

OV-Abend C18

09.05.2023

Agenda

- 🔦 Arten des Rauschens
- 🔦 Ursachen des Rauschens / Wie entsteht Rauschen ?
- 🔦 Natürliche Rauschquellen
- 🔦 Menschengemachtes Rauschen
- 🔦 Audio-Hörbeispiele
- 🔦 Fragen, Diskussion

Vortrag: Rainer Englert, DF2NU

Rauschen – Was ist das ?

Arten des Rauschens

- * Akustisches Rauschen (Beispiel Wasserfall)
- * Mechanisches Rauschen (Beispiel Seismik auf der Erde)
- * Audio- und Video-Rauschen
- * Rauschen in Übertragungskanälen



Rauschen wird in der Physik als ein unspezifisches, zufälliges (stochastisches) Gemisch von sehr vielen Schwingungen bezeichnet und Überlagerung derselben.



Ist in der Regel ein unerwünschter Störfaktor

Erstmals 1919 beschrieben durch Phys. Walter Schottky

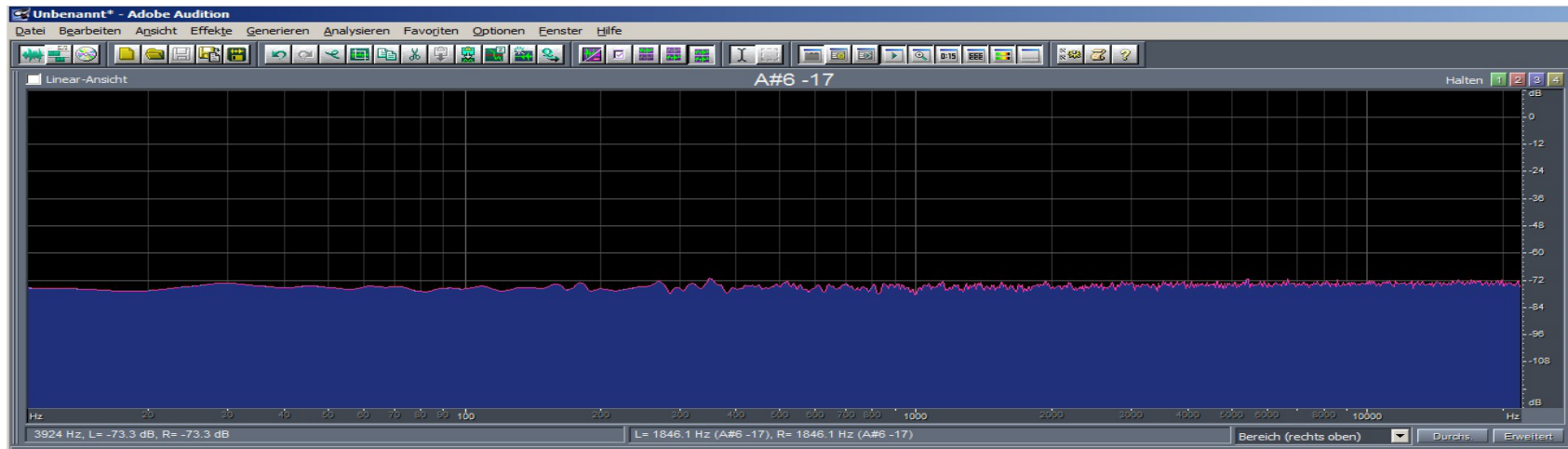
Rauschen – Was ist das ?

Arten des Rauschens

Unterscheidungsmerkmal:

Spektrale Rauschleistungsdichte pro Frequenz (Fourier-Transformation)

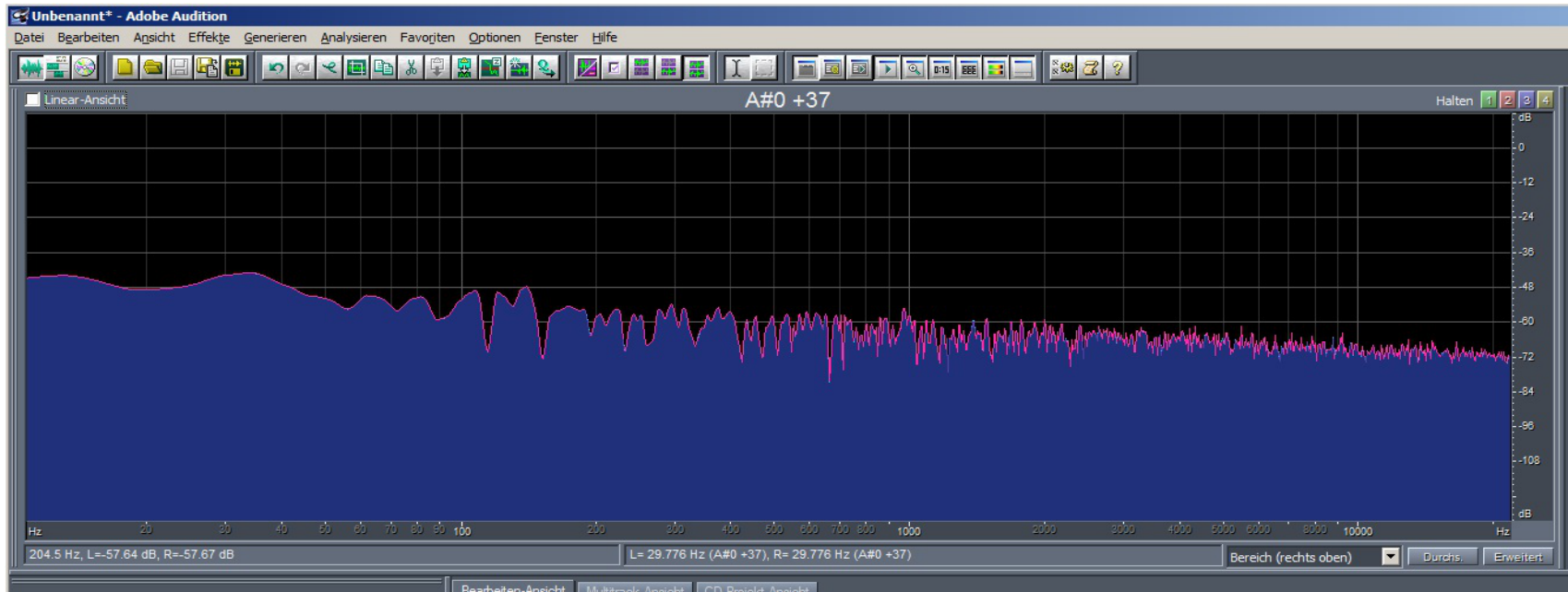
- 1) Weisses Rauschen: Rauschleistung über die Frequenz gleichverteilt
Strenggenommen nicht möglich (nur abschnittsweise)
Beispiele: Funkkanal, Thermisches Rauschen, Schrotrauschen



Rauschen – Was ist das ?

Arten des Rauschens

- 2) Rosa Rauschen: Rauschleistung sinkt mit der Frequenz $1/f$ (3dB/Okt.)
Wird vom Menschen als gleich laut empfunden (Hörkurve)
Murmelnende Menschenmenge

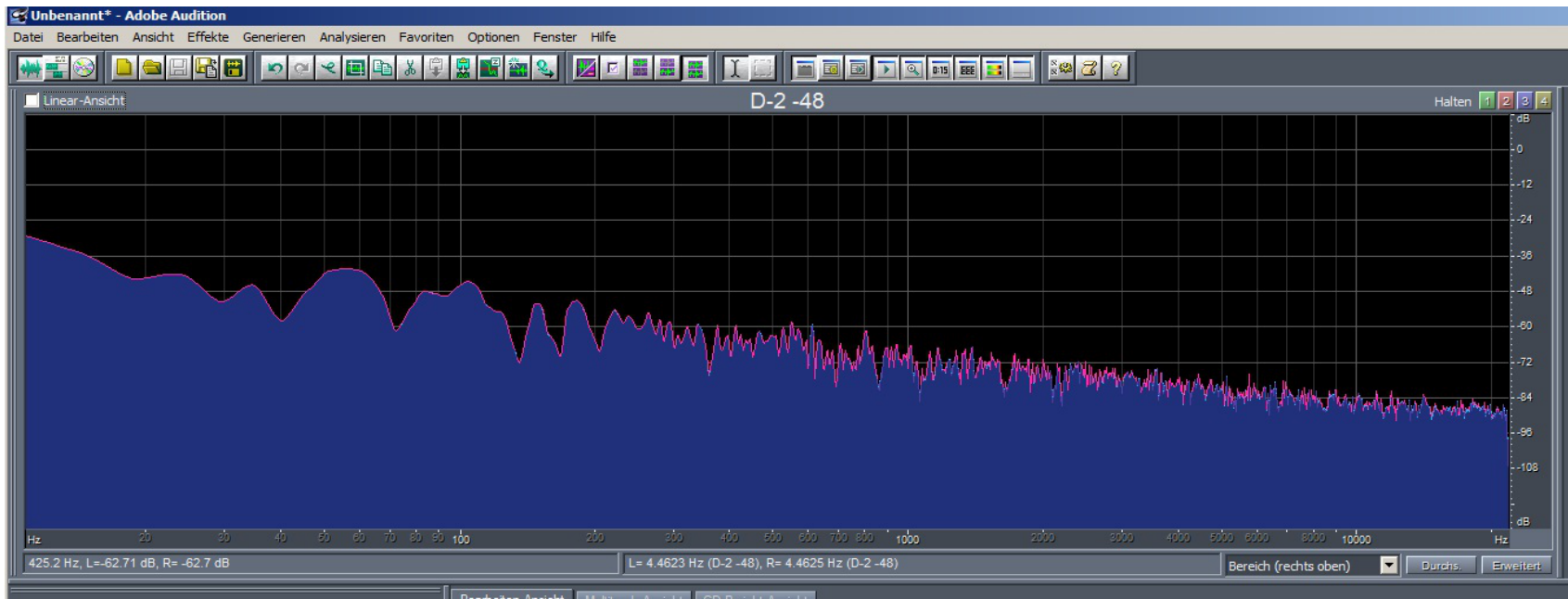


Rauschen – Was ist das ?

Arten des Rauschens

2) Braunes Rauschen: Rauschleistung sinkt mit dem Quadrat der Frequenz $1/f^2$
(6dB /Okt.)

Beispiele: Bewegung von Molekülen, DOLBY Rauschminderung



Rauschen – Was ist das ?

Ursachen des Rauschens

MERKE: Rauschen entsteht aus einer Vielzahl von Ursachen !

1) Schrotrauschen (Schottky-Rauschen)

- Tritt immer dann auf, wenn elektrische Ladungsträger eine Potentialbarriere überwinden müssen (Lawinendurchbruch)
- Hängt von der Höhe des Stromflusses ab (A)
- Ist unabhängig von der Temperatur



Dioden, Transistoren, FETs, Thyristoren
aber auch Regentropfen sind Schrotrauschen

Rauschen – Was ist das ?

Ursachen des Rauschens

2) Funkelrauschen (Johnson-Rauschen)

- Tritt immer dann auf, wenn elektrische Ladungsträger in ein anderes Medium eintreten
- Hängt von der Höhe des Stromflusses ab (A)
- Nimmt mit der Frequenz linear ab ($1/f$)



Glühkathode, Elektronenröhre, TWT, Gyrotron
aber auch mehrschichtige integrierte Schaltkreise

Rauschen – Was ist das ?

Ursachen des Rauschens

3) Thermisches Rauschen (Nyquist-Rauschen)

- Entsteht aus mechanischen Bewegungen von Ladungsträgern in Kabeln, elektronischen Bauelementen und Halbleitern
- Ist weitgehend „weiss“
- Ist bei jedem Körper mit einer Temperatur vorhanden
- Ist proportional zur (absoluten) Temperatur



Stickstoff- oder helium-gekühlte Vorverstärker (Raisting)

Rauschen – Was ist das ?

Ursachen des Rauschens

Thermisches Rauschen (Merkmale)

- Erzeugt eine von der Bandbreite abhängige Rauschleistung (Zusammenhang ist linear)
- Die Rauschleistung erzeugt eine Rausch-Spannung an einem Bezugswiderstand (ohmsches Gesetz)
- Bei Raumtemperatur (300 K) beträgt die rein thermische Rausch-Spannung an einem 50 Ω Widerstand wie folgt:


1 Hz: -174 dBm 447 pV

100 Hz: -154 dBm 5 nV

1000 Hz: -144 dbm 15 nV

2500 Hz: -140 dBm 22 nV

0 dbm = 0,224 V an 50 Ω

 Theoretisch minimales Signal

Rauschen – Was ist das ?

Natürliche Rauschquellen

1) Schwarzkörperstrahlung von Himmelskörpern

- Sonne
- Radiosterne wie Cassiopeia-A oder Sagittarius-A
- Rauschpegel-Anstiege typ. 10 – 12 dB



Planck'sches Strahlungsgesetz

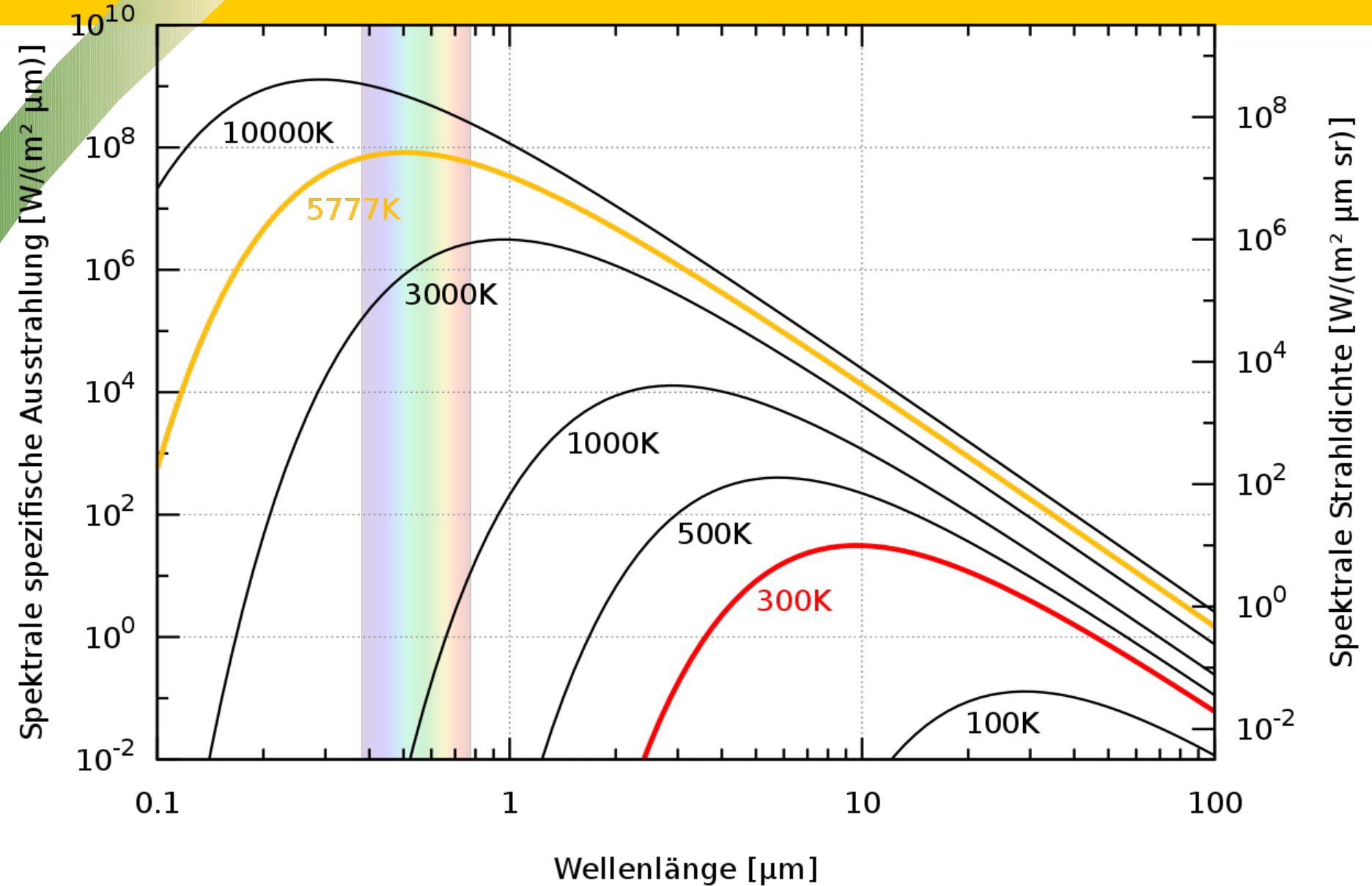
Wärmestrahlung eines schwarzen Körpers je nach dessen Temperatur und Verteilung des Spektrums der elektromagnetischen Strahlungsleistung



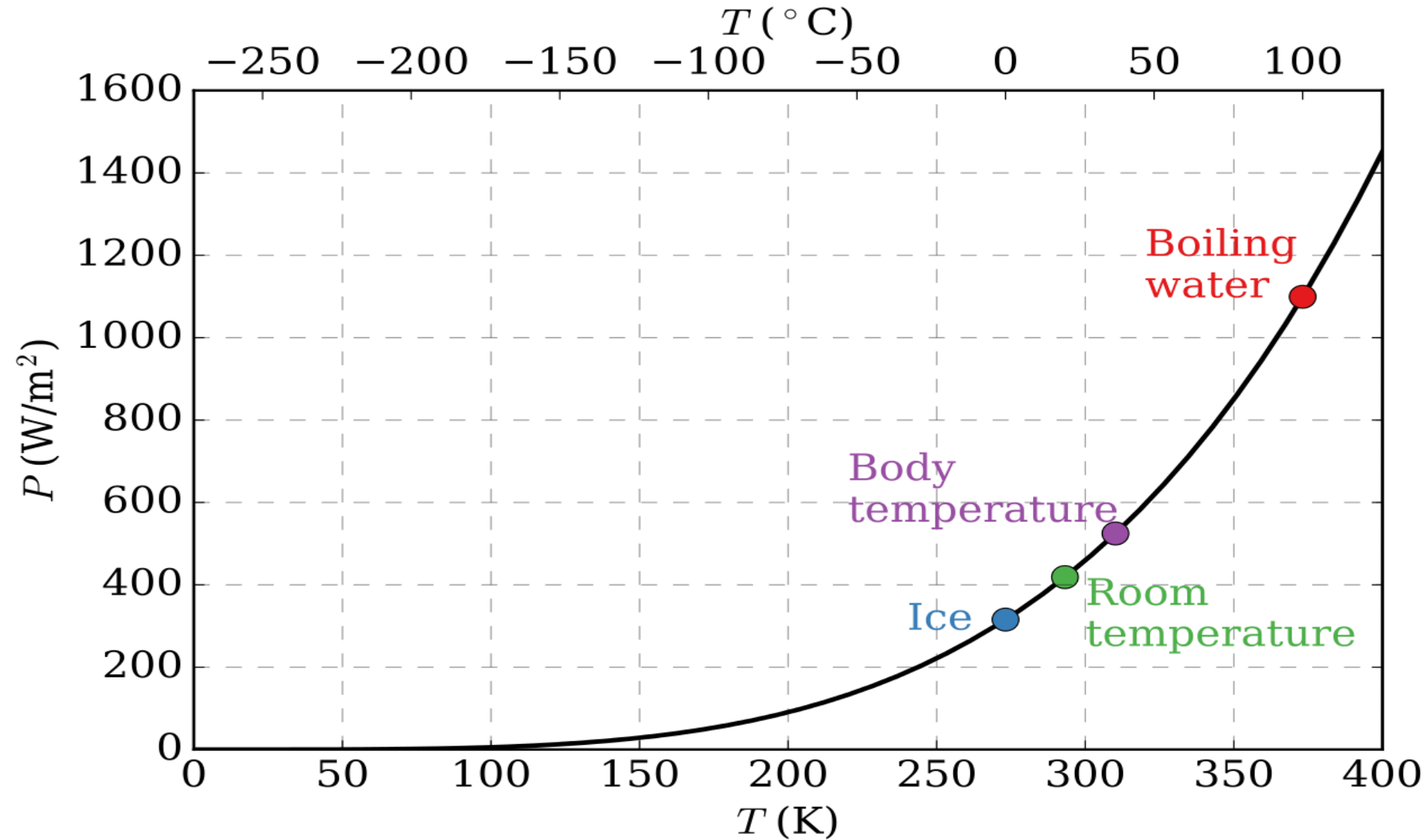
Stefan-Boltzmann-Gesetz

Abgestrahlte Leistung eines schwarzen Körpers in Abhängigkeit von seiner Temperatur

Plancksches Strahlungsspektrum



Stefan-Boltzmann-Gesetz



Rauschen – Was ist das ?

Natürliche Rauschquellen

2) Synchrotronstrahlung

Tritt auf, wenn sich geladene Teilchen in einem Magnetfeld bewegen und aus Ihrer geraden Flugbahn abgelenkt, beschleunigt oder abgebremst werden.

- Jupiter
- Pulsare
- Quasare
- Schwarze Löcher
- Radio-Galaxien

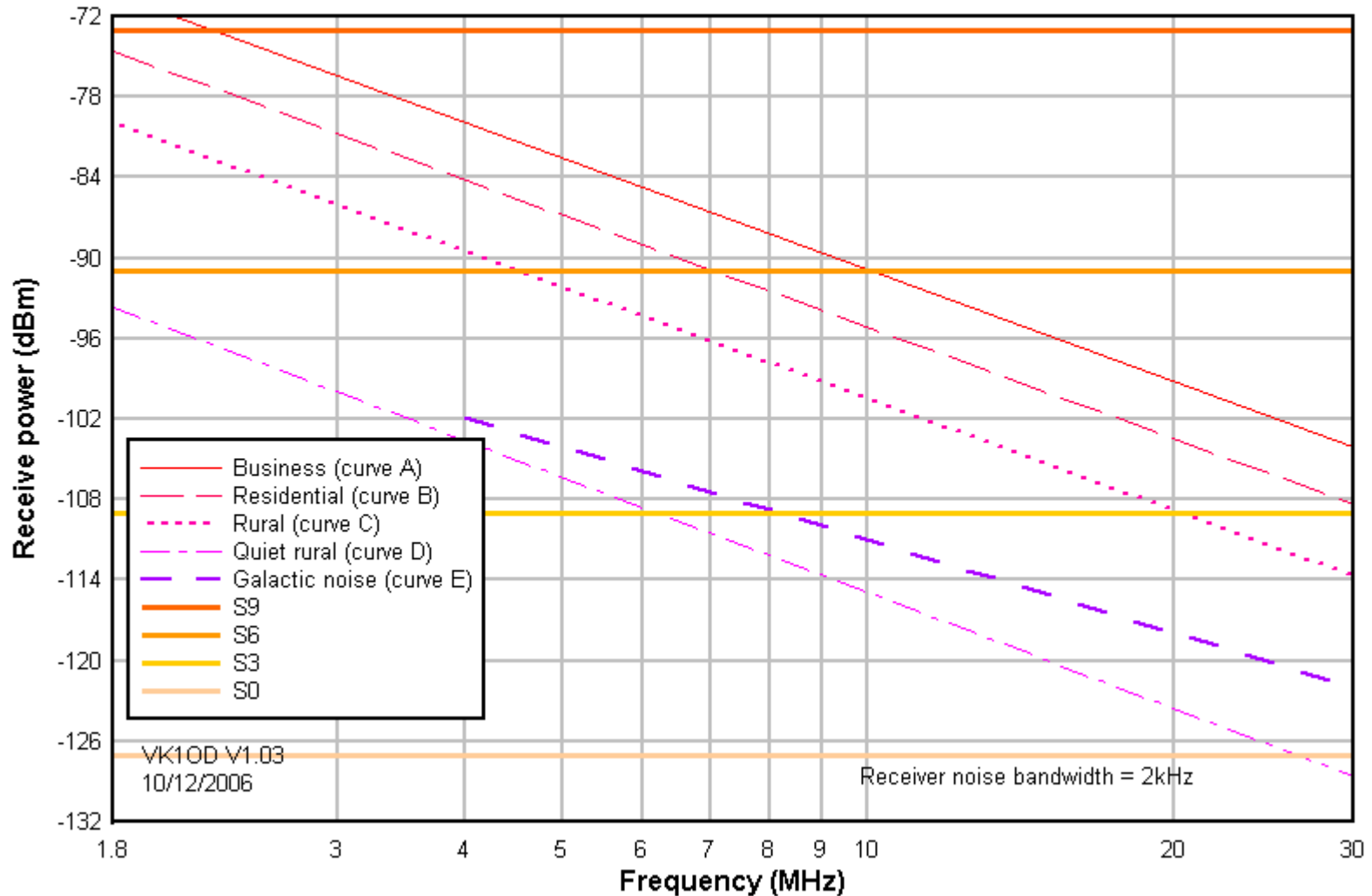
Rauschen – Was ist das ?

Natürliche Rauschquellen

3) Kosmische Hintergrundstrahlung

- Entdeckung erfolgte zufällig 1964 durch Arno Penzias und Robert Woodrow Wilson
- Kommt gleichförmig von überall her im Himmel
- Extrem doppler-verschobenes Licht dass es im GHz Bereich liegt
- Gilt als Nachweis des Urknalls, seiner Geschwindigkeit und Alter
- 1978 Nobelpreis für Physik

Menschengemachte Rauschquellen / ITU-R P.372-8



Rauschen – Was ist das ?

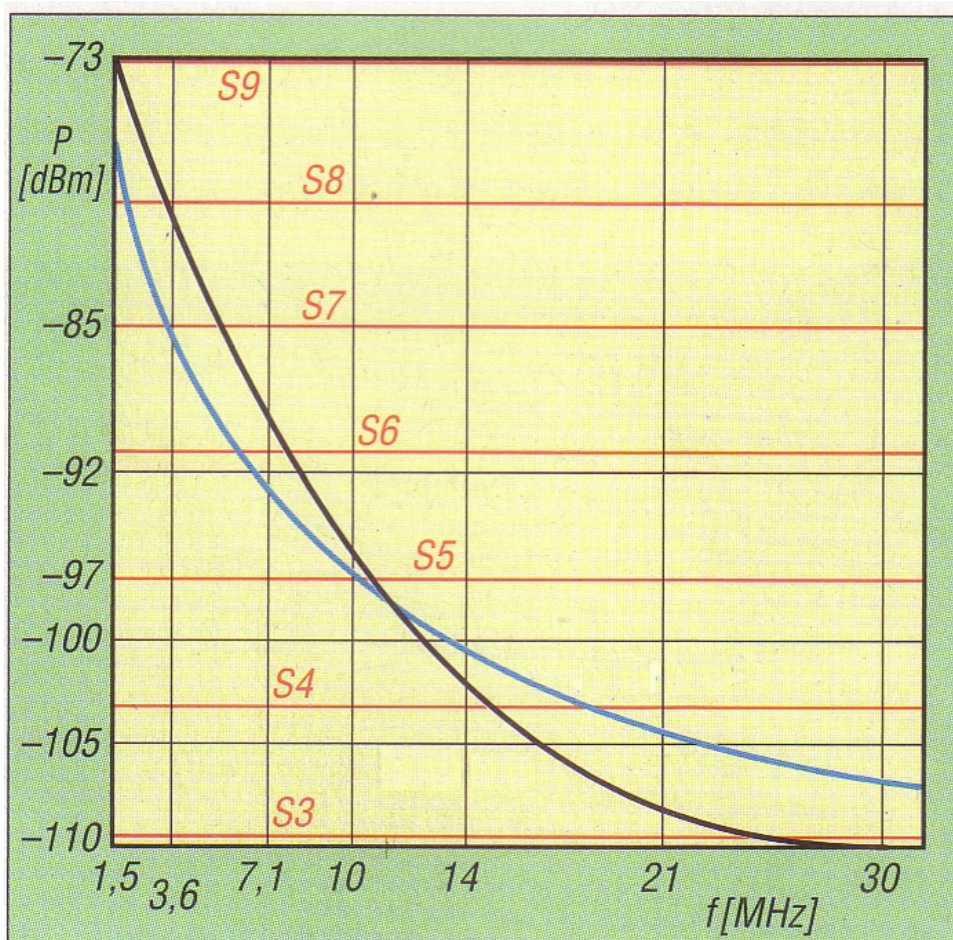
Rauschpegel auf Kurzwelle

- * Der mittlere Rauschpegel auf 160m beträgt $-73 \text{ dBm} / 50 \mu\text{V} / \text{S9}$ und nimmt mit 8-9 dB pro Oktave (Frequenzverdoppelung) ab
- * Über 5 MHz dominiert galaktisches Rauschen die Untergrenze
- * Über 20 MHz sind kaum noch atmosphärische Störungen vorhanden
- * Rauschverteilung je nach Tageszeit und Jahreszeit unterschiedlich
- * Man-Made Noise kommt additiv oben auf

- * Auf 40m typisch - $93 \text{ dBm} / 5 \mu\text{V} / \text{S6}$
- * Auf 20m typisch $-102 \text{ dBm} / 1,5 \mu\text{V} / \text{S4}$
- * Auf 10m typisch $-110 \text{ dBm} / 0,7 \mu\text{V} / \text{S2}$

Rauschen – Was ist das ?

Rauschpegel auf Kurzwelle



Quelle:

FA 12/2014

Rauschen – Was ist das ?

MERKE: Das Gesamtrauschen ist

Schrotrauschen + Funkelrauschen + Thermisches Rauschen +
Galaktisches Aussenrauschen + Atmosphärisches Aussenrauschen +
Menschengemachtes Rauschen



Ein Nutzsignal muss an einem Empfänger so stark sein, dass es die Summe aller Rauschquellen und zusätzlich die Streckendämpfung überwindet



Der übersteigende Pegel ist das Signal-Rausch-Verhältnis

Rauschen – Was ist das ?

Budgetrechnung zur Übertragung

MERKE: Bezugspegel ist stets 0 dbm = 1mW = 0,224 mV eff an 50 Ω

+ Sendeleistung
+ Antennengewinn TX
- Kabeldämpfung TX

TX Pegel



- Dämpfung der Funkstrecke
- Galaktisches Rauschen
- Atmosphärisches Rauschen
- Menschengemachtes Rauschen



Pegel am RX

+ Antennengewinn RX
- Kabeldämpfung RX
- Schrotrauschen
- Funkelrauschen
- Thermisches Rauschen

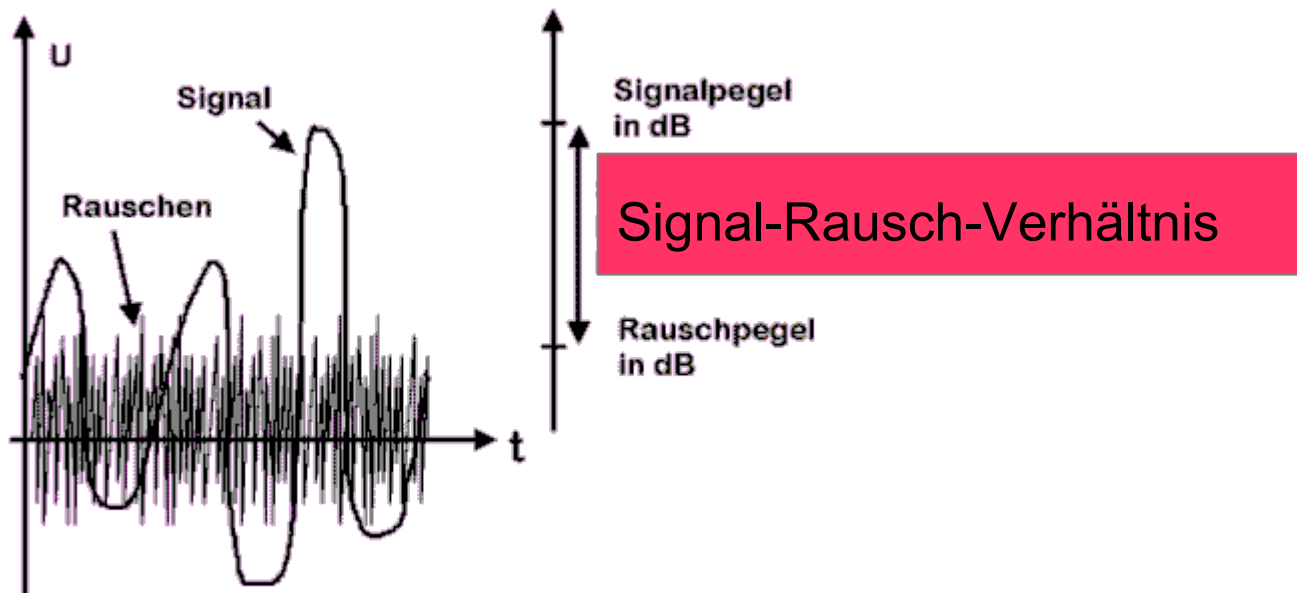
ergibt

Signal-Rausch-Verhältnis



Rauschen – Was ist das ?

Budgetrechnung zur Übertragung



Rauschen – Was ist das ?

Grenzen der „Rauschbewältigung“

- Thermisches Rauschen stellt absolute theor. Untergrenze dar
100 Hz / -154 dbm / 5 nV oder 2500 Hz / - 140 dbm / 22 nV
- Jedes Bauteil erzeugt Zusatzrauschen (Super VVs typ. + 1 db)
- Bandbreitenreduktion für weniger Rauschen stößt an Grenzen:



Shannon-Hartley-Gesetz $C_n [\text{Baud}] = 2 * B [\text{Hz}]$
(gilt nur in einem störfreien Übertragungskanal)



Frequenzkonstanz muss besser als Bandbreite sein



Doppler-Effekt-Flattern muss unter der Bandbreite liegen
typisch für Kurzwelle: 1 - 2 Hz wegen Ionosphäre
typisch für UKW: 10 – 20 Hz wegen Mehrfachausbreitung

Rauschen – Was ist das ?

Rauschmessung

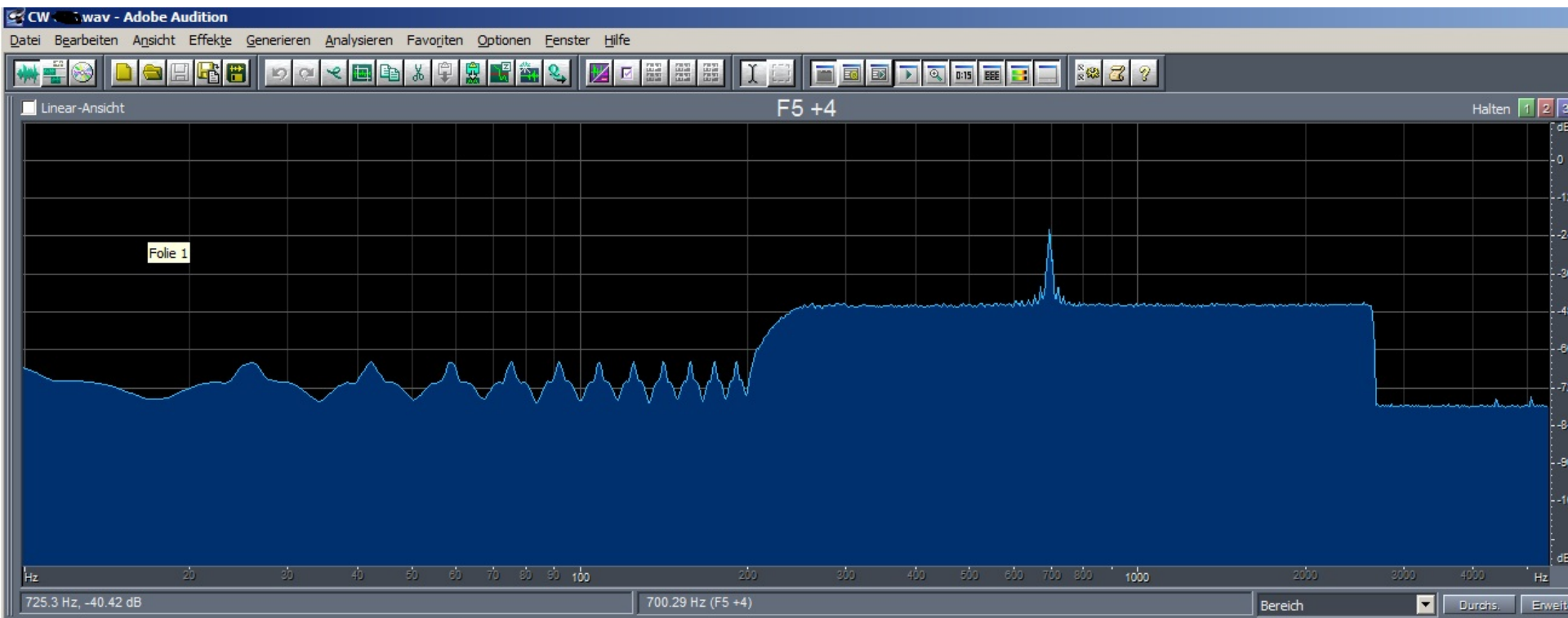
- Psophometer (griechisch für ψόφος psóphos , Geräusch)
- Signalfilter für gewichtete Messungen



Rauschen – Was ist das ?

Audio Hörbeispiele

Erzeugung von Soundfiles mit definiertem Signal-Rausch-Abstand mit ADOBE Audition



Rauschen – Was ist das ?

Audio Hörbeispiele

File 0: CW mit +10 dB S/N / Filter 2500 Hz

File 1: CW mit + 5 dB S/N / Filter 2500 Hz

File 2: CW mit 0 dB S/N / Filter 2500 Hz

File 3: CW mit -10 dB S/N / Filter 2500 Hz

File 4: CW mit -15 dB S/N / Filter 2500 Hz

File 5: CW mit -10 dB S/N / Filter 500 Hz

File 6: CW mit -10 dB S/N / Filter 200 Hz

File 7: CW mit -10 dB S/N / Filter 100 Hz

File 8: CW mit -15 dB S/N / Filter 100 Hz

Rauschen – Was ist das ?

Fazit

- * Das Rauschen speist sich aus vielen Quellen
- * In der Praxis begrenzt auf KW das atmosphärische Außenrauschen
- * Auf UKW meist das galaktische Rauschen (heute nicht mehr immer)
- * Der Mensch ist die stärkste Rauschquelle
- * Die Bandbreite ist sehr maßgeblich für die Rauschleistung
- * Auf UKW ist das absolute Minimum das Thermische Rauschen
Referenzwert: -174 dBm (447 pV) bei 1 Hz Bandbreite
- * Bandbreite kann nicht beliebig reduziert werden
Doppler, Datenrate etc.

Rauschen – Was ist das ?

Fragen / Diskussion

.... danke für die Aufmerksamkeit