

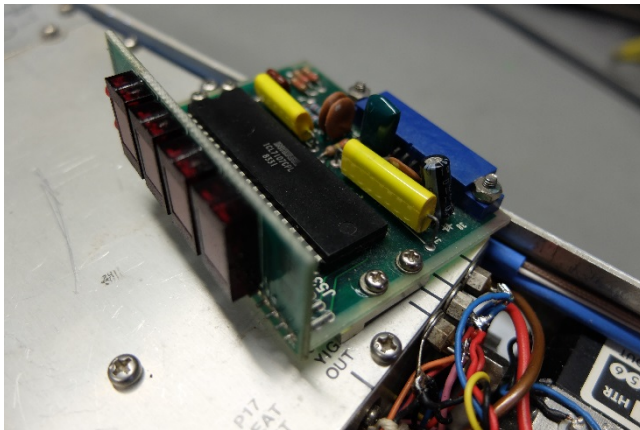
# Frequenzzähler für einen Spektrumanalyzer

Ralph Berres ,  
Dieter Barth

## Einführung

Ältere Spektrumanalyzer, welche noch keinen Mikroprozessor zur Bedienung verwenden, haben in der Regel eine Frequenzanzeige , welche einfach die Abstimmspannung des ersten Oszillators mit Hilfe eine Digitalvoltmetermoduls anzeigen.

**Bild 1.** Altes Original Anzeigemodul



Die angezeigte Frequenz hatte bei meinen Spektrumanalyzer bis zu 7MHz Abweichung von der tatsächlichen Frequenz.

Dieter (ein Freund von mir aus Bonn ) ist wegen eines Frequenzzählers für den Swob5 auf mich aufmerksam geworden. Ich erzählte ihm das Dilemma, und es entstand der Entschluss einen Frequenzzähler für meinen Spektrumanalyzer Takeda Riken TR4111A zu entwickeln.

Folgende Anforderungen soll das Modul erfüllen.

1. Es soll dort reinpassen, wo vorher das DVM Modul gesessen hat.
2. Es soll die Frequenz sämtlicher Oszillatoren, die wichtig sind, erfassen.
3. Er soll die Frequenz je nach Schalterstellung am Bildanfang oder Bildmitte messen.
4. Er soll anzeigen, ob eine interne Referenzfrequenz oder eine externe Referenzfrequenz anliegt. Weiter soll er anzeigen, ob der Quarzofen noch kalt ist oder schon warm.
5. Die Auflösung und damit die Torzeit soll sich dem Span anpassen, Sie soll 100KHz bis 100Hz betragen.
6. Es soll eine Möglichkeit besitzen, eine eventuelle Abweichung der letzten ZF von seinen Sollwert als Kalibrierkonstante zu erfassen, abzuspeichern und zukünftig zu berücksichtigen.
7. Die Stellung der beiden Potis Frequenz Grob und Frequenz fein sollen zusätzlich mit einen 12Bit AD-Wandler erfasst werden, um bei Betätigung der Potis eine Frequenzänderung vorauszusagen, bis eine neue Messung erfolgt ist. Das ist besonders bei den kleinen Spans

von Vorteil, wenn ein Scandurchlauf bis zur 100 Sekunden dauert, und solange keine echte Frequenzmessung erfolgen kann.

8. Das Display soll den vorhandenen Ausschnitt der alten Anzeige optimal ausfüllen.

Zunächst waren wir der Meinung, dass die Sache ganz einfach mit einem Atmega16 und ein wenig externe Hardware lösbar ist.

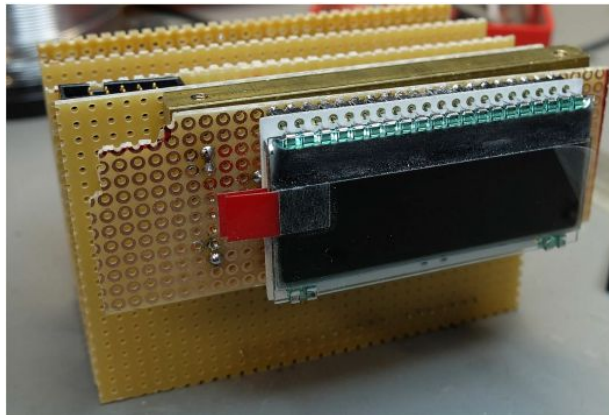
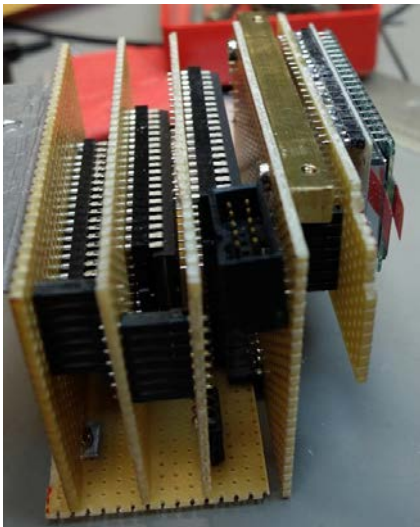
Dieter wollte außer der kompletten Software auch die Platinenlayouts mit der Software Eagle erstellen, ich sollte dafür die Entwicklung der Schaltungen übernehmen.

Als erstes habe ich dann mit Hilfe von Lochrasterplatten einen 1:1 Aufbau gemacht, welches Dieter benötigt, um die Leiterplatten zu designen. Es sollte ja schließlich genau in meinen Spektrumanalyzer reinpassen.

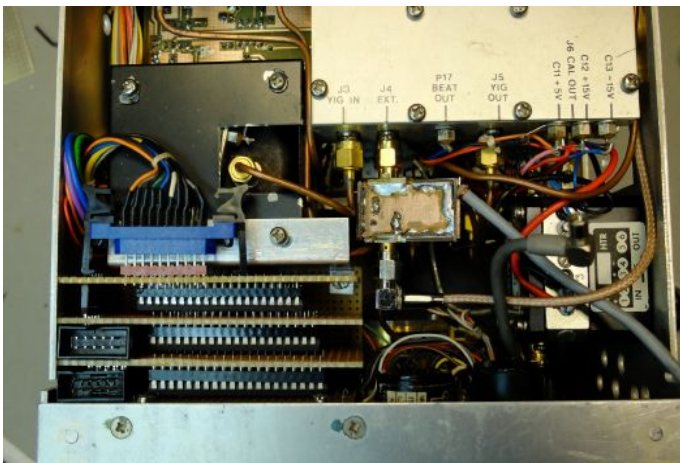
**Bild 2** Dummy komplett von der

**Bild 3** Dummy von oben gesehen

Seite gesehen



**Bild 4.** Dummy eingebaut von oben



## Vorversuche

Die erste Idee war ein Geradeauszähler mit Hilfe von einen LS7060 als Hardwarezähler aufzubauen.

Die Schaltung wurde sowohl auf ein Steckbrett aufgebaut und parallel die Leiterplatte layoutet.

Der LS7060 ist ein kompletter 32 Bit Zähler welcher das Ergebnis als 4 mal 8bit breite Wörter nacheinander auslesen kann. Der Chip geht locker bis 20MHz und hat sich bei Dieter schon öfters bewährt. Er wurde schon aus Platzgründen verwendet.

Während der Messung wird der Sweep angehalten.

Erster Versuch:

Es sollte ein Geradeauszähler werden.

Die Torzeiten wollten wir mit dem internen Zählern des Atmega16 erzeugen.

Die Hardware war schnell auf einen Steckbrett aufgebaut und nach etlichen Programmierversuchen in Atmelbasic (Bascom)stellte sich immer wieder heraus, das die gezählten Ergebnisse unstabil und mehr oder weniger zufällig waren. Irgendwie waren die Torzeiten, die der Prozessor mit Hilfe seiner internen Zähler erzeugt hatte, nicht stabil.

Zweiter Versuch:

Um die ungenauen Torzeitprobleme zu umgehen sollte jetzt ein Reziprogzähler mit 2 LS7060 Bausteine verwirklicht werden.

Hier stellte sich irgendwann heraus, dass man die Stabilität der Anzeige nur mit Hilfe von Fließkomma zu erreichen waren. Bei 20 Messungen/ Sekunde stellte sich das als Problem heraus, außerdem verhaspelten wir uns immer mit den Interrupts, welche die Messung auslösen sollten. Trotz unzähliger Versuche kamen wir nicht weiter.

Dritter Versuch:

Weil die Ablaufsteuerung mit dem Prozessor nicht zu bewerkstelligen war, haben wir uns jetzt entschlossen die Ablaufsteuerung, welche die Torzeit und die Speicher sowie Resetimpulse erzeugt

hardwaremäßig aufzubauen. Das Steckbrett wurde immer voller. Diesmal wurde es wieder ein Geradeauszähler, weil bei den hohen Frequenzen ein Reziprogzähler keinen wirklichen Vorteil mehr bietet, sondern nur unnötigen zusätzlichen Hardwareaufwand erzeugt.

Das war der erste Aufbau, welcher zuverlässige Messergebnisse liefert, wenn auch zunächst erst mit einen Zähler.

Vierter Versuch :

Es sollten erster und dritter Oszillator nacheinander gemessen werden und mit einen Multiplexer ausgewählt werden. Es gab Probleme mit Übersprechen und vor allem der Kurzzeitstabilität der

beiden Oszillatoren bei der Messung nacheinander. Vor allem die langsamen Messbereiche bei kleinen Spans wurden zum Problem, weil der Sweep jetzt doppelt so lange angehalten werden muss.

Fünfter Versuch:

Statt die Oszillatoren nacheinander zu messen haben wir jetzt zwei Zähler aufgebaut, welche gemeinsam gestartet und wieder gestoppt wurden. Die Ergebnisse der beiden Zähler wurden nacheinander eingesammelt und miteinander verrechnet. Es wurden also wieder zwei LS7060 Zählerbausteine verwendet.

Es war der erste Versuch der auf dem Brettaufbau verlässliche und stabile Messergebnisse erzeugte.

Jedoch nur auf dem Brettaufbau. Bisher wurden die Frequenzen aus zwei mit der gleichen Referenzfrequenz synchronisierten DDS synthesizer erzeugt die auch der Frequenzzähler selbst

benutzt. Nach dem die echten herunter geteilte Frequenzen der Lokaloszillatoren des Spektrumanalyzers benutzt wurden, stellte sich heraus, das die beiden festen Lokaloszillatoren des Spektrumanalyzers nicht langzeitstabil genug waren. Man hatte also immer einen Fehler von mehreren hundert Hertz in der Anzeige, welche nach jeden Einschalten des Spektrumanalyzers etwas anders war. So war das nicht zu verwenden.

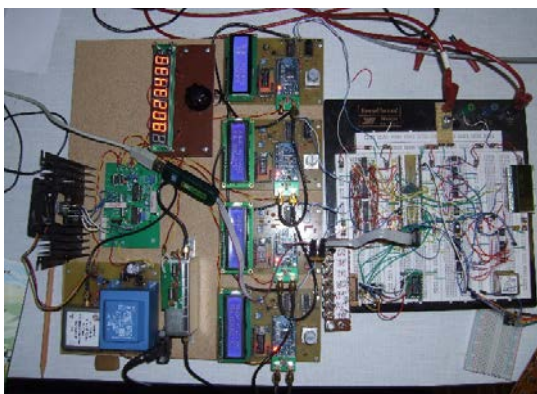
Sechster Versuch:

Wir haben uns entschlossen vier Frequenzzähler aufzubauen. Für jeden Oszillator einen eigenen.

Wegen der vielen benötigten Ports war jetzt ein Atmega64 notwendig.

So sieht der endgültige Steckbrettaufbau aus

**Bild 5 Steckbrettaufbau endgültige Version**



**Bild 6 Das Display vom Steckbrett**



Das soll alles in den Spektrumanalyzer passen?

Jetzt waren auch aus dem Spektrumanalyzer stabile und reproduzierbare Ergebnisse zu gewinnen.

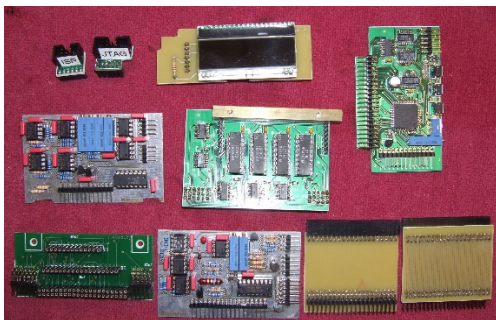
Doch stellte sich bald heraus, das die letzte ZF nicht genau 3,3MHz betrug, dessen Mittenfrequenz lag um etwa 33333 Hz daneben.

Siebter Versuch:

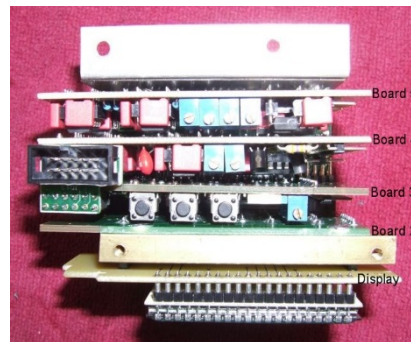
Eine Kalbrierfunktion ist implementiert worden, welche die Abweichung der ZF feststellt, und als Korrekturwert in einem Eprom abspeichert.

Dieter hatte zwischenzeitig die Leiterplatten entworfen, und bei einen chinesischen Hersteller in Auftrag gegeben. Alle Leiterplatten sind doppelseitig durchkontaktiert.

**Bild 7 alle bestückten Leiterplatten**



**Bild 8 komplette Baugruppe**



Hiermit war der Part für Dieter zunächst beendet.

Um die Implementierung der Abfrage der beiden Frequenzeinstellpotentiometer, und die Erweiterung des Kalibriermenues für die ADCs habe ich mich dann gekümmert.

## Beschreibung der Baugruppen

Der Zähler besteht im wesentlichen aus sechs Leiterplatten für den eigentlichen Zähler, der Referenzfrequenzoszillatorbaugruppe, sowie 4 Frequenzteilerbaugruppen.

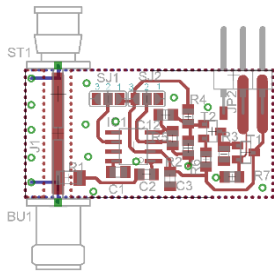
### Frequenzteiler

Sie sind nötig um die zu messenden Frequenzen unter 20MHz zu bekommen.

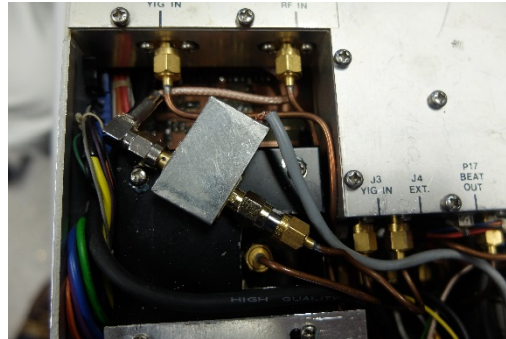
Diese haben die Aufgabe die Frequenz des ersten. Oszillators 2-4 GHz durch 256 zu teilen, die des zweiten Oszillators 1,52GHz durch 128 zu teilen , die des dritten Oszillators 504-506MHz durch 64 zu teilen und die des vierten Oszillators 33.3MHz durch 2 zu teilen. Alle Frequenzteiler haben als Ausgang eine dreipolige Stiftleiste, welche an die Zählerbaugruppe Platine 3 die geteilte Frequenz als TTL Pegel abgibt und die 5Volt Versorgungsspannung für den Teiler bekommt.

Die beiden ersten Teiler sind mit einen UPB1505 bestückt, dessen Teilverhältnis durch eine Lötbrücke einstellbar ist.

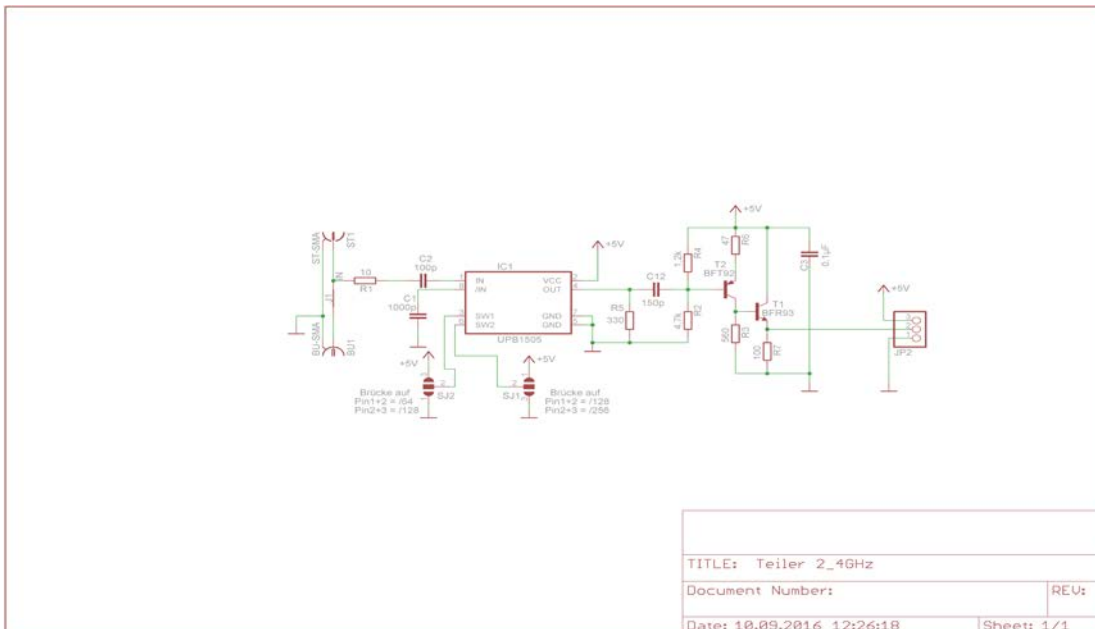
**Bild 10 Teiler 2-4GHZ**



**Bild 9 Der 2-4GHz Teiler eingebaut**



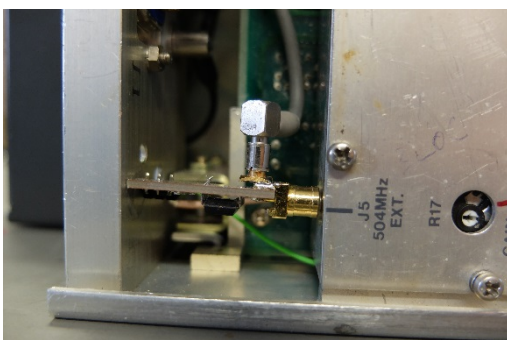
**Bild 11**



wobei der erste Teiler im Bild noch eine von mir mit dem Dremel gefräßte Platine war. Siehe Bild 9. Diese habe ich einfach beibehalten.

Der dritte Teiler ist mit einen SDA4212 oder ähnliches bestückt

**Bild 37 504MHz Teiler eingebaut**



**Bild 13 504MHz Teiler**

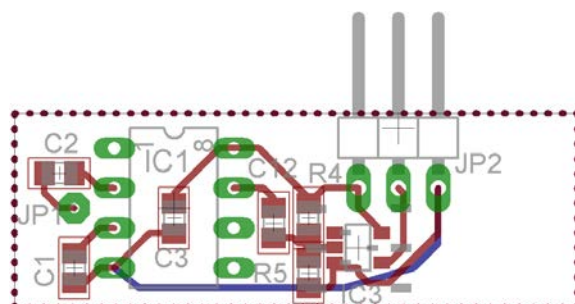
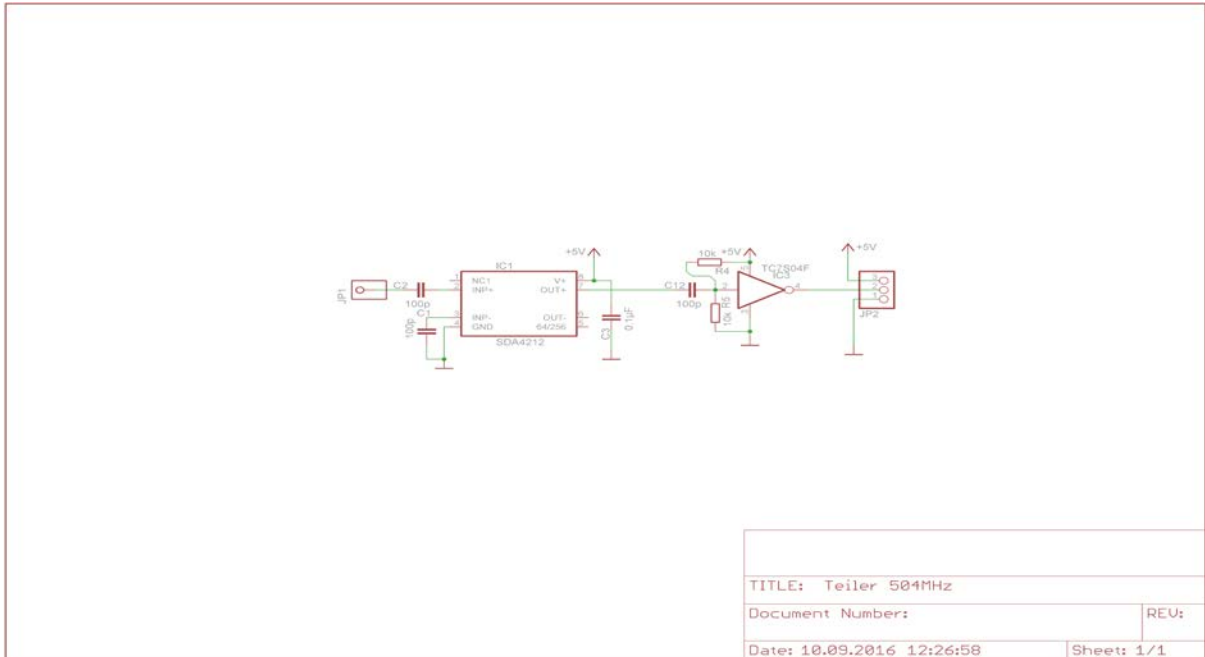
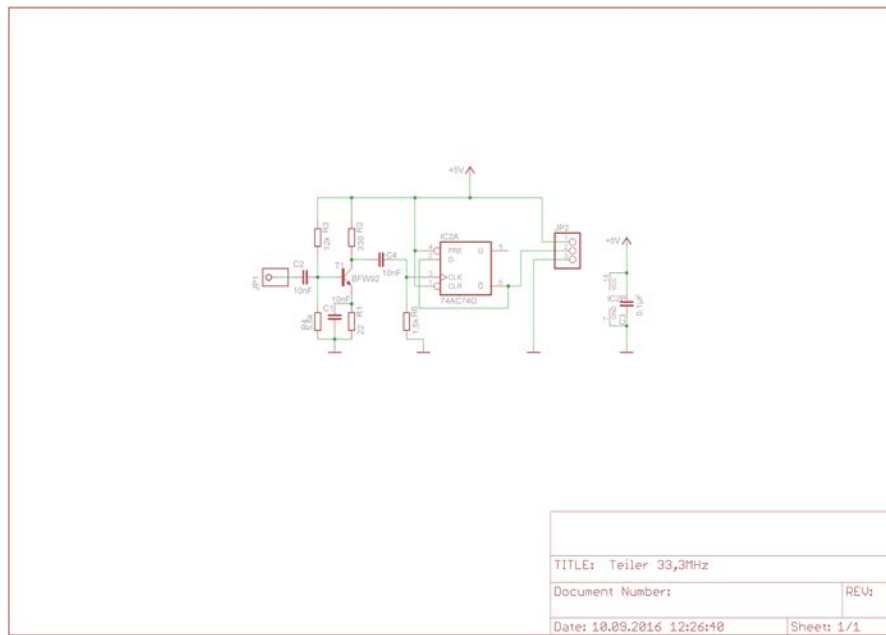
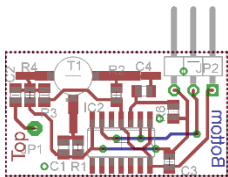


Bild 12 504MHz Teiler



Der vierte Teiler ist mit einen 74AC74 TTL Teiler versehen.

Bild 14 Teiler 33,3 MHz    Bild 15 Teiler 33,3 MHz

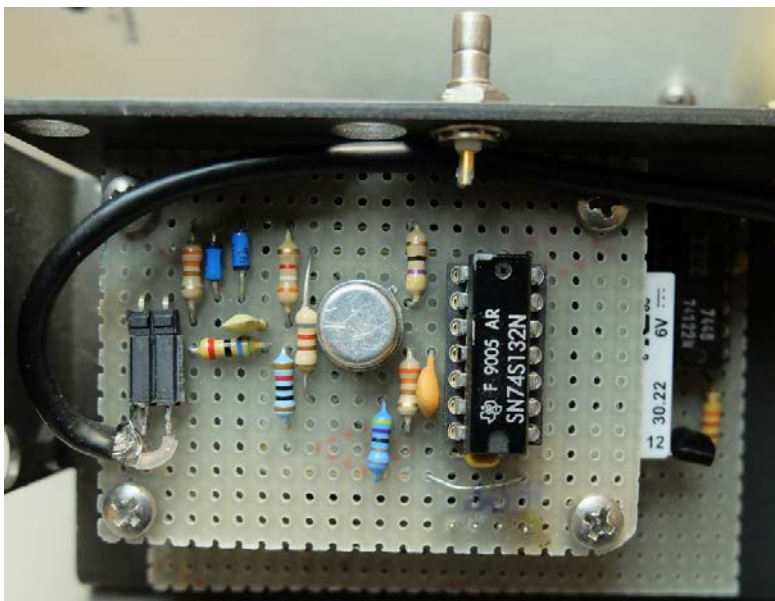


## Referenzoszillator

Diese Baugruppe habe ich zunächst auf Lochraster aufgebaut und beinhaltet auf der unteren Platine den eigentlichen 10 MHz Quarzofenoszillator einen TTL Monoflop 74LS122 und ein Umschaltrelais welches zwischen externen 10MHz Takt und internen Quarzofentakt umschaltet. Liegt ein externer Takt an so triggert der Monoflop und betätigt das Relais, und gibt ein TTL-Signal an die Mikroprozessorbaugruppe weiter, welches dann in der Anzeige ext erscheinen lässt

Die obere Platine verstärkt das externe Signal auf TTL Pegel und steuert damit auch den Takteingang des Monoflops. Die gesamte Baugruppe ist über eine 5polige Stiftleiste und ein vieradrig abgeschirmtes Kabel mit der Zählerbaugruppe Platine 4 verbunden.

**Bild 16 Referenzoszillator 10MHz noch als Huckepack in Lochraster aufgebaut**



In der Zwischenzeit hat Dieter eine doppelseitige Platine für den Referenzoszillator entwickelt.

**Bild 18 neue Leiterplatte Referenzoszillator 10MHz**

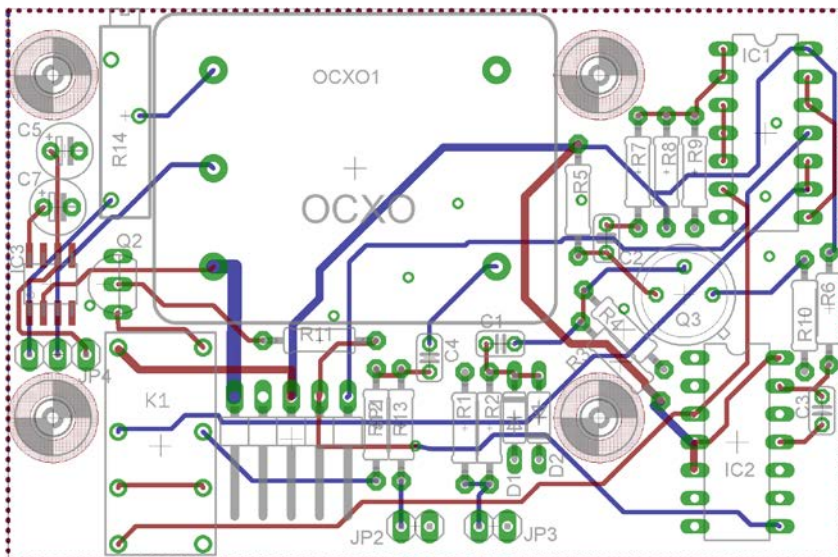
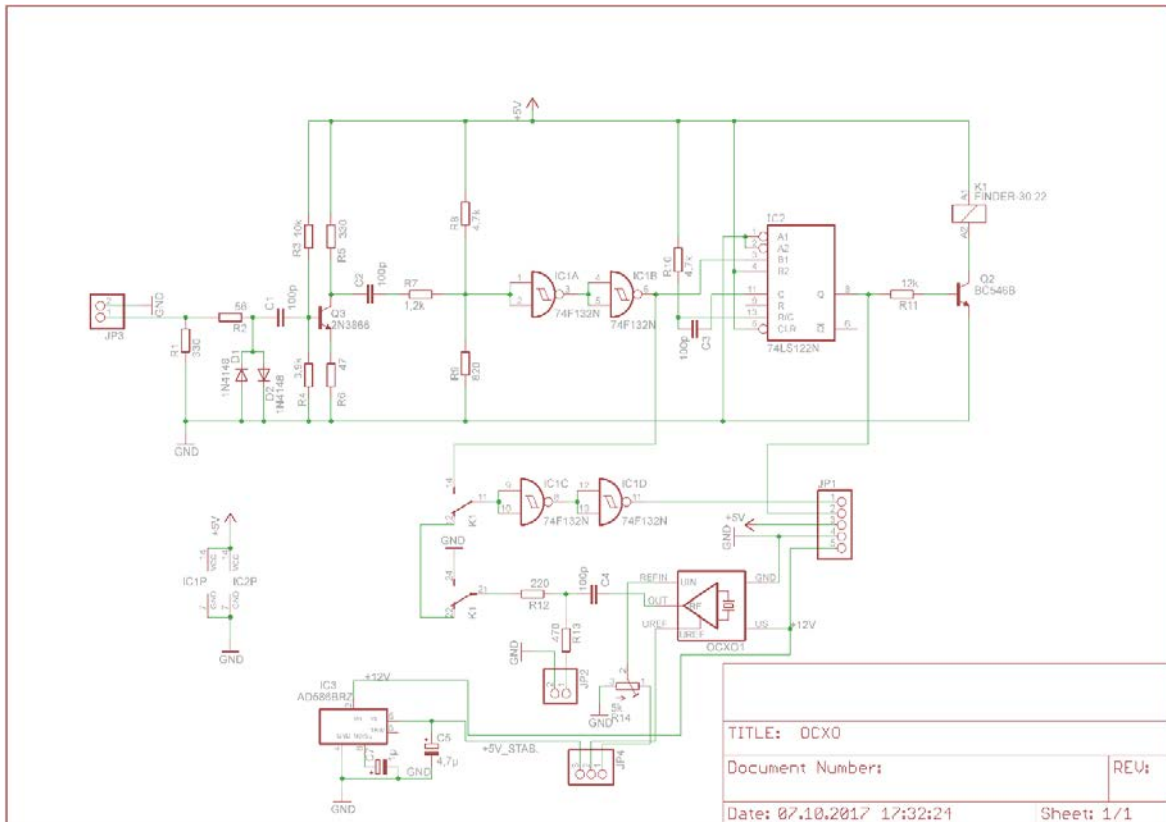




Bild 18 Referenzoszillator 10MHz



## Mikrocontrollerbaugruppe

Diese besteht aus einer Busplatine und 4 Platinen welche auf die Busplatine aufgesteckt werden.

Auf die vorderste Platine ist noch die Displayplatine Huckepack draufgesteckt.

Es gibt folgende Platinen

Platine 1      Displayplatine, Sie steckt Huckepack von Vorne auf die Platine 2.

Bild 20 Leiterplatte Display Baugruppe 1

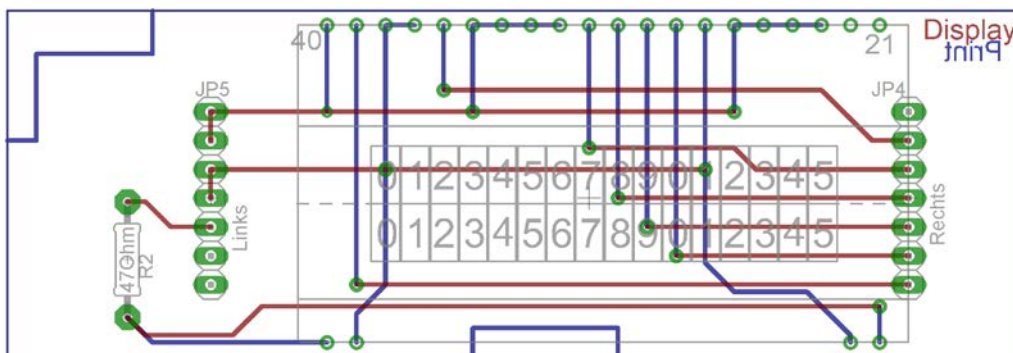
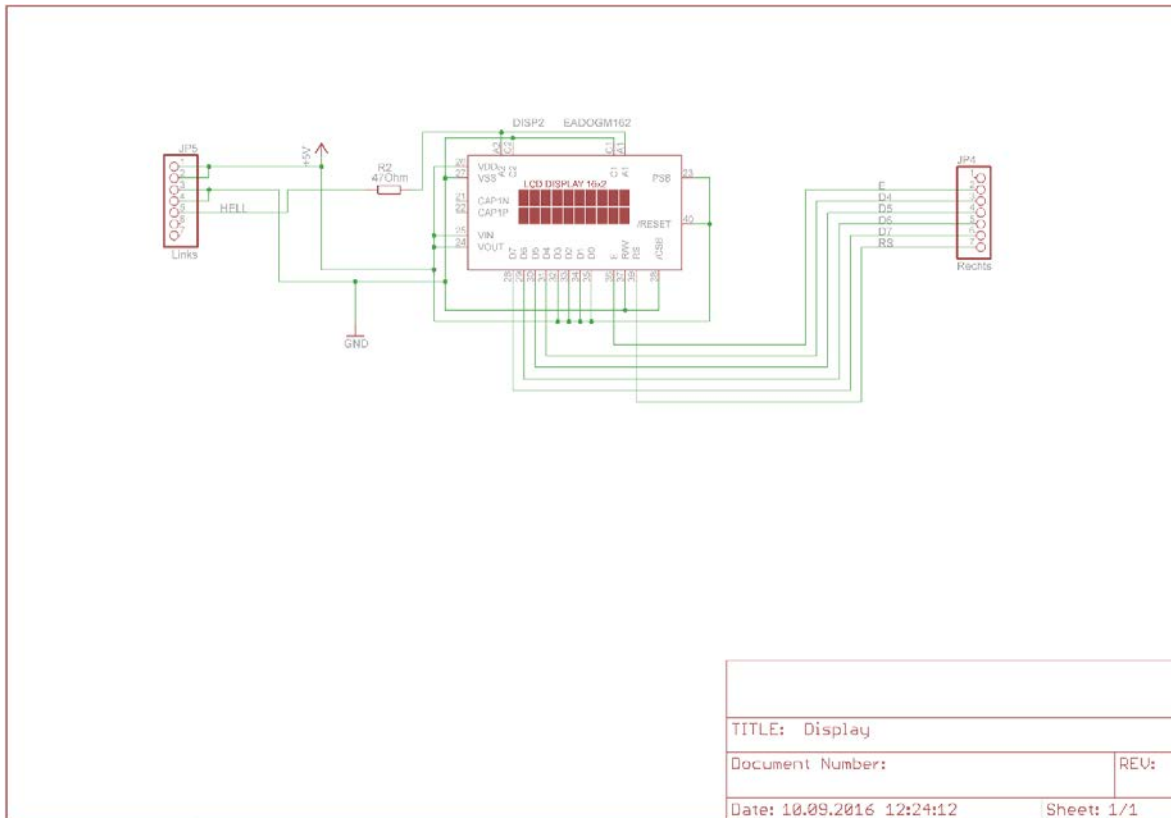


Bild 19 Schaltbild Display Baugruppe 1



Platine 2 Zähler und Ablaufsteuerung ist auf die Stirnseite der Busplatine von vorne aufgesteckt.

Bild 24 Leiterplatte Baugruppe 2 Ablaufsteuerung und Zähler

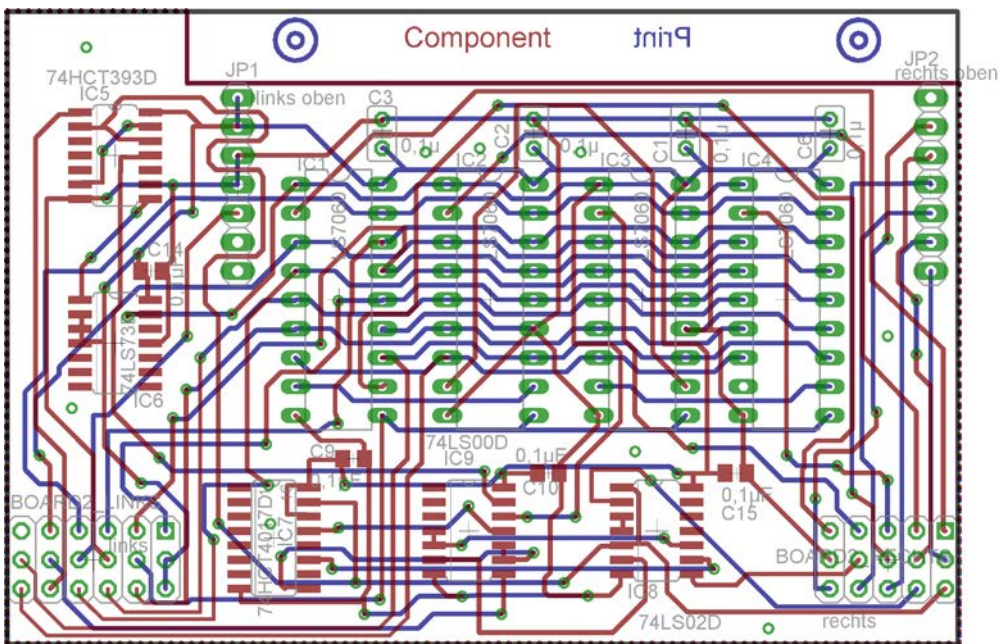


Bild 22 Schaltbild Abalaufsteuerung Baugruppe 2

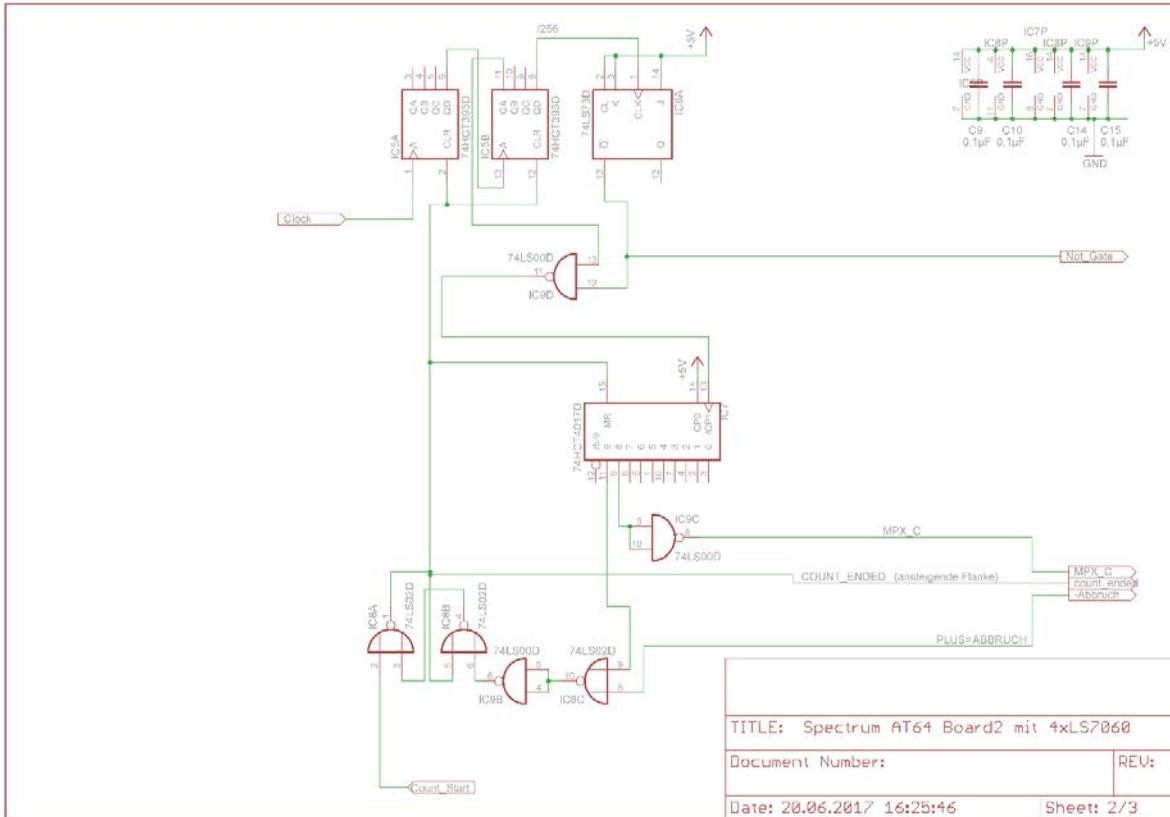


Bild 21 Schaltbild Steckverbinder Baugruppe 2 Ablaufsteuerung und Zähler

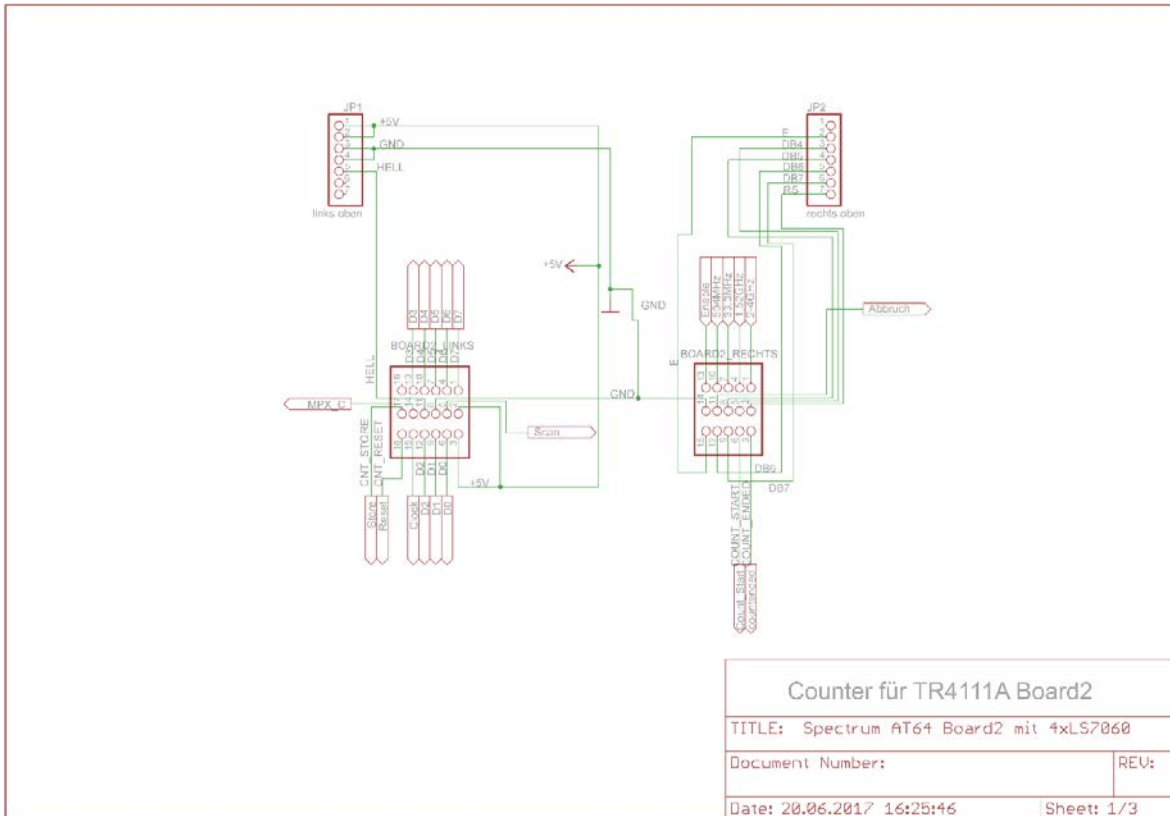
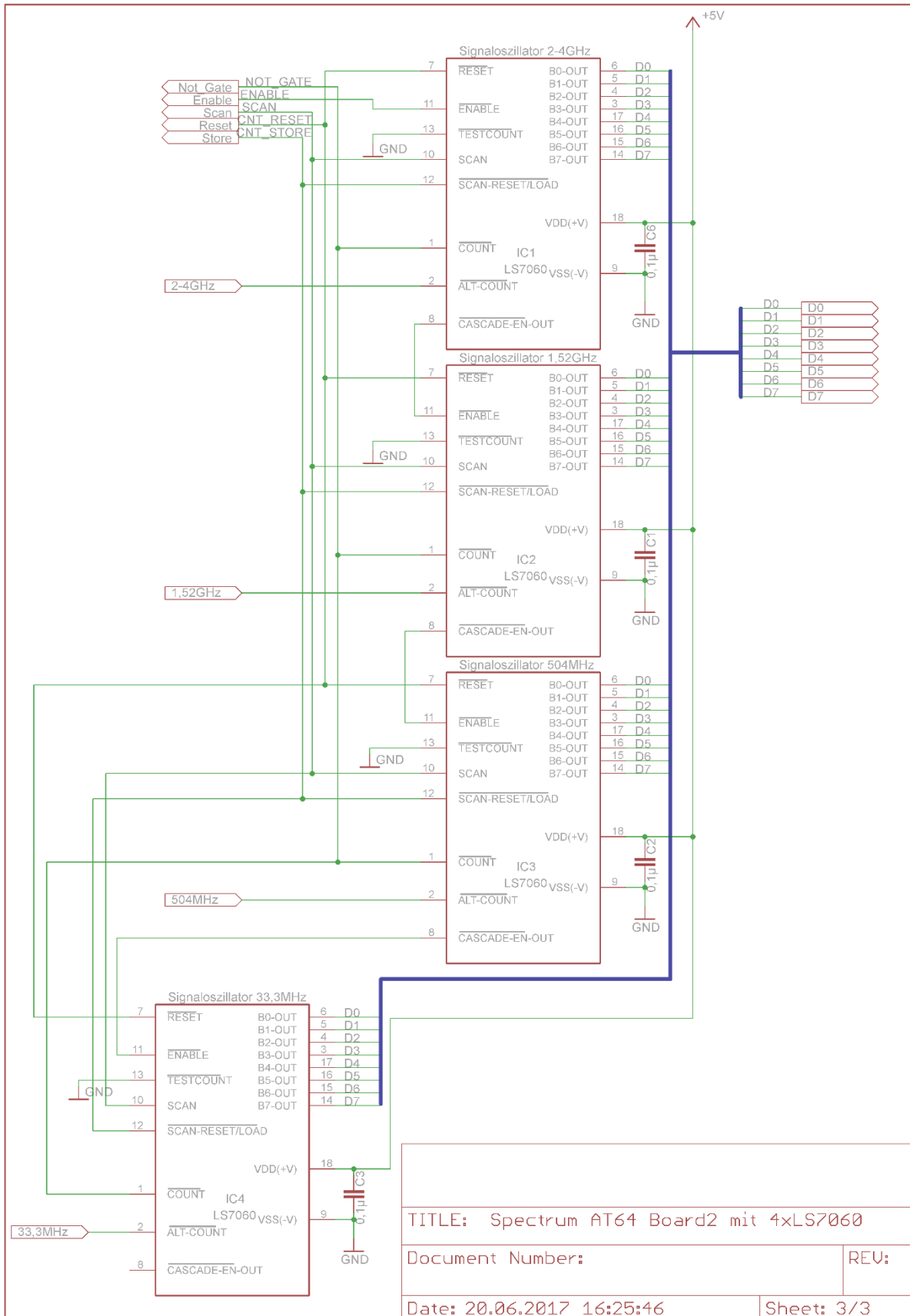


Bild 24 Schaltbild Zähler zu Baugruppe 2



Platine 3 Mikrocontroller und Torzeitauswahl Entgegennahme der Signale Span1-5 Bereich 1-3  
 Scanstoppsignal externer Programmieranschluss und externe Schalter bzw Taster  
 An der seitlichen Steckerleiste.

Bild 25 Schaltbild Microcontroller Baugruppe 3

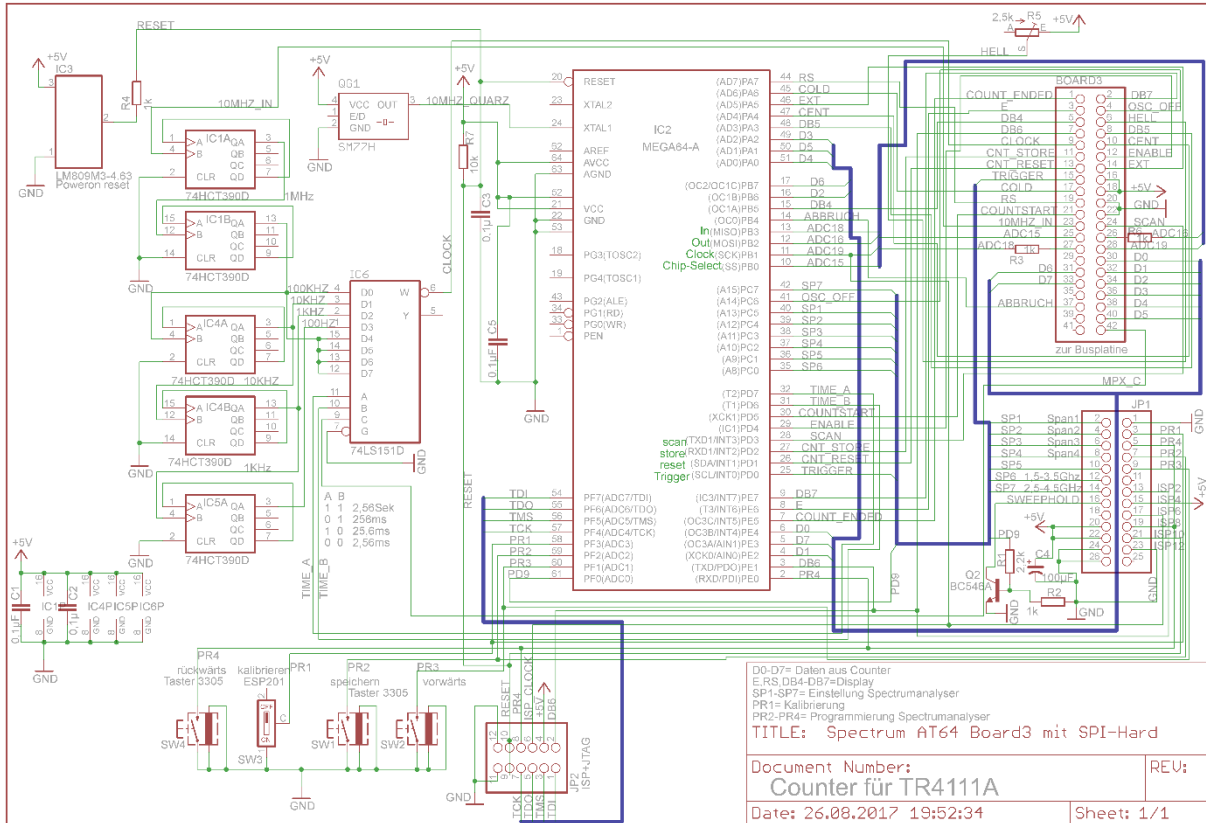
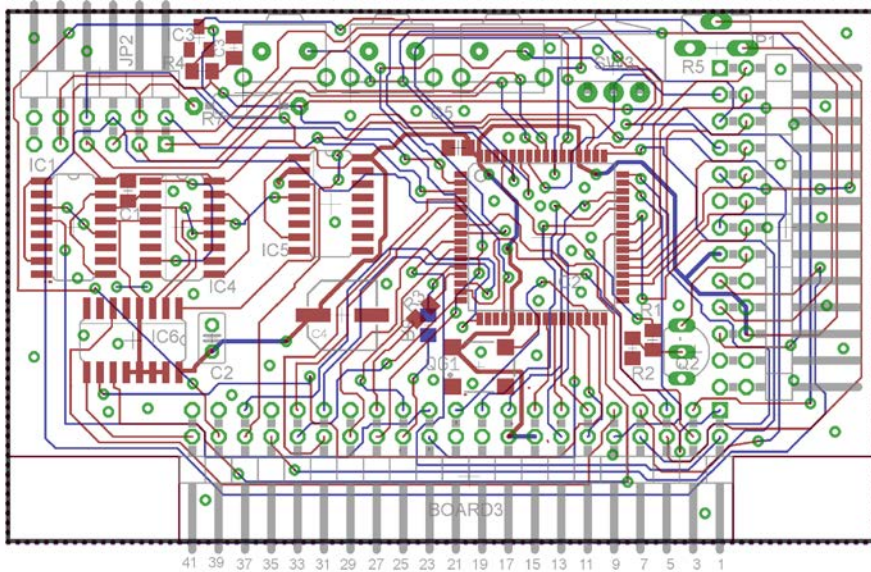


Bild 26 Layout Microcontroller Baugruppe 3



- Platine 4 Detektierung des Quarzofenstromes, Triggerimpulserzeugung aus der Ablenk sägezahnspannung, Umschaltung des Triggerpunktes auf der X-Achse Mitte oder Links
- Erzeugung der Referenzspannungen für Triggerpunktgenerator und AD-Wandler
- Abschalten der Betriebsspannung des 2 Oszillators in Messbereich 1,5-3,5 GHz und 2,5-4,5GHz.
- Entgegennahme der vier Oszillatorsignale und des Referenzoszillatorsignales
- Sägezahnspannung und Schaltersignales Center an der rechten Seite der Platine.
- Weiterleitung an die entsprechende Baugruppen. Das war wegen der vielen benötigten seitlichen Anschlüsse notwendigig.

Bild 27 Schaltbild Analogteil Baugruppe 4

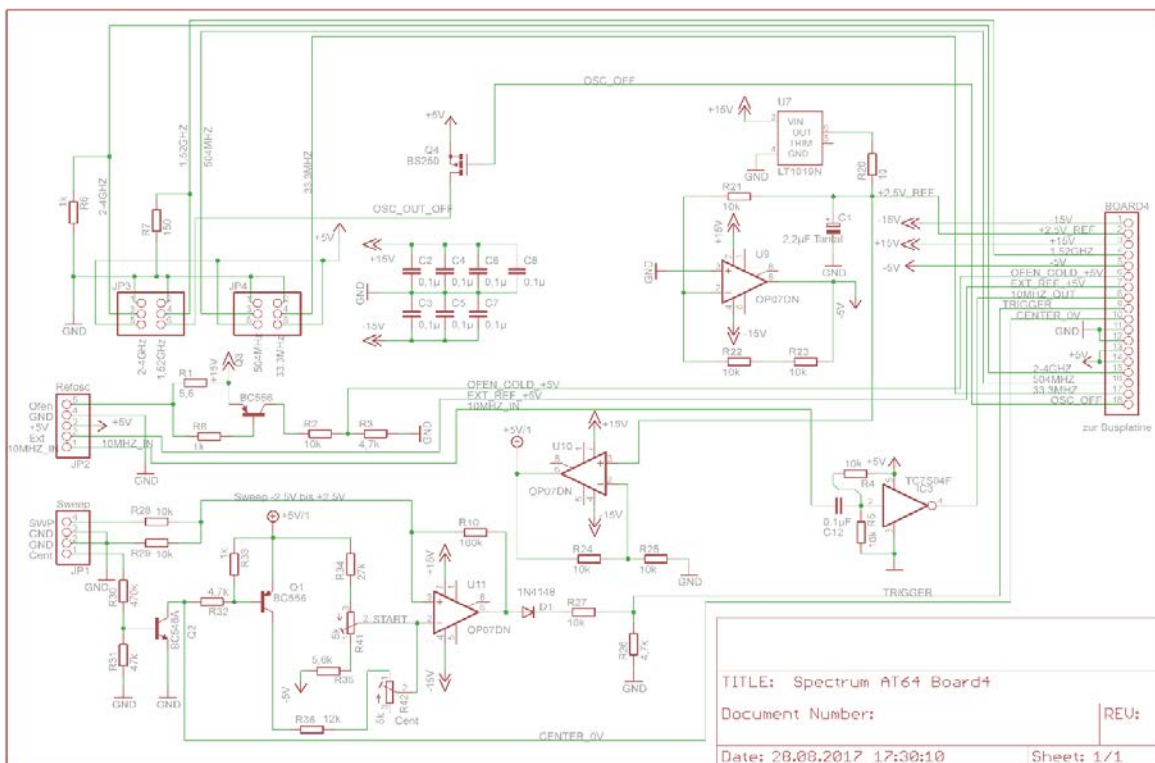
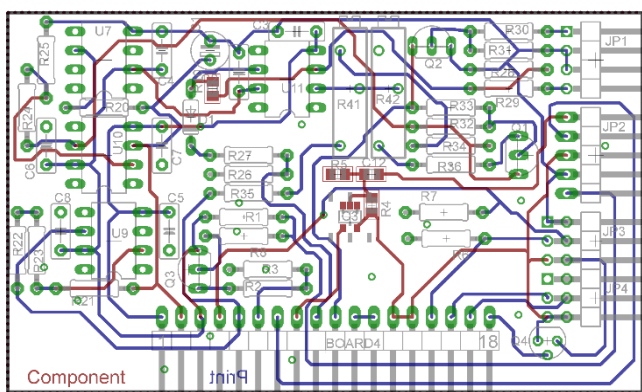


Bild 28 Layout Analogteil Baugruppe 4



Platine 5 Analogbaugruppe Hier sitzt der Analog Digitalwandler mit seinen Operationsverstärker an den Eingängen zur Abfrage der beiden Potentiometer Frequenz grob und Frequenz fein.

An den seitlichen Anschlüssen werden die beiden Potentiometer sowie die Betriebsspannungen zugeführt.

Bild 29 Schaltbild AD-Wandler Baugruppe 5

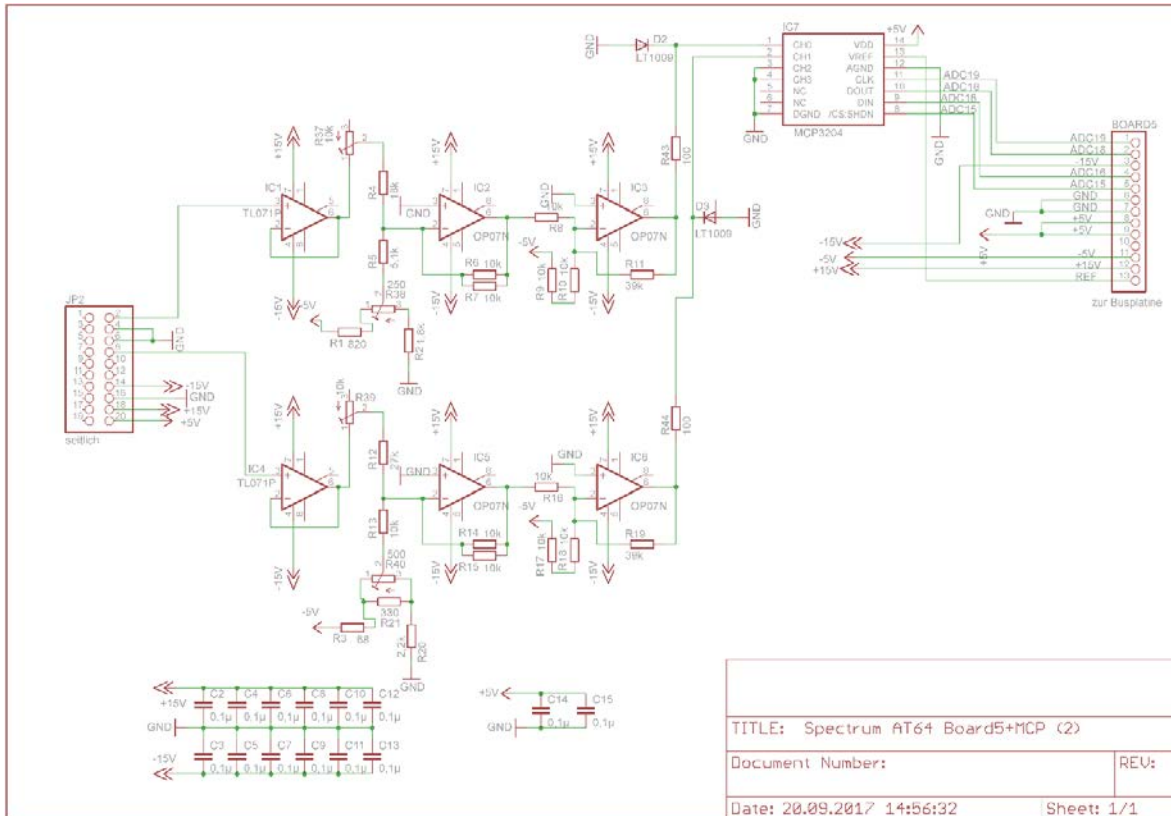
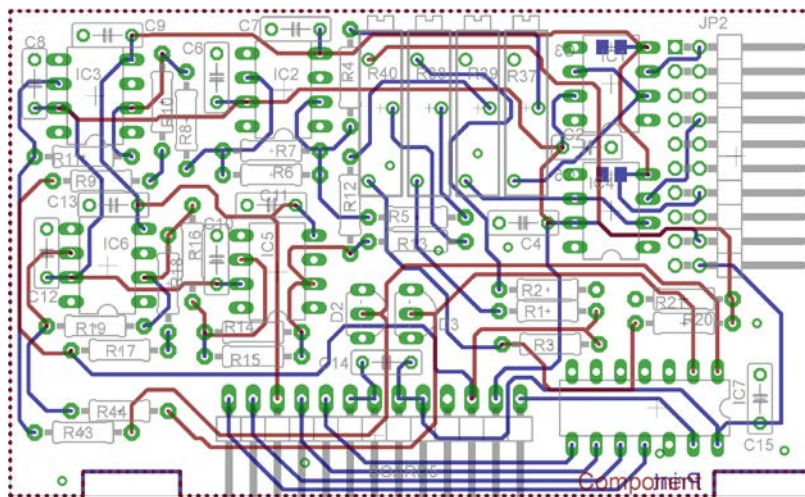


Bild 30 Layout AD-Wandler Baugruppe 5



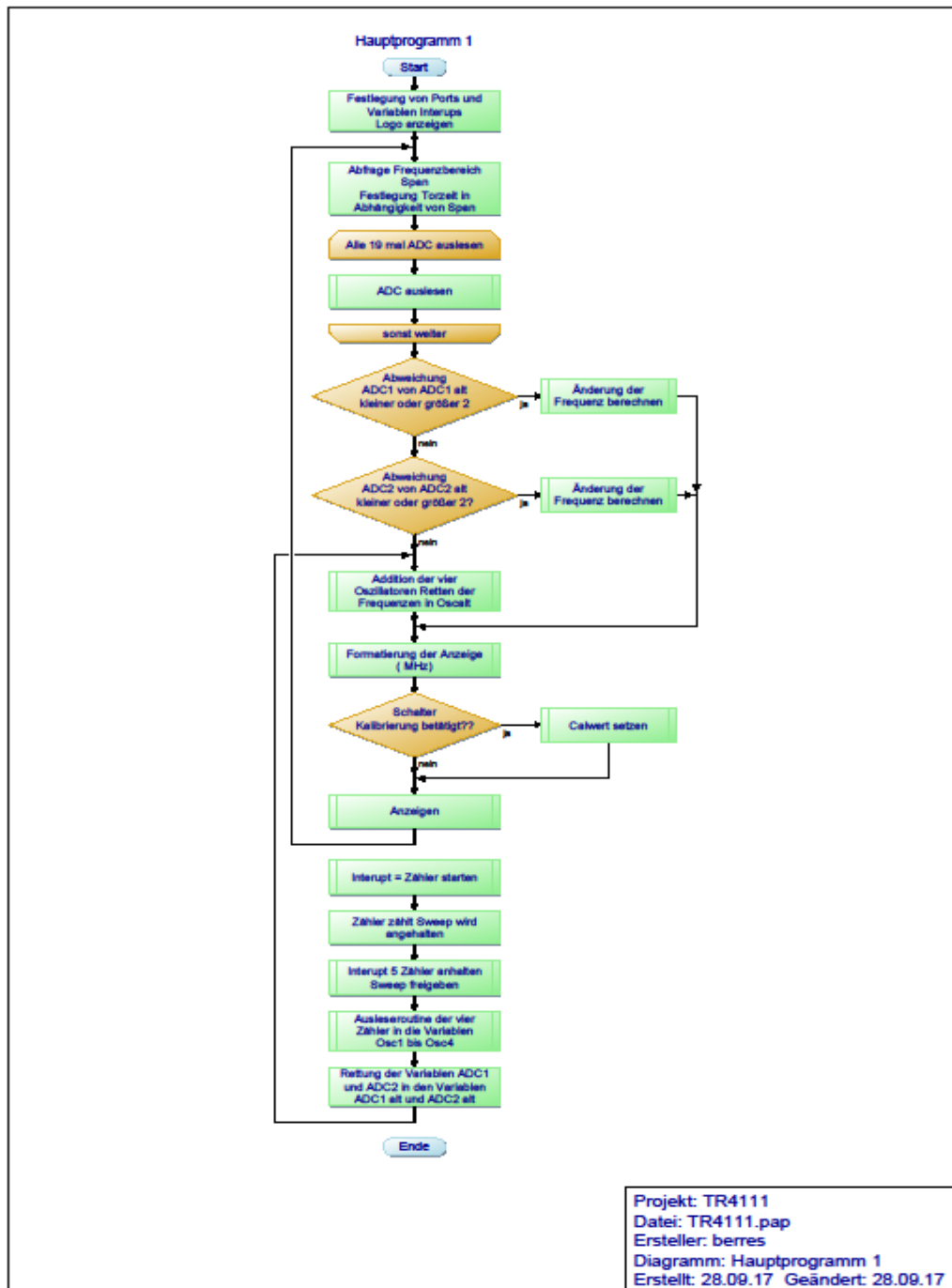




## Beschreibung Programmablauf

Das Programm besteht aus einem Hauptprogramm und einer ganzen Reihe von Unterprogrammen, sowie zwei Hardware-Interruptprogrammen.

**Bild 33** Ablaufdiagramm des Hauptprogrammes



Projekt: TR4111  
 Datei: TR4111.pap  
 Ersteller: berres  
 Diagramm: Hauptprogramm 1  
 Erstellt: 28.09.17 Geändert: 28.09.17



In dem Programm ist weiterhin noch eine Routine implementiert, welche die beiden Potentiometer Frequenz grob und Frequenz fein abfragt. Der AD Wandler ist ein 12 Bit ADC welches über einen SPI-Bus an den Prozessor angebunden ist, und sitzt auf der Platine 5.

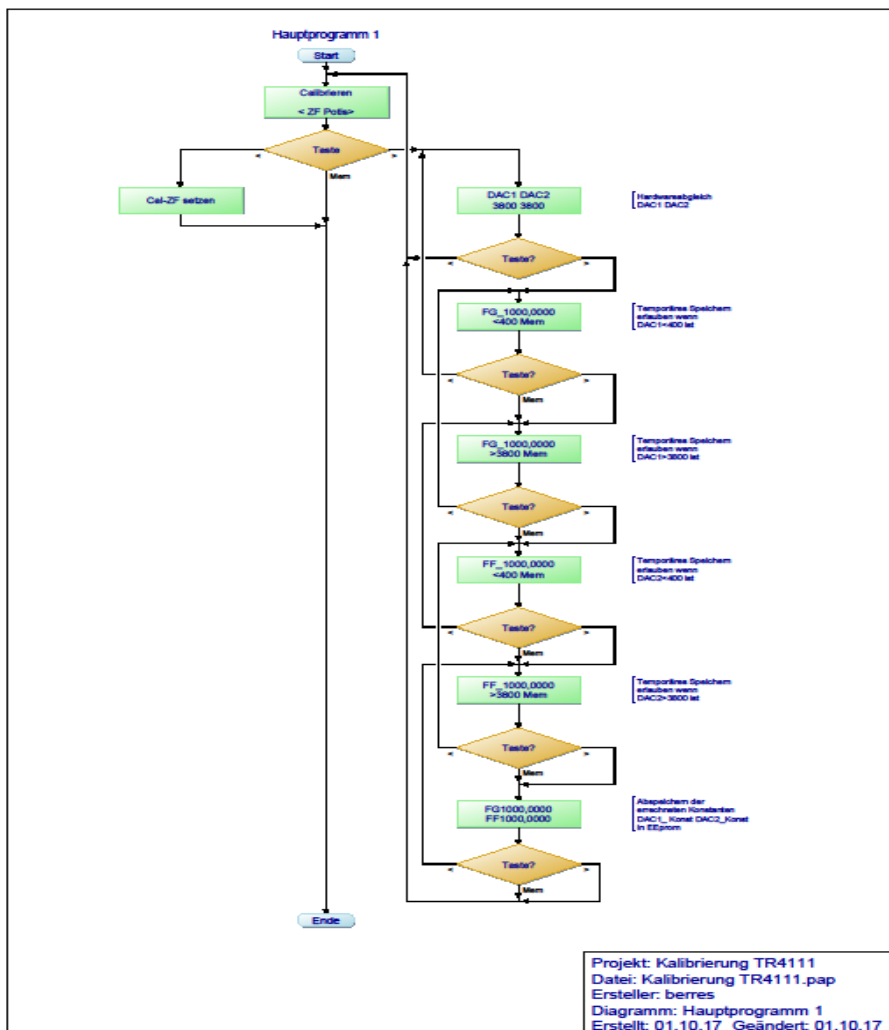
Das Programm stellt fest, ob sich der Wert von einer der beiden AD-Wandlern um mehr als 2 Digit geändert hat.

In diesen Falle wird ausgehend von der letzten gemessenen Frequenz abgeschätzt um wie hoch bei gegebener ADC-Wert-Änderung die geschätzte Frequenz sein wird und im Display mit einen Fragezeichen am Ende versehen angezeigt. Dies passiert in quasi Echtzeit. Diese geschätzte Frequenz wird bei einer neuen Frequenzmessung wieder durch den realen Wert überschrieben.

Der Vorteil ist, das man auch bei langen Spanzeiten sieht wo sich die Frequenz im etwa hinbewegt wenn man an den Frequenzeinsteller dreht. Andererseits würde man immer warten müssen bis eine Messung erfolgt ist und bis dahin ein Blindflug machen.

In dem Programm ist auch eine Kalibrierroutine implementiert

**Bild 34**



Dieses Unterprogramm ist Menue geführt und bietet folgende Möglichkeiten.

#### ZF-Cal

Feststellung und Berücksichtigung einer von dem Sollwert abweichende ZF. Dieser gewonnene Korrekturwert wird ins EEPROM abgespeichert und in der Additionsroutine bei der die vier Oszillatorfrequenzen verrechnet werden berücksichtigt.

#### ADC Cal

Hier werden einfach von beiden ADCs die Rohwerte 0-4096 angezeigt. Dieses Programm dient zur Einstellung der ADC-Grenzwerte am Anfang und Ende der Potistellungen Frequenz grob und Frequenz fein, mit Hilfe der vier auf Board 5 befindliche Spindeltrimmer.

#### FG-Anfang

Es wird abgefragt ob der ADC1-Wert des Potentiometers Frequenz grob kleiner als 400 ist. In diesem Falle wird der eingestellte ADC1-Wert als auch die dazugehörige Frequenz in einen temporären Speicher abgelegt.

Bei einen größeren ADC1-Wert als 400 wird das speichern verhindert. Stattdessen erscheint im Display ADC-Wert zu groß.

#### FG\_Ende

Es wird abgefragt ob der ADC1-Wert des Potentiometers Frequenz grob größer als 3800 ist. In diesem Falle wird der eingestellte ADC1-Wert als auch die dazugehörige Frequenz in einen temporären Speicher abgelegt.

Bei einen kleineren ADC1-Wert 3800 wird das speichern verhindert. Stattdessen erscheint im Display ADC-Wert zu klein.

#### FF-Anfang

Es wird abgefragt ob der ADC2-Wert des Potentiometers Frequenz grob kleiner als 400 ist. In diesem Falle wird der eingestellte ADC2-Wert als auch die dazugehörige Frequenz in einen temporären Speicher abgelegt.

Bei einen größeren ADC2-Wert als 400 wird das speichern verhindert. Stattdessen erscheint im Display ADC-Wert zu groß.

#### FF\_Ende

Es wird abgefragt ob der ADC2-Wert des Potentiometers Frequenz grob größer als 3800 ist. In diesem Falle wird der eingestellte ADC2-Wert als auch die dazugehörige Frequenz in einen temporären Speicher abgelegt.

Bei einen kleineren ADC2-Wert 3800 wird das speichern verhindert. Stattdessen erscheint im Display ADC-Wert zu klein.

#### Berechnung

Aus den Anfangs und Endfrequenzen sowie aus den Anfangs und End ADC-Werten wird ein ADC-Korrekturwert errechnet, welches die Schrittweite der Frequenz / Digit ADC Änderung entspricht, in das EEPROM abgespeichert. Und zwar für beide ADCs getrennt.

Die abgespeicherten ADC Korrekturwerte werden in den Potentiometerabfrageroutinen benötigt, um die Frequenzschätzung zu ermöglichen.

Im Normalfall wird im Display in der oberen Zeile die Frequenz angezeigt dessen Auflösung direkt von der Torzeit abhängt ( 100KHz bis 100Hz )

In der unteren Zeile steht links ob der interne Quarzofen warm ist oder am aufheizen ist.

In der Mitte der unteren Zeile steht ob sich der Messpunkt in der Mitte des Bildschirms oder links am Bildschirm befindet.

Rechts in der unteren Zeile wird angezeigt, ob der interne Oszillator oder ein externer Oszillator als Referenzfrequenz verwendet wird.

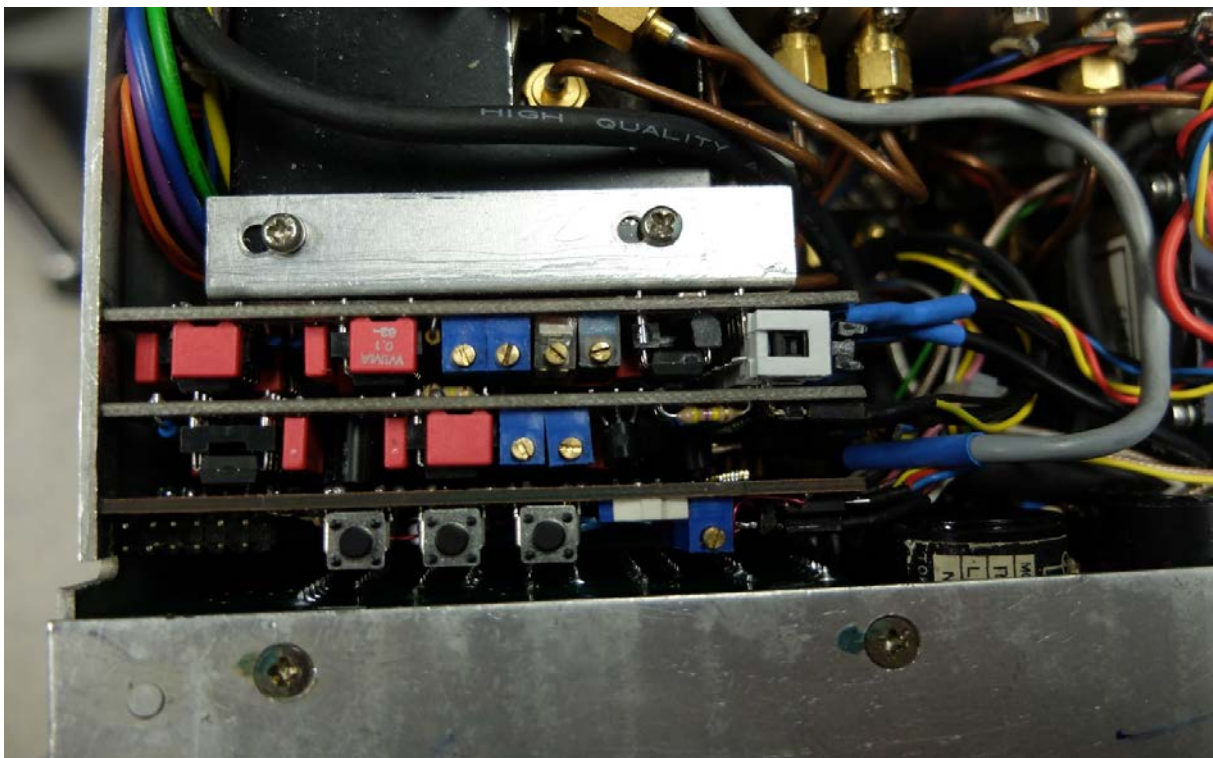
Die genauen Positionen für die Messung auf der horizontalen Achse lassen sich mit zwei Spindeltrimmer auf Board 4 einstellen. Auf Board 4 wird auch die Information gewonnen ob der Quarzofen kalt oder warm ist.

Das passiert durch Messung des Stromes des Quarzofens. Im kalten Zustand benötigt er ca. 400mA. Im warmen Zustand sinkt der Strombedarf auf etwa 120mA. Dies wird als Spannungsabfall an einen Widerstand erfasst, und dem Prozessor mitgeteilt.

Einbau ins Gerät

Diese Baugruppen wurden maßgeschneidert für das Gerät Taketa Riken 4111 konstruiert.

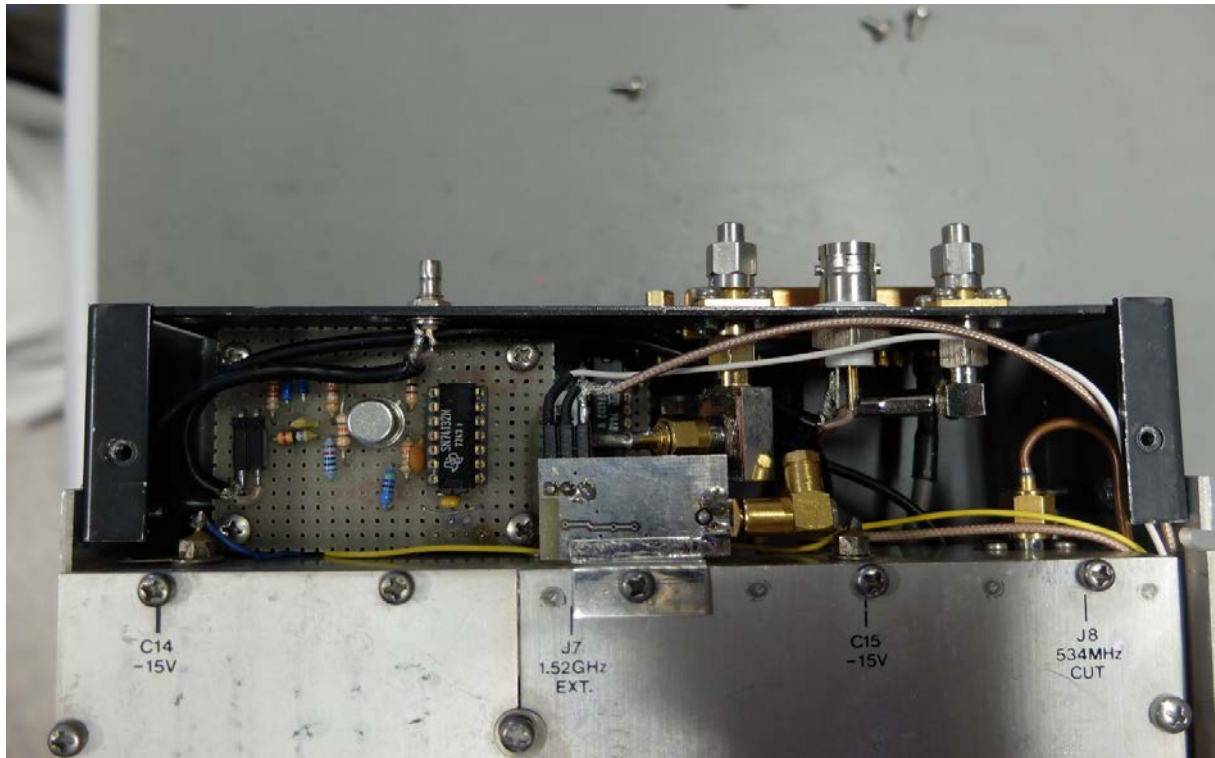
**Bild 38 Fertig eingebaute Baugruppe in den Spektrumanalyzer**



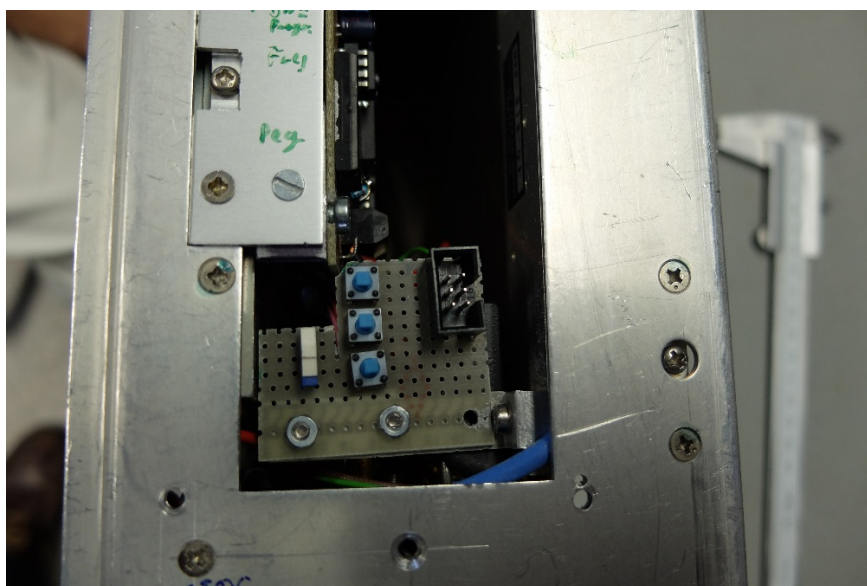
Die Vorteiler wurden an den Stellen platziert, wo die Frequenzen greifbar sind. Sie sind entsprechend mit SMA bzw. SMB Steckverbinder ausgestattet, um sie direkt zwischen der entsprechende Baugruppe und der an dieser Baugruppe angeschlossene Koaxleitung einfügen zu können.

Der Quarzofen befindet sich aus Platzgründen an der Rückseite des Gerätes. Eine zusätzliche Bedien- und Programmierschnittstelle befindet sich an der Seite des Gerätes weil er dort gut zugänglich ist, ohne das Gerät öffnen zu müssen.

**Bild 39** An der Rückwand sieht man den 10MHz Referenzoszillator und den 33,3 MHz Teiler

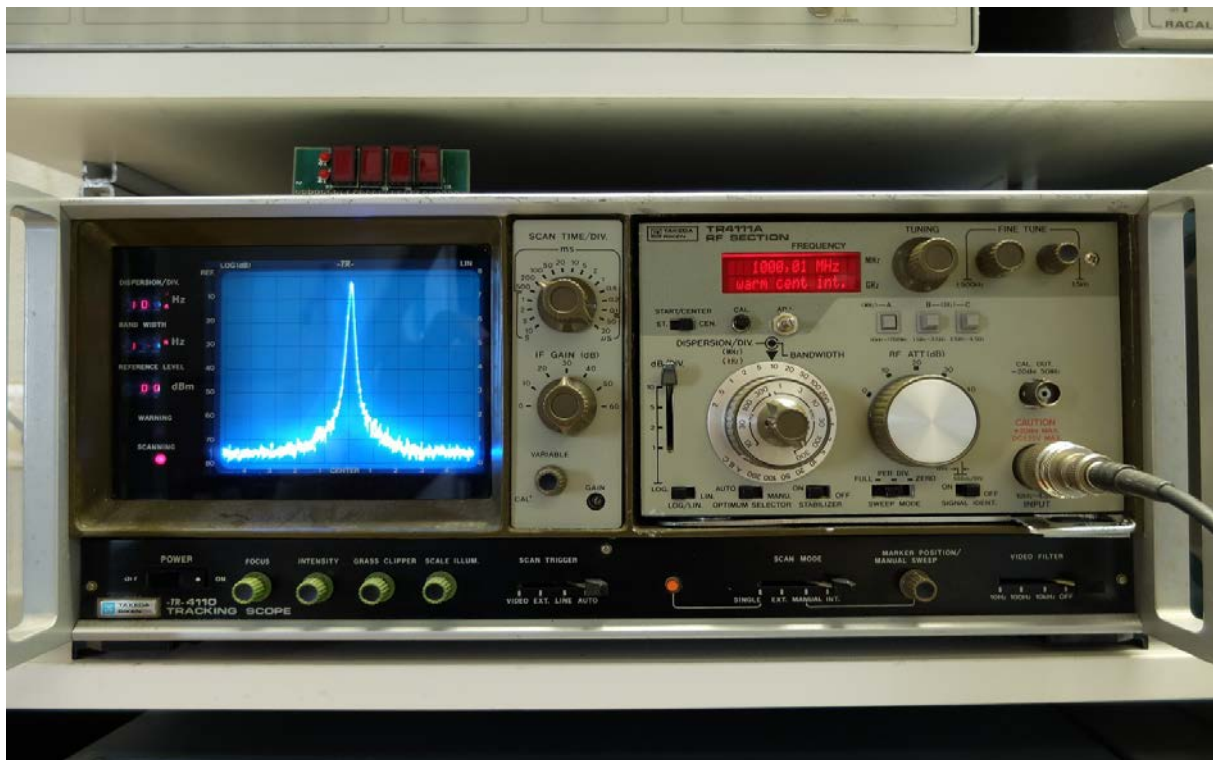


**Bild 40** Programmieranschluss und Taster für Kalibrierung seitlich im Spektrumanalyzer



Für den Frequenzzähler einzubauen, musste die komplette Fronteinheit ausgebaut werden.

**Bild 36** Spektrumanalyzer von Vorne mit neuen Display



## **Anpassung an einen anderen Spektrumanalyzer**

Wer diesen Frequenzähler für einen anderen Spektrumanalyzer verwenden will, muss ein paar Dinge beachten.

Grundsätzlich ist dieses Konzept für alle Spektrumanalyzer verwendbar, welche die erste ZF in der Gegend von 2GHz benutzt. Also erster LO 2-4GHz. Der erste Teiler kann keine wesentlich höheren Frequenzen als 4,5GHz teilen.

Ansonsten müsste man den ersten Teiler /256 überarbeiten.

Da alle vier Frequenzen auch gemessen werden, werden zumindest im Basisband 0-2GHz keine Schwierigkeiten zu erwarten sein. Die Frequenzkonzepte anderer Spektrumanalyzer dürften ähnlich sein.

Der Spektrumanalyzer muss die Information, welchen Span man gewählt hat als Binärcode zur Verfügung stellen. Siehe Exceltabelle Bereichswahl Bild 35.

Die Zuordnung Span zu Ablaufgeschwindigkeit muss gegebenenfalls im Basic-Programm angepasst werden.

Die Ablaufgeschwindigkeit bestimmt direkt eines der vier Torzeiten.

Weiterhin wird eine Möglichkeit gefordert, den Ablenksägezahn anhalten zu können. Der entsprechende Anschluss wird vom Kontroller für diesen Zeitpunkt nach Masse gezogen.

Die Ablenksägezahnspannung selbst beträgt in meinen Analyzer +2,5V den kann man gegebenenfalls auf Board 4 anpassen. Die Potentiometerspannungen von den Einsteller Frequenz grob und fein werden hochohmig

abgenommen. Hier muss auf Board5 vermutlich diverse Widerstände geändert werden, damit der volle Einstellbereich der Potis den ADC-Werten 40-4040 entspricht.

Das Basicprogramm ist zu umfangreich um es zu veröffentlichen. Es hat alleine 19 DinA4 Seiten. Es kann aber beim Autor bezogen werden. Leiterplattensätze können wir gegen Vorbestellung fertigen lassen.

<http://www.datasheetpdf.com/datasheet/search.php?sWord=LS7060>

<https://4donline.ihs.com/images/VipMasterIC/IC/NECE/NECES00376/NECES00376-1.pdf?hkey=EF798316E3902B6ED9A73243A3159BB0> upb1505

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21298c.pdf> MCP3204

[http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/208/440356\\_DS.pdf](http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/208/440356_DS.pdf) SDA4212



