

## Rauschen Referat

Inhaltsverzeichnis:

Einleitung	
1. Rauscharten .....	1
1.1 thermisches Rauschen/Johnson-Rauschen	
1.2 Schrotrauschen	
1.3 1/f-Rauschen	
1.4 Funkelrauschen	
1.5 Tabellarische Übersicht: Rauscharten	
Rauschgeneration .....	5
1.6 Anwendungsbereiche	
1.7 Rauschgenerator	
1.8 Beispiele	
1.9 Worauf man achten sollte	
Quellenangabe .....	8

Rauschen wurde erstmals 1918 von Walter Schottky als physikalisches Phänomen, nämlich als messbare Stromschwankungen, beschrieben. Verstärkt man diese Schwankungen und macht sie hörbar, so erhält man ein Geräusch: das Rauschen. Heutzutage ist die Definition ein wenig allgemeiner: Rauschen ist ein zeitlich veränderliches leistungsbegrenztes Signal, dessen Eigenschaften mathematisch durch einen Zufallsprozess beschrieben werden können. Rauscharten werden häufig nach ihrer Leistungsdichte klassifiziert. Diese entspricht der Änderung der Leistung pro Bandbreite. Vereinfacht bedeutet dies eine Abhängigkeit von der Frequenz.

### 1. Rauscharten in der Elektrotechnik

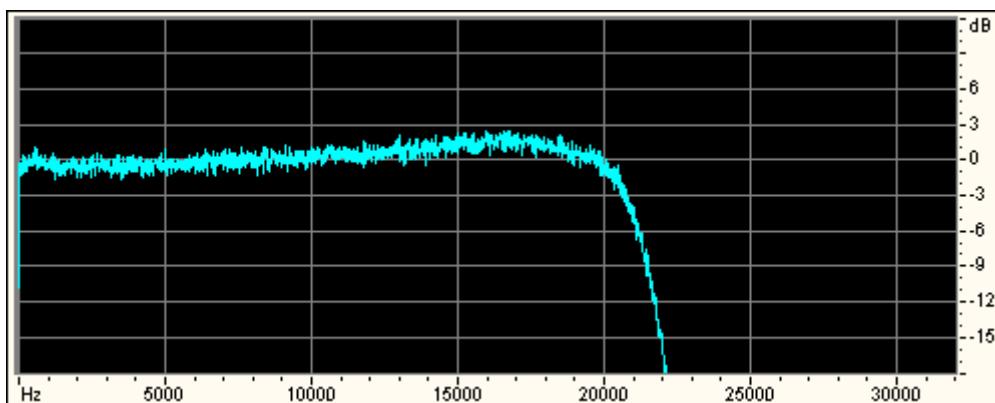


Abb.: weißes Rauschen

Weißes Rauschen (z.B. Schrotrauschen, thermisches Rauschen) ist in den Ingenieur- und Naturwissenschaften ein Rauschen mit derselben Amplitude in jeder Frequenz. Akustisch wird dieses Signal subjektiv allerdings so wahrgenommen, als ob die Amplitude mit der Frequenz ansteige, da im menschlichen Gehör die Empfindlichkeit mit zunehmender Frequenz logarithmisch ansteigt. Das weiße Rauschen ist ein Grenzfall des farbigen Rauschens, bei dem der Frequenzbereich den gesamten Hörbereich umfasst. Der Höreindruck gleicht dem eines stimmlosen 'sch'. Eine empfundene Gleichverteilung der Frequenzen wird demgegenüber mit Rosa Rauschen erreicht.

Rosa Rauschen (z.B. 1/f-Rauschen) hat eine spektrale Leistungsdichte, die mit der Frequenz abnimmt, weshalb es aufgrund der oben genannten Eigenschaften des Gehörs, als Rauschen mit gleichbleibender Amplitude wahrgenommen wird, auch wenn die Frequenz ansteigt.

Rosa Rauschen und Weißes Rauschen werden unter anderem in der Tontechnik als Referenzsignale verwendet, um bei Aufnahmegeräten oder Lautsprecher-Anlagen (PA-Systemen) eine möglichst naturgetreue Wiedergabe sicherzustellen.

- 1.1 **Thermisches Rauschen**, auch Johnson-Rauschen genannt, tritt aufgrund der Brownschen Bewegung der Ladungsträger (oder allgemein der Moleküle) auf. Es nimmt mit steigender Temperatur zu und ist idealerweise beim absoluten Nullpunkt nicht vorhanden.  
Bereits ohne Stromfluss, kann man zum Beispiel an einem Widerstand eine Rauschspannung ( $U_r = (4kT\Delta B)^{1/2}$  k: Boltzmann-Konstante, T: Temperatur, R: Widerstand, B: Bandbreite) messen. Schließt man die Enden kurz, kann man einen Rauschstrom ( $I_r = (4kTGB)^{1/2}$ ) messen.
- 1.2 **Schrotrauschen** tritt nur auf, wenn Strom fließt, aber auch nicht immer. In einem Draht, wenn der Strom gleichmäßig fließt, tritt es z.B. nicht auf. Sind hingegen Fluktuationen des elektrischen Stromes vorhanden, wie es der Fall in Halbleitern ist und die Elektronen Potentialschwellen überwinden müssen, dann tritt ein Rauschstrom ( $I_r = (2eI\Delta B)^{1/2}$  e: Elementarladung, B: Bandbreite) auf. Generation und Rekombination von Ladungsträgern sind im Halbleiter der Grund für das Schrotrauschen. Typisch für das Auftreten von Schrotrauschen sind z.B. Sperrströme von Dioden und Transistoren oder Ströme von Photodioden.
- 1.3 Als **1/f-Rauschen** bezeichnet man ein Signal mit einer spektralen Leistungsdichte, die pro Oktave um 3 dB abnimmt. Aufgrund der Tatsache, dass die spektrale Leistungsdichte sich reziprok zur Frequenz  $f$ , d.h. proportional  $1/f$ , verhält, bezeichnet man dieses Rauschen als 1/f-Rauschen. Da es in so vielen natürlichen Phänomenen zu beobachten ist, ist 1/f-Rauschen ein klassisches Beispiel für die Universalität von Skalengesetzen in der Natur.  
Es ist von dem Funkelrauschen zu unterscheiden, dessen spektrale Leistungsdichte mit etwa 6 dB pro Oktave abfällt.  
Mathematisch ergibt sich daraus eine logarithmisch absteigende Frequenzverteilung (mehr Bässe, weniger Höhen). Subjektiv entspricht dies bei einem akustischen Signal einer Gleichverteilung der Frequenzen, da das Hörempfinden für Bässe niedriger ist, als für kurzwellige hohe Frequenzen.  
In der Elektroakustik werden uneinheitlich sowohl 1/f-Rauschen als auch Funkelrauschen als *rosa Rauschen* bezeichnet.
- 1.4 **Funkelrauschen** ist eine Form des elektronischen Rauschens, das erstmalig von J.B. Johnson (1925) experimentell und von Walter Schottky (1926) durch theoretische Analyse von Messresultaten beschrieben wurde. Der Effekt wurde damals bei der Emission von Elektronen aus Glühkathoden beobachtet und durch "Funkeln" an der Oberfläche der Kathode erklärt.  
Aus den Messungen wurden zwei unterschiedliche spektrale Rauschleistungsdichten für unterschiedliche Kathodenmaterialien, nämlich einmal ein Spektrum, das wie  $1/f^2$  geht, und einmal ein Spektrum, das wie  $1/(f_0^2 + f^2)$  geht, festgestellt.  
Es unterscheidet sich damit vom 1/f-Rauschen, verhält sich aber ansonsten genauso. Funkelrauschen und 1/f-Rauschen werden häufig auch zusammengefasst.

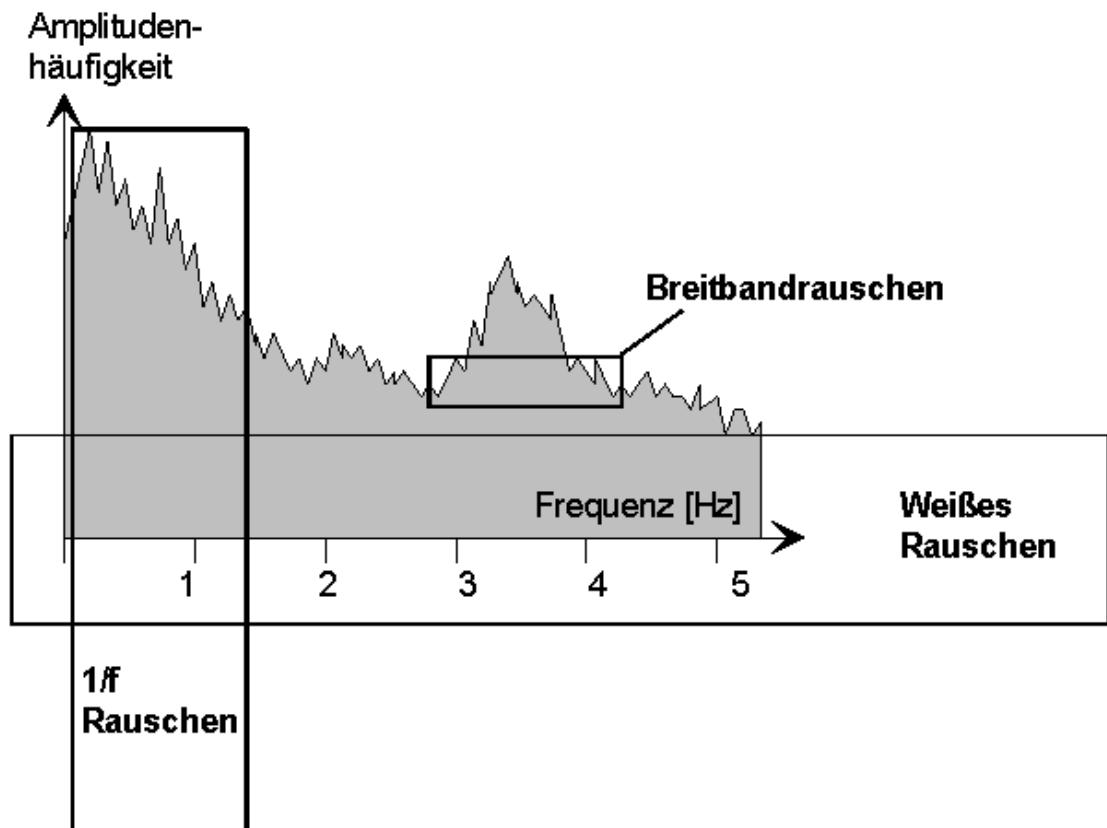


Abb.: Lage der Rauscharten

- 1.5 Es gibt noch **weitere Rauscharten**, die mit allen möglichen Farben gekennzeichnet werden (rotes, grünes, schwarzes... Rauschen). Sie unterscheiden sich durch ihre Frequenzabhängigkeit. Ich werde jedoch nicht näher darauf eingehen. In folgender Tabelle sind die verschiedenen gängigsten Rauscharten noch einmal übersichtlich aufgeführt.

Rauschklasse	Rauschart	Ursache	Eigenschaft / Merkmal
Weißes Rauschen	Thermisches Rauschen (Johnson-noise)	willkürliche Ladungsträgerbewegungen aufgrund der Erwärmung des Bauteils	- Rauschintensität nimmt mit der Temperatur zu
	Schrotrauschen (Schoty-Rauschen)	-in Halbleitern: entsteht wenn Ladungsträger eine Sperrschiicht passieren. -bei Operationsverstärkern: entsteht aufgrund des Eingangsruhestroms	- Intensität nimmt mit Anzahl der Sperrschiichten zu

Rosa Rauschen	1/f - Rauschen (Funkelrauschen)	Oberflächeneigenschaften von Halbleitern; genauer: fluktuierende Umladungen von Oberflächenzuständen	- starkes Rauschspektrum im Niederfrequenzbereich - fällt mit 1/f zur höheren Frequenz ab
	Popcornrauschen (Burst-Rauschen)	metallische Verunreinigungen in Halbleitern	- erscheint im Spektrum in Form eines diracförmigen Gleichanteils bei der Frequenz $f = 0$
Weitere Rauscharten	50-Hz-Rauschen	Einfluss der Wechselstromspannung	- 50-Hz Peak ohne harmonische Struktur
	Breitbandrauschen	nicht abgeschirmte Wechselstromerzeuger; militärisch eingesetzte Störer	- Leistungserhöhung des Spektrums in einem begrenzten Frequenzbereich
	Quantisierungsrauschen	Fehler zwischen dem analogen Eingangssignal und dem quantisierten digitalen Ausgangssignal	- nimmt mit zunehmender Auflösung des A/D-Wandlers ab
	Frequenzausblendungen	technisch bedingt	- ganze Frequenzbänder werden in ihrer Amplitude unterdrückt

## 2. Rauschgeneration

Normalerweise versucht man zwar das Rauschen so gering wie möglich zu halten (z.B. durch aufwendige Reinigungsverfahren der Stoffe aus denen die Bauelemente sind), doch manchmal möchte man gerade das Rauschen für bestimmte Anwendungen haben.

Die stochastischen Eigenschaften des Rauschens macht man sich zunutze, um Zufallsprozesse in Schaltungen zu haben. Bei unserem Projekt könnte diese Eigenschaft für die zufällige Farbwiedergabe genutzt werden.

- 2.1 Rauschgeneratoren werden in den verschiedensten Bereichen eingesetzt. So finden sie z.B. **Anwendung** in der Medizin, zur Bekämpfung des Tinnitus. Das weiße Rauschen hat auf das Gehör eine leicht betäubende Wirkung, so dass es sich als Methode zur Lärmbekämpfung etabliert hat - Lärm wird als weniger laut und störend empfunden, wenn man ihm weißes Rauschen überlagert. Spezielle Hörgeräte generieren ein Rauschen, welches aufgrund seiner Gleichmäßigkeit dem Patienten nicht weiter auffällt. Dieses überlagert aber den störenden Ton des Tinnitus, der nur noch in einzelnen Peaks wahrgenommen wird, was dazu führt, dass sich das Gehör daran gewöhnt und dem Geräusch gegenüber unsensibel wird. Ein anderes Beispiel wäre die Sicherheitstechnik. Um Lauschangriffen entgegenzuwirken werden Rauschgeneratoren eingesetzt, die das Abhören durch ihre Störgeräusche verhindern. Auch als Zufallsgeneratoren finden sie Verwendung, denn auch wenn man das Rauschen klassifizieren kann, so beruht das nur auf Wahrscheinlichkeiten. Das Signal bleibt willkürlich.
- 2.2 Man kann Rauschgeneratoren in 2 Gruppen unterteilen: analoge und digitale. Wir werden uns im Folgenden aber nur mit analogen Rauschgeneratoren beschäftigen und diese ein wenig genauer in ihrer Funktionsweise untersuchen. Ein **Rauschgenerator** ist eigentlich nichts anderes als ein Verstärker, der das Rauschen eines Bauelements verstärkt und somit hörbar oder zumindest für Anwendungen brauchbar macht. So kann man zum Beispiel das Schrotrauschen und das thermische Rauschen eines Halbleiters benutzen und dieses verstärken. Es bieten sich da besonders Z-Dioden und Transistoren an. Wobei man da allerdings darauf achten muss, dass sich diese Bauelemente erhitzten und somit das Rauschen mit der Zeit zunimmt. Denn meistens möchte man das zufällige Rauschen doch nicht ganz so zufällig haben, sondern schon in gewisse Bahnen lenken, weshalb auch die Klassifizierung in Rauscharten. Man kann anhand von Wahrscheinlichkeitsrechnungen (mit Hilfe der Autokorrelationsfunktion) Aussagen über das Rauschen treffen. Im Allgemeinen erhält man weißes Rauschen, wenn man so einen Rauschgenerator baut, wie er in den folgenden Beispielen abgebildet ist. Wenn man farbiges Rauschen erzeugen möchte, so hängt man an den Ausgang des Rauschgenerators einen Filter, der die Frequenzen herausnimmt, die nicht erwünscht sind, oder zumindest abschwächt.

### 2.3 Beispiele

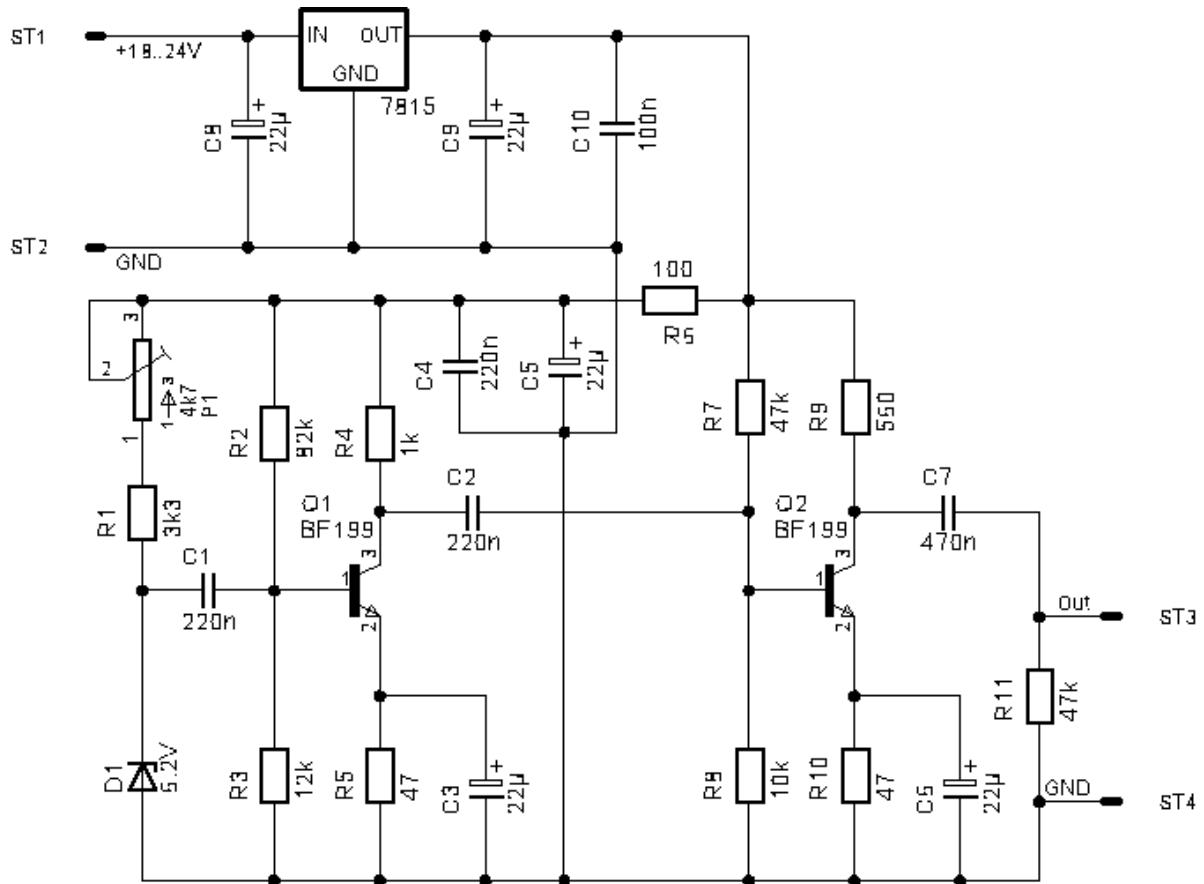


Abb.: Rauschgenerator 1

Die Z-Diode ist die Rauschquelle (Man spricht hier auch von Lawinenrauschen, da sie nicht in Sperrrichtung betrieben wird). Sie wird mit dem Potentiometer P1 auf maximale Rauschspannung eingestellt, sodass sie möglichst laut rauscht. Danach folgen 2 Verstärkerstufen mit den Transistoren Q1 und Q2, die mit einer Stromgegenkopplung versehen sind. Diese sollen die Rauschspannung verstärken, welche schließlich an den Klemmen ST3 und ST4 abgegriffen werden kann. Die Kondensatoren sind zum Entkoppeln da. Der obere Teil der Schaltung regelt die Versorgungsspannung. Der Festspannungsregler 7815 regelt die Spannung, die an den Klemmen ST1 und ST2 liegt auf 15V runter und liefert damit eine konstante Versorgungsspannung. C8 dient der Glättung, die anderen Kondensatoren sollen Störungen des Festspannungsreglers aufheben.

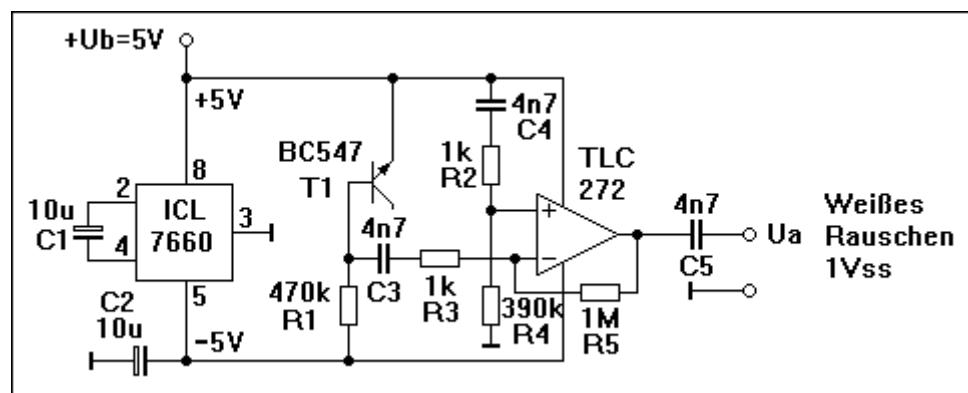
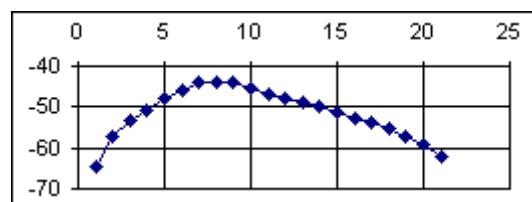


Abb.: Rauschgenerator 2

Der ICL7660 ist ein switched-capacitor voltage converter, der eine positive Eingangsspannung invertieren, verdoppeln, dividieren oder multiplizieren kann. In diesem Falle gibt er die Eingangsspannung von 5V invertiert (also -5V) am Ausgang heraus. Damit wird die Versorgungsspannung für den Transistor und für den Operationsverstärker bereitgestellt. Der Transistor spielt hierbei die Rolle der Rauschquelle. Der OP verstärkt die Rauschspannung.

R2 und C4 entfernt die Störungen, die durch die Taktfrequenz des ICL7660 erzeugt werden. Die anderen Kondensatoren dienen zum Entkoppeln.

Herauskommen soll weißes Rauschen. Wie man anhand des unten aufgetragenen Rauschspektrums sehen kann, ist dies damit zumindest bedingt gelungen, da die Amplitude abhängig von der Frequenz doch noch relativ stark variiert. Dennoch kann man diese Schaltung als Rauschgenerator für weißes Rauschen benutzen.

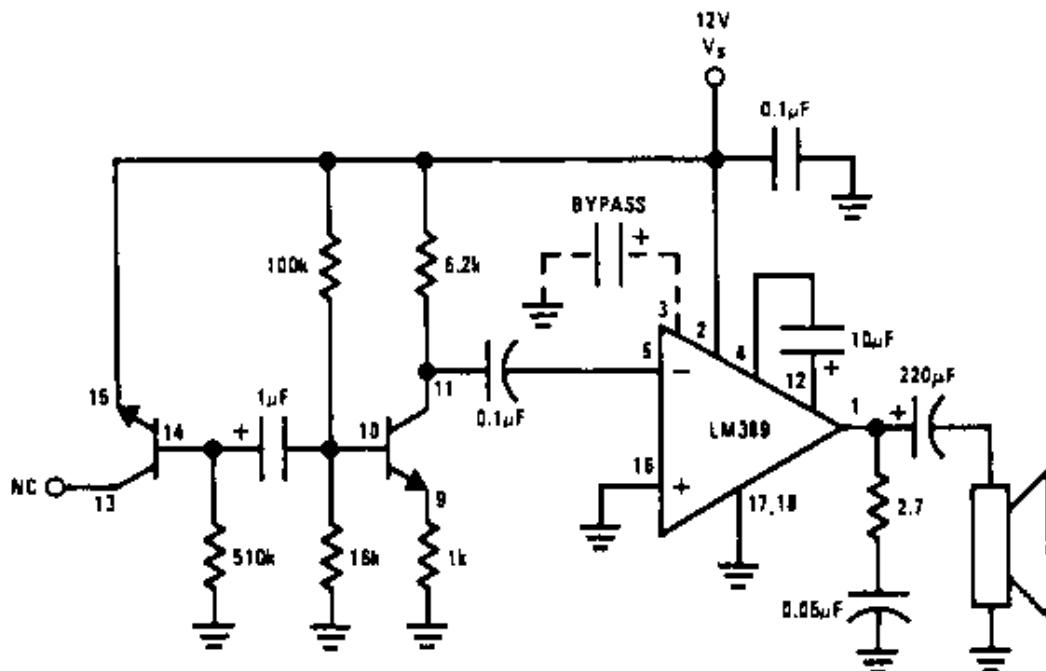


## Rauschspektrum:

X-Achse = Frequenz in kHz  
Y-Achse = Verstärkung in dB

Noch 1 weiteres Schaltungsbeispiel:

## **NOISE GENERATOR**



Dieser verhält sich, so wie im Allgemeinen alle analogen Rauschgeneratoren, wie die zuvor besprochenen.

2.4 **Worauf man achten sollte:** Gerade weil das Signal so schwankt, können zum Teil sehr hohe Pieks erreicht werden, was nicht unbedingt erwünscht ist, zumal es auch für die Arbeitspunkteinstellung der Transistoren schwierig wird. Man sollte also die Betriebsspannung nicht zu niedrig wählen. Die zu hohen Pieks könnte man eventuell mit einem OP limitieren, wenn man ihn mit relativ geringer Betriebsspannung speist, sodass er zu hohe Pieks einfach wegschneidet.

Es ist ausnahmsweise einmal nicht so wichtig gute und teure Bauteile zu besorgen. Eher das Gegenteil, da gerade Bauteile mit hohem Rauschanteil erwünscht sind.

Quellenangabe:

[www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

Jochen Frey: Rauschen in Halbleitern, Physikalische Modelle in der Halbleiterelektronik

1999/2000, Universität-Gesamthochschule Siegen

Was ist Rauschen?, Hameg Instruments, Fachartikel