

## 1 Brennen der Firmware

Das .hex-File (im Download) kann z.B. mit BASCOM oder AVR Studio (ATMEL Studio) über ISP gebrannt werden. Einzelheiten sind hier zu finden:

<http://dl6gl.de/avr-programmieren-mit-bascom-und-avr-studio.html>

Vor dem Brennen sind die Fuses einzustellen, am Beispiel AVR Studio:

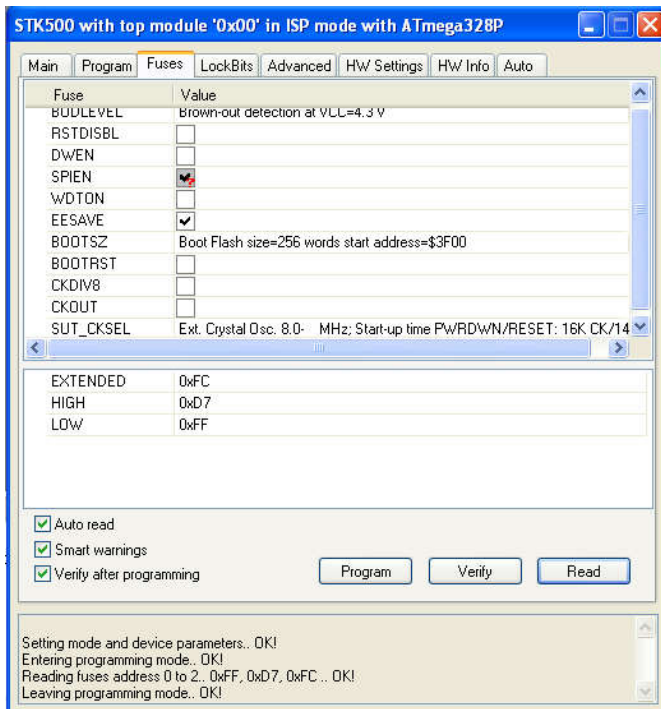


Abb. 1: Einstellung der Fuses (Ext: FC, Hi: D7, Lo: FF hex).

Beim Brennen der Firmware ist folgendes zu beachten:

- Mit dem erstmaligen Brennen eines jungfräulichen ATmega und nachfolgendem Programmstart wird das EEPROM mit einigen Daten initialisiert. Diese Daten werden dann im Setup angepasst bzw. ergänzt.  
Das EEPROM fabrikfrischer oder mit der Erase-Option gelöschter Controller ist mit dezimal 255=0xFF vorbesetzt. Wenn das Programm dies vorfindet, initialisiert es das EEPROM.
- Mit dem gesetzten (angehakten) Fuse-Bit **EESAVE** wird verhindert, dass das bereits beschriebene EEPROM beim Nachladen von Programm-Updates gelöscht wird, womit bereits im EEPROM gespeicherte Daten verloren gingen.
- Brennen mit **BASCOM**  
Hier sind keine weiteren Besonderheiten zu beachten.
- Brennen mit **AVR Studio** (ATMEL Studio)  
Den standardmäßig gesetzten Haken bei "Erase device before flash programming" wegnehmen (Abb. 2).

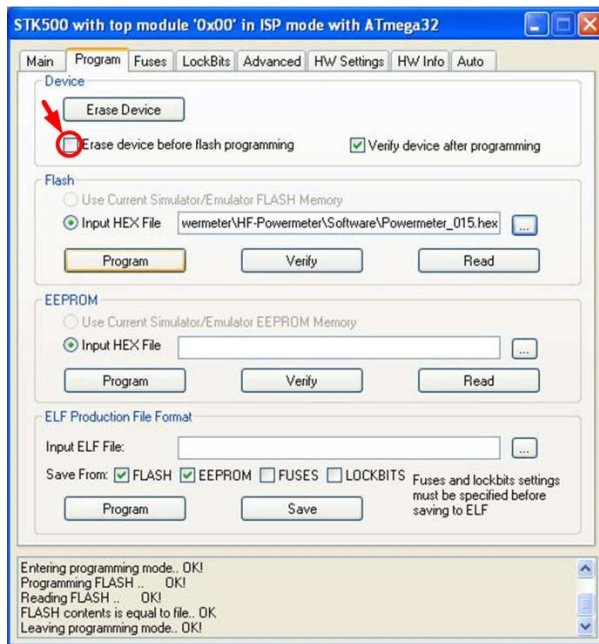


Abb. 2: Programm brennen mit AVR Studio.

## 2 Verwendbare SWR-/Power-Koppler

Das Gerät ist für bis zu vier verschiedene Koppler mit Hilfe der im EEPROM gespeicherten Daten konfigurierbar, etwa Tandem match-Koppler mit entsprechend der gewünschten Maximalleistung ausgelegten Ringkernen für den Kurzwellenbereich oder solche in Streifenleitertechnik für den UHF-/SHF-Bereich. Jeder Koppler ist mit zwei für den jeweiligen Frequenzbereich geeigneten logarithmischen Verstärkern, etwa AD8307 für HF und VHF, für den Transmissions- (Forward) und den Reflexionskanal (Reverse) ausgestattet.

Eine Kennung (Coupler selection) kann mit Hilfe zweier Drahtbrücken im Anschlussstecker des Zuleitungskabels zum Koppler hergestellt werden.

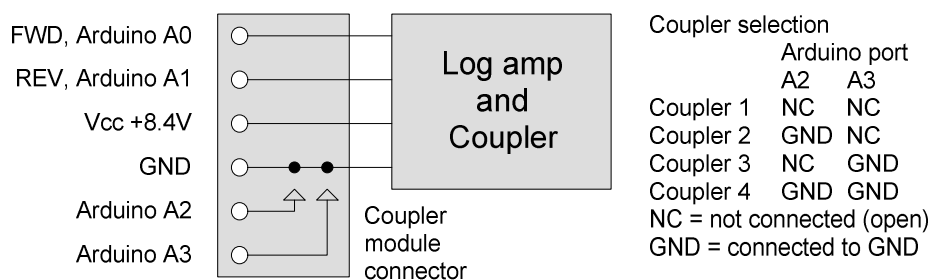


Abb. 3: Kopplerauswahl.

Es wäre eine gute Idee, Aufbau, Verdrahtung und Anschluss des Kopplers zunächst grob zu überprüfen:

- TX oder Messsender am TX-Eingang des Kopplers anschließen,
- Dummy Load an den Antennenausgang.
- Am ADC-Eingang A0 (Abb. 3) sollte die Forward-Spannung (FWD) deutlich größer als die Reverse-Spannung (REV) an A1 sein.

### 3 Tastatur

Es stehen drei Taster zur Verfügung, Funktionen für das **Setup**:

- Up: Werte erhöhen mit Einzelbetätigung (kurzer Druck) oder Auto-Repeat (langer Druck)
- Down: Werte erniedrigen mit Einzelbetätigung (kurzer Druck) oder Auto-Repeat (langer Druck).
- OK/Set: Kurzer Druck: Durchtakten des Setupmenüs ohne Datenänderung, Langer Druck: Abspeichern des aktuellen Wertes im EEPROM.
- Up+OK/Set: Einen Menüpunkt zurück.

Im **Messmodus** (Abschnitt 5) wechselt der Down-Taster jeweils zwischen der Anzeige von PEP- und Average Power.

Das Setup wird aktiviert, wenn

- der angeschlossene Koppler noch nicht kalibriert ist oder
- wenn während des Einschaltens die OK-Taste gedrückt wird, bis der Splash-Screen erscheint.

### 4 Programmstart

Nach Anzeigen des Splash-Screens mit Programmname und Version wird das EEPROM geprüft. Falls es noch keine Daten enthält, wird angezeigt

Zeile 1	Init EEPROM...
Zeile 2	... Init done

Anschließend muss das Setup durchgeführt werden.

Wenn das EEPROM initialisiert ist, werden die dem angeschlossenen Koppler zugehörigen Daten gelesen.

Zeile 1	Read EEPROM...
---------	----------------

Je nach Datenbestand wird angezeigt, z.B. für Koppler (Unit) 1:

Zeile 2	Unit1 calibrated
---------	------------------

Der angeschlossene Koppler ist kalibriert und bereit zur Messung, oder

Zeile 2	Unit1 not calib.
---------	------------------

Der angeschlossene Koppler ist nicht kalibriert. Das Setup muss durchgeführt werden.

Zum Setup siehe Abschnitt 6.

Wenn der Koppler als kalibriert erkannt wurde, ist das Gerät betriebsbereit.

### 5 SWR-/Powermessung

Für den angeschlossenen Koppler (s. Abb. 3) wird aus den ADC-Messungen für den Transmissionskanal (Forward, FWD) und den Reflexionskanal (Reverse, REV) anhand der im EEPROM gespeicherten Kalibrierungsgeraden der ausgekoppelte, von den Log Amps gemessene Signalpegel in dBm berechnet. Die tatsächliche in den Koppler eingespeiste TX- und die reflektierte Leistung (dBm) ergibt sich durch Addition des Kopplungsfaktors des Kopplers und der Dämpfung des Abschwächers vor den Log Amps. Angezeigt werden Leistungen in Watt.

Die beiden ADC (0 und 1) für FWD und REV messen drei Größen:

1. Die maximale FWD-Amplitude innerhalb einer festgelegten Sample & Hold-Zeit zur Ermittlung der Peak envelope Power (PEP).
2. Den Mittelwert der FWD-Amplitude über n Einzelmessungen, die Anzahl n der Einzelmessungen wird im Setup festgelegt.
3. Den Mittelwert der REV-Amplitude über n Einzelmessungen.

Mit Betätigen der Down-Taste kann zwischen der Anzeige der gemittelten Leistung (avg. Power) oder der Spitzenleistung (PEP) aus dem FWD-Kanal gewechselt werden. In Stellung avg. Power leuchtet LED D2 (Avg. Power, s. Schaltbild). Für den REV-Kanal wird immer die reflektierte gemittelte Leistung angezeigt.

Das SWR wird aus den gemittelten Leistungen berechnet.

Zeile 1	F 10.2 R 0.00W
Zeile 2	SWR 1.23

F = FWD-Leistung (W), wahlweise PEP oder avg. Power  
 R = REV-Leistung (W), avg. Power

Die SWR-Balkenanzeige in Zeile 2 hat bei SWR=3 Vollausschlag. Die Ziffernanzeige geht bis 9.99.

Bei SWR > 3 leuchtet LED SWR>3 (s. Schaltbild).

Mit V3.01 eingeführt: Die in Setup #8 festgelegte untere Messgrenze wird zur Erkennung verwendet, ob der TX an ist oder nicht. Wenn das FWD-Signal die untere Messgrenze unterschreitet, werden angezeigt:

Zeile 1	F 0.0 R 0.00W
Zeile 2	TX is off

Folgende Fehlerzustände werden statt der Zahlenwerte angezeigt:

Zeile 1	F >>>> R 0.00W
---------	----------------

FWD-Leistung größer als obere Messgrenze.

Zeile 1	F Ovfl R 0.00W
---------	----------------

ADC overflow im FWD-Kanal (Eingangsspannung > Referenzspannung).

Zeile 1	F 10.2 R <<<<W
---------	----------------

REV-Leistung kleiner als untere Messgrenze.

Zeile 1	F 10.2 R >>>>W
---------	----------------

REV-Leistung größer als obere Messgrenze.

Zeile 1	F 10.2 R Ovfl
---------	---------------

ADC overflow im REV-Kanal (Eingangsspannung > Referenzspannung).

Eine SWR-Anzeige in Zeile 2 unterbleibt in diesen Fällen.

## 5.1 Messprinzip

Bevor es an die Festlegung der Größen im Setup und an die Kalibrierung geht, eigentlich ganz an den Anfang mit der Auslegung der Ringkerne und der Abschwächer mit dem Excel-Sheet, sei hier zunächst das Messprinzip mit den relevanten Messgrößen erklärt.

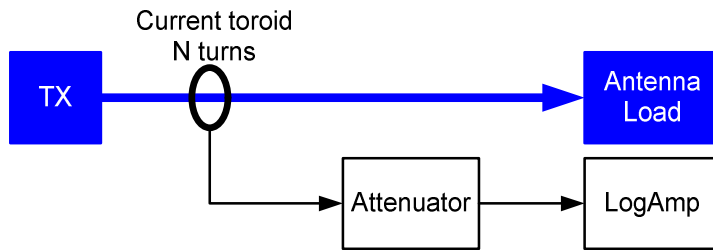


Abb. 4: Messprinzip der Powermessung mit Stromkoppler.

- Der Stromkoppler koppelt einen Bruchteil der TX-Leistung aus, Kopplungsfaktor (negativ):  
 $Cp - Fac = 20 * LOG_{10}(1/N) [dB]$  mit  $N = \text{Windungszahl}$
- Die TX-Leistung in dBm ist  
 $P(dBm) = 10 * LOG_{10}[1000 * P(W)]$
- Am Eingang des LogAmp stehen also an:  
 $LogAmp-Input (dBm) = P(dBm) + Cp-Fac (dB) - Attenuator (dB)$ .

## 5.2 Kalibrierung und Kopplungsparameter

Der verwendete LogAmp AD8307 hat eine lineare Kennlinie von ca. -60 bis +10dBm Eingangsleistung. Die Kalibrierung sollte an oder nahe bei diesen weit auseinander liegenden Punkten erfolgen, um die Kalibrierungsgerade möglichst genau festzulegen.

Unabhängig von der Kalibrierung, z.B. an den -60 und +10dBm-Kennlinienpunkten, können im Setup - auch nachträglich - zwei zusätzliche Grenzwerte festgelegt werden, bis zu denen die Kalibrierungsgerade extrapoliert wird. Diese bestimmen den nutzbaren Messbereich. Wird z.B. der obere Grenzwert auf +13dBm gelegt, hier ist die Kennlinie immer noch linear, verdoppelt sich die messbare TX-Leistung.

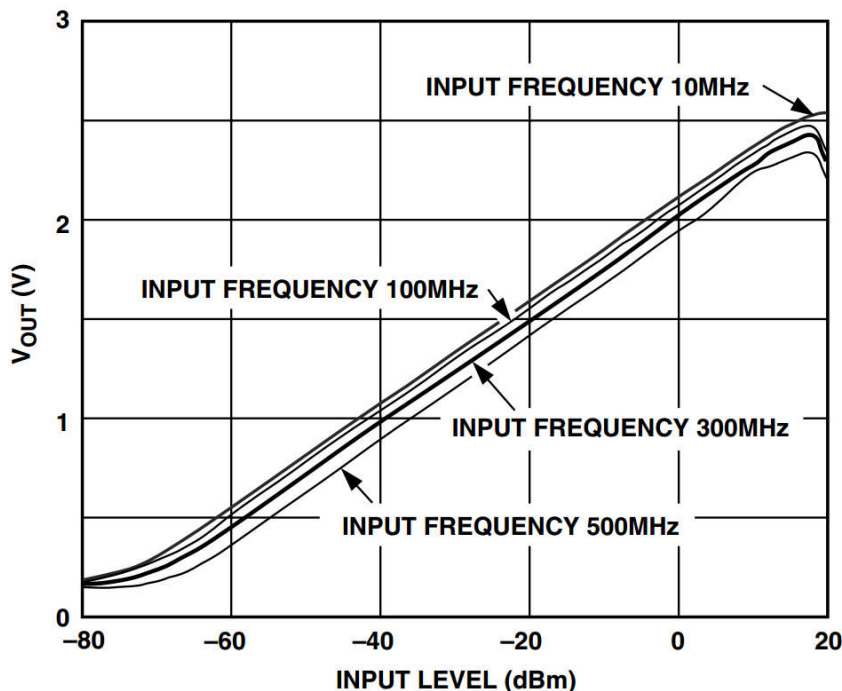


Abb. 5: AD8307 Kennlinien.

Vorab ist also zu überlegen,

- welche TX-Maximalleistung der Koppler zu messen hat,
- wie groß der Kopplungsfaktor des Stromkopplers und der Abschwächer sein müssen, um die +10dBm am LogAmp nicht zu überschreiten,
- welche TX-Leistungen einzustellen sind, um die beiden Kalibrierungseckwerte zu treffen.

Dazu ist das Excel-Sheet im Download gedacht.

Obiger Punkt c) ist nicht so ohne Weiteres mit einem TX zu bewerkstelligen. Für den oberen +10dBm Kalibrierungspunkt sind Kopplungsfaktor und Abschwächer so zu wählen, dass dieser mit der verfügbaren TX-Leistung erreicht werden kann. Der -60dBm-Kalibrierungspunkt ist nur mit einem zusätzlichen Leistungsabschwächer bei minimaler TX-Leistung einstellbar, besser, falls vorhanden, mit einem kalibrierten Signalgenerator. Beispielrechnung für einen üblichen 100W-TX:

**Sample calculation for standard TX power 100W**

Max power (PEP)	100 W	50,00 dBm
System impedance	50 Ω	
LogAmp max input level for calibration	10 dBm	
LogAmp extrapolated input level	13 dBm	

LogAmp input level [dBm] = TX power [dBm] + toroid coupling factor [dB] - attenuator [dB]

Toroid turns	25	26	27	28	29	30
Coupling factor [dB]	-27,96	-28,30	-28,63	-28,94	-29,25	-29,54
Attenuator input [dBm]	22,04	21,70	21,37	21,06	20,75	20,46
Attenuator [dB]	12,00	11,50	11,00	11,00	10,50	10,00
LogAmp input [dBm]	10,04	10,20	10,37	10,06	10,25	10,46
TX power [dBm] for 10dBm LogAmp input	49,96	49,80	49,63	49,94	49,75	49,54
TX power [W] for 10dBm LogAmp input	99,06	95,49	91,78	98,70	94,36	90,00
TX power [dBm] for 13dBm LogAmp input	52,96	52,80	52,63	52,94	52,75	52,54
TX power [W] for 13dBm LogAmp input	197,64	190,52	183,12	196,93	188,28	179,57

Die Abschwächer wurden bei vorgegebenem Kopplungsfaktor so gewählt, dass der 10dBm-Eckpunkt noch sicher mit 100W TX-Leistung kalibrierbar ist. Mit Extrapolation der Kalibrierungsgeraden auf 13dBm ist noch die doppelte Leistung messbar.

## 6 Setup

Das Programm geht in den Setup-Mode, wenn beim Einschalten des Gerätes der OK-Taster bis zum Erscheinen des Splash-Screens gedrückt wird oder wenn der Koppler noch nicht kalibriert ist. Im Setup werden die für die Messungen erforderlichen Daten erfasst und im EEPROM abgelegt. Mit dem erstmaligen Brennen eines jungfräulichen Controllers werden Daten im EEPROM vorbesetzt. Wird ein bereits benutzter Controller verwendet, sollte vor dem erstmaligen Brennen das EEPROM gelöscht werden, nachdem etwa mit Atmel Studio wie in Abb. 1 gezeigt, das Fusebit EESAVE ohne Haken gesetzt wurde. Nach dem Brennen EESAVE mit Haken wieder zurücksetzen.

Setup-Daten beispielhaft für 100W TX-Leistung, 28 Ringkernwindungen (positiver Kopplungsfaktor 28,9dB) und 11dB Abschwächer.

### 6.1 Setup 1 bis 10

Entsprechend der Jumperstellung (Abb. 3) wird der Datenblock für den aktuell eingesetzten Koppler ("Unit") ausgewählt. Die ersten beiden Setup-Schritte gelten für alle Koppler.

1. **Setup 1 von 10: LCD Hintergrundbeleuchtung**

Um das Gerät auch portabel mit Batterieversorgung betreiben zu können, lässt sich der Hauptverbraucher, die LCD-Hintergrundbeleuchtung, dimmen. Dies erfolgt mit Pulsbreitenmodulation (PWM) über den MOSFET T1 (s. Schaltbild).

Zeile 1	Setup 1/10		
Zeile 2	LCD PWM 100	Minimalwert	0
		Maximalwert	240
		Schrittweite Up	10
		Schrittweite Down	10

Die Hintergrundhelligkeit wird unmittelbar mit Betätigung der Up- bzw. Down-Taster eingestellt.

Langer Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

2. **Setup 2 von 10: Anzahl ADC-Messungen für Mittelwerte**

Zeile 1	Setup 2/10		
Zeile 2	ADC Rep 20	Minimalwert	1
		Maximalwert	50
		Schrittweite Up	10
		Schrittweite Down	1

Langer Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

3. **Setup 3 von 10: Kopplungsfaktor**

Zeile 1	Setup 3/10 Unit1		
Zeile 2	Cp-Fac 28.9dB	Minimalwert	10,0
		Maximalwert	40,0
		Schrittweite Up	1,0
		Schrittweite Down	0,1

Der Kopplungsfaktor ist der Faktor, um den die Eingangsleistung für die Messung abgezweigt wird. Bei Ringkernen für den HF-Bereich ist er zu berechnen aus

$$Cp - Fac = 20 * LOG_{10}(1/N) [dB] \text{ mit } N = \text{Windungszahl}$$

Wahlweise ist er durch Messung zu bestimmen.

Der einzugebende Wert ist positiv!

Langer Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

4. **Setup 4 von 10: Abschwächer vor dem Log Amplifier**

Der Pi-Abschwächer zwischen Koppler und Log Amplifier reduziert das ausgekoppelte HF-Signal auf einen für den Log Amp verträglichen Pegel.

Zeile 1	Setup 4/10 Unit1		
Zeile 2	Amp Att 11.0dB	Minimalwert	0,0
		Maximalwert	40,0
		Schrittweite Up	1,0
		Schrittweite Down	0,1

**5. Setup 5 von 10: Kalibrierungsfrequenz (nur zur Information)**

Zeile 1	Setup 5/10 Unit1		
Zeile 2	Freq 10MHz	Minimalwert	1
		Maximalwert	3.000
		Schrittweite Up	10
		Schrittweite Down	1

Langer Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

**6. Setup 6 von 10: Unterer Log Amp Kalibrierungspunkt**

Zeile 1	Setup 6/10 Unit1		
Zeile 2	CalLo -60.0dBm	Minimalwert	-80,0
		Maximalwert	-30,0
		Schrittweite Up	1,0
		Schrittweite Down	0,1

Die Kalibrierung unterstellt, dass der Koppler einschl. Log Amp im vorgesehenen Messbereich die HF-Leistung logarithmisch linear in die Messspannung konvertiert. Beim AD8307 ist diese Bedingung zwischen -60 und +10dBm gut erfüllt. Hier wie im nächsten Punkt sind die Pegel am Eingang der Log Amp's gemeint, nicht die TX-Pegel am Kopplereingang.

Beide Werte können beliebig an den Enden der linearen Kennlinie gewählt werden. Dabei ist es zweckmäßig, vorher mit dem TX, ggf. einem Messsender, und den zur Verfügung stehenden Abschwächern zu prüfen, welche Werte am oberen bzw. unteren Ende einstellbar sind. Mit Signalpegel (dBm) abzgl. Kopplungsfaktor (dB) abzgl. Abschwächerdämpfung (dB) erhält man die Werte für Setup 6 und 7.

Langer Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

**7. Setup 7 von 10: Oberer Log Amp Kalibrierungspunkt**

Zeile 1	Setup 7/10 Unit1		
Zeile 2	CalHi 10.0dBm	Minimalwert	-20,0
		Maximalwert	30,0
		Schrittweite Up	1,0
		Schrittweite Down	0,1

Aus dem unteren und oberen Kalibrierungspunkt wird eine Kalibrierungsgerade berechnet, mit der aus der vom ADC gemessenen Spannung auf die vom Koppler gelieferte Leistung geschlossen wird. Über der Kopplungsfaktor und den Log Amp-Abschwächer schließlich auf die tatsächliche TX-Leistung.

Die Spanne zwischen Minimal- und Maximalwert sollte möglichst groß sein, um die Kalibrierungsgerade ausreichend genau zu definieren. Abhängig von den eingesetzten Log Amps kann mit R11 an IC1 (LM336 2.5V, s. Schaltbild) die Referenzspannung des ADC der maximalen Ausgangsspannung der Log Amps in Grenzen angepasst werden. Beim AD8307 ist das ca. 2,5V. Vorabüberlegungen sind mit dem Excel-Sheet im Download möglich.

Langer Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

**8. Setup 8 von 10: Untere Log Amp Messgrenze**

Unterer Grenzwert des Eingangspegels am Log Amp, bis zu dem eine Power- bzw. SWR-Anzeige erfolgt. Die o.g. Kalibrierungsgerade wird bis hierher extrapoliert.

Ein FWD-Pegel kleiner als die untere Messgrenze wird als "TX off" interpretiert. Dabei ist zu beachten, dass die hohe Empfindlichkeit des FWD-Log-Amps auch den Restträger bei eingeschaltetem TX, jedoch ohne Sprachmodulation, u.U. noch detektieren kann.



Wird die untere Messgrenze auf einen Wert innerhalb des Kalibrierungsbereichs (Setup 6, 7) gesetzt, was bei einer schlechten Trägerunterdrückung zur TX off-Erkennung ggf. erforderlich sein kann, wird die untere Messgrenze im REV-Kanal auf den unteren Kalibrierungspunkt (Setup 6) gesetzt.

Zeile 1	Setup 8/10 Unit1		
Zeile 2	LimLo -63.0dBm	Minimalwert	-80,0
		Maximalwert	-20,0
		Schrittweite Up	1,0
		Schrittweite Down	0,1

Langer Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

### 9. Setup 9 von 10: Obere Log Amp Messgrenze

Oberer Grenzwert des Eingangspiegels am Log Amp, bis zu dem eine Power- bzw. SWR-Anzeige erfolgt. Die o.g. Kalibrierungsgerade wird bis hierher extrapoliert.

Zeile 1	Setup 9/10 Unit1		
Zeile 2	LimHi 13.0dBm	Minimalwert	-10,0
		Maximalwert	30,0
		Schrittweite Up	1,0
		Schrittweite Down	0,1

Langer Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

### 10. Setup 10 von 10: PEP sample & hold-Zeit

Zeile 1	Setup10/10 Unit1		
Zeile 2	PEP hold 2.0sec	Minimalwert	0,1
		Maximalwert	9,9
		Schrittweite Up	1
		Schrittweite Down	0,1

Bei der Messung der Peak envelope Power (PEP) wird über diese Zeit das Signal nach der maximalen Amplitude mit dem ADC abgetastet. Mit den Einstellungen des Controllers:

Controller-Takt                      16MHz  
 ADC-Teiler                            128, damit ADC-Takt 125kHz  
 13 ADC-Takte für eine Messung    ADC Sample rate 9,6kHz

sollte das nach Nyquist ausreichen, das modulierte Sprachspektrum nach Spitzen abzutasten.

Langer Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

## 6.2 Kalibrierung

Die Kalibrierung muss für jeden zu verwendenden Koppler getrennt vorgenommen werden, nachfolgend für den Koppler (Unit) 1. Die Kalibrierung erfolgt mit einem CW-Signal mit der in Ziffer 5 festgelegten Frequenz. Die ADC-Werte werden über die in Ziffer 2 festgelegten Anzahl Einzelmessungen gemittelt. 50 Einzelmessungen wären hier angebracht.

Eine Kalibrierung mit einem Signalgenerator ohne Koppler ist in Abschnitt 8 beschrieben.

Das Durchtakten des vorherigen Teils zur Kontrolle der Daten ist schnell erledigt. Um zu vermeiden, dass anschließend die Kalibrierung für einen bereits kalibrierten Koppler irrtümlich überschrieben wird, erfolgt in diesem Falle, und nur dann, eine Abfrage.

Zeile 1	Replace calib.?
Zeile 2	Y (OKlong), N (Up)

Nur wenn der **OK-Taster** lange gedrückt wurde, wird die nachfolgend beschriebene Kalibrierung durchgeführt.

Mit dem **Up-Taster** wird das Setup beendet, s.u. Ziffer 15.

Wurden die Kalibrierungseckpunkte (obige Ziffern 6 und/oder 7) oder die ADC-Referenzspannung mit dem LM336 (s. Schaltbild) verändert, ist eine erneute Kalibrierung erforderlich.

### 11. Koppler-Kalibrierung Forward, untere Grenze

In den folgenden vier Schritten wird der Koppler einschl. Log Amp an den oben festgelegten unteren und oberen Kalibrierungspunkten für den Forward- und den Reverse-Kanal kalibriert.

Zeile 1	Cal Unit1 FWD Lo
Zeile 2	Ant out 50Ω ->OK

Antennenausgang "Ant out" des Kopplers mit 50Ω (Dummy Load) abschließen, TRX-Ausgang an "TX in" des Kopplers.

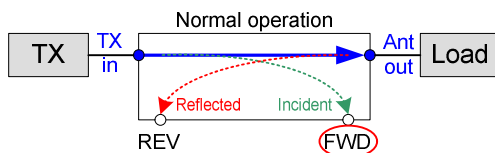


Abb. 6: Koppler "vorwärts" betrieben. Das im FWD-Kanal ausgekoppelte Signal wird gemessen. "Incident" = "FWD".

Nach OK geht es weiter

Zeile 1	Cal Unit1 FWD Lo
Zeile 2	-20.1dBm XXXX

-20,1dBm ist die am Koppler einzuspeisende Leistung (~9,8µW !), um mit dem im **Setup 3** festgelegten Kopplungsfaktor (hier 28,9dB) und der im **Setup 4** festgelegten Dämpfung des Abschwächers vor dem Log Amp (hier 11dB) den im **Setup 6** festgelegten Kalibrierungspunkt des Log Amp (hier -60dBm) zu treffen.

"XXXX" ist der vom ADC des Forward-Kanals gemessene Wert für diesen Leistungspegel. Er sollte zwischen 200 und 300 beim unteren Kalibrierungspunkt liegen.

**Langer** Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

**Kurzer** Druck auf "OK": Wert wird **nicht** abgespeichert.

Umrechnungsfaktoren:

$$P(dBm) = 10 * LOG_{10}[P(mW)] = 10 * LOG_{10}[1000 * P(W)]$$

$$P(W) = 10^{\frac{P(dBm)}{10}} / 1000 \quad P(mW) = 10^{\frac{P(dBm)}{10}}$$

### 12. Koppler-Kalibrierung Reverse, untere Grenze

Zeile 1	Cal Unit1 REV Lo
Zeile 2	TRX in 50Ω ->OK

Dummy Load und TRX tauschen ihre Plätze:

50Ω (Dummy Load) an Eingang "TX in" des Kopplers,

TRX-Ausgang an den Antennenausgang "Ant out" des Kopplers.

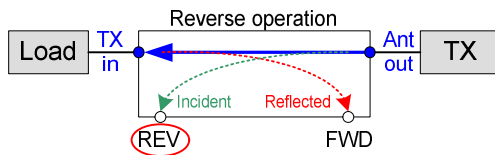


Abb. 7: Koppler "rückwärts" betrieben. Das im REV-Kanal ausgekoppelte Signal wird gemessen. "Incident" = "REV".

Nach OK geht es weiter.

Zeile 1	Cal Unit1 REV Lo
Zeile 2	-20.1dBm XXXX

Die eingespeiste Sendeleistung bleibt unverändert.

"XXXX" ist der vom ADC des Reverse-Kanals gemessene Wert für diesen Leistungspegel.

**Langer** Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

**Kurzer** Druck auf "OK": Wert wird **nicht** abgespeichert.

### 13. Koppler-Kalibrierung Forward, obere Grenze

Zeile 1	Cal Unit1 FWD Hi
Zeile 2	Ant out 50Ω ->OK

Dummy Load und TRX tauschen wieder ihre Plätze (wie Abb. 6):

Antennenausgang "Ant out" des Kopplers mit 50Ω (Dummy Load) abschließen;

TRX-Ausgang an "TX in" des Kopplers.

Nach OK geht es weiter

Zeile 1	Cal Unit1 FWD Hi
Zeile 2	49.9dBm XXXX

49,9dBm ist die am Koppler einzuspeisende Leistung (~98,7W), um mit dem im **Setup 3** festgelegten Kopplungsfaktor (hier 28,9dB) und der im **Setup 4** festgelegten Dämpfung des Abschwächers vor dem Log Amp (hier 11dB) den im **Setup 7** festgelegten Kalibrierungspunkt des Log Amp (hier +10dBm) zu treffen.

"XXXX" ist der vom ADC des Forward-Kanals gemessene Wert für diesen Leistungspegel. Er sollte zwischen 800 und 1.000 beim oberen Kalibrierungspunkt für eine bestmögliche ADC-Auflösung liegen, aber kleiner als 1023, dem höchstmöglichen Wert des 10Bit-ADC.

**Langer** Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

**Kurzer** Druck auf "OK": Wert wird **nicht** abgespeichert.

### 14. Koppler-Kalibrierung Reverse, obere Grenze

Zeile 1	Cal Unit1 REV Hi
Zeile 2	TRX in 50Ω ->OK

Dummy Load und TRX tauschen wieder ihre Plätze (wie Abb. 7):

50Ω (Dummy Load) an Eingang "TX in" des Kopplers,

TRX-Ausgang an den Antennenausgang "Ant out" des Kopplers.

Nach OK geht es weiter.

Zeile 1	Cal Unit1 REV Hi
Zeile 2	49.9dBm XXXX

Die eingespeiste Sendeleistung bleibt unverändert.

"XXXX" ist der vom ADC des Reverse-Kanals gemessene Wert für diesen Leistungspegel.

**Langer** Druck auf "OK": Wert wird abgespeichert, quittiert mit "S" in Zeile 2 rechts.

**Kurzer** Druck auf "OK": Wert wird **nicht** abgespeichert.

Mit dem oben angesprochenen Excel-Sheet können die Kalibrierungsgeraden visualisiert werden.

## 15. Ende des Setup

Zeile 1	Setup finished
---------	----------------

Abschließend wird geprüft, ob alle Daten des Kopplers im EEPROM gesetzt sind, d.h. ungleich 0 bzw.  $\geq 0$  sind.

Wenn ja, zeigt Zeile 2

Zeile 2	Unit 1 complete
---------	-----------------

Wenn nein

Zeile 2	* Data missing *
---------	------------------

## 16. Nagelprobe

Steht ein NF-Zweitongenerator zur Verfügung, diesen an den Mic-Eingang des TRX anschließen. Messmodus PEP. Balance beider Einzeltonamplituden prüfen.

- Modulation mit nur einem Ton:  
Das Powermeter zeigt einen bestimmten Wert bei "F" (Forward) an, etwa 1W.
- Modulation mit beiden Tönen:  
Die Schwebung aus den beiden Tönen hat nun die doppelte Amplitude. Somit wird statt 1W (Einton) nun ca. 4W (Zweiton), also die vierfache Leistung angezeigt. Die Leistung ergibt sich ja aus dem Quadrat der Spannungsamplituden. Im PEP-Modus tastet der ADC den Scheitelwert der modulierten HF-Spannung ab.  
Ganz genau wird der Faktor 4 wegen der begrenzten ADC-Auflösung nicht herauskommen. Ein ADC-Bit mehr oder weniger lässt bei der Umrechnung von dBm in Watt wegen der Zehnerpotenz das Ergebnis eventuell etwas daneben liegen.

## 7 Optimierung der Richtschärfe

Mit dem C-Trimmer im Koppler (s. Schaltbild) lassen sich die Richtschärfe und somit der kleinste messbare SWR-Wert optimieren, falls er eingebaut ist. Damit lässt sich die Richtschärfe zwar nicht messen, aber immerhin auf den besten Wert am oberen Frequenzende einstellen.

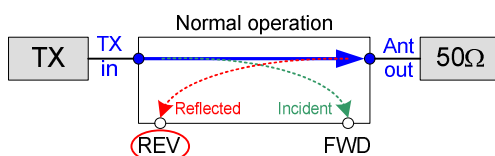


Abb. 6: Koppler "vorwärts" betrieben.

Abschluss am Antennenausgang mit einem guten (!) 50Ω-Terminator.

TX-Eingang z.B. 30...50MHz, ca. 20dBm (100mW).

- Setup in Position 12 oder 14 (Messung des REV-Kanals).
- Mit dem Trimmer auf minimale ADC-Anzeige einstellen.
- Mit dem OK-Taster, jeweils kurz betätigt, d.h. ohne abzuspeichern, das Setup verlassen.

Alternativ lässt sich auch die vom REV-Log Amp gelieferte Spannung am Port A1 des Arduino mit einem Digitalvoltmeter messen.

## 8 Alternative Kalibrierungsmethode

Wer über einen (kalibrierten) Signalgenerator und gute Abschwächer verfügt, kann das LogAmp-Modul auch direkt, also ohne Koppler kalibrieren. Dabei wird stillschweigend vorausgesetzt, dass dessen Kopplungsfaktor, berechnet aus der Windungszahl, tatsächlich über den gewünschten Frequenzbereich stimmt. Weiterhin, dass der Koppler tatsächlich symmetrisch bzgl. FWD (Incident) und REV (Reflected) ist. Beides kann bei sorgfältigem Aufbau angenommen werden.

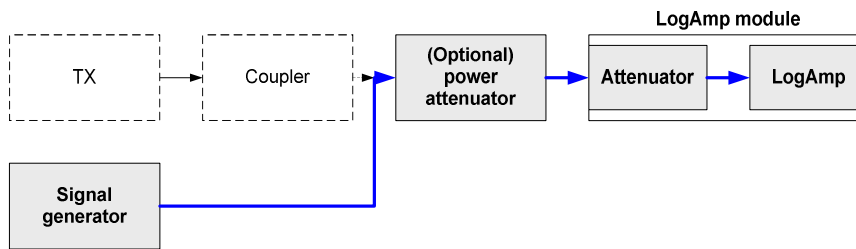


Abb. 8: Kalibrierung mit einem Signalgenerator.

1. Berechnung der Ausgangsleistung des Signalgenerators (dBm) aus den Kalibrierungspegeln des LogAmp, etwa -60 und +10dBm, zuzüglich Abschwächerwerte, siehe auch Excel-Sheet "Calibration2" in " SWR coupler & Log amp\_Rev4.xlsx.
2. Kalibrierung mit dem Low-Level, obige Ziffern 11 und 12, unmittelbar hintereinander. Das lästige Umdrehen des Kopplers entfällt also.
3. Kalibrierung mit dem High-Level, obige Ziffern 13 und 14, unmittelbar hintereinander. Das lästige Umdrehen des Kopplers entfällt auch hier.