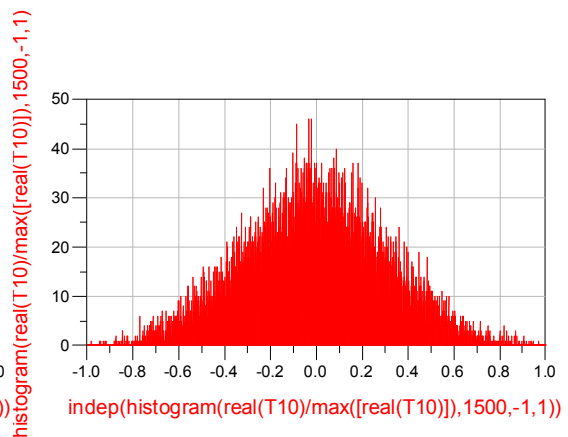


Abbildung 4.10 TWTA\_IN\_-10dBm



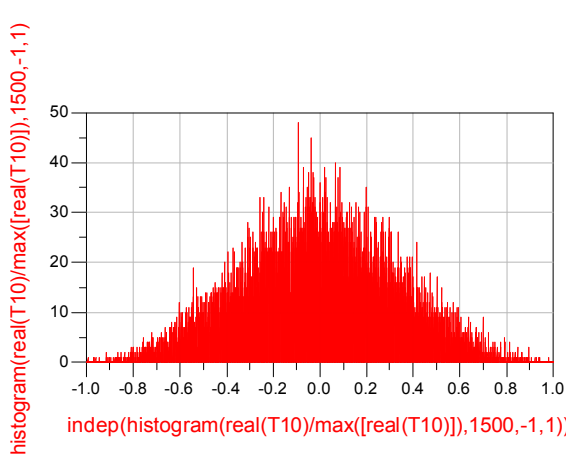


Abbildung 4.11 TWTA\_IN\_-7dBm

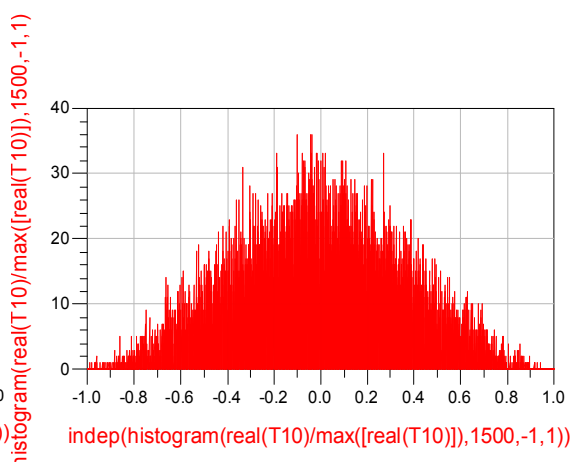


Abbildung 4.12 TWTA\_IN\_-4dBm  
(1dB C.Point)

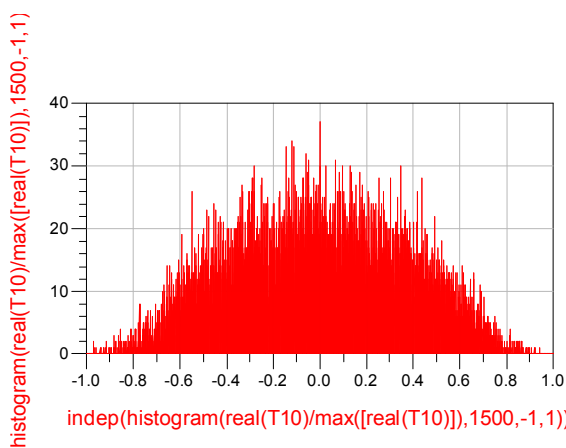


Abbildung 4.13 TWTA\_IN\_-2dBm

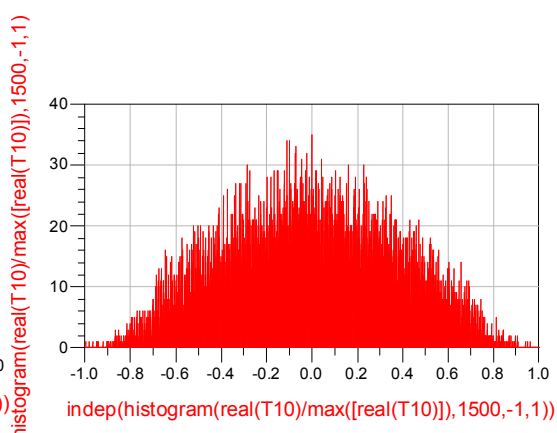


Abbildung 4.14 TWTA\_IN\_0dBm

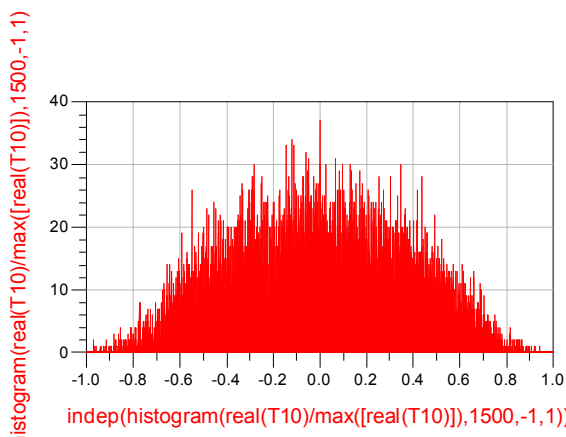


Abbildung 4.15 TWTA\_IN\_+2dBm

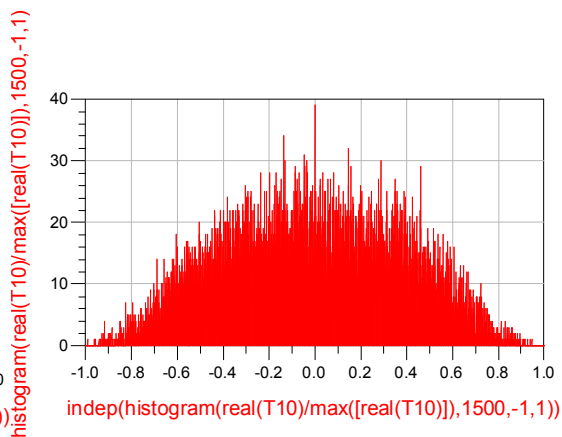


Abbildung 4.16 TWTA\_IN\_+4dBm

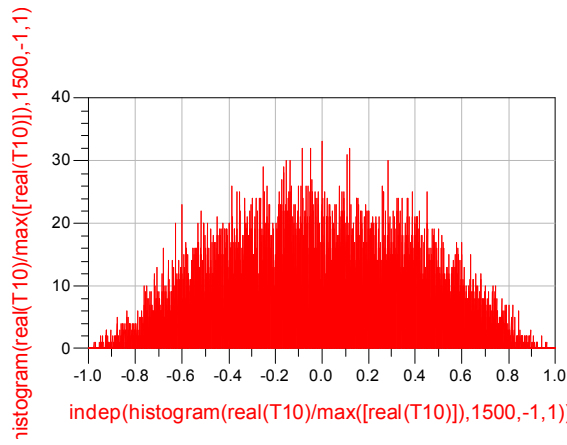


Abbildung 4.17 TWTA\_IN\_+6dBm

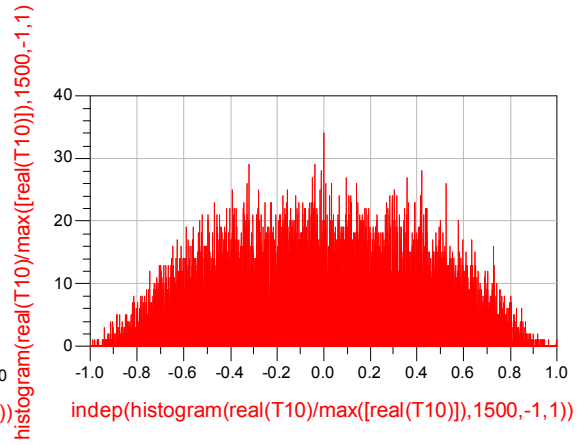


Abbildung 4.18 TWTA\_IN\_+8dBm

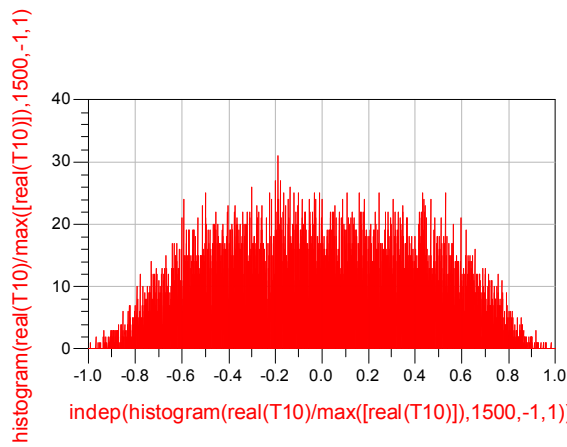


Abbildung 4.19 TWTA\_IN\_+10dBm

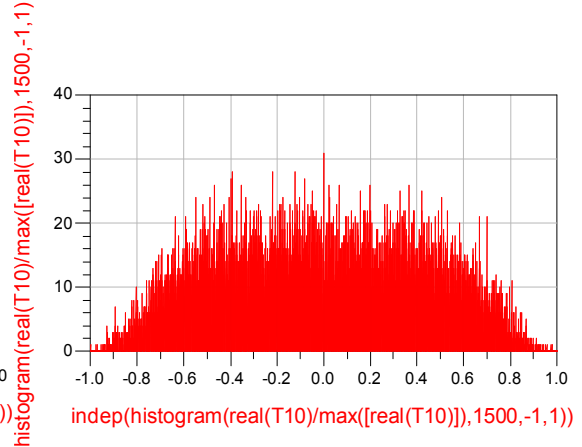


Abbildung 4.20 TWTA\_IN\_+12dBm

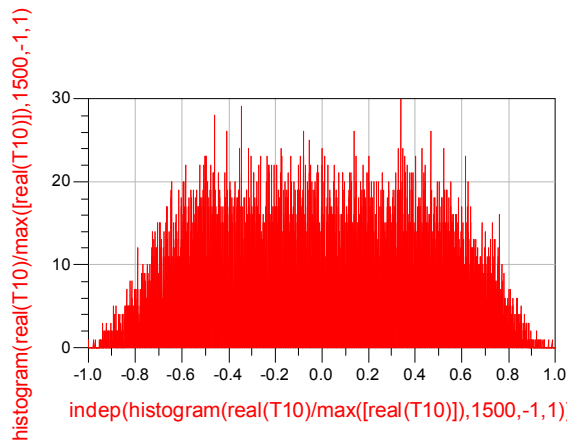


Abbildung 4.21 TWTA\_IN\_+14dBm

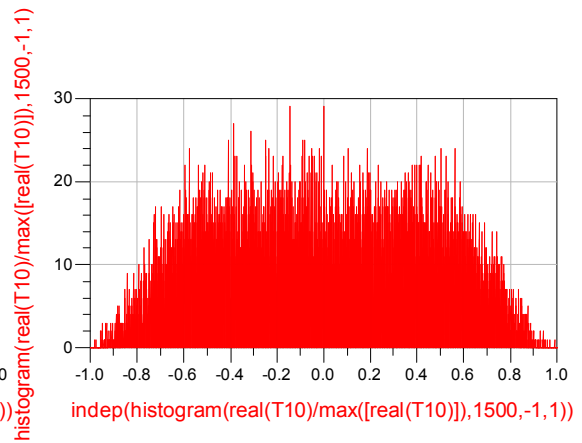


Abbildung 4.22 TWTA\_IN\_+16dBm

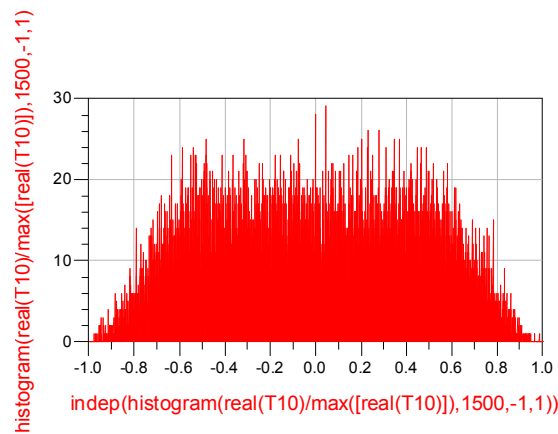


Abbildung 4.23 TWTA\_IN\_+18dBm

Es wurde in der ADS - Software eine Verstärkungsquelle vor TWTA eingeführt, damit man den TWTA bis zur Sättigung übersteuern kann. Man sollte die beiden Empfangsleistungen, also am Ausgang von TWTA und Empfänger in der Bodenstation anpassen und die normierten Histogramme der Zeitsignale aufnehmen. Es ist deutlich zu sehen, wie die Amplitudenverteilung des Zeitsignales sich wegen der Übersteuerung des TWTA ändert. Die aufgenommene Histogramme, wo Verstärkung vor TWTA eingefügt wurde, entsprechen kaum einer Normalverteilung. Man muss daher immer den Einfluss der Verstärkung auf den Transponder beachten, damit es nicht zur Sättigung des TWTA als Endstufe des Transponders kommen kann. Die Sättigung hat daher den Effekt, dass wegen einer hohen Verstärkung die aufgenommenen Histogramme verzerrt werden. Es wurde bei der Simulation mit ADS die verschiedenen Werten für die Verstärkung simuliert. Man kann dann leicht den Eingang der Signalleistung bestimmen, wenn man das gesamte Verstärkungssystem im Transponder kennt. Es ist auch wichtig zu erwähnen, dass bei der Simulation mit ADS die mathematischen Funktionen aufgeschrieben mussten, damit man die erwünschten Bilder von der Simulation bekommen kann. Es ist sichtbar, dass man diese mathematischen Funktionen auf den Achsen erkennen kann. In Bezug auf die Chi - Squared ausgewählte statistische Methode sollen mit Matlab - Software diese Histogramme des Zeitsignales mit einer normierten gaußsche Kurve verglichen werden, damit man mit deren Methode die Kurvenverteilung testen kann.

### 4.2.1 Mit Matlab Implementierte Funktionen

Es sollen daher mit Matlab - Software die Histogramme des Zeitsignales, die eine gaußförmige Verteilung aufweisen können, mit einer Gauß - Verteilung verglichen werden. Es ist ganz wichtig zu wissen, dass in ADS Software nicht die Möglichkeit war, um mit dieser statistischen Methode zu arbeiten. Weshalb eine eigene Matlab – Routine entwickelt wurde. Ein ganz wichtiger Parameter für die Darstellung des Ergebnisses des Chi - Squared - Tests ist die Standardabweichung. Es ist die Möglichkeit, in ADS durch die geschriebene Funktion für jedes Zeitsignal die Werte von der Standardabweichung zu bekommen. Es sollen daher in Matlab die Werte von der Standardabweichung verwendet und mit Hilfe der geschriebenen Funktionen die Ergebnisse erreicht werden. Die folgenden Funktionen sind in Matlab geschrieben, um die erwünschten Ergebnisse zu bekommen:

#### Start Program : Twta\_norm.m

```
clear all;

clf;

load twta_norm;

norm_data = [data1 data2 data3 data4 data5 data6 data7 data8 data9 data10 data11
data12 data13 data14 data15 data16 data17 data18 data19]

dBm (1:250,1)=-35; dBm (1:250,2)=-30; dBm (1:250,3)=-25; dBm (1:250,4)=-20;

dBm (1:250,5)=-15; dBm (1:250,6)=-10; dBm (1:250,7)=-7; dBm (1:250,8)=-4

dBm (1:250,9)=-2; dBm (1:250,10)=0; dBm (1:250,11)=2; dBm (1:250,12)=4

dBm (1:250,13)=6; dBm (1:250,14)=8; dBm (1:250,15)=10; dBm (1:250,16)=12

dBm (1:250,17)=14; dBm (1:250,18)=16; dBm (1:250,19)=18

stddev = [0.2920807 0.2921006 0.2921707 0.2924641 0.2940608 0.3045818 0.3237608
0.3508458 0.3745752 0.3692496 0.3688360 0.3825539 0.4013387 0.4178941 0.4243005
0.4317719 0.4380579 0.4431834 0.4445773];

twtacalc;
```

Matlab Code 1. Teil des Programm wo die Startwerte vom Test geladen werden

Folgende Funktionen werden vom Hauptprogramm aufgerufen, um die benötigten Berechnungen zu bekommen.

### **Funktion Normierung.m**

```
function normmatrix=normierung(matrix)

% calculate matrix dimensions
len=size(matrix);
% assign dimensions to variables
to_j=len(1,2);
to_i=len(1,1);
% run through columns
for j=1:to_j
    prod=0;
    % go through the rows to calculate the sum of the elements
    for i=1:to_i
        prod=prod+matrix(i,j);
    end
    % normalize the elements with the sum to get an area of 1
    for i=1:to_i
        normmatrix(i,j)=matrix(i,j)/prod;
    end
end
return;
```

Matlab Code 2. Hier wird der gegebene Datenmatrix normiert

### **Funktion Chisqaure.m**

```
function chisum=chisquare(matrix,gauss)

lenmat=size(matrix);
to_i=lenmat(1,1);
to_j=lenmat(1,2);
for j=1:to_j
    prod=0;
    for i=1:to_i
        prod=prod+(matrix(i,j)-gauss(i,j))^2/gauss(i,j);
    end
    chisum(1,j)=prod;
end
return;
```

Matlab Code 3. Diese Funktion berechnet der Chi - Square der gegebenen Datenmatrix

### Hauptprogramm: Twtacalc.m (aufgerufen vom Start Program)

```
hh=0;
histo=[];
dBm_new=dBm(1:200,1:19)
for h=1:1:200
    hh=hh+1;
    histo(hh,1)=histogram(h,1);
end
subplot(2,1,1);
fill3(dBm_new,histo,norm_data,dBm_new);
set(gca,'XTick',dBm(1,1:19));
axis tight;
grid on;
view(45,30);
xg=-0.999:0.01:0.999;
for stdi=1:19
    yg(stdi,:)=normpdf(xg,0,stddv(stdi));
end
twtan=normierung(norm_data);
twtachi=chisquare(twtan,normierung(yg'));
subplot(2,1,2);
fill3(dBm_new,histo,twtan,dBm_new);
view(45,30);
set(gca,'XTick',dBm(1,1:19));
axis tight;
grid on;
figure(2);
plot(dBm(1,1:19),twtachi,'-o');
set(gca,'XTick',dBm(1,1:19));
set(get(gca,'XLabel'),'String','TWTA IN dBm');
set(get(gca,'YLabel'),'String','ChiSquare X^2');
grid on;
figure(3);
plot(histo,normierung(yg'));
```

#### Matlab Code 4. Hauptprogramm für Chi - Square - Test

Im Matlab Code 4. wird anhand der Startdaten eine Gaußsche Verteilung mittels Hilfsfunktion *normpdf* (Normal Probability Density Function) und der vom ADS Standardabweichungswerte *stddv* berechnet. Die gelieferte Datenmatrix soll wieder vor dem Chi - Squared - Test normiert werden.

### 4.3 Ergebnisse des Chi-Squared-Tests

Der in Matlab ausgeführte Chi - Squared - Test liefert eine graphische Darstellung, welche deutlich die erwünschten Ergebnisse zeigt.

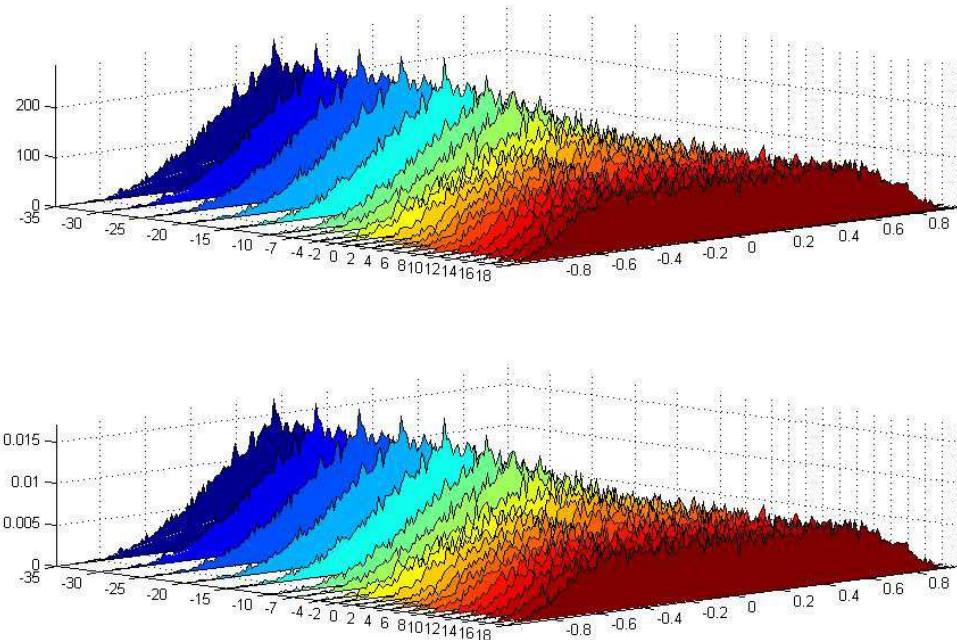


Abbildung 4.24 Alle normierte Histogramme 200 Häufigkeitsdaten

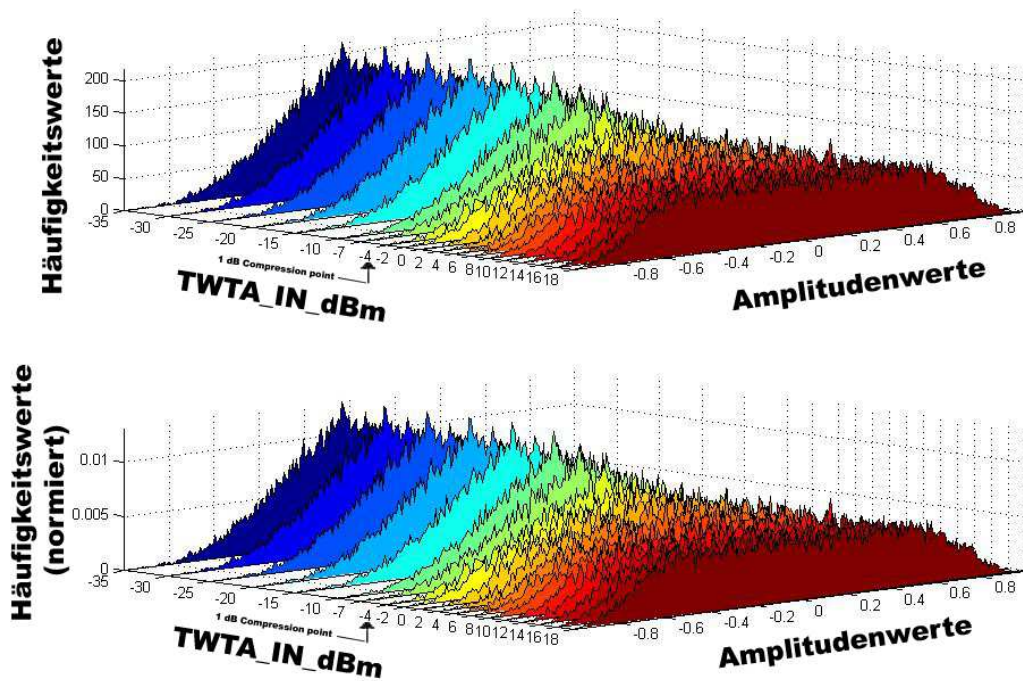


Abbildung 4.25 Alle normierte Histogramme 250 Häufigkeitsdaten

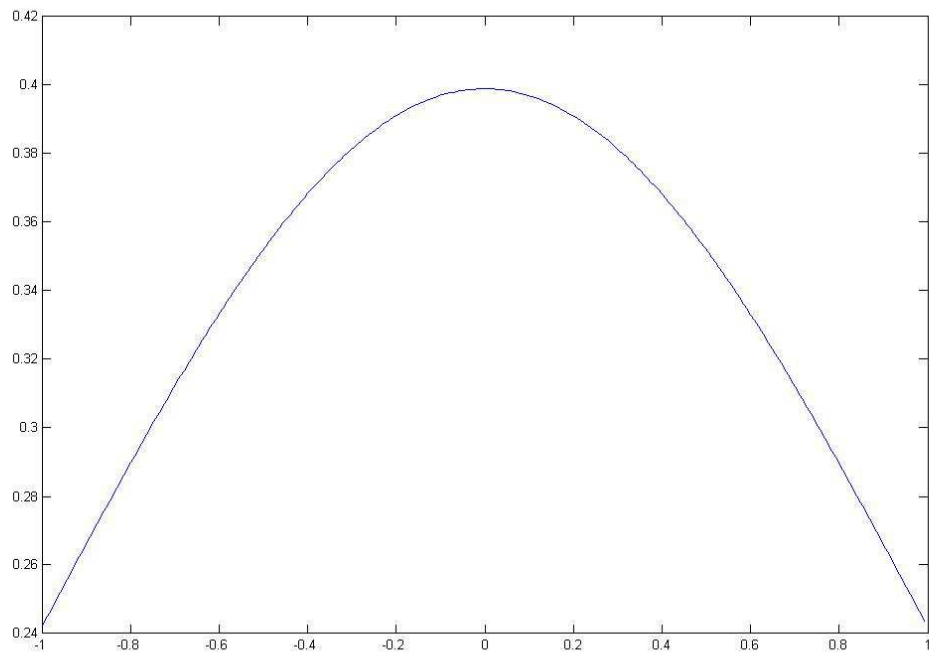


Abbildung 4.26 Normierte Gaußsche Verteilung

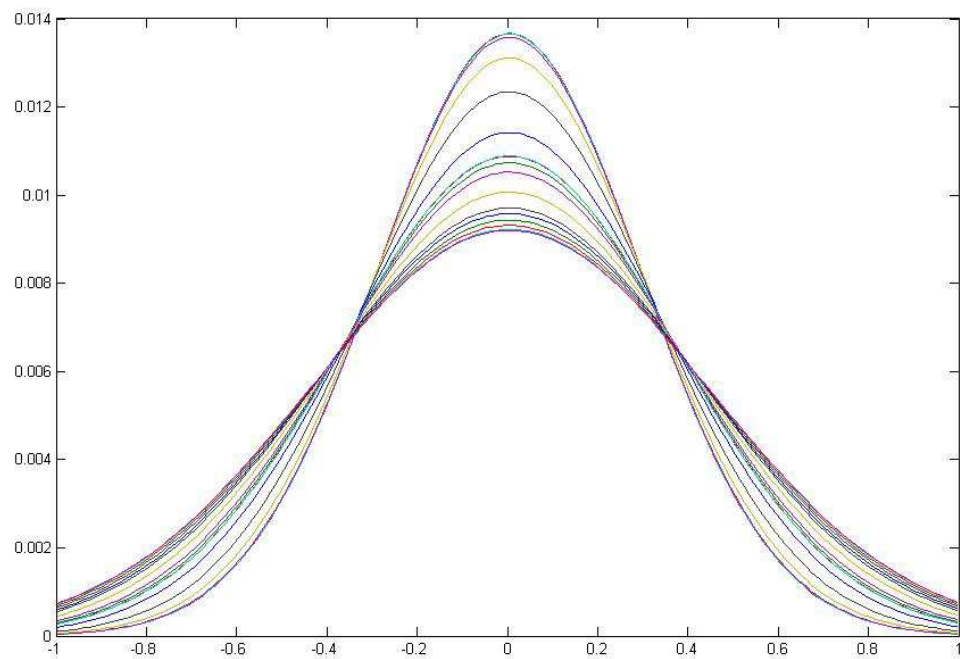


Abbildung 4.27 Die auf der Gaußsche Verteilung normierten Histogramme (200 Häufigkeitsdaten)



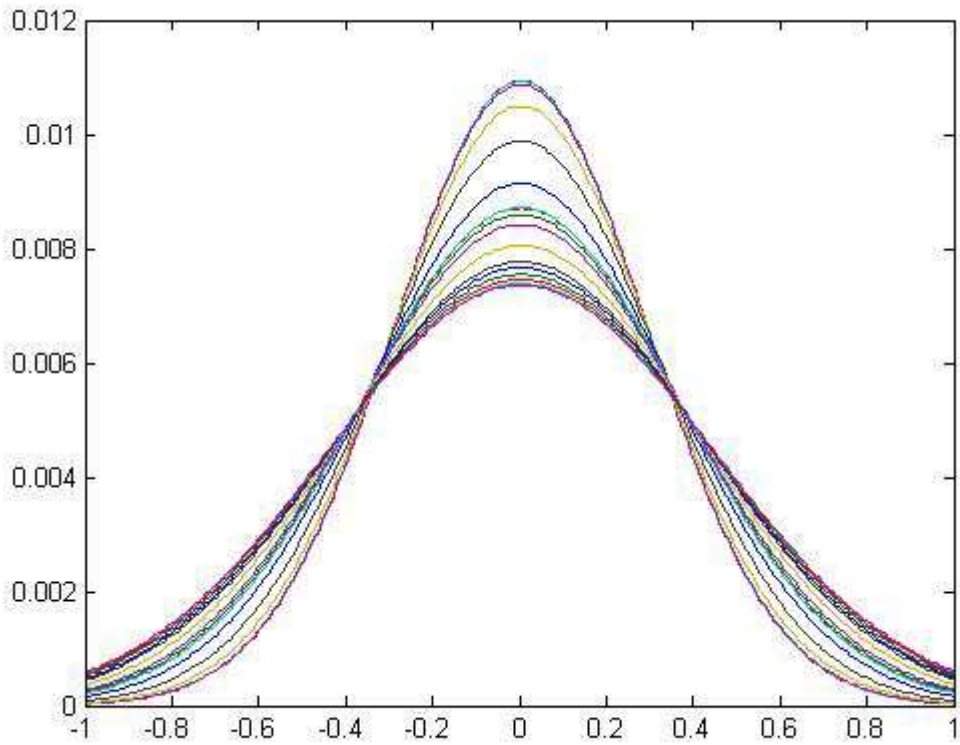


Abbildung 4.28 Die auf der Gaußsche Verteilung normierten Histogramme (250 Häufigkeitsdaten)

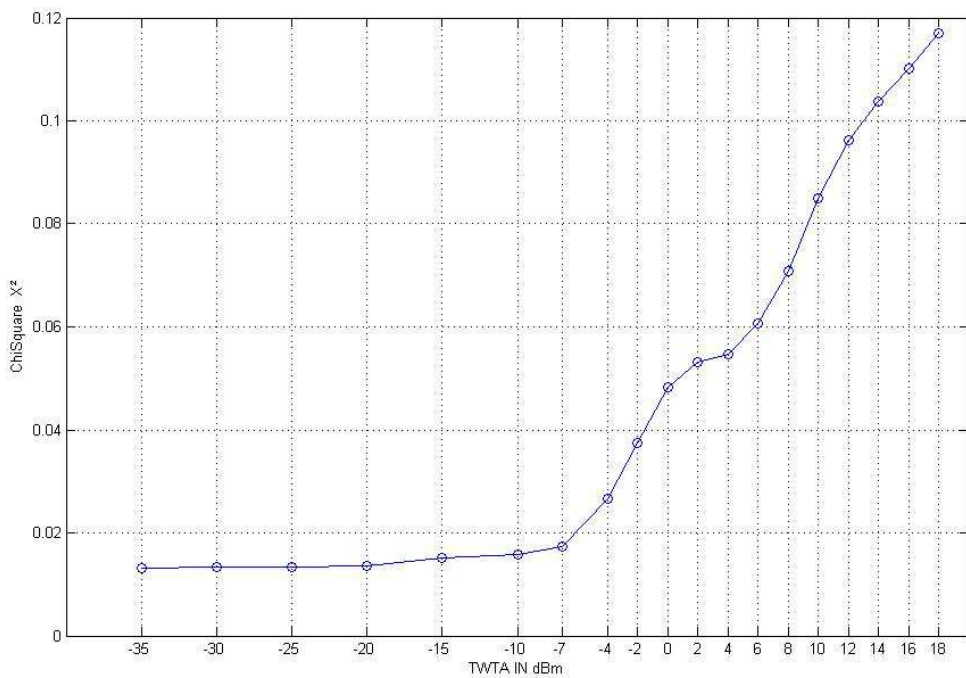


Abbildung 4.29 Ergebnisse des Chi - Squared - Test (200 Häufigkeitsdaten)

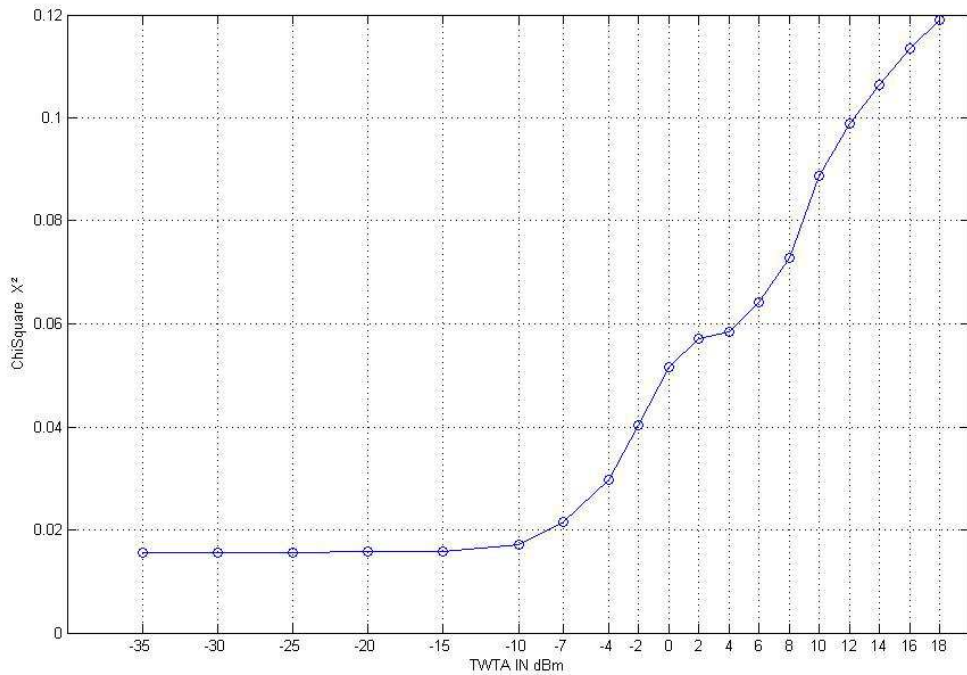


Abbildung 4.30 Ergebnisse des Chi - Squared - Test (250 Häufigkeitsdaten)

Es sind alle Ergebnisse dargestellt, die von der Matlab - Software aufgerufen wurden. Die Chi - Squared - Test Methode liefert das Ergebnis, welches in der Abbildung 4.29 für 200 Häufigkeitswerten und 4.30 für 250 Häufigkeitswerten dargestellt wurde.

In diesem Zusammenhang mit dem Ergebnis des Chi – Squared - Test kann man feststellen, dass es eine eindeutige Zahl liefert, die wiederum auf den eingestellten Betriebspunkt des Transponders rückschließen ist.

## 5 Zusammenfassung

Die ADS - Software hat den große Vorteil, dass man verschiedene Design - Modelle aufbauen und die verschiedenen Methoden für eine Überprüfung der Signale mit den verschiedenen Modulationsverfahren in der Nachrichtentechnik simulieren kann. Die erste ausgewählte Methode liefert ziemlich gut die Werten von Empfangsleistungen und entspricht den realen Werten, die bei einem Satellitenempfänger in der Bodenstation empfangen werden. Auch eine spektrale Darstellung der Signale ist bei der Simulation mit ADS möglich. Die erste Methode hat auch den Vorteil die empfangenen Signale zu studieren, wenn der Transponder im Satelliten übersteuert wird. Die zweite ausgewählte statistische Methode hat den Vorteil, dass sie geeignete Kennwerte liefert. Der Chi - Squared - Test hat den Vorteil auch, dass man nur die Grunderkenntnisse des Statistik kennen muss, um diese Methode einzusetzen.

Obwohl die beiden Methoden recht guten Werten liefern, kann man Faktoren, wie die atmosphärische und andere unerwünschte Dämpfungen des Signals, in der Simulation mit ADS Software nicht berücksichtigen.

Nach den guten Ergebnissen von den beiden Methoden wäre es möglich, diese auf einer weiteren Arbeit verwenden zu können, und zwar:

Es gäbe die Möglichkeit, die genommenen Erkenntnisse mit dem Satellitensimulator des IKS überprüfen zu können.

Als sampling Einheit könnte ein am Institut selbst entwickeltes Meßsystem dienen.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Agilent Advanced Design System (ADS), 2008, Product description, [http://eesof.tm.agilent.com/products/ads\\_main.html#product\\_information](http://eesof.tm.agilent.com/products/ads_main.html#product_information) [online last visited January 2013]
- [2] Mathworks Matlab 7.5, Introduction and key features, 2007, 2008, 2009, 2010 <http://www.mathworks.com/products/matlab/description1.html> [online last visited January 2013]
- [3] A.A. Moulthrop, C.J. Clark, C.P. Silvia, and M.S. Muha: A dynamic am/am and am/pm measurement technique, <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel3/4660/13055/00596604.pdf?arnumber=596604> [online last visited February 2013]
- [4] Bruce Elbert, Maurice Schiff: Simulating the Performance of Communication Links with Satellite Transponders, [http://www.applicationstrategy.com/Communications\\_simulation.htm](http://www.applicationstrategy.com/Communications_simulation.htm) [online last visited February 2013]
- [5] Horst Rinne: Taschenbuch der Statistik. 3. Auflage. Verlag Harri Deutsch, 2003
- [6] Dennis Roddy: Satellitenkommunikation, Hanser, 1991.
- [7] Ao.Univ.-Prof.Dr.Otto KOUDELKA: Nachrichtensatelliten, Hochschülerschaft an der TU Graz GmbH 1999
- [8] <http://eesof.tm.agilent.com/pdf/eagleware/an142.pdf> [online last visited December 2012]
- [9] J P Silver: RF, RFIC&Microwave Theory, Design, Satellite Communications Tutorial [http://www.odysseus.nildram.co.uk/Systems\\_And\\_Devices\\_Files/Sat\\_Comms.pdf](http://www.odysseus.nildram.co.uk/Systems_And_Devices_Files/Sat_Comms.pdf) [online last visited February 2013]
- [10] Greenwood, P.E., Nikulin, M.S.: A guide to chi-squared testing. Wiley, New York. (1996)