

1 Brennen der Firmware

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

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

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

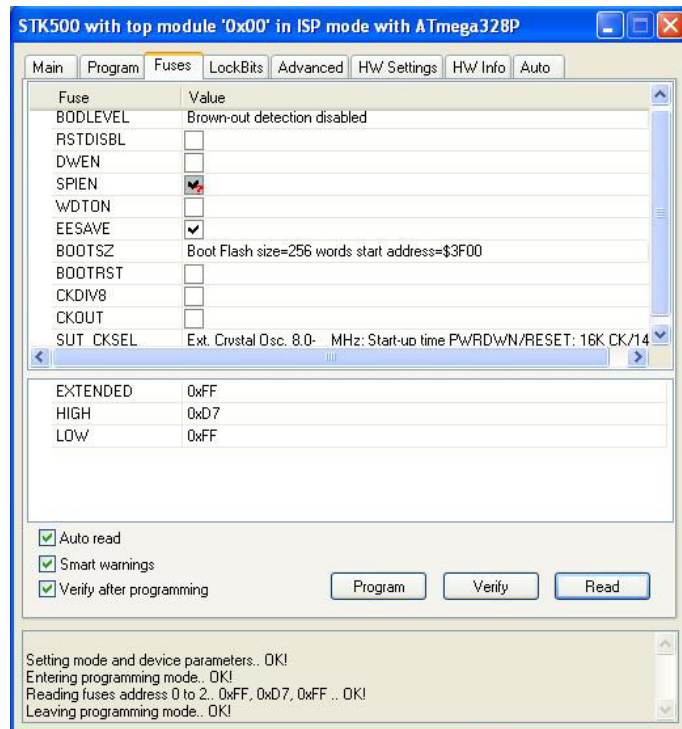


Abb. 1: Einstellung der Fuses (Ext: 0xFF, Hi: 0xD7, Lo: 0xFF).

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.
- Wird ein bereits benutzter Arduino NANO mit beschriebenem EEPROM eingesetzt, sollte auf alle Fälle beim ersten Brennen auch das EEPROM mit einem nicht gesetztem EESAVE-Bit gelöscht werden.
- 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).

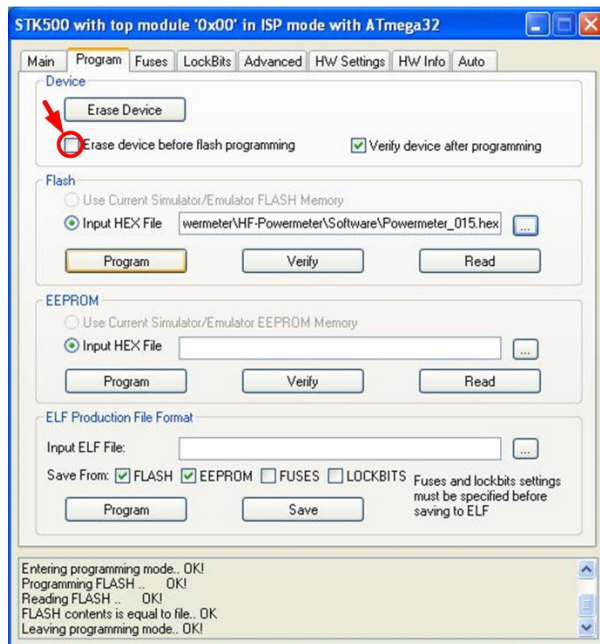


Abb. 2: Programm brennen mit AVR Studio.

2 Initialisierungen beim 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

Im EEPROM werden initialisiert:

1. Anzahl der ADC-Konversionen für die Spannungsmessung = 1.
2. Interne ADC-Referenzspannung = 2048mV.
Diese ist laut Datenblatt mit einer Abweichung von $\pm 0,05\%$ genau.
3. Offset im 2mV-Messbereich vorab = 0.

Die Daten können im Setup ggf. angepasst werden.

Als nächstes wird überprüft, ob der ADC über I²C ansprechbar ist.

Zeile 1	Check ADC-I2C...
---------	------------------

Wenn nein:

Zeile 2	... is not ready
---------	------------------

In diesem Falle läuft das Programm auf STOP. Wenn kein Hardwarefehler vorliegt, hilft ein erneutes Einschalten des Gerätes.

Wenn ja:

Zeile 2	... is ready
---------	--------------

Anschließend werden die Verstärkung 1 und die Auflösung 18Bit eingestellt:

Zeile 2	Gain 1 / 18 bit
---------	-----------------

Bei Fehlfunktion wird stattdessen angezeigt:

Zeile 2	Err Set ADC Gain
---------	------------------

3 Tastatur und Betriebsarten

Es stehen vier Taster zur Verfügung, die je nach Betriebsart z.T. verschiedene Funktionen haben:

1. Mode: Durchtasten der Betriebsarten.
2. OK: In den Messfunktionen Berücksichtigung eines 10:1-Tastkopfes, Setzen eines Referenzpegels bei Relativmessungen. Durchtasten im Setup und Abspeichern von Daten im EEPROM.
3. Up: In den Messfunktionen Messbereich erhöhen, im Setup Wert erhöhen.
4. Down: In den Messfunktionen Messbereich erniedrigen, im Setup Wert erniedrigen.

Betriebsarten:

1. Spannungsmessung (mV, V als RMS = Root mean square = Effektivwert),
2. Spannungspegelmessung (dBU bezogen auf 775mV an undefinierter Last)
3. Spannungspegelmessung (dBV bezogen auf 1V an undefinierter Last)
4. Leistungsmessung (dBm bezogen auf 775mV an 600Ω Last = 1mW),
5. Relativpegelmessung (dB bezogen auf einen frei wählbaren Pegel),
6. Relativpegelmessung (% bezogen auf einen frei wählbaren Pegel),
7. Setup.

Nach dem Programmstart wird die Betriebsart 1 (Spannungsmessung), Messbereich 200V eingestellt.

In allen Messfunktionen (Betriebsarten 1 bis 6) ist die Eingangsbeschaltung so ausgelegt, dass der RMS-Konverter AD736 in allen Messbereichen die nach Datenblatt nominale Eingangsspannung von maximal 200mV RMS erhält. Die Umrechnungen entsprechend den dekadisch schaltbaren Messbereichen nimmt der Arduino NANO vor. Es können jedoch auch höhere Spannungen bis etwa 0,8V gemessen werden, aber mit abnehmender Genauigkeit. Oberhalb 0,9V RMS am Eingang des AD736 blockt das Gerät aber ab und zeigt "OvRng" = Overrange an.

Wahlweise kann in den Betriebsarten 1 bis 3 und 5, 6 mit einem **10:1-Tastkopf** wie mit einem Scope hochohmig gemessen werden. Der Tastkopf vermindert das am Millivoltmeter anliegende Signal auf 1/10 des zu messenden Signals. Dieses wird mit 10 multipliziert zur Anzeige gebracht, womit die Höhe des zu messenden Signals wieder hergestellt ist. Die Messbereiche ändern sich damit von 20mV bis 2.000V. Beispiel:

Zeile 1	Range 200 mV FS
Zeile 2	184.6 mV RMS

Mit kurzem Druck auf den OK-Taster wird die Anzeige korrigiert, in Zeile 1 nun "Probe" statt "Range" und Messbereich von 200mV mit 10 multipliziert nach 2V. Bei gleichem Eingangssignal von 184,6mV am Millivoltmeter also

Zeile 1	Probe 2 V FS
Zeile 2	1.846 V RMS

Überschreitet die Eingangsspannung am RMS-Konverter AD736 200mV, werden in allen Messfunktionen (Betriebsarten 1 bis 6) in der ersten Zeile zwei blinkende Sterne "***" angezeigt als Hinweis, dass nicht mehr mit maximaler Genauigkeit gemessen wird.

Bei geringen Spannungen ist zu beachten, dass infolge der gewählten Zeitkonstante am AD736 die Anzeige eine Weile braucht, bis sie einen stabilen Wert erreicht.

1 Betriebsart Spannungsmessung

Es stehen 6 Messbereiche zur Verfügung:

1	2	3	4	5	6
2 mV	20 mV	200 mV	2 V	20 V	200 V

Alle Spannungsangaben sind in mV bzw. V RMS.

Anzeige z.B. im 200mV-Bereich:

Zeile 1	Range 200 mV FS
Zeile 2	184.6 mV RMS

Taster Up Messbereich erhöhen.

Down Messbereich erniedrigen.

OK Messen mit 10:1-Tastkopf (engl. "Probe").

Zeile 1 Probe 2 V FS Messbereich Faktor 10 (von 200mV nach 2V).
Erneute Betätigung: Wieder Normalanzeige.

Mode Wechsel zur Betriebsart Spannungspegel dBu.

Eine Spannungsanzeige in Zeile 2 unterbleibt, "OvRng", wenn die Eingangsspannung am ADC 900mV überschreitet.

2 Betriebsart Spannungspegel in dBu

Der Spannungspegel in dBu ("u" für "unloaded", "unterminated" oder "unspecified load") berechnet sich aus dem Verhältnis zu einem Bezugspegel von gerundet 0,775 V_{RMS} (genauer 0,77459667).

$$L_u[dBu] = 20 * LOG_{10} \left(\frac{U_{RMS} [V]}{0,7746} \right)$$

Mit gleicher Einstellung, 184,6mV_{RMS} im 200mV-Bereich:

Zeile 1	Range 200 mV FS
Zeile 2	-12.46 dBu

Taster Up Messbereich erhöhen.

Down Messbereich erniedrigen.

OK Messen mit 10:1-Tastkopf (engl. "Probe").

Erneute Betätigung: Wieder Normalanzeige.

Mode Wechsel zur Betriebsart Spannungspegel dBV.

Eine Pegelanzeige in Zeile 2 unterbleibt, "OvRng", wenn die Eingangsspannung am ADC 900mV überschreitet.

3 Betriebsart Spannungspegel in dBV

Der Bezugspegel ist hier nicht wie oben 0,7746V_{RMS}, sondern 1V_{RMS}.

$$L_V[dBV] = 20 * LOG_{10} \left(\frac{U_{RMS} [V]}{1} \right)$$

Mit gleicher Einstellung, 184,6mV_{RMS} im 200mV-Bereich:

Zeile 1	Range 200 mV FS
Zeile 2	-14.68 dBV

Taster Up Messbereich erhöhen.

Down Messbereich erniedrigen.

OK Messen mit 10:1-Tastkopf (engl. "Probe").

Erneute Betätigung: Wieder Normalanzeige.

Mode Wechsel zur Betriebsart Leistungsmessung dBm.

Eine Pegelanzeige in Zeile 2 unterbleibt, "OvRng", wenn die Eingangsspannung am ADC 900mV überschreitet.

4 Betriebsart Leistungsmessung in dBm

Im NF-Bereich sind Leistungsmessungen - ursprünglich in der Telefonmesstechnik mit Leistungsanpassung - auf einen Arbeitswiderstand von 600Ω bezogen, d.h. 775mV an 600Ω sind $0\text{dBm} = 1\text{mW}$.

$$L_p[\text{dBm}] = 20 * \text{LOG}_{10} \left(\frac{U_{\text{RMS}} [\text{V}]@600\Omega}{0,7746} \right)$$

Wird der Spannungspegel in dBu (Abschnitt 2) an einer 600Ω -Last gemessen, sind $L_p(\text{dBm})$ und $L_u(\text{dBu})$ identisch.

Mit Anwahl über den Mode-Taster wird daher zunächst für 2 Sekunden angezeigt:

Zeile 1	Input impedance
Zeile 2	*** 600Ω ***!

Anschließend, wenn z.B. bei der Spannungsmessung der 200mV -Bereich eingestellt war:

Zeile 1	Range 200 mV FS
Zeile 2	-18.48 dBm

- Taster Up Messbereich erhöhen.
 Down Messbereich erniedrigen.
 OK Keine Funktion, 10:1-Tastkopf nicht verwendbar.
 Mode Wechsel zur Betriebsart Relativpegelmessung dB.

Die anliegende Spannung, hier $184,6\text{mV}_{\text{RMS}}$, halbiert sich mit der Impedanz der Quelle von 600Ω und dem (am Eingang aufzusteckenden) 600Ω -Arbeitswiderstand auf $U = 92,3\text{mV}_{\text{RMS}}$.

Mit der obigen Definition für L_p ergibt sich $-18,48\text{dBm}$.

Eine Pegelanzeige in Zeile 2 unterbleibt, "**OvRng**", wenn die Eingangsspannung am ADC 900mV überschreitet.

5 Betriebsart Relativpegelmessung in dB

Hier kann, insbesondere für die Aufnahme von Frequenzgängen, ein beliebiger Eingangspegel, z.B. bei 1kHz , als Bezugspunkt U_{ref} festgelegt werden. Folgemessungen (U_{akt}) werden dann relativ zu diesem Referenzpegel (U_{ref}) in dB angezeigt.

$$\Delta(\text{dB}) = 20 * \text{LOG}_{10} \left(\frac{U_{\text{akt}}}{U_{\text{ref}}} \right)$$

Mit Anwahl über den Mode-Taster wird zunächst angezeigt:

Zeile 1	Range 200 mV FS
Zeile 2	184.6 ----- dB

Links in Zeile 2 wird die RMS-Spannung wie oben angezeigt. Der Balken "-----" daneben zeigt an, dass noch kein Referenzpegel gesetzt wurde.

- Taster Up Messbereich erhöhen.
 Down Messbereich erniedrigen.
 OK **Kurz:** Messen mit 10:1-Tastkopf (engl. "Probe").
 Erneute Betätigung kurzer Druck: Wieder Normalanzeige.
 OK **Lang:** Aktuellen Pegel als Referenz setzen.
 Erneute Betätigung langer Druck: Referenzpegel wieder aufheben.
 Mode Wechsel zur Betriebsart Setup.

Unmittelbar nach Betätigen des OK-Tasters mit einem **langen Druck** wird nun angezeigt:

Zeile 1	Range 200 mV FS
Zeile 2	184.6 +0.00 dB

Das heißt, der aktuelle Pegel (U_{akt}) 184,6mV_{RMS} ist nun die 0dB-Marke. Jede Pegeländerung wird anschließend als Abweichung von diesem Referenzpegel in dB angezeigt.

Eine Pegelanzeige in Zeile 2 unterbleibt, "**OvRng**", wenn die Eingangsspannung am ADC 900mV überschreitet.

6 Betriebsart Relativpegelmessung in % (neu ab V1.10)

Wem das dB bei der Relativmessung zu grobschlächtig ist, 1 dB Pegelverhältnis ist ungefähr 11% relative Änderung, kann hier genauer hinsehen.

$$\Delta(\%) = \left(\frac{U_{akt}}{U_{ref}} - 1 \right) * 100$$

Die Bedienung erfolgt analog zum vorangegangenen Abschnitt 5. Wurde dort schon ein Referenzpegel gesetzt, wird dieser hier übernommen. Folgemessungen (U_{akt}) werden dann relativ zu diesem Referenzpegel (U_{ref}) in % angezeigt.

Wenn z.B. die aktuell gemessene Spannung $U_{akt} = 186,8\text{mV}$ ist und diese mit der o.a. Referenzspannung $U_{ref} = 184,6\text{mV}$ verglichen wird, zeigt sich

Zeile 1	Range 200 mV FS
Zeile 2	186.8 +1.19 %

In der Betriebsart Relativpegelmessung in dB (Abschnitt 5) würden wir nur eine unbedeutend erscheinende Abweichung von +0,10 dB sehen.

7 Betriebsart Setup

Es sind drei im EEPROM gespeicherte Daten korrigierbar.

7.1 Anzahl ADC-Konversionen

Die Tests haben ergeben, dass bereits eine einzelne ADC-Konversion hinreichend genaue und stabile Ergebnisse liefert. Es können bis zu 10 Einzelmessungen für eine Mittelwertbildung festgelegt werden. Die Mittelwertbildung erfolgt gleitend, d.h. mit jeder Einzelmessung wird ein neu berechneter Mittelwert angezeigt. Zu beachten ist, dass der RMS-Konverter AD736 bei kleinen Pegeln schon einige Sekunden brauchen kann, um ein stabiles Ergebnis zu erzeugen. Der ADC MCP3421 benötigt ca. 300msec für eine Einzelmessung.

Zeile 1	Setup 1/3
Zeile 2	ADC acq runs 1

Taster	Up	Anzahl erhöhen, Schrittweite 1 mit Autorepeat, max. 10.
	Down	Messbereich erniedrigen, Schrittweite 1 mit Autorepeat, min. 1.
	OK	Kurz: Weiter nach 4.2 ohne abzuspeichern. Lang: Angezeigten Wert im EEPROM speichern, Quittierung mit "S".
	Mode	Setup abbrechen, Wechsel zur Betriebsart Spannungsmessung.

7.2 ADC-Referenzspannung (Kalibrierung)

Die ADC-Referenzspannung des MCP3421, nominal 2,048V \pm 0,05%, bestimmt die Umsetzung des am ADC-Eingang liegenden DC-Pegels in das vom Microcontroller berechnete Messergebnis. Damit kann eine Kalibrierung des Gerätes mit einem bekannten AC-Eingangssignal, z.B. 1kHz, vorgenommen werden. Eine Erhöhung der Referenzspannung erhöht auch die Anzeige.

Zeile 1	Setup 2/3
Zeile 2	ADC ref 20480 mV

- Angezeigt wird die Referenzspannung in mV x 10, hier 2048,0 mV.
- Taster Up Spannung erhöhen, Schrittweite 10 mit Autorepeat, max. 21000.
 Down Spannung erniedrigen, Schrittweite 1 mit Autorepeat, min. 20000.
 OK **Kurz:** Weiter nach 4.3 ohne abzuspeichern.
Lang: Angezeigten Wert im EEPROM speichern, Quittierung mit "S".
 Mode Setup abrechnen, Wechsel zur Betriebsart Spannungsmessung.

7.3 Offset im 2mV-Messbereich

Im 2mV-Messbereich kann das Rauschen des 100 fach-Verstärkers eine nicht mehr zu vernachlässigende Störgröße erzeugen. Diese erscheint bei kurzgeschlossenem Eingang am Ausgang des RMS-Konverters AD736 als DC-Offset.

Zeile 1	Offset 2mV range
Zeile 2	Inp to GND -> OK

Eingang kurzschließen, dann OK drücken.

Zeile 2	Offset XXXXXX	Gemessener ADC-Wert des Offset
Taster Up	Keine Funktion.	
Down	Keine Funktion.	
OK	Kurz: Setup beenden ohne abzuspeichern. Lang: Angezeigten Wert im EEPROM speichern, Quittierung mit "S".	
Zeile 2	Setup finished	Wechsel zur Betriebsart Spannungsmessung
Mode	Setup abrechnen, Wechsel zur Betriebsart Spannungsmessung.	

Bei Messungen im 2mV-Bereich wird dieser Offset vom gemessenen ADC-Wert abgezogen.