

HF mWatt-Meter

neue Version 4.0

Firmware Version 1.00

Messbereich 10Hz bis 2,7GHz

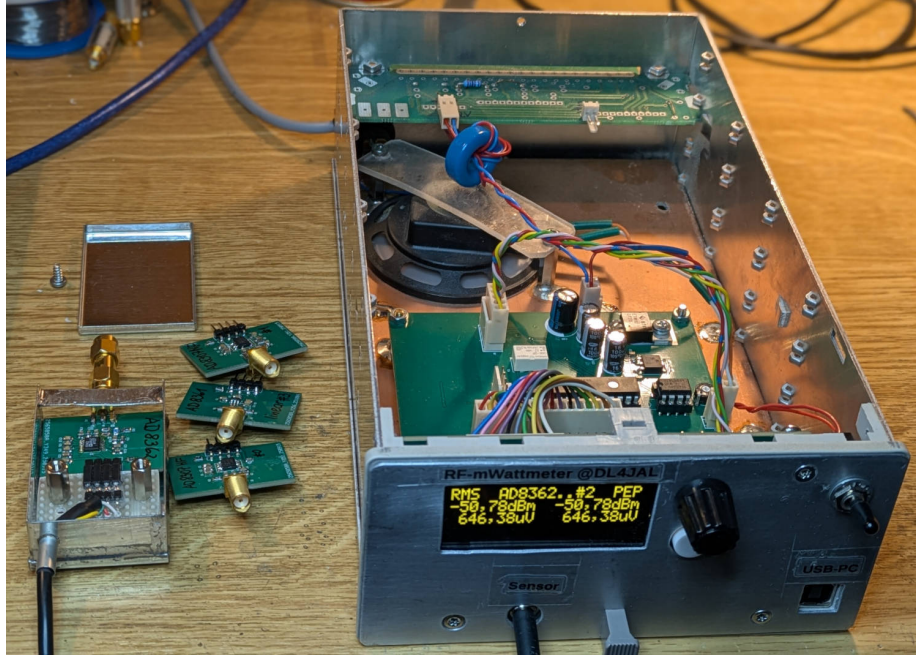
Mit verschiedenen Messköpfen

(c) DL4JAL

6. November 2025

Zusammenfassung

Ich habe das mWatt-Meter mit verschiedenen Messköpfen noch einmal neu konstruiert. Bewährtes habe ich behalten und einige Dinge neu gemacht.



Ich habe ein neues Display gesucht und gefunden. Das ist etwas kleiner als die herkömmlichen 4-zeiligen LCD-Displays. Das neue „EA OLEDM204“ wird seriell nach „SPI“ angesteuert und sehr gut aus allen Richtungen lesbar.

Die Bedienung erfolgt mit einem Drehgeber mit Tastenfunktion und einer Einzeltaste.

Die Messkopf-Platinen werden 4-polig in einer kleinen Weißblechschachtel angesteckt und mit einer Schraube M3 befestigt. Das Anschlusskabel zum Grundgerät ist nur 3-polig + Abschirmung (also 4-polig).

Die Erkennung, welche Messkopf-Platine gesteckt ist erfolgt mit einem Spannungsteiler und eine Messung mit dem A/D-Wandler.

Das dünne Kabel zum Messkopf ist eine echte Verbesserung in der Handhabung des Ganzen.

Mit 3 Messkopf-Platinen kann ich Pegel von 10 Hz bis 2,7 GHz messen. Die vierte Platine ist mit einem linearen IC AD8361 bestückt und ist für sehr genaue Vergleichsmessungen gedacht.

Der USB-Anschluss ist für die Verbindung zum PC und der PC-Software „mWattLin4/mWattWin4“ gedacht. Die PC-Software gibt es für Windows und für Linux.

Inhaltsverzeichnis

1	Beschreibung der Software/Firmware	4
1.1	Auswertung der Messspannung des Messkopfes	4
1.1.1	RMS-Auswertung	4
1.1.2	PEP-Auswertung	5
1.1.3	Spannungsauswertung mit A/D-Wandler	5
1.2	Beschreibung Normalbetrieb	6
1.2.1	Bedienelemente	6
1.2.2	Das OLED-Display als Anzeige	7
1.3	Beschreibung Menü	7
1.3.1	Attenuator extern, einstellen	8
1.3.2	dB-Anzeige relativ, EIN/AUS	8
1.3.3	Messdaten aufzeichnen, START	8
1.3.4	Messdaten aufzeichnen, STOP	9
1.3.5	Messdaten anzeigen automatisch	9
1.3.6	Anzeige ändern, V/Watt, V,dBm,Vss	9
1.3.7	Offset zu 0,00 dBm, kalibrieren	9
1.3.8	Offset zu 0,00 dBm, anschauen [CLR]	10
1.3.9	Tonausgabe nach Pegelhöhe	10
1.3.10	Messfrequenz Eingabe	10
1.4	Beschreibung SETUP	11
1.4.1	Messkopf kalibrieren, mit HF-Pegel	11
1.4.2	Messkopf Daten, anschauen	17
1.4.3	Messkopf kalibrieren, manuell ohne HF-Pegel	17
1.4.4	Messkopf Frequenzgang, einstellen	18
1.4.5	Kursor Ansicht, einstellen	18
1.4.6	dB Precision, aendern	18
1.4.7	PEP Haengezeit, aendern	18
1.4.8	Messkopf-Wechsel, Anzeige EIN/AUS	18
1.4.9	Info FW Version, und HW Version	19
2	Beschreibung der PC-Software	20
2.1	Start des PC-Programmes unter Linux	20
2.2	Start des PC-Programms unter Windows	22
2.3	Erklärung der Menüpunkte	22
2.3.1	Datei	22
2.3.2	Option	22
2.3.3	Aufzeichnung	24
2.3.4	Messkopf	25

2.3.5	Hilfe	28
2.4	Attenuator extern	29
2.5	Messfrequenz	30

Vorwort

Dieses Projekt darf nicht kommerziell vermarktet oder genutzt werden. Alle Rechte liegen bei DL4JAL (Andreas Lindenau).

Kapitel 1

Beschreibung der Software/Firmware

Die Software für den PIC18F26K80 wurde von mir in Assembler geschrieben. Für die mathematischen Berechnungen habe ich mir eine eigene angepasste Gleitpunkt-Mathematik-Bibliothek geschrieben. Ebenfalls in der Assembler-Sprache. Der Quelltext ist auf meiner Internetseite einsehbar und auch selbst zu kompilieren.

Es funktioniert aber nur unter BS Linux mit dem Paket „gputils“. Eine Kurzbeschreibung dazu ist in der ZIP-Datei nachzulesen.

1.1 Auswertung der Messspannung des Messkopfes

Bevor die Messspannung des Messkopfes im A/D-Wandler verarbeitet wird, durchläuft die Messspannung 3 Operationsverstärker vom Typ „LTC1050“. Ich habe mal die Kurzbeschreibung des LTC1050 mit „Google“ übersetzen lassen:

„Der LTC®1050 ist ein leistungsstarker, kostengünstiger, driftfreier Operationsverstärker. Die Besonderheit des LTC1050 liegt in der Integration der beiden Abtast-Halte-Kondensatoren, die bei anderen Chopper-Verstärkern üblicherweise extern benötigt werden. Darüber hinaus bietet der LTC1050 eine bessere kombinierte Gleich- und Wechselstromleistung als andere chopperstabilisierte Verstärker mit oder ohne interne Abtast-Halte-Kondensatoren.“

Wichtig für mich ist, dass der OPV „driftfrei“ ist.

Die erste Stufe im Schaltbild ist U3. Mit U3 wird die Messspannung aufgenommen und mit der Verstärkung 1.0 niederohmig am Ausgang wieder ausgegeben. Nach U3 teilt sich die Messspannung auf, einmal zur „RMS-Auswertung“ und zur „PEP-Auswertung“

1.1.1 RMS-Auswertung

Die „RMS-Auswertung“ der Messspannung ist weiter nichts, als die Ermittlung von **Ueffektiv**. Ermittelt wird Ueff mit R11, 100 kOhm und C16, 1 uF. U5 greift die Spannung an C16 ab und verstärkt wieder mit Verstärkung 1.0. Der

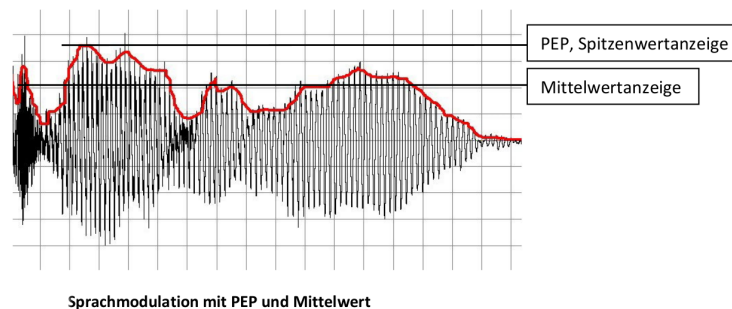
Ausgang des OPV ist niederohmig und wird weiter geleitet an den A/D-Wandler „RA0“ vom PIC18F26K80. Siehe Schaltbild in der HW-PDF.

1.1.2 PEP-Auswertung

Die „PEP-Auswertung“ der Messspannung ist etwas komplizierter. Mit U9 wird die so genannte Hüllkurve der Messspannung „abgetastet“ und am Ausgang des OPV mit D4 BAR43 (Schottky-Diode) gleichgerichtet und wieder zu invertierten Eingang des OPV zurück geführt. Die gleichgerichtete Spannung wird am Kondensator C25 100 nF „auf addiert“. Damit wird jede Spannungsspitze erfasst und in C25 festgehalten. Der Widerstand R15, 10 MOhm entlädt C25 wieder ganz langsam bis die nächste Spannungsspitze der Hüllkurve kommt. Die Spannung von C25 wird an dem A/D-Wandler „RA1“ vom PIC18F26K80 ausgewertet.

Info zur Hüllkurve

Die Hüllkurve der Messspannung ist ein auf und ab der Messspannung im Rhythmus der modulierten NF-Signale. Das SSB-Signal ist so ein Gemisch, welches das HF-Signal in der Amplitude sehr schwanken lässt.



Hier ein Bild zu den zwei Spannungsauswertungen zum besseren Verständnis.

Die „PEP-Spitzenwertanzeige“ erfasst den höchsten Ausschlag der Hüllkurve und ist gleich zu setzen mit unserer „PEP-Auswertung“. Das ist die Spitze der Sendeleistung eines HF-Verstärkers (Sende-PA), die linear, möglichst ohne Verzerrungen, verarbeitet werden muss.

Die „Mittelwertanzeige“ ist gleich zu setzen mit der unserer „RMS-Auswertung“.

1.1.3 Spannungsauswertung mit A/D-Wandler

Die „RMS-Signalspannung“ und die „PEP-Signalspannung“ werden von 2 getrennten A/D-Wandlern in eine Zahl umgewandelt. Der PIC18F26K80 hat A/D-Wandler mit einer Wandlerbreite von 12 Bit. Das ist schon etwas besser als die Vorgänger PICs. In Zahlen ausgedrückt, die Wandlerbreite geht von „0“ bis „4095“. „0“ entspricht 0 Volt und 4095 entspricht 3,3 Volt (externe Referenzspannung mit ADR4533).

Meine Messfunktion macht aber 8 Einzelmessungen hintereinander und addiert sie. So werden auch Digit-Sprünge mit erfasst und gehen mit in die Berechnung ein. Dadurch erhöht sich die Zahl des maximalen A/D-Wandlerwertes auf $8 * 4095 = 32760$.

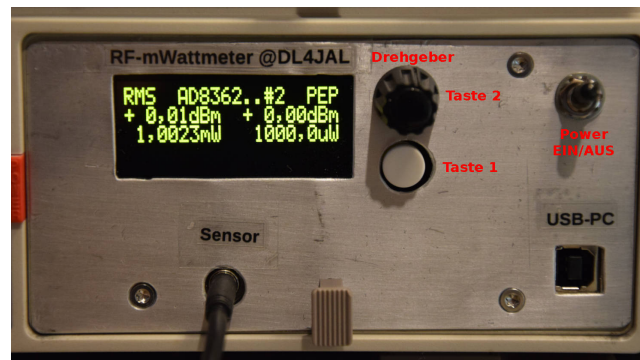
Nach der Messwerterfassung folgt eine Funktion mit der Aufgabe einen Mittelwert zu bilden (Average). Das Ergebnis ist ein „Glättung“ der Messwertfolge. Wie stark die „Glättung“ sein soll wird mit einer AVG-Konstante festgelegt. Ist die AVG=0 ist Average ausgeschaltet, AVG=3 ist der höchste Wert. Ich habe AVG=3 fest eingestellt.

$$\text{neuerZahlenwertAVG} = \frac{\text{alterZahlenwertAVG} * 7.0 + \text{Messert}}{8.0}$$

Diese Formel bewirkt, dass das Messergebnis langsam ansteigt und auch wieder langsam abfällt. Die Wirkung dieser „Glättung“ ist gut. Die Anzeige bleibt sehr ruhig.

1.2 Beschreibung Normalbetrieb

1.2.1 Bedienelemente



Für die Bedienung des Messgerätes habe ich einen Drehgeber mit Tastenfunktion und eine Einzeltaste vorgesehen. Die Einzeltaste bezeichne ich als „Taste 1“ und die Tastenfunktion im Drehgeber bezeichne ich als „Taste 2“. Jede Taste hat noch eine zweite Funktion, wenn sie lange gedrückt wird. Hier eine kleine Tabelle dazu.

Taste 1 kurz gedrückt Zugang zu den „Menü-Funktionen“. Es ist ein Quittungston zu hören.

Taste 1 lange gedrückt Zugang zu den „SETUP-Funktionen“. Es ist ein doppelter Quittungston zu hören.

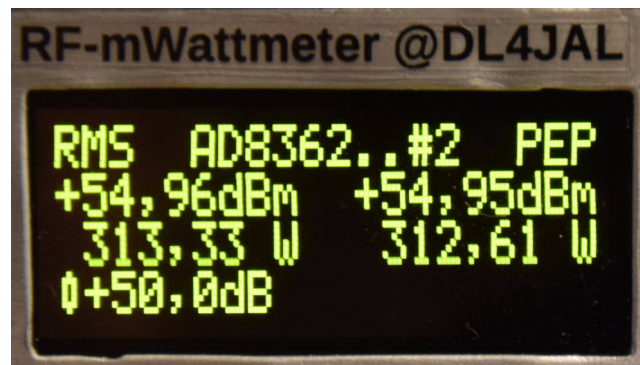
Taste 2 im Drehgeber kurz gedrückt Umschalten der Anzeige in Zeile 3. Es ist ein Quittungston zu hören.

Taste 2 im Drehgeber lange gedrückt Vorbereitung zum Messkopfwechsel. Die Versorgungsspannung +5 Volt für den Messkopf wird abgeschaltet. Es ist ein doppelter Quittungston zu hören.

Der Drehgeber hat die Aufgabe der Funktionen-Auswahl im „Menü“ oder „SETUP“. In den Funktionen dient er der Einstellung der entsprechenden Werte. Im „Normalbetrieb“ hat der Drehgeber die gleiche Funktion wie **Taste 2 im Drehgeber kurz gedrückt**. Bei jedem Drehimpuls wird die Anzeige in Zeile 3 verändert. Egal ob wir rechts oder links herum drehen.

1.2.2 Das OLED-Display als Anzeige

Für die Anzeige der Messwerte und auch sonstige Funktionen habe ich ein OLED-Display ausgewählt. Aus allen Blickwinkeln ist eine gute Lesbarkeit gewährleistet. Das Display ist etwas teurer, aber die Mehrkosten haben sich gelohnt.



Das Display hat 4 Zeilen mit je 20 Zeichen.

Zeile 1 Die Überschrift RMS und PEP. Dazwischen die Bezeichnung des gesteckten Messkopfes.

1. **RMS** die linke Seite zeigt die Messwerte von RMS (Mittelwert) an.
2. **AD8362..#2** Der Messkopftyp und die Messkopfnnummer.
3. **PEP** die rechte Seite ist für PEP (die Spitzenwerte der Hüllkurve).

Zeile 2 links die dBm-Werte der RMS-Leistung und rechts die dBm-Werte der PEP-Leistung. Bei Eintonmessung sind beide Werte fast gleich groß.

Zeile 3 die umgerechneten Messwerte als Leistung, Spannung oder der Wert des A/D-Wandlers. Je nach Einstellung.

Zeile 4 Das ist die Zeile für zusätzliche Informationen.

1. links ist der dB-Wert des externen Attenuators zu sehen.
2. anschließend „0“, wenn auf 0,00dBm nach kalibriert wurde.
3. anschließend das „USB-Symbol“ wenn eine USB-Verbindung mit der PC-Software „mWattLin4 oder mWattWin4“ besteht.
4. rechts der Offset-dB-Wert wenn eine Frequenzgang-Tabelle aktiv ist.

1.3 Beschreibung Menü

Ein kurzer Tastendruck „Taste 1“ öffnet das „Menü“ mit den Funktionen, die oft gebraucht werden. Vorzeitig beenden kann ich das Menü mit einem „langen Tastendruck“ der Taste 1. Das trifft auch innerhalb der Funktionen zu, wenn man vorzeitig die Funktion beenden will.

1.3.1 Attenuator extern, einstellen

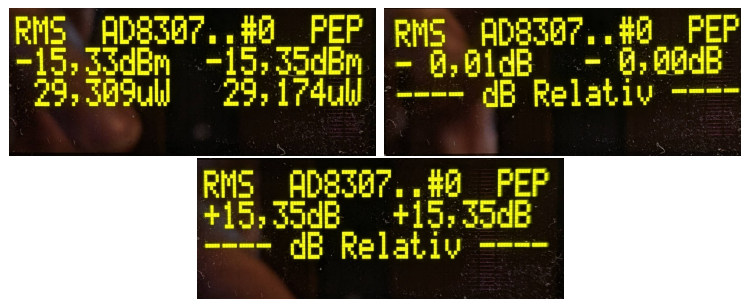
Die erste Funktion dient zum Einstellen des Wertes eines externen Attenuators. Zum Beispiel eine Dummyload mit Messausgang -40dB. Tragen wir die 40dB als externes Dämpfungsglied ein, wird bei der Berechnung des dBm-Anzeigewertes das externe Dämpfungsglied mit berücksichtigt.



Wir haben einen externen Attenuator eingegeben von 50 dB. Das ist meine Dummyload mit Messausgang (40 dB) und ein zusätzliches 10 dB Dämpfungsglied. So kann ich auch große Leistungen messen.

1.3.2 dB-Anzeige relativ, EIN/AUS

Die momentane dBm-Anzeige wird der Ausgangspunkt der dB-Abweichung weiterer Messungen. Im Display wird jetzt nur die Abweichung von diesem Ausgangspunkt in $+/- dB$ angezeigt und in Zeile 3 „dB Relativ“. Ein weiterer Aufruf dieser Funktion schaltet „dB-Anzeige relativ“ wieder AUS.



Ich habe im Beispiel den Generator auf „-15 dBm“ eingestellt. Aktiviere ich jetzt die relative Anzeige, werden 0,00 dB Abweichung angezeigt. Stelle ich den Generator wieder auf „0,00 dBm“ zurück, werden relativ „+15,35 dB“ im Display angezeigt. Manchmal werden solche Analysen benötigt.

1.3.3 Messdaten aufzeichnen, START

Auf der Platine „mcsteuerung“ befindet sich ein Eeprom mit 64 KByte Speicher. Mit diesem externen Eeprom können bis zu 16000 Messdatensätze aufgezeichnet werden. Diese Menüpunkt startet die Aufzeichnung. Als Eingabe folgt die Angabe des Sekundenabstandes zwischen jedem Datensatz (Bereich 1 Sekunde bis 20 Sekunden). Anschließend beginnt die Aufzeichnung bis mit der folgenden Funktion, im Menü, gestoppt wird oder die Datensatzanzahl 16000 überschritten ist.

Sinnvoll ist diese Aufzeichnungs-Funktion für die Verwendung des Wattmeters als abgesetztes Feldstärkemessgerät. Zum Beispiel bei Test von verschiedenen Tunern oder Antennen. Die Aufzeichnung bleibt gespeichert. Auch nach dem Ausschalten ist alles noch vorhanden. Eine Löschfunktion gibt es nicht. Mit dem Start einer neuen Aufzeichnung werden die alten Werte überschrieben.

1.3.4 Messdaten aufzeichnen, STOP

Wie erwähnt stoppt diese Funktion des Aufzeichnungs-Modus.

1.3.5 Messdaten anzeigen automatisch

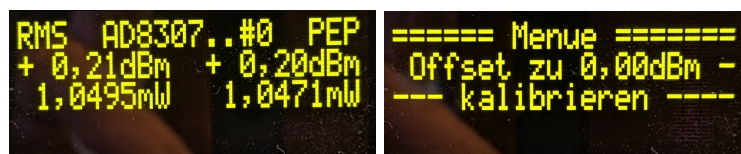
Die aufgezeichneten Messdaten werden angezeigt, automatisch im gleichen Zeitabstand wie die Aufzeichnung erfolgte. Ist das PC-Programm zum „mWatt-Meter“ aktiv können die aufgezeichneten Daten herunter laden und anschließend, zu besseren Auswertung, in eine CSV-Datei speichern. Das erleichtert die Weiterverarbeitung mit LibreOffice oder Excel.

1.3.6 Anzeige ändern, V/Watt, V,dBm,Vss

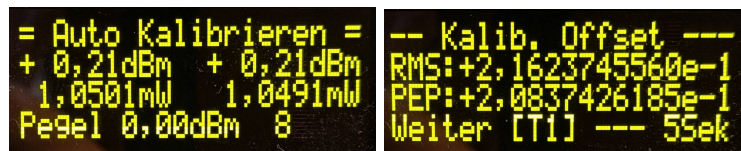
In Zeile 3 wird auf eine andere Maßeinheit umgeschaltet. Das ist die gleiche Funktion wie schon im Kapitel 1.2.1 auf Seite 6 beschrieben.

1.3.7 Offset zu 0,00 dBm, kalibrieren

Wird eine sehr genaue Anzeige der Abweichung von 0,00 dBm benötigt kann man mit dieser Funktion und einem genauen Referenz-Generator (z.B.: HP 437B „Power Ref.“ 1,00mW) Nachkalibrieren ohne den ganzen Messkopf neu Kalibrieren zu müssen. Das Nachkalibrieren dauert etwa 10 Sekunden und funktioniert nur wenn die Abweichung zu 0,00dBm kleiner $\pm 1\text{dB}$ ist. Die momentane Abweichung wird im Hintergrund gemerkt und ab jetzt immer bei der Berechnung der neuen Messungen subtrahiert. In Zeile 4 des Displays wird in der Mitte das Symbol „0“ als Erinnerung angezeigt.



Der gemessene Pegel weicht etwas, ich möchte aber eine „0,00 dBm“ Anzeige.



Die Prozedur dauert etwa 10 Sekunden, dann ist das Offset ermittelt und wird angezeigt.

```

RMS AD8307..#0 PEP
+ 0,00dBm + 0,00dBm
1000,0uW 1000,0uW
0

```

Jetzt wird das Offset bei den Messungen mit eingerechnet. In Zeile 4 erscheint als Erinnerung die „0“.

1.3.8 Offset zu 0,00 dBm, anschauen [CLR]

Hier kann man beide Offset-Werte anschauen und auch wieder löschen.

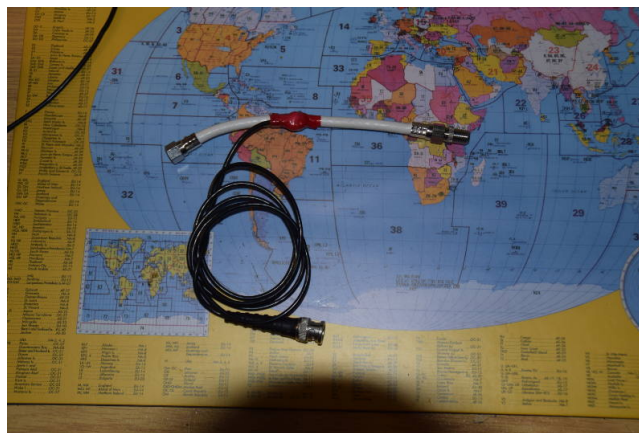
```

-- Kalib. Offset ---
RMS:+2,1623745560e-1
PEP:+2,0837426185e-1
CLR[T2] [T1] -- 5Sek

```

1.3.9 Tonausgabe nach Pegelhöhe

Die Funktion aktiviert eine akustische Ausgabe des Messpegel. Je höher der Pegel umso höher der Ton der akustischen Ausgabe. Der Ton kann zurück gesetzt werden auf 400 Hz, wenn er viel zu hoch ist. bei 400 Hz hört man die kleinste Abweichung des Messpegels. Diese Funktion ist bestens für Abstimm-arbeiten geeignet. Ich nutze diese Funktion bei der Ausrichtung des Fernseh-Satellitenspiegels. Dazu habe ich mit ein Verbindungskabel mit einem Abzweig für das mWatt-Meter angefertigt.



Das Kabel wird am LNB dazwischen geschraubt und das schwarze Kabel führt zum mWatt-Meter. Zwischen der Seele des „weißen“ Kabels und der Seele des „schwarzen“ Kabels habe ich einen Kondensator von 1nF gelötet.

1.3.10 Messfrequenz Eingabe

Zum Beispiel hat der Messkopf mit dem AD8307-HF hat bei höheren Frequenz Messpegelverluste. Um diese auszugleichen, habe ich eine Frequenzgang-Tabelle

angelegt mit Pegelverlustangaben bei bestimmten Stützfrequenzen. Ist diese Tabelle angelegt und beschrieben, kann in dieser Funktion eine Messfrequenz eingegeben werden. Die Firmware holt sich den Messpegelverlust aus dieser Tabelle. Das Messergebnis wird so relativ genau korrigiert. Bei Frequenzen, die zwischen den Frequenzstützpunkten liegen, werden die Messverluste mathematisch interpoliert.

1.4 Beschreibung SETUP

Ein langer Tastendruck mit der Taste 1 öffnet die SETUP-Funktionen. Es ertönt ein doppelter Quittungston. Vorzeitig beenden kann ich das SETUP mit einem „langen Tastendruck“ der Taste 1. Das trifft auch innerhalb der Funktionen zu, wenn man vorzeitig die Funktion beenden will.

1.4.1 Messkopf kalibrieren, mit HF-Pegel

Jeder Messkopf muss mit einem genauen Referenz-Generator kalibriert werden. Auf den Messplatinen sind meistens ICs mit logarithmischer Funktion eingelötet. Bei den logarithmischen ICs im Messkopf ist es so, dass der logarithmische HF-Pegelanstieg und ausgegebene Messspannung eine lineare Funktion bilden.

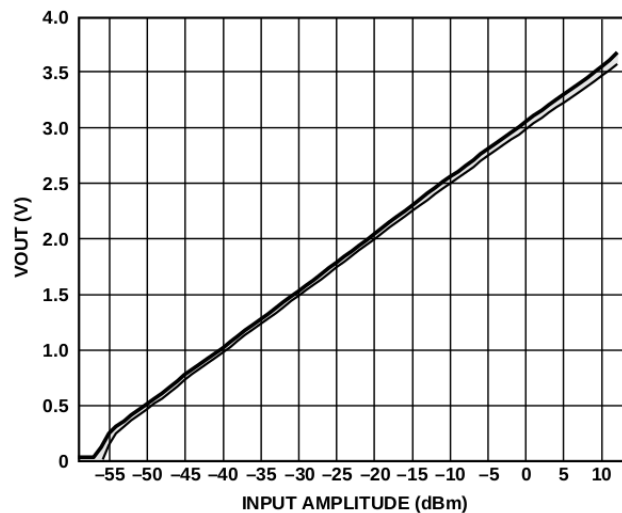
Ein Messplatine hat einen IC mit linearer Funktion. Das ist der AD8361. Bei diesem Messkopf mit linearen ICs ergibt die HF-Spannung und die ausgegebene Messspannung eine lineare Funktion. Da sind die mathematischen Berechnungen anders als beim logarithmischen ICs.

Ablauf der Kalibrierfunktion:

- Die erste Abfrage ist die Art des ICs im Messkopf. Es gibt 3 Auswahlmöglichkeiten:
 - HF Logarithmisch
 - HF Linear
 - NF/Audio Logarithmisch
- Die zweite Einstellung ist der Name des Messkopfes. Der Name kann bis zu 8 Zeichen lang sein. Jeder Buchstabe/Zahl wird mit dem Drehgeber einzeln eingestellt. Mit der Taste 2 im Drehgeber wird der Cursor weiter geschaltet. Ist der Cursor am Ende angelangt, beginnt der Cursor wieder von vorn. Mit der „Taste 1“ kommt der nächste Punkt.
- Wurde ein „logarithmischer Messkopf“ ausgewählt, folgt jetzt die Angabe des ersten Messpegels in „dBm“. Je nach Datenblatt sollte der erste Messpegel möglichst weit oben auf der linearen Messfunktion angelegt werden. Mit diesem Pegel wird die erste Messung durchgeführt. Meistens sind das 0,00 dBm aus einem Referenzgenerator. Mit der „Taste 1“ kommt der nächste Punkt.
- Wurde ein „linearer Messkopf“ ausgewählt, ist der erste Pegel immer 0,00 dBm. Das lässt sich nicht verändern.

- Jetzt folgt die Messung. Angezeigt wird der A/D-Wandler Zahlenwert. Ändert sich der Zahlenwert nicht mehr, folgt der nächste Schritt mit der „Taste 1“.
- Der zweite Messpegel sollte weit unten im linearen Messfunktionsbereich liegen. Vorgegeben sind „-40 dBm“. Der zweite Messpunkt richtet sich nach dem Datenblatt. Das ist der lineare Bereich der Messfunktion gut zu sehen. Zum Beispiel beim AD8362 sind „-40 dBm“ zu niedrig. Da sollte man auf „-30 dBm“ erhöhen. Weiter mit der „Taste 1“.
- Wieder folgt die Messung und warten bis der Zahlenwert steht. Weiter mit der „Taste 1“.
- Es folgt jetzt die Eingabe des maximalen dBm-Pegels, die der verbaute IC noch verträgt. Wird bei einer Messung dieser Pegel überschritten, kommt ein Warnton aus dem Messgerät. Weiter mit der „Taste 1“.
- Erst jetzt beginnt die Berechnung der beiden Variablen „mkx“ und „mky“.
- Es folgt die Anzeige aller Parameter der Kalibrierung. Jetzt kann man entscheiden ob die Kalibrierung übernommen wird oder nicht. Speichern mit der „Taste 1“.
- Das Kalibrieren ist damit beendet.

Erklärung der Berechnung von „mkx“ und „mky“, logarithmischer IC



Ich habe aus dem Datenblatt des AD8362 die Messfunktion im Zusammenhang dBm und Vout kopiert. Der logarithmische Anstieg des HF-Pegels und die Messspannung am Ausgang des ICs bilden eine lineare Linie (Funktion). Mit zwei Messpunkten beim Kalibrieren lässt sich die lineare Funktion mathematisch berechnen.

Im Vorfeld eine Erklärung der verwendeten Bezeichnungen in den Formeln:

Bezeichner	Erklärung
dbmpegel1	Pegel1 in dBm vom Referenzgenerator
dbmpegel2	Pegel2 in dBm vom Referenzgenerator
adcwertpunkt1	Werte des AD Wandlers im PIC beim Pegel 1
adcwertpunkt2	Werte des AD Wandlers im PIC beim Pegel 2
mkx	Wert X der linearen Funktion
mky	Wert Y der linearen Funktion

Formel 1: $mkx = \frac{dbmpegel1 - dbmpegel2}{adcwertpunkt1 - adcwertpunkt2}$

Formel 2: $mky = (adcwertpunkt1 * mkx * -1) + dbmpegel1$

Mit dem Ergebnis diesen beiden Variablen „mkx“ und „mky“ können wir aus der Integer-Zahl des ADC-Wertes (0..32760) den Pegel in dBm berechnen. Die Formel für die Berechnung des HF-Pegels in dBm ist einfach und lautet:

$$Pegel(dBm) = ADCWert * mkx + mky$$

So einfach ist es mit „Mkx“ und „Mky“ aus dem Wert des ADC-Wandlers den Pegel in dBm zu errechnen.

Ein Berechnungsbeispiel mit dem AD8362

Folgende Kalibriermessungen habe ich durchgeführt:

Bezeichner	Erklärung
0,00 dBm	Pegel1 in dBm vom Referenzgenerator
-30,00 dBm	Pegel2 in dBm vom Referenzgenerator
26366	Werte des AD Wandlers im PIC beim Pegel 1
10948	Werte des AD Wandlers im PIC beim Pegel 2

Formel für die Berechnung von „mkx“:

$$mkx = \frac{dbmpegel1 - dbmpegel2}{adcwertpunkt1 - adcwertpunkt2}$$

Wir setzen die Werte ein:

$$mkx = \frac{0,0 - (-30,0)}{26366 - 10948} = 0,001945777662$$

Formel für die Berechnung von „mky“:

$$mky = (adcwertpunkt1 * mkx * -1) + dbmpegel1$$

Wir setzen die Werte ein:

$$mky = (26366 * mkx * -1) + 0,0 = -51,30237384$$

Wir haben jetzt die beiden Variablen „mkx“ und „mky“ und können damit rückwärts mit dem A/D-Wandler-Wert den HF-Pegel in dBm berechnen. Angenommen der A/D-Wandler im PIC hat den Zahlenwert „15000“. Mit der Formel:

$$Pegel(dBm) = ADCWert * mkx + mky$$

können wir ganz einfach den HF-Pegel am Messkopf berechnen. Die Werte eingesetzt:

$$\text{Pegel}(dBm) = 1500 * 0,001945777662 + (-51,30237384) = -22,12 dBm$$

-22,12 dBm ist das Messergebnis. Die Berechnungen mit einem linear arbeiteten ICs sind noch etwas umfangreicher. Die Beschreibung erspare ich mir hier.

Jetzt noch die Bilder zur Reihenfolge der Kalibrierung eines log. HF-Messkopfes.



Zuerst der Messaufbau. Der sehr genaue HF-Pegel von 0,00 dBm kommt hier aus meinem Pegel/Frequenznormal 0,00 dBm, 10000000 Hz.

```
== Kalibr.Messkopf =
IC: HF Logarithmisch
Weiter[T1]
Abbruch [Taste lang]
```

```
== Kalibr.Messkopf =
Name: QD8362..
Weiter[T1]
Abbruch [Taste lang]
```

Als erstes wird der Typ des Messkopfes ausgewählt. Anschließend der Name des Messkopfes eingegeben. Dieser Name erscheint dann im Display bei den Messungen.

```
== Kalibr.Messkopf =
Pegel1(dBm):+ 0,0
Weiter[T1]
Abbruch [Taste lang]
```

```
== Kalibr.Messkopf =
Kal P1(ADC):26381
Weiter[T1]
Abbruch [Taste lang]
```

Der erste Messpegel beträgt hier 0,0 dBm und der ADC-Wert „26381“ wird angezeigt.



Für den zweiten Messpegel von -30 dBm füge ich ein genaues Dämpfungsglied von 30 dB ein.

```

== Kalibr.Messkopf =
Pegel2(dBm):-30,0
Weiter[T1]
Abbruch [Taste lang]

== Kalibr.Messkopf =
Kal P2(ADC):10962
Weiter[T1]
Abbruch [Taste lang]

```

Der zweite Messpegel von „-30 dBm“ wird eingestellt und anschließend gemessen. ADC-Wert beträgt „10962“.

```

== Kalibr.Messkopf =
maximal(dBm):+ 5,0
Weiter[T1]
Abbruch [Taste lang]

= Messkopfdaten ====
x:+1,9451468591e-3
y:-5,1316864416e+1
Speichern [Taste 1]

```

Abschließend noch der maximale Pegel den der AD8362 verträgt. Die beiden Werte M_{kx} und M_{ky} werden ausgerechnet und angezeigt. Abschließend noch speichern im Eeprom des PIC.

Kalibrieren des NF Messkopfes

Wie schon erwähnt ist die Maßeinheit bei allen HF Messungen dBm. Der Pegel von 0,0 dBm ist genau 1,0 mW bei einer Impedanz von 50 Ohm. Bei den Audiomessköpfen wird der Pegel auch logarithmisch angezeigt, aber die Maßeinheit ist dBV. Der Bezugspunkt 0 dBV ist genau 1V_{eff}. Die Eingangsimpedanz des NF-Messkopfes ist hochohmig, so etwa 1,5kOhm. Ist ein NF-Generator im Shack vorhanden können wir den NF-Messkopf damit kalibrieren. Für die Ermittlung der Pegel gibt es verschiedene Wege. Ich besitze einen kalibrierten Oszi „OWON DS8102“. Damit wäre es möglich den Pegel des NF Generators zu ermitteln. Ein gutes Multimeter eignet sich aber auch. Was benötigen wir zum Kalibrieren des NF-Messkopfes?

1. NF-Generator mit einer Frequenz im Messbereich des Messkopfes eventuell 10kHz oder 1kHz Sinus. Günstig wäre eine Feinreglung der Amplitude.
2. 2 SMA-T-Stücke
3. Einen SMA-Abschlusswiderstand 50Ohm
4. Ein Messgerät für den Pegel. Eventuell ein Oszi. Ich habe noch ein Multimeter HM8012. Das zeigt auch sehr genau V_{eff} an.
5. ein Dämpfungsglied 30dB oder auch einen größeren Wert.

Jetzt verkabeln wir das ganze.

1. Ein SMA-T-Stück stecken wir an den Messkopf und ein SMA-T-Stück an den Oszi oder Multimeter.
2. Jetzt Verbinden wir mit einem Koaxialkabel den Generator mit dem Messkopf und mit einem weiteren Kable den Messkopf mit dem Oszi oder Multimeter.

- am Oszi/Multimeter wird am SMA-T-Stück der Abschlusswiderstand 50 Ohm angeschraubt. Der NF-Messkopf ist ja hochohmig und wir wollen unser Dämpfungsglied für den Pegel 2 verwenden. Das Dämpfungsglied hat nur die richtigen Dämpfungswerte bei einer Impedanz von 50 Ohm. Deshalb ist dieser Abschlusswiderstand für eine richtige Kalibrierung notwendig.

Jetzt ermitteln wir am Oszi/Multimeter die Sinusspannung. Ich kann im Oszi 2 Cursor setzen und die Spannung Spitze - Spitze ablesen. Angenommen wir haben $1,144V_{ss}$ ermittelt. Daraus errechnen wir den dBV Wert. Benutzen wir als Messgerät das Multimeter HM8012 können wir gleich V_{eff} ablesen und der Berechnungsschritt 1 fällt weg.

Schritt 1: $\frac{1,144V_{ss}}{2 * \sqrt{2}} = 0,400447V_{eff}$

Schritt 2: $\log(0,400447V_{eff}) * 20 = -7,95dBV$

Die Formel für die Berechnung von dBV ist einfach

$$dBV = \log(V_{eff}) * 20$$

Jetzt wissen wir welcher Pegel ohne Dämpfungsglied am Messkopf anliegt. Die Einstellung für Pegel 1 wäre also -8 dBV. Für den Pegel 2 stecken wir das Dämpfungsglied dazwischen und die Einstellung ist jetzt um den Wert der dB-Dämpfung geringer. Bei 40 dB Dämpfung wäre der zweite Pegel -48 dBV. Jetzt ist es kein Problem mehr den Messkopf richtig zu kalibrieren.

Ich hoffe mit diesem Kapitel etwas „Licht“ ins Dunkel der NF Kalibrierung gebracht zu haben.

Hier noch Bilder zum Kalibrierablauf:



Zuerst der Messaufbau. Rechts oben mein neuer Multi-Generator und rechts unten das mWatt-Meter. Links der Messkopf mit dem „AD8307NF“ und das T-Stück mit Abschlusswiderstand 50 Ohm.



Das SETUP, Aufruf der Kalibrierfunktion. Die erste Abfrage betrifft den Messkopftyp. Auswahl „NF/Audio Log.“.

```
== Kalibr.Messkopf =
Name: AD8307NF
Weiter[T1]
Abbruch [Taste lang]
```

```
== Kalibr.Messkopf =
P1 (dBm/50Ohm):+ 0,0
Weiter[T1] dBV:-13,0
Abbruch [Taste lang]
```

Es folgt der Name des Messkopfes der später im Display erscheinen soll. Der erste Messpegel „-13,0 dBV“ oder auch „0,0 dBm“.

```
== Kalibr.Messkopf =
Kal P1(ADC):19020
Weiter[T1] dBV:-13,0
Abbruch [Taste lang]
```

```
== Kalibr.Messkopf =
P2 (dBm/50Ohm):-40,0
Weiter[T1] dBV:-53,0
Abbruch [Taste lang]
```

Der ADC-Wert des ersten Messpunktes „19020“. Der zweite Messpegel „-53 dBV“ oder „-40 dBm“.

```
== Kalibr.Messkopf =
Kal P2(ADC): 8781
Weiter[T1] dBV:-53,0
Abbruch [Taste lang]
```

```
== Kalibr.Messkopf =
max (dBm/50):+ 2,0
Weiter[T1] dBV:- 6,0
Abbruch [Taste lang]
```

Der ADC-Wert des zweiten Messpunktes „8781“. Es folgt noch die Angabe des maximalen Pegel vom AD8307NF.

```
= Messkopfdaten ====
x:+3,9062500000e-3
y:-8,7311081252e+1
Speichern [Taste 1]
```

Mkx und Mky sind berechnet. Mit Taste 1 wird die neue Kalibrierung im Eeprom des PIC gespeichert.

1.4.2 Messkopf Daten, anschauen

Mit dieser Funktion kann ich mir alle Daten des Messkopfes in Ruhe anschauen.

1.4.3 Messkopf kalibrieren, manuell ohne HF-Pegel

Ich habe mir noch eine zweite Möglichkeit der Berechnung von „mkx“ und „mky“ ausgedacht. Wenn wir die beiden Kalibrierpegel wissen und die dazu gehörigen A/D-Wandel-Werte ist es möglich „mkx“ und „mky“ auch ohne HF-Generator neu zu berechnen. Es ist also ratsam die Daten jedes Messkopfes noch einmal zu notieren.

Es ist auch möglich mit dem PC-Programm, welches ich noch beschreibe, die Daten jedes Messkopfes als Datei abzuspeichern und auch wieder zurück ins Messgerät zu laden.

1.4.4 Messkopf Frequenzgang, einstellen

Ich habe für jeden Messkopf Frequenzpunkte vorgesehen, in denen die Pegelabweichung des ICs eingetragen werden kann. Beim AD8307 habe ich das schon gemacht. Die neuen Werte können anschließend im Eeprom des PIC abgespeichert werden. Es gib folgende Frequenzpunkte: 50 MHz, 100 MHz, 150 MHz, 200 MHz, 250 MHz, 300 MHz, 350 MHz, 400 MHz, 450 MHz, 500 MHz, 1000 MHz, 1500 MHz, 2000 MHz, 2500 MHz und 3000 MHz. Alle Pegel-Werte sind im „Default“ auf 0,00 dB eingestellt (linearer Frequenzgang). Bleibt diese Tabelle leer bringt im „Menü“ die „Messfrequenz, Eingabe“ auch keine Frequenzgang-Korrektur der Messungen.

Es ist viel Arbeit und man braucht genaue Messgeräte um diese Tabelle mit Korrekturwerten zu füllen.

1.4.5 Cursor Ansicht, einstellen

Der Cursor im OLED kann verändert werden mit dieser Funktion. „Default“ ist der „Unterstrich“.

1.4.6 dB Precision, aendern

Die Anzahl der Nachkommastellen kann reduziert werden. Es gibt zwei Möglichkeiten „0,0“ und „0,00“. Wobei der lineare Messkopf immer eine Nachkommastelle mehr anzeigt. Also „0,00“ oder „0,000“.



Ich möchte die Präzision (Nachkommastellen) reduzieren.

1.4.7 PEP Haengezeit, aendern

Zusätzlich zur Hardware der PEP-Erfassung wird per Software der maximale Pegel für eine Hängezeit festgehalten. Die Dauer kann hier verändert werden.



Bei der PEP-Anzeige ist mir bei der Maximalanzeige die Zeit zu kurz. Ich möchte auf 2 Sekunden verlängern. Der maximale Einstellwert ist 10 Sekunden.

1.4.8 Messkopf-Wechsel, Anzeige EIN/AUS

Wird der Messkopf gewechselt, kann man sich alle Messkopfdaten beim Wechsel automatisch einblenden lassen. Die Anzeige ist im Default „AUS“.

1.4.9 Info FW Version, und HW Version

Infos zur HW und FW werden noch einmal angezeigt.



The image shows two side-by-side screenshots of a terminal window with a black background and yellow text. Both screenshots display the same information: '=== HF mW-Meter ===', '- HW4.00 11.10.25 -', '- SW1.00 01.11.25 -', and '- Var1 PIC18F26K80 -'. The right screenshot includes an additional line at the bottom: 'Weiter [T1] --- 55sek'.

```
=== HF mW-Meter ===  
- HW4.00 11.10.25 -  
- SW1.00 01.11.25 -  
- Var1 PIC18F26K80 -  
Weiter [T1] --- 55sek
```

Kapitel 2

Beschreibung der PC-Software

Ich habe wieder in „C++“ ein PC-Programm geschrieben. Ich verwende immer die QT-Bibliotheken um die Software für beide Betriebssysteme Linux und Windows zu kompilieren. Das ist mir auch dieses mal wieder gelungen. Die Namen des Programms sind je nach Betriebssystem unterschiedlich.

Linux in Linux habe ich der PC-Software den Namen „mWattLin4“ gegeben.

Windows in Windows nennt sich die PC-Software „mWattWin4“.

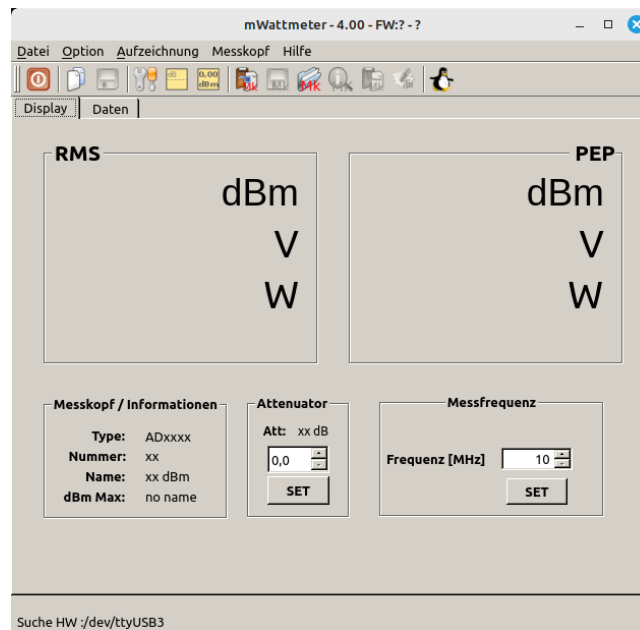
2.1 Start des PC-Programmes unter Linux

Zuerst wird das mWatt-Meter per USB-Kabel mit dem PC verbunden. Testen ob die USB-Verbindung aktiv wird kann man das unter Linux mit „lsusb“.

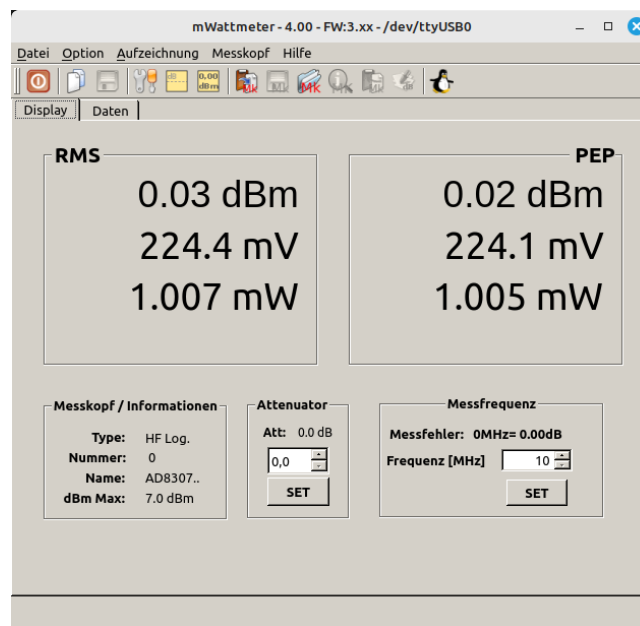
```
dl4jal@funkraum-pc:~$ lsusb
Bus 002 Device 001: ID 1d6b:0003 Linux Foundation 3.0 root hub
Bus 001 Device 006: ID 04e8:4001 Samsung Electronics Co., Ltd PSSD T7
Bus 001 Device 005: ID 093a:2510 Pixart Imaging, Inc. Optical Mouse
Bus 001 Device 004: ID 03f0:1e17 HP, Inc LaserJet 1160 series
Bus 001 Device 002: ID 18a5:0302 Verbatim, Ltd Flash Drive
Bus 001 Device 007: ID 04d8:f38d Microchip Technology, Inc. NSDS Programmer
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
dl4jal@funkraum-pc:~$ lsusb
Bus 002 Device 001: ID 1d6b:0003 Linux Foundation 3.0 root hub
Bus 001 Device 006: ID 04e8:4001 Samsung Electronics Co., Ltd PSSD T7
Bus 001 Device 005: ID 093a:2510 Pixart Imaging, Inc. Optical Mouse
Bus 001 Device 004: ID 03f0:1e17 HP, Inc LaserJet 1160 series
Bus 001 Device 008: ID 0403:6001 Future Technology Devices International, Ltd FT232 Serial (UART) IC
Bus 001 Device 002: ID 18a5:0302 Verbatim, Ltd Flash Drive
Bus 001 Device 007: ID 04d8:f38d Microchip Technology, Inc. NSDS Programmer
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
dl4jal@funkraum-pc:~$
```

Ich habe das mWatt-Meter AUS geschaltet und „lsusb“ aufgerufen. Anschließend das mWatt-Meter EIN geschaltet und noch einmal „lsusb“. Eine Zeile ist hinzu gekommen. Die Zeile mit dem „FT232 Serial (UART) IC“. Genau so sollte es sein.

Nach dem Start des PC-Programms „mWattLin4/mWattWin4“ wird die Hardware gesucht. An jede offene serielle Schnittstelle wird der Befehl „Versionsabfrage“ gesendet. Kommt die richtige Antwort, kommt von der PC-Software der Befehl zum öffnen der Schnittstelle im mWatt-Meter.



In der Statuszeile unten sehen wir die Suche.



Die Hardware wurde an der Schnittstelle „./dev/ttyUSB0“ gefunden, die Schnittstelle in der Firmware geöffnet und die Hardware beginnt sofort mit der Übertragung aller Daten.

Im mWatt-Meter erscheint nach dem öffnen der Schnittstelle mein „USB-Symbol“ Zeile 4, Mitte.

2.2 Start des PC-Programms unter Windows

Hier gilt das Gleiche wie unter Linux. Zuerst eine USB-Verbindung herstellen. Automatisch wird eine neue virtuelle „COM“ erzeugt. In den Einstellungen von Windows muss diese neue „COM“ sichtbar sein. Der Suchablauf ist der Gleiche wie unter Linux.

2.3 Erklärung der Menüpunkte

Ich beschreibe der Reihe nach alle Menüpunkte. Ich habe für alle Funktionen auch kleine Bild-Symbole unterhalb des Menüs programmiert. Damit ist die Bedienung des Programms etwas „flüssiger“.

2.3.1 Datei

Beenden

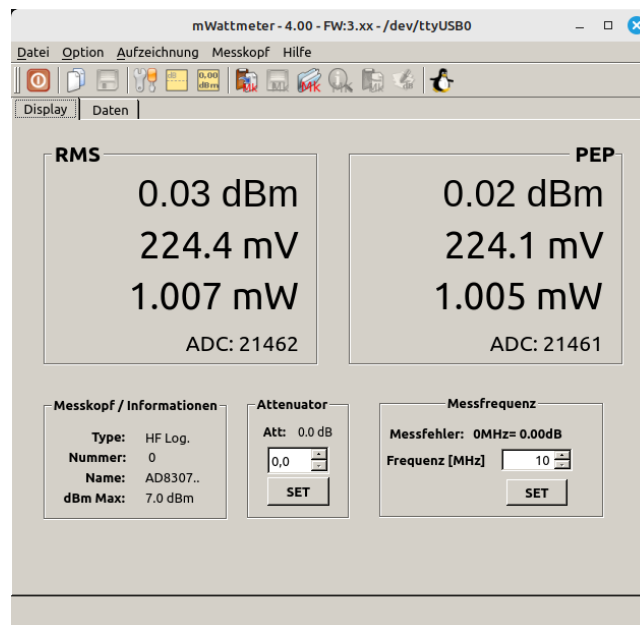
Das Programm wird beendet. Im mWatt-Meter verschwindet das USB-Symbol Zeile 4, Mitte.

2.3.2 Option

Die „Option“ hat 3 Funktionen zur Auswahl.

Setup

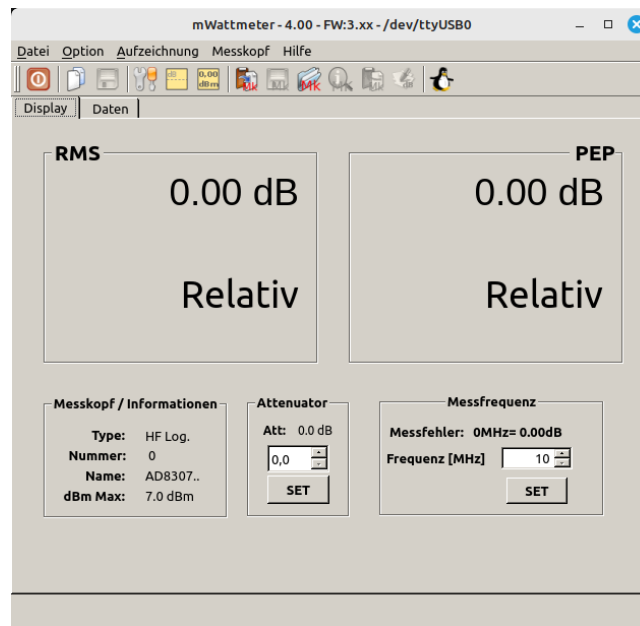
Das PC-Programm hat ein eigenes „Setup“. Es gibt nur eine Punkt, ob die Anzeige der ADC-Werte sichtbar wird oder nicht. Möchte man die ADC-Werte sehen, Haken setzen.



In der vierten Zeile von „RMS“ und „PEP“ ist der Wert des A/D-Wandlers jetzt sichtbar.

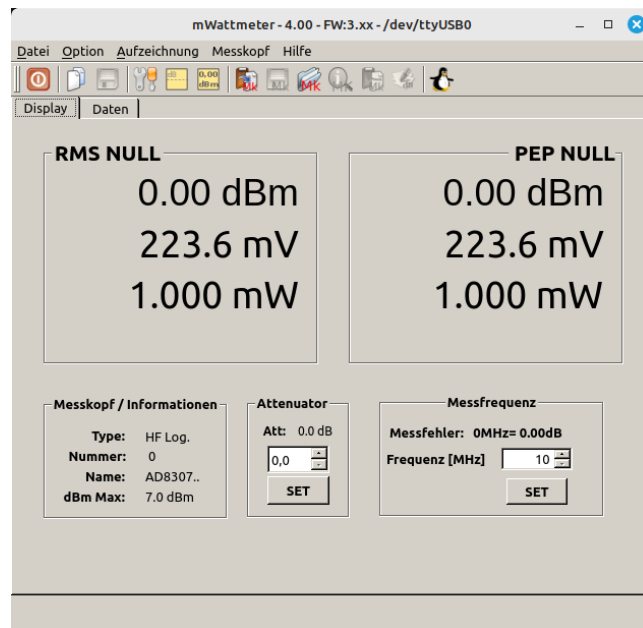
SET Relativ dB

Das ist die gleiche Funktion wie in Kapitel 1.3.2 auf Seite 8. Die Funktion wird EIN oder AUS geschaltet.



Messkopf auf 0,00 dBm kalibrieren

Auch hier die gleiche Funktion wie im Kapitel 1.3.7 auf Seite 9.



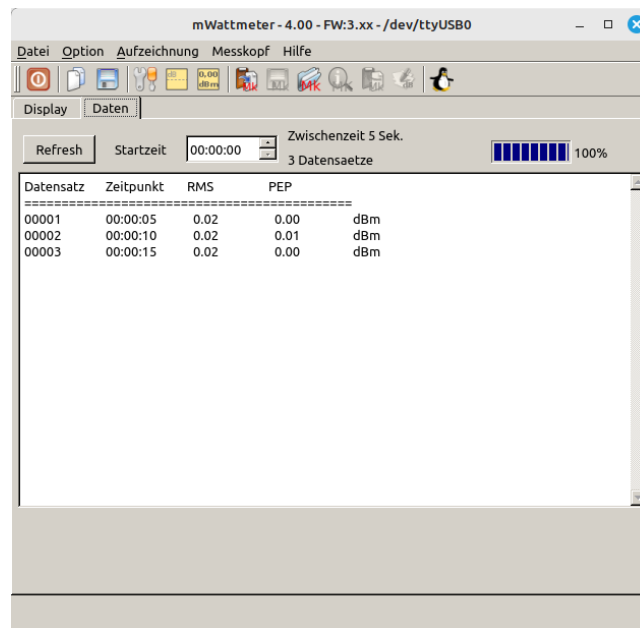
Hinter „RMS“ und „PEP“ steht jetzt „NULL“. Noch mal die Funktion aufrufen, löscht das Offset wieder.

2.3.3 Aufzeichnung

Befinden sich im externen Eeprom des mWatt-Meters Aufzeichnungsdaten, so kann man sie auslesen und in eine CSV-Datei speichern

Lesen

Die Datensätze werden vom externen Eeprom geholt und angezeigt.



Mit „Refresh“ und Eingabe einer Startzeit kann man die richtigen Mess-Zeitpunkte einstellen.

Speichern

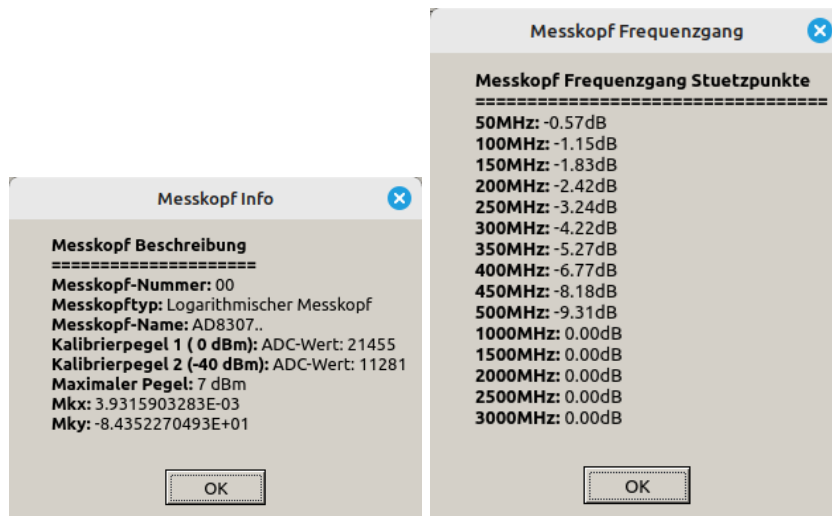
Alle Datensätze werden als CSV-Datei gespeichert und können somit in einem Kalkulationsprogramm weiter verarbeitet werden.

2.3.4 Messkopf

Mit diesem Menübereich „Messkopf“ kann ich die Messkopfdaten aller verschiedenen Messkopfplatinen auf meinem PC sichern und notfalls wieder zurück spielen. 6 Funktionen stehen zur Auswahl. Nicht alle sind am Anfang aktiv.

Messkopfdaten anfordern HW – > PC

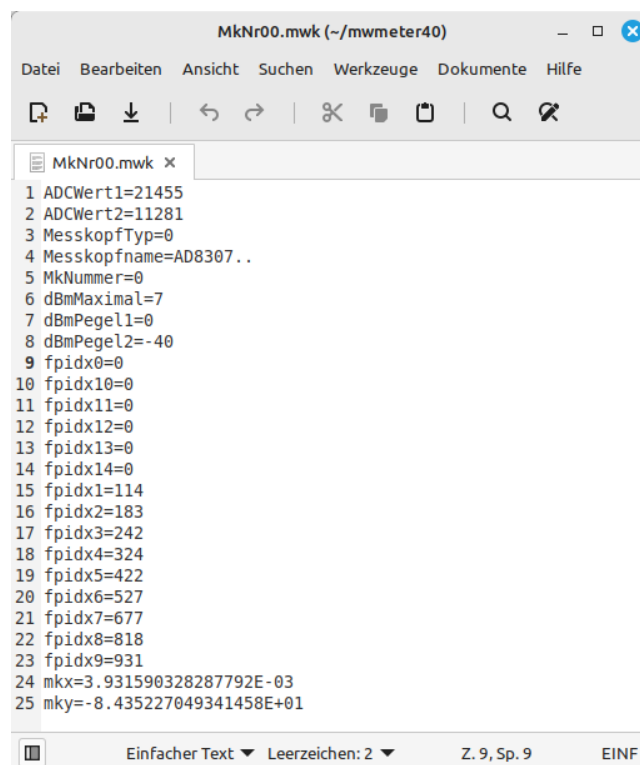
Die Messkopfdaten der gerade gesteckten Messkopfplatine werden zum PC übertragen.



Es erscheinen zwei Info-Fenster. Im ersten Fenster werden alle Kalibrier-Daten zum Messkopf aufgelistet. Im zweiten Fenster sehen wir die Frequenzpunkte mit dem Messverlusten des ICs.

Speichern Messkopfdaten

Die Messkopfdaten können anschließend in eine Datei abgespeichert werden. Die Daten sind lesbar.



In der Datei stehen alle wichtigen Informationen. Das ist eine Textdatei. ich habe den Inhalt zur Ansicht heraus kopiert.

Laden Messkopfdaten

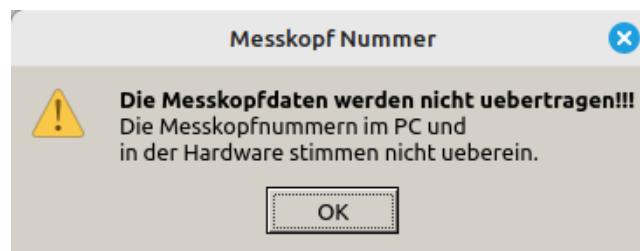
Die Datei mit den Messkopfdaten kann auch wieder ins Programm geladen werden.

Messkopfdaten anschauen

Man kann sie anschauen. Es kommen wieder 2 Info-Fenster wie weiter oben.

Messkopfdaten uebertragen PC – > HW

Sind die Messkopfdaten ins PC-Programm geladen, könne sie wieder ins mWatt-Meter zurück übertragen werden. Es wird kontrolliert, ob die Messkopf-Nummer der Datei und die Messkopf-Nummer des mWatt-Meters übereinstimmen. Nur dann ist es möglich die Messkopfdaten zurück zu spielen.



Sind die Messkopf-Nummern ungleich kommt dieses Fenster.

Messkopfdaten Frequenzgang editieren

Wollen wir die Einstellungen des Frequenzganges verändern, können wir das mit diesem Dialog tun.

Dialog

Messkopf Nummer: 0
Name AD8307..

50MHz	0,57	dB
100MHz	1,15	dB
150MHz	1,83	dB
200MHz	2,42	dB
250MHz	3,24	dB
300MHz	4,22	dB
350MHz	5,27	dB
400MHz	6,77	dB
450MHz	8,18	dB
500MHz	9,31	dB
1000MHz	0,00	dB
1500MHz	0,00	dB
2000MHz	0,00	dB
2500MHz	0,00	dB
3000MHz	0,00	dB

OK Cancel

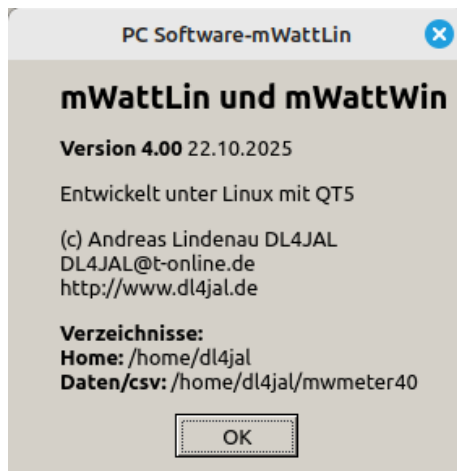
Mit „OK“ wird die Änderung übernommen.

2.3.5 Hilfe

Eine extra Hilfe ist nicht programmiert. Dahinter versteckt sich eine Info zum PC-Programm.

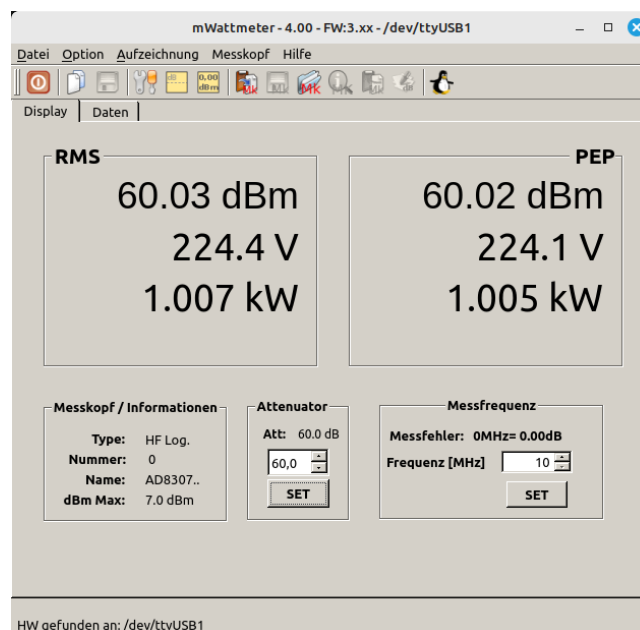
Programm Info

Folgendes Fenster erscheint, je nach Betriebssystem etwas unterschiedlich.



2.4 Attenuator extern

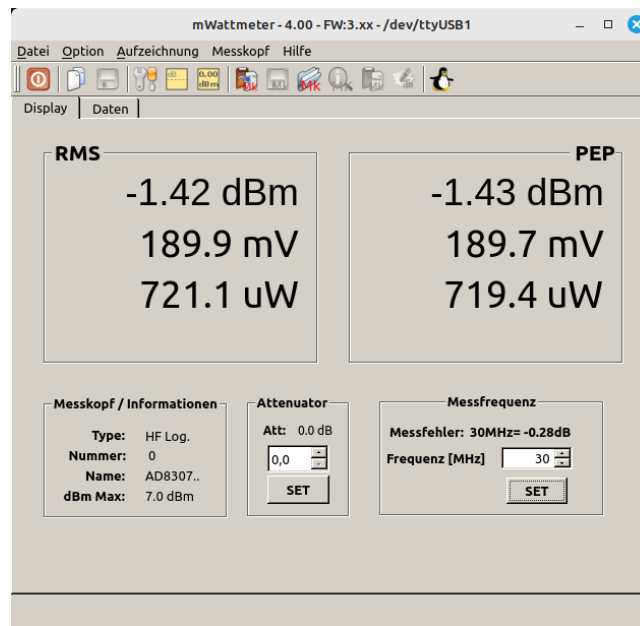
Wie direkt am Messgerät, kann ich auch in der PC-Software den Wert eines zusätzlichen Dämpfungsgliedes einstellen. In der Gruppe „Attenuator“ ist die „SpinBox“ für den Attenuator mit den Button „SET“ wird der Wert zum mWatt-Meter gesendet. Die Antwort vom mWatt-Meter steht dann über der „SpinBox“ und sollte den gleichen Betrag habe.



Ich habe spaßeshalber einmal 60 dB eingetragen. Die Anzeige wird entsprechend hoch gerechnet.

2.5 Messfrequenz

Als letztes kommt die Gruppe „Messfrequenz“. Erfolgte im Messkopf die Frequenzgangkorrektur mit den entsprechenden Frequenzstützpunkten kann hier die Messfrequenz eingetragen werden und mit „SET“ zum mWatt-Meter übertragen. Die Antwort vom mWatt-Meter steht auch wieder oberhalb der „Spin-Box“. Die Pegelanzeige wird entsprechend korrigiert.



Ich habe den Messsender auf 30 MHz eingestellt und möchte den genauen Pegel messen. Die Messfrequenz trage ich ein und man sieht, dass der AD8307 bei 30 MHz -0,28 dB Messpegelverlust hat. Dieser Messpegelverlust wird in die Pegelanzeige auf beiden Kanälen mit eingerechnet.

Schlusswort

Dieses Projekt darf nicht kommerziell vermarktet oder genutzt werden. Alle Rechte liegen bei DL4JAL (Andreas Lindenau). Ich wünsche viel Spaß beim Basteln.

vy 73 Andreas DL4JAL

✉ DL4JAL@t-online.de

Literaturverzeichnis

- [1] <http://www.analog.com>