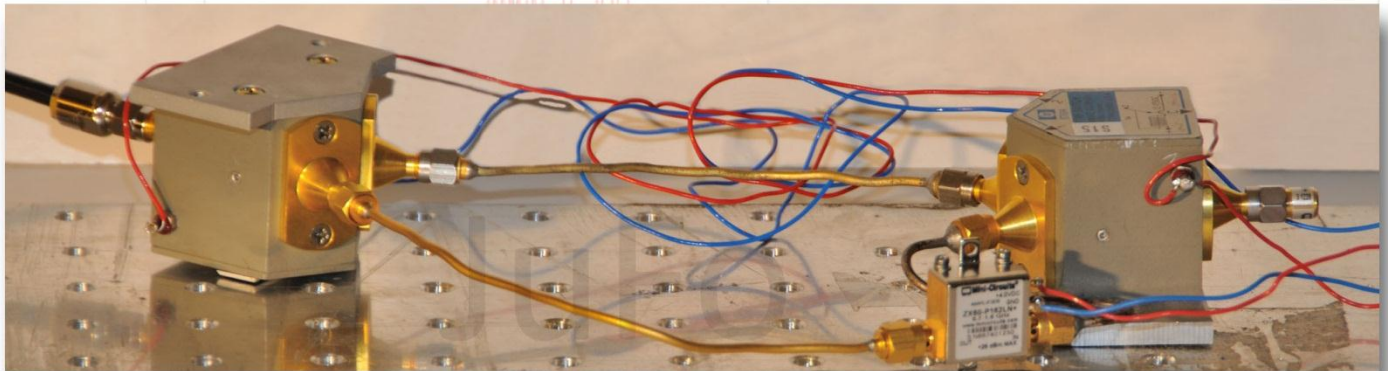


HF - Empfangsanlage zur Aufbereitung von Signalen im GHz - Bereich



Wettbewerb „Jugend Forscht“ 2013

Sophie Müller (16)

Lukas Amann (15)

Arbeitsgemeinschaft „Jugend Forscht“
des Christian - Gymnasiums Hermannsburg

Leitung: StD Thomas Biedermann

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Theoretische Grundlagen	2
2.1 Was ist Eigenrauschen?	2
2.2 Dezibel	2
2.3 Was ist ein LNA?	3
2.4 Was ist ein Band-Pass-Filter?	3
3. Versuchsaufbau	4
4. Messungen	5
5. Auswertung	6
6. Fazit	9
7. Ausblick	10
8. Danksagung	10
9. Quellen	10

1. Einleitung

Seit Mitte des letzten Jahres stehen hinter der Sporthalle unserer Schule zwei Radioteleskope, die auf ihren Einsatz warten. Um die Signale, die diese Radioteleskope empfangen sollen, auswerten zu können, müssen die Signale vorher aufbereitet werden. Deshalb wollen wir eine HF-Empfangsanlage bauen. Um dies zu bewerkstelligen, wollten wir zuerst das Eigenrauschen zweier LNAs messen, um die Tauglichkeit für unsere Zwecke zu untersuchen.

2. Theoretische Grundlagen

Eine Empfangsanlage wird benötigt, um Signale, die von einer weit entfernten Quelle ausgesandt und von einem Empfänger empfangen werden sollen, aufzubereiten, damit man es auswerten kann. Das Eingangssignal wird durch einen Verstärker (LNA) verstärkt, über möglichst kurze HF-Leitungen zum Mischer geführt, in dem es mit Hilfe eines Frequenzgenerators (VCO) auf eine niedrigere Frequenz herunter gemischt wird. Die Länge des Kabels ist wichtig, da es das Signal mit zunehmender Länge abschwächt. Deshalb wird ein erster LNA direkt an die Antenne platziert, damit er ein möglichst starkes Signal bekommt, das er verstärken kann, und dadurch die Leitungen länger werden dürfen. Rauschen ist so gering wie möglich zu halten, da es die Auswertung des Endsignales um ein vielfaches erschweren kann. Je mehr Fremdrauschen vorhanden ist, desto schwieriger wird es. Das gilt für jedes einzelne Bauteil der Anlage.

2.1 Was ist Eigenrauschen?

Durch Unregelmäßigkeiten der Elektronenbewegungen produziert jedes Bauelement ein Eigenrauschen. Dieses Eigenrauschen wird dem Signal beigefügt, somit weitergegeben und mit verstärkt oder gefiltert. Ist der Rauschabstand, sprich die Differenz des Nutzsinal und des Rauschens zu klein, wird die Auswertung des Ausgangssignales erheblich erschwert bzw. unmöglich gemacht. Da man das Eigenrauschen der Komponenten nicht beheben kann, sondern nur versuchen kann, es so gering wie möglich zu halten, muss es immer bei der Fehleranalyse berücksichtigt werden, wenn man ein Signal auswertet.

2.2 Dezibel

Das Dezibel (dB) gibt ein logarithmiertes Verhältnis an und ist somit keine Einheit. Eine Verstärkung oder Dämpfung wird in dB angegeben. Ist $g > 1$, so ist es eine Verstärkung, ist $g < 1$, so ist es eine Dämpfung, das bedeutet, dass die Ausgangsspannung kleiner als die Eingangsspannung ist. Für die Verstärkung bzw. Dämpfung gilt:

$$g = 10 \cdot \log\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right) dB$$

Ein Beispiel: Wenn ein Verstärker bei einer Eingangsspannung $U_{in} = 1 \text{ mV}$ eine Ausgangsspannung $U_{out} = 100 \text{ mV}$ erzeugt, hat er eine 100-fache Verstärkung. Die Einheit dB gibt diese Verstärkung als logarithmisches Maß an. Damit wäre im vorliegenden Fall die Verstärkung:

$$g = 10 \cdot \log\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right) \text{ dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{100 \text{ mV}}{1 \text{ mV}}\right) \text{ dB} = 20 \text{ dB}$$

20 dB bedeutet also eine hundertfache Verstärkung. Wäre die Ausgangsspannung 1000mV, so wäre die Verstärkung 30dB. Eine Verstärkung von 3dB führt zu einer Verdoppelung der Ausgangsspannung.

In der Hochfrequenztechnik ist es üblich, dass dB im Bezug zu 1W oder 1mW (dann heißt es aber dBm) steht und ist dadurch eine Einheit.

2.3 Was ist ein LNA?

Als LNA (Low Noise Amplifier) werden sehr rauscharme Verstärker bezeichnet, die in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden können, wie z.B. in Mobiltelefonen oder zur Aufbereitung von Satellitensignalen.

LNAs verstärken das Eingangssignal, ohne dabei viel Eigenrauschen zu produzieren. Wenn das Ausgangssignal eines LNAs zu schwach ist, kann man einen oder mehrere LNAs in Reihe schalten. Dabei ist es sehr wichtig, dass das Eigenrauschen des ersten LNAs so gering wie möglich ist, weil es von den folgenden LNAs mit verstärkt wird. Dies kann dazu führen, dass die Auswertung des Nutzsignals verfälscht wird oder nicht mehr möglich ist.

2.4 Was ist ein Band-Pass-Filter?

Es gibt verschiedene Filter. Ein Tief-Pass-Filter lässt alle tiefen Frequenzen, die unterhalb seiner Grenzfrequenz liegen passieren, aber alle Frequenzen oberhalb der Grenze werden dabei deutlich abgeschwächt oder ganz gesperrt. Im Gegensatz dazu lässt der Hoch-Pass-Filter nur Frequenzen oberhalb seiner Grenzfrequenz passieren. Hier werden Frequenzen unterhalb der Grenze gedämpft oder gesperrt. Beim Band-Pass-Filter gibt es einen Frequenzbereich in dem er die Frequenzen durch lässt und alle Frequenzen oberhalb oder unterhalb dieses Frequenzbereiches schwächt oder blockiert. Deshalb wollen wir einen Band-Pass-Filter in unserer Empfangsanlage verwenden, damit wir nur Frequenzen in unserem Gewünschten Frequenzbereich verarbeiten.

3. Versuchsaufbau

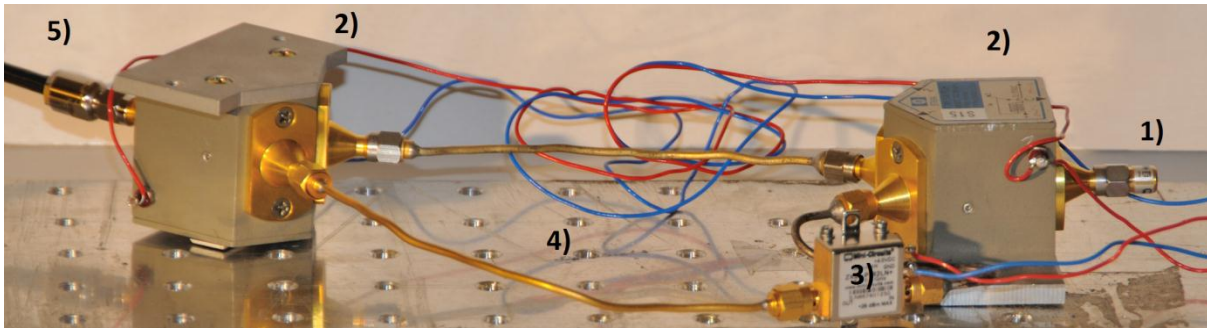


Abb. 1: Versuchsaufbau: 1) Abschlusswiderstand, 2) Relais, 3) momentan angeschlossener LNA, 4) Semi-rigid-Leitung, 5) Verbindung mit Spectrum Analyzer

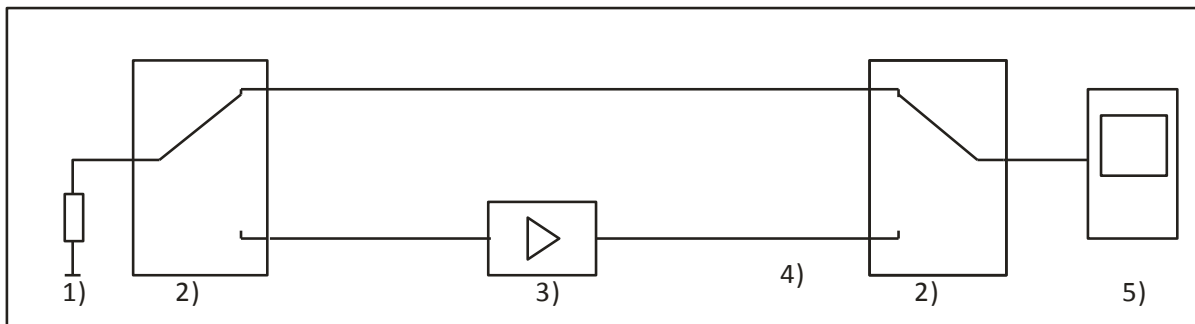


Abb.2: Blockschaltbild: 1) Abschlusswiderstand, 2) Relais, 3) momentan angeschlossener LNA, 4) Semi-rigid-Leitung, 5) Verbindung mit Spectrum Analyzer

Die Abb. 1 und 2 zeigen einen unser Versuchsaufbauten. Am Eingang ist ein Abschlusswiderstand angeschlossen. Dadurch empfängt der LNA nur das Eigenrauschen des Abschlusswiderstandes, des Relais und des Semi-rigid-Leitung zwischen LNA und Relais.

Mit Hilfe der Relais sind wir in der Lage, zwischen dem Signalweg mit dem LNA und dem Signalweg ohne den LNA zu schalten. Die beiden Relais bekommen mit Hilfe von zwei Schaltern einen kurzfristigen Spannungsimpuls, weshalb wir, je nach Polarität des Spannungsimpulses, zwischen zwei Leitungen hin und her schalten können. Nachdem die Relais umgeschaltet haben, bleiben sie in dieser Stellung, bis sie einen erneuten Impuls bekommen.

Den Versuchsaufbau haben wir mit den verschiedenen Komponenten, dessen Eigenrauschen wir messen wollten, erweitert und verändert.



Abb. 3: LNA ZX60-1614LN mit 13dBm Verstärkung

Abb. 3 zeigt einen der LNAs abgebildet, dessen Eigenrauschen wir messen wollten. Wie man auf den folgenden Bildern sieht, sind die Komponenten, die wir verwenden, sehr klein. Dieser LNA benötigt eine Betriebsspannung von 12V. Er hat einer Verstärkung von 13dBm und laut Datenblatt ein typisches Eigenrauschen von 0,5 dB und ein maximales Eigenrauschen von

0,9dB in dem vorgesehen Frequenzbereich von 1217MHz-1620MHz.

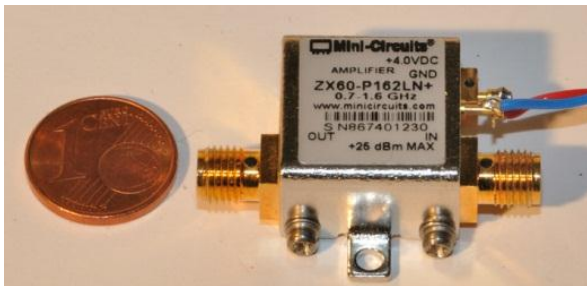


Abb. 4: LNA ZX60-P162LN+ mit 25dBm Verstärkung

Abb. 4 zeigt den zweiten LNA, dessen Eigenrauschen wir messen wollten. Er hat eine Verstärkung von 25dBm. Dieser LNA benötigt eine Betriebsspannung von 4V. Laut Datenblatt hat der LNA in dem vorgesehenen Frequenzbereich von 0,7-1,6GHz ein typisches Eigenrauschen von 0,6dB und ein maximales Eigenrauschen von 0,95 dB.

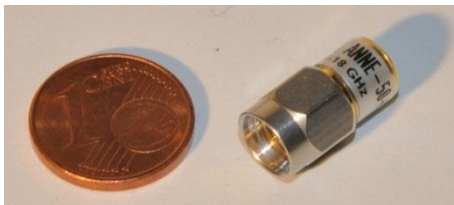


Abb. 5: Abschlusswiderstand 50 Ω

Der 50 Ω Abschlusswiderstand sorgt dafür, dass am Eingang unserer Empfangsanlage kein Signal ansteht, da die 50 Ω der Impedanzen der Komponenten entspricht. Dadurch können wir sichergehen, dass wir tatsächlich nur das Eigenrauschen der Komponenten messen.



Abb. 6 Semi-rigid-Leitung

Um die einzelnen Komponenten zu verbinden haben wir Semi-rigid-Leitung. Semi-rigid bedeutet „halbfest“, was bedeutet, dass man sie passend zu recht biegen kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass sie eine 100% Abschirmung des signalführenden Innenleiters gegen Störspannungen von außen bieten. Ein Kabel mit Kupfergeflecht erreicht je nach Zahl der Abschirmung und deren Geflechtdicke nur eine Abschirmung von 80-99%.



Abb. 7: Beispielfoto eines Band-Pass-Filters 800-1050

Abb. 6 zeigt einen Band-Pass-Filter. Einen solchen wollen wir später verwenden, um ungewünschte Frequenzen heraus zu filtern

4. Messungen

Für die Auswertung der Messungen führten wir zunächst eine Referenzmessung durch. Danach haben wir das Eigenrauschen der einzelnen Komponenten gemessen.

Im Gegensatz zu einem Oszilloskop, das den Pegel in Abhängigkeit zur Zeit darstellt, zeigt ein Spectrum Analyzer den Pegel in Abhängigkeit zur Frequenz da.

Dadurch konnten wir den Frequenzgang mit einem Durchlauf ermitteln.

Der Spectrum Analyzer gibt die Werte in dB aus. Die Hochachse der nachfolgenden Diagramme ist also logarithmisch geteilt, eine Skaleneinheit von 10dB entspricht somit einem Faktor 10 des Signals. Wir haben in einem Frequenzbereich von 0,6-3,2GHz gemessen.

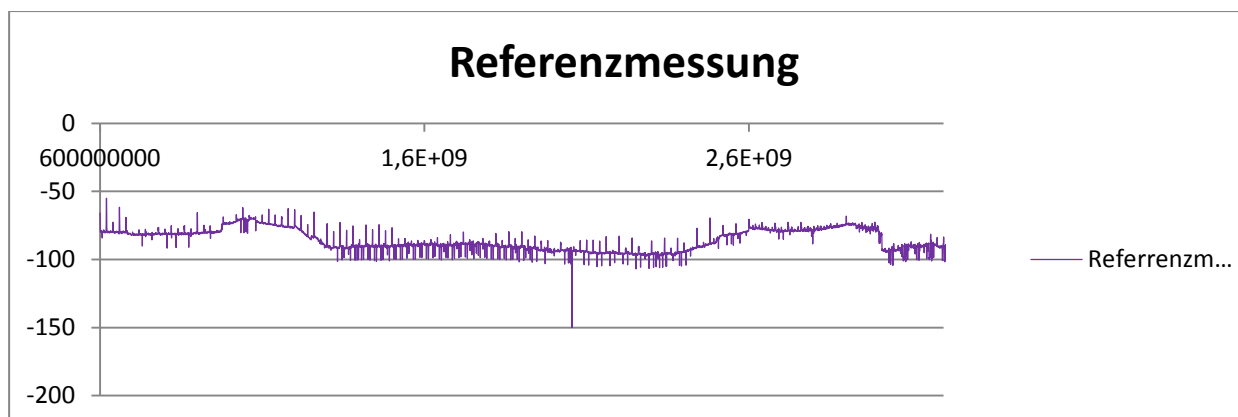
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1		Antenna Gain:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		Frequenzen:	600000000	600500000	601000000	601500000	602000000	602500000	603000000	603500000	604000000	604500000	605000000	605500000	606000000	606500000
3	2013-01-03T17:37:52.721	2013-01-03T17:38:11.347	-65,121	-72,9783	-78,3788	-79,9119	-79,7405	-79,189	-79,8503	-79,9205	-77,9007	-80,7368	-79,8722	-80,4519	-79,9732	-84,4623
4	2013-01-03T17:38:11.394	2013-01-03T17:38:29.942	-66,6395	-73,0543	-79,6496	-79,7848	-79,4146	-79,4352	-79,0917	-79,9438	-78,8367	-80,6524	-79,9266	-79,9918	-79,564	-84,2656
5	2013-01-03T17:38:29.989	2013-01-03T17:38:48.569	-65,9218	-74,9176	-80,4054	-78,7388	-79,3197	-79,6623	-79,4853	-78,5307	-78,7556	-80,4112	-79,6949	-79,9647	-79,7564	-84,293
6	2013-01-03T17:38:48.600	2013-01-03T17:39:07.192	-65,7488	-72,8378	-80,1242	-79,5841	-79,6685	-80,2671	-80,7077	-78,9592	-79,0958	-80,5249	-79,6355	-79,7478	-80,9168	-84,0054

Abb. 8: Screenshot der Daten des Spectrum Analyzer

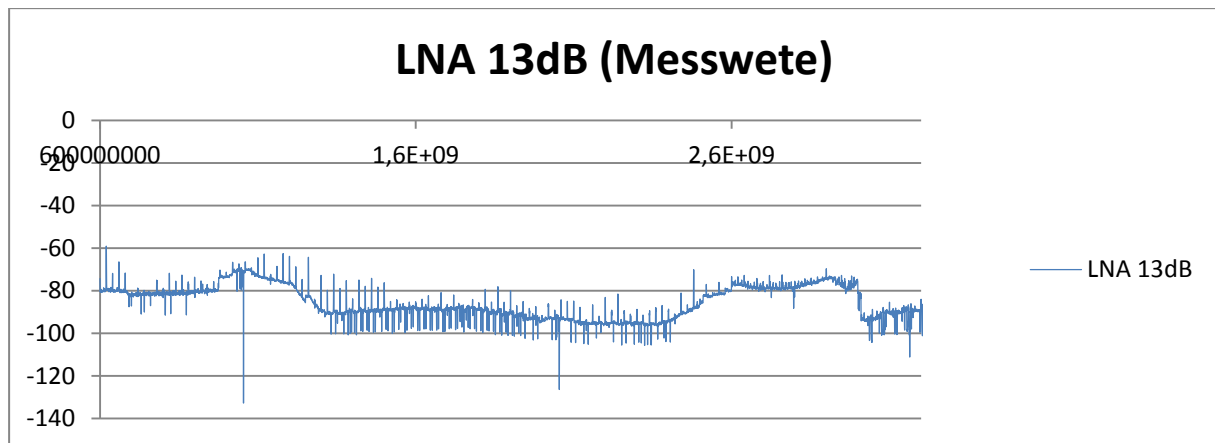
Die Abbildung zeigt eine Tabelle, wie sie uns der Spectrum Analyzer liefert. Jede dieser Zeilen enthält 5000 Spalten bzw. Messwerte. Das Signal wird in dB in Abhängigkeit zur Frequenz in Hz geliefert.

5. Auswertung

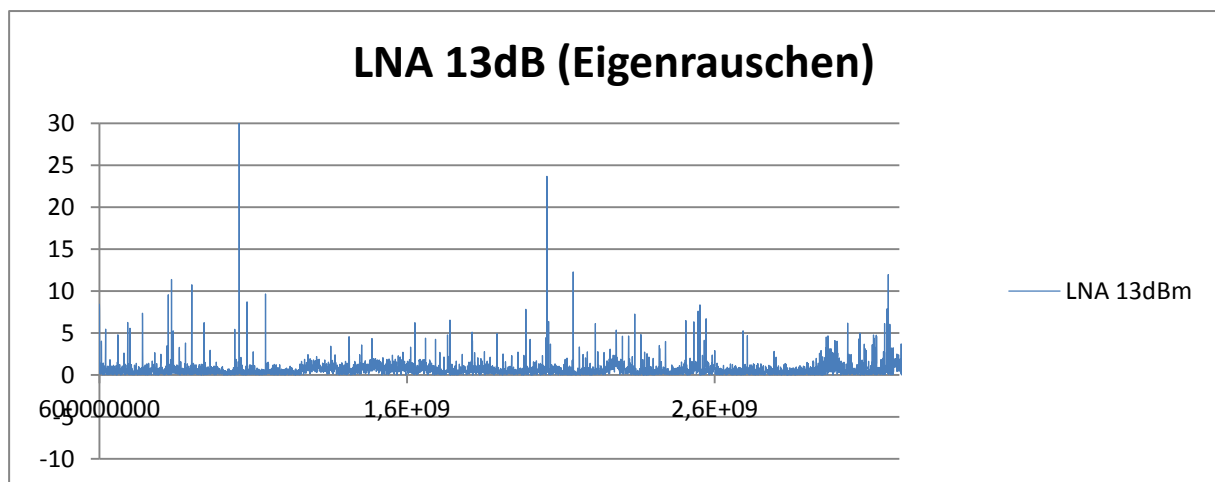
Mit Hilfe von Excel haben wir die Daten vom Spectrum Analyzer ausgewertet und in ein Diagramm übertragen, indem wir den Mittelwert der Daten, die wir vom Spectrum Analyzer bekommen haben, ermittelt und eine Differenz zur Referenzmessung gebildet haben.



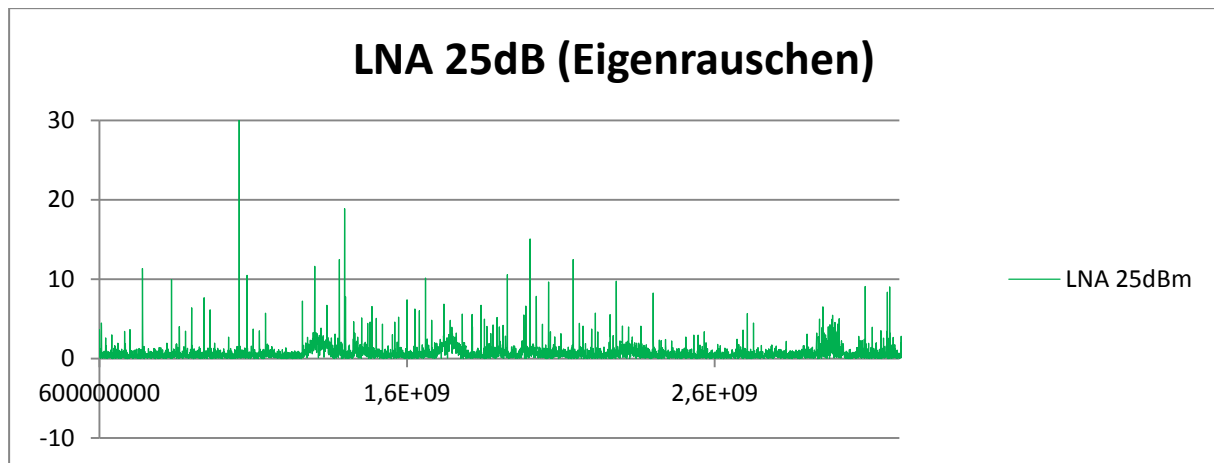
Dieses Diagramm zeigt unsere Referenzmessung, zu der wir die Differenz gebildet haben, um das Eigenrauschen bestimmen zu können.



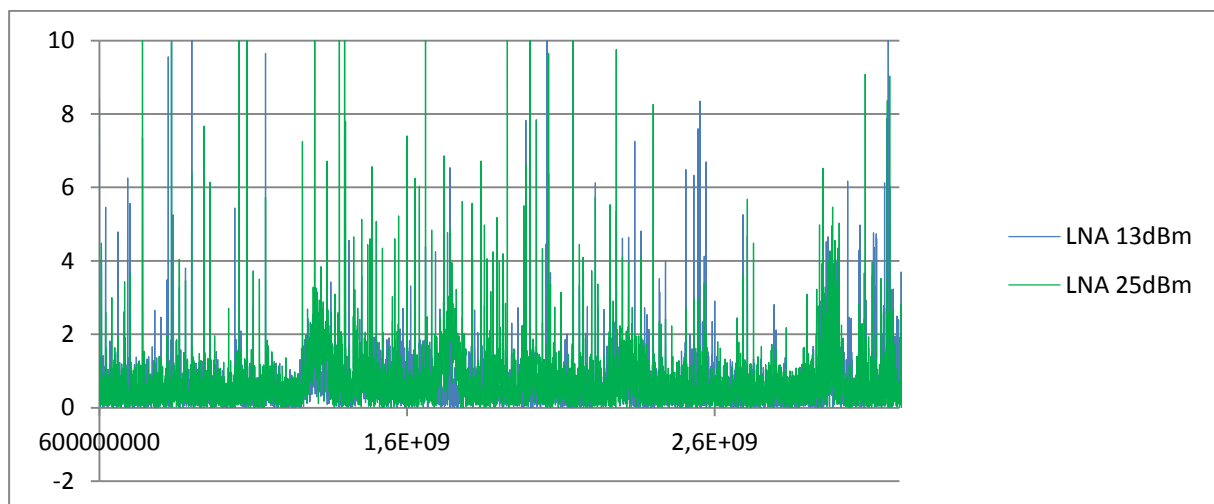
Hier ist die Messung des ersten LNAs abgebildet. Da man darauf jedoch das Eigenrauschen nicht sehen kann, mussten wir die Differenz berechnen.



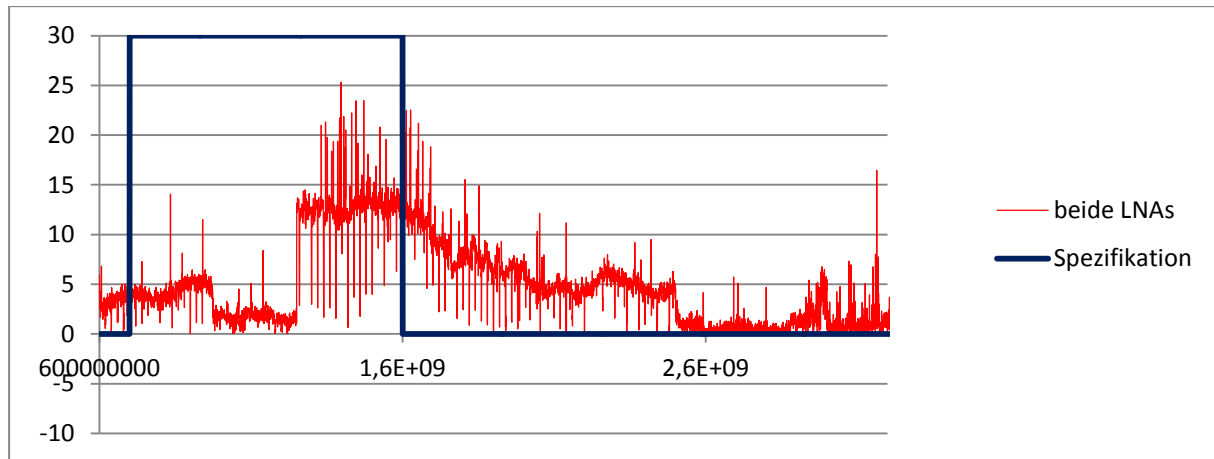
In diesem Diagramm sind die Messdaten des LNAs ZX60-1614LN (+13dBm) abgebildet. Was bei dem Diagramm auffällt ist, dass das Eigenrauschen des LNAs sehr gering ist. Mit Hilfe von Excel haben wir ein Durchschnittseigenrauschen von ca. 0,69dB berechnet, was den Datenblättern entspricht. Die Peaks haben wir vernachlässigt, weil wir uns auf das Eigenrauschen konzentriert haben und sie vermutlich dadurch zustande gekommen sind, dass der Spectrum Analyzer Störsignale empfangen hat. Abweichungen von den Datenblättern sind darauf zurückzuführen, dass wir in über den vorgesehenen Frequenzbereich des LNAs hinaus gemessen haben.



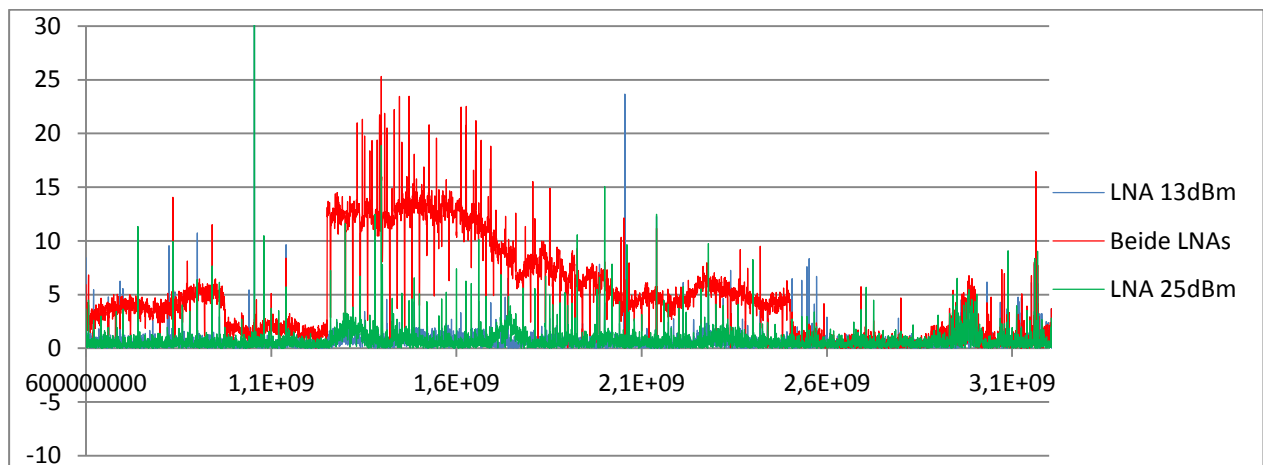
In diesem Diagramm sind die Messwerte des LNA ZX60-P162LN+ (+25dBm) abgebildet. Anhand dieses Diagramms wird deutlich, dass auch dieses Eigenrauschen sehr niedrig ist. Wie bei dem ersten LNA haben wir mit Hilfe von Excel den Mittelwert der Differenz gebildet und haben ein durchschnittliches Eigenrauschen von 0,8 dB berechnet. Auch hier haben wir über den vorgesehenen Frequenzbereich gemessen haben.



Hier sind die beiden LNAs im Vergleich. Sie unterscheiden sich kaum im Eigenrauschen. Allerdings weichen die beiden LNAs bei ca. 1,3 GHz voneinander ab. Der LNA mit einer Verstärkung von 13dB produziert bei dieser Frequenz ein Eigenrauschen von ca. 1,8dB und der LNA ZX60-P162LN+ ein Eigenrauschen von 3,3dB. Diese Werte weichen deutlich von den Datenblättern ab.



Bei dieser Messung haben wir beide LNAs in Reihe geschaltet. Dabei war der LNA mit 25dBm Verstärkung vor dem LNA mit 13dBm Verstärkung. Deutlich sichtbar ist, dass sich das Eigenrauschen der beiden LNAs verstärkt hat. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Zweite das Rauschen des ersten LNAs als Eingangssignal hatte und es verstärkt hat. Der blau umrahmte Bereich ist laut Datenblatt der spezifizierte Frequenzbereich. Außerhalb dieses Bereiches können keine zuverlässigen Aussagen über das Verhalten des zweiten LNAs gemacht werden. Bei einer Frequenz von ca. 1,3GHz ist eine deutliche Erhöhung des Gesamtrauschens zu bemerken.



In diesem Diagramm sind die Messwerte aller Messungen abgebildet. Hier ist noch einmal verdeutlicht, dass das Eigenrauschen der LNAs, wenn man sie in Reihe schaltet, zunimmt. Außerdem wird verdeutlicht, dass der große Sprung der roten Kurve (Reihenschaltung der LNAs) bei der selben Frequenz stattfindet, wie die Abweichung von den Datenblättern des zweiten LNAs. Dies lässt auf einen Zusammenhang schließen.

6. Fazit

Unsere Messungen bestätigen, dass durch den zweiten LNA das Eigenrauschen des ersten LNA mit verstärkt wird und sein eigenes Rauschen ebenfalls noch hinzu kommt. Allerdings konnten wir nicht feststellen, warum der Sprung bei 1,3GHz stattfindet. Außerdem konnten wir feststellen, dass der LNA ZX60-1614LN vor dem LNA ZX60-P162LN angeschlossen werden sollte,

weil dieser ein geringeres Eigenrauschen produziert. Zudem haben wir festgestellt, dass wir einen Filter benötigen, weil wir nicht vorhersagen können, wie sich die LNAs verhalten, wenn die Frequenzen außerhalb ihrer Spezifikation liegen. So kann es passieren, dass die LNAs zwar verstärken, aber ein stärkeres Eigenrauschen liefern, was die Auswertung erschwert.

7. Ausblick

Um die Signale, die empfangen werden, besser auswerten zu können, haben wir vor unsere Empfangsanlage mit weiteren Komponenten zu erweitern. Es soll z.B. ein Mixer und ein VCO (voltage-controlled oscillator) eingebaut werden, um genauer bestimmen zu können, welche Frequenzen wir verarbeiten wollen. Auch wollen wir in der Lage sein, mit Hilfe eines VCOs den Signallauf zu analysieren. Außerdem wollen wir weitere Messung des Eigenrauschens der Komponenten durchführen und bis zum Wettbewerb weitere Messungen mit einem Filter durchführen.

8. Danksagung

Besonderer Dank gilt unserem Betreuungslehrer Thomas Biedermann, ohne dessen Hilfe dieses Projekt nicht zu Stande gekommen wäre und der uns mit Rat und Tat zur Seite stand. Des Weiteren möchten wir auch seiner Frau Susanne Biedermann danken, die über die Zeit für unser leibliches Wohl gesorgt hat und wir deshalb nicht verhungern oder verdursten mussten. Wir möchten auch Julia Bienert danken, die immer ein offenes Ohr für uns hatte und uns motiviert, hat weiter zu machen.

9. Quellen

[1] Das Dezibel – Definition und Anwendung, Uwe Siarat,

[2] Datenblätter der Firma Mini Circuits

[3] Empfindlichkeit eines Empfängers in Bezug auf sein Eigenrauschen, Eckert Moltrecht, Max-Planck-Institut für Radioastronomie,

[4]http://de.wikipedia.org/wiki/Mischer_%28Elektronik%29

[5]<http://de.wikipedia.org/wiki/Bandpass>

[6]http://de.wikipedia.org/wiki/Low_Noise_Amplifier