

5 Implementierung

5.1 Implementierung der Hardware

Hier wird die Umsetzung der selbst entworfenen Hardware-Komponenten des Motorsteuerungsgerätes in die Praxis erörtert, von der Stromlaufplan-Erstellung bis zum fertigen Gesamtgerät.

5.1.1 Stromlaufplan-Erstellung für das Motorsteuerungsgerät

Die Erstellung des Stromlaufplanes erfolgte mit der Software EAGLE von der Firma Cadsoft. Mit Hilfe dieses Programmes können auf einer grafischen Oberfläche Schaltpläne erstellt und bearbeitet werden (Schematics Editor).

Für die Erstellung eines Stromlaufplanes wurde als erstes ein Schaltplan angelegt. Anschließend wurden Symbole platziert. Hinter diesen Symbolen verbergen sich Schaltzeichen und die Abmessungen der realen Bauelemente. Fehlte ein bestimmtes Bauelement, musste dieses mit dem Bibliotheks-Editor neu erstellt werden.

Darauf folgte die Definition von Verbindungen zwischen den Pins der einzelnen Elemente. Dadurch wurden intern sogenannte Netze erstellt. Dargestellt werden Netze im Net-Layer. [Cad95]

Bei der Erstellung hat sich eine genaue Bezeichnung der Bauelemente als sehr nützlich erwiesen, um Verwechslungen zu verhindern. Als Ergebnis dieser Arbeiten erhielt man einen kompletten Stromlaufplan.

Eine komplette Schaltungsbeschreibung zum Stromlaufplan befindet sich in **Anhang E**.

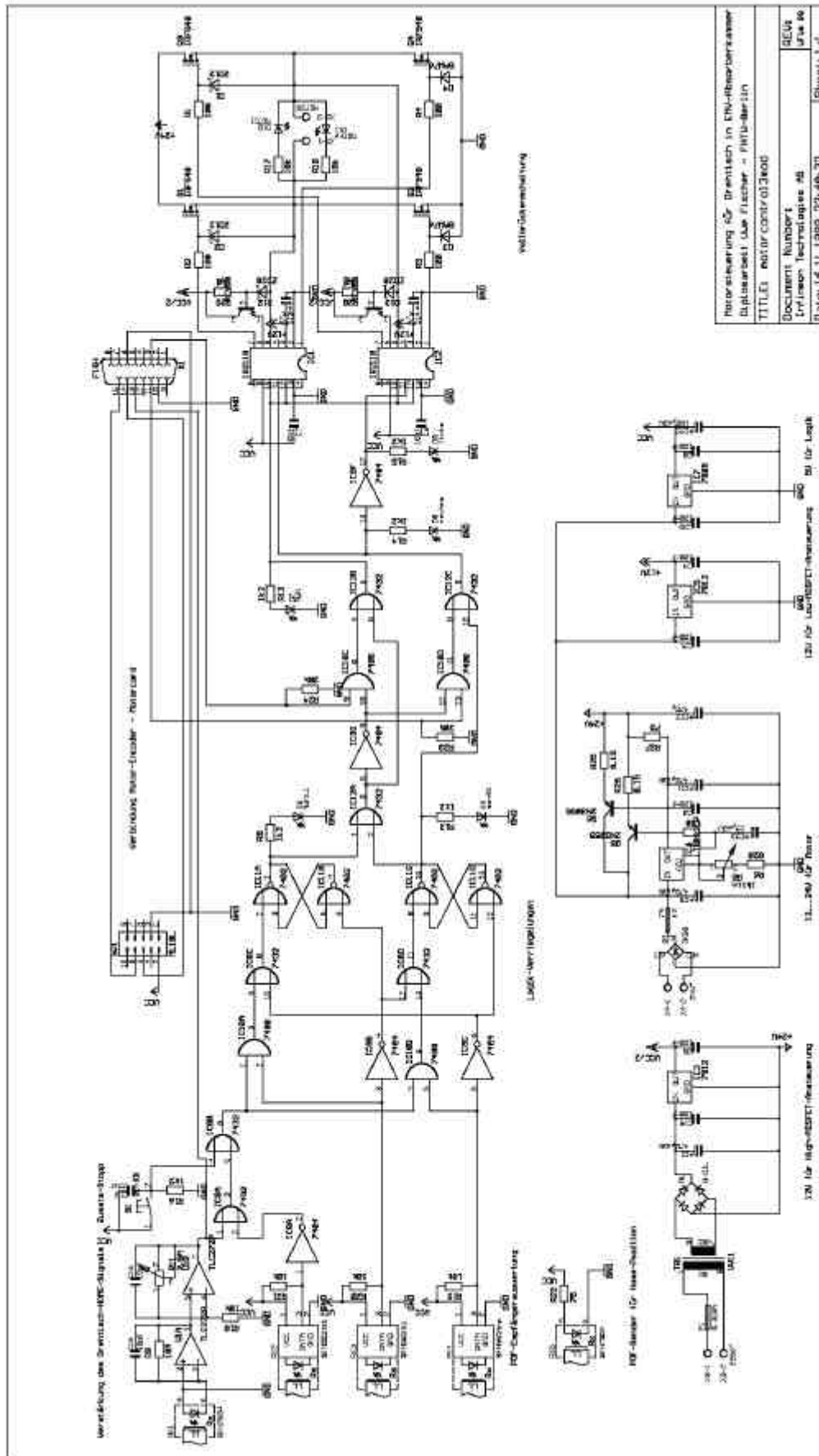


Abbildung 80: Stromlaufplan des Motorsteuerungsgerätes

5.1.2 Layout-Erstellung für das Motorsteuerungsgerät

Alle wichtigen elektronischen Bauelemente sollten auf einer Leiterplatte angeordnet werden. Das Format der Leiterplatte sollte, nach eigenen Vorgaben, die Abmessungen einer Europakarte (100mm x 160mm) nicht überschreiten. Ziel war die Erstellung von Fertigungsunterlagen für eine durchkontaktierte zweiseitige Leiterplatte.

Das Layout (Leiterzugbild) konnte ebenfalls mit der Software EAGLE von Cadsoft erstellt werden. Es war eine Übernahme des Netzes aus dem Schematics Editor möglich. Dabei entstand auf dem Bildschirm als erstes eine leere Leiterplatte, neben der die mit Luftlinien verbundenen Bauelemente platziert waren. Versorgungs-Pins wurden mit den Signalen verbunden, die ihrem Namen entsprachen, falls nicht explizit ein anderes Netz mit ihnen verbunden wurde. [Cad95]

Als nächstes mussten die Bauelemente platziert werden. Mit dem Route-Befehl ließen sich die Luftlinien in Leitungen umwandeln. Das eigentliche Routen („Verlegen“ der Leiterzüge) sollte teilautomatisch erfolgen.

Zuerst wurden breitere Leiterzüge für die höhere Strombelastung verlegt. Dazu gehörten sämtliche Masseleitungen und alle Leitungen, durch die der vergleichsweise hohe Motorstrom fließen soll. Die Breite der Leiterzüge wurde auf 1,5mm dimensioniert. Anschließend wurden alle übrigen Leiterzüge verlegt. Dafür wurden die Standard-Vorgaben von 0,4mm für die Leiterzugbreite verwendet.

Nach einer umfangreichen Fehlerprüfung mit programmspezifischen Werkzeugen erfolgte die Bereitstellung von Fertigungsunterlagen, um die Leiterplatte in einem Labor fertigen zu lassen.

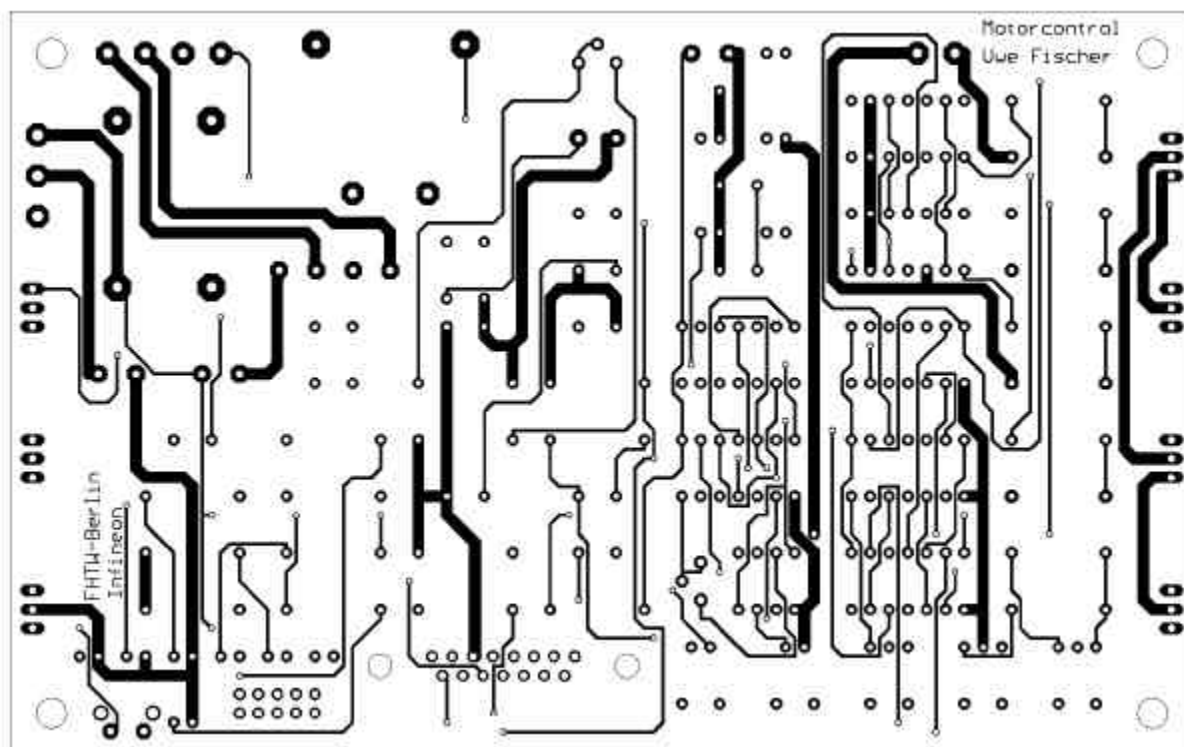


Abbildung 81: Layout der Bestückungsseite (Top) der Leiterplatte des Motorsteuerungsgerätes

Weitere technische Dokumentationen sind in **Anhang E** zu finden.

5.1.3 Leiterplattenfertigung für das Motorsteuerungsgerät

Die Leiterplattenfertigung sollte im FHTW-eigenen Labor für Aufbau- und Verbindungstechnik erfolgen. Zur Fertigung einer subtraktiven durchkontaktierten Leiterplatte in Metallresisttechnik waren folgende Schritte notwendig:

Ausgangsmaterial war doppelseitig kupferkaschiertes Basismaterial (18µm)

1. Herstellung der Fertigungsunterlagen
 - Bereitstellung von Bohrdateien und Layoutdateien
 - Herstellung einer Belichtungsmaske mit Fotolithografie
2. Mechanische Bearbeitung
 - Zuschneiden und Bohren der Leiterplatte
3. Erste Durchkontaktierung durch galvanische Verkupferung
 - Verfahren mit Primärmetallisierung
4. Negativdruck des Leiterbildes
 - Plattiermaskenauftrag
5. Zweite Durchkontaktierung durch galvanische Verkupferung
 - Leiterbildgalvanisierung
6. Leiterbildstrukturierung
 - galvanische Zinnabscheidung als Ätzresistmaske
7. Entfernung des restlichen Kupfers durch Ätzen
8. Endbearbeitung
 - Zuschnitt, Kontrolle

5.1.4 Aufbau und Bestückung der Leiterplatte für das Motorsteuerungsgerät

Nach einer umfangreichen Revision konnte das Bestücken der Leiterplatte mit Bauelementen erfolgen.

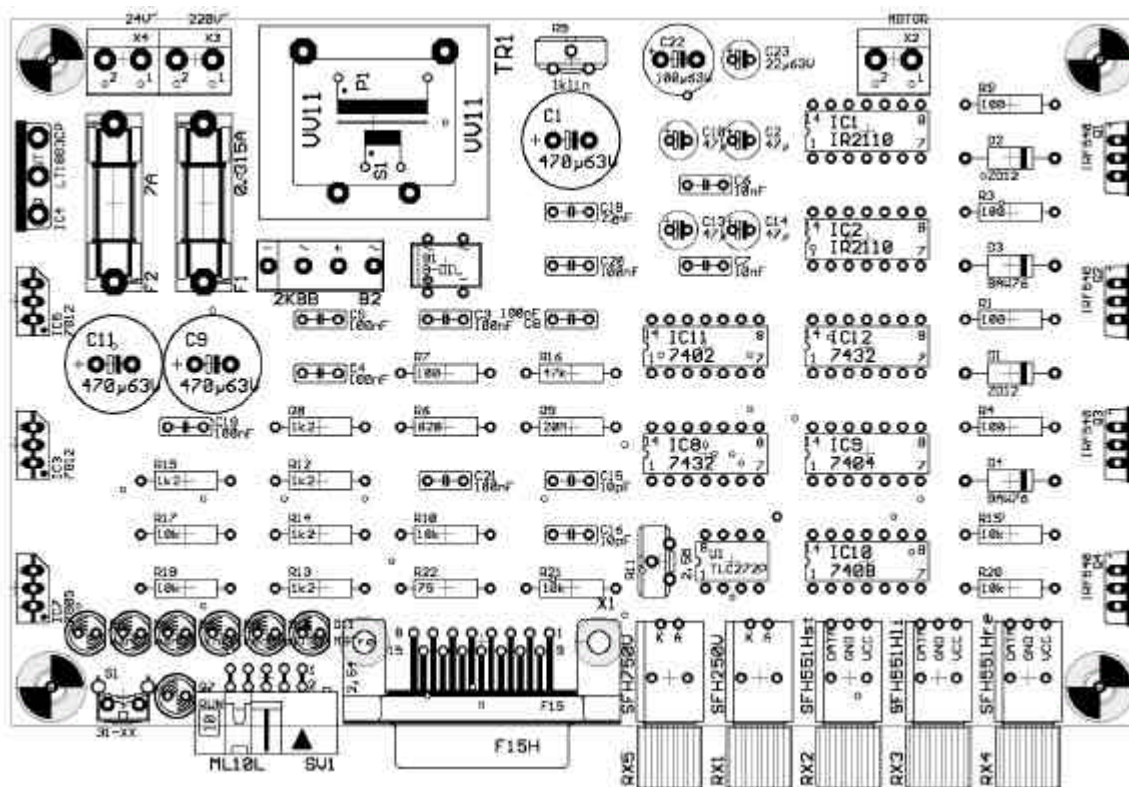


Abbildung 82: Leiterplatte des Motorsteuerungsgerätes mit zu bestückenden Bauelementen.

Bei der Bestückung wurde zuerst mit den mechanisch kleineren Bauelementen begonnen. Das saubere Arbeiten beim Zurichten der Bauelemente und beim anschließenden Verlöten war wichtig, da die Leiterplatte nicht mit einem Lötstopp-Lack überzogen war.

5.1.5 Zusammenbau des Motorsteuerungsgerätes

Die gefertigte Leiterplatte stellt die Hauptkomponente des Motorsteuerungsgerätes dar. Sie sollte gemeinsam mit weiteren Komponenten in einem Gehäuse untergebracht werden.

Durch die gewählten Abmessungen der Leiterplatte konnte auf ein Standard-Metallgehäuse zurückgegriffen werden. Das brachte Einsparungen an Zeit, Kosten und Aufwand. Ein weiterer Vorteil war der geringe Platzbedarf des Gesamtgerätes.

In diesem Gehäuse wurden weiterhin angeordnet:

- Transformator
- Kühlbleche für die Spannungsregler
- Kühlbleche mit Leistungstransistoren
- Glättungskondensatoren
- Schaltelemente

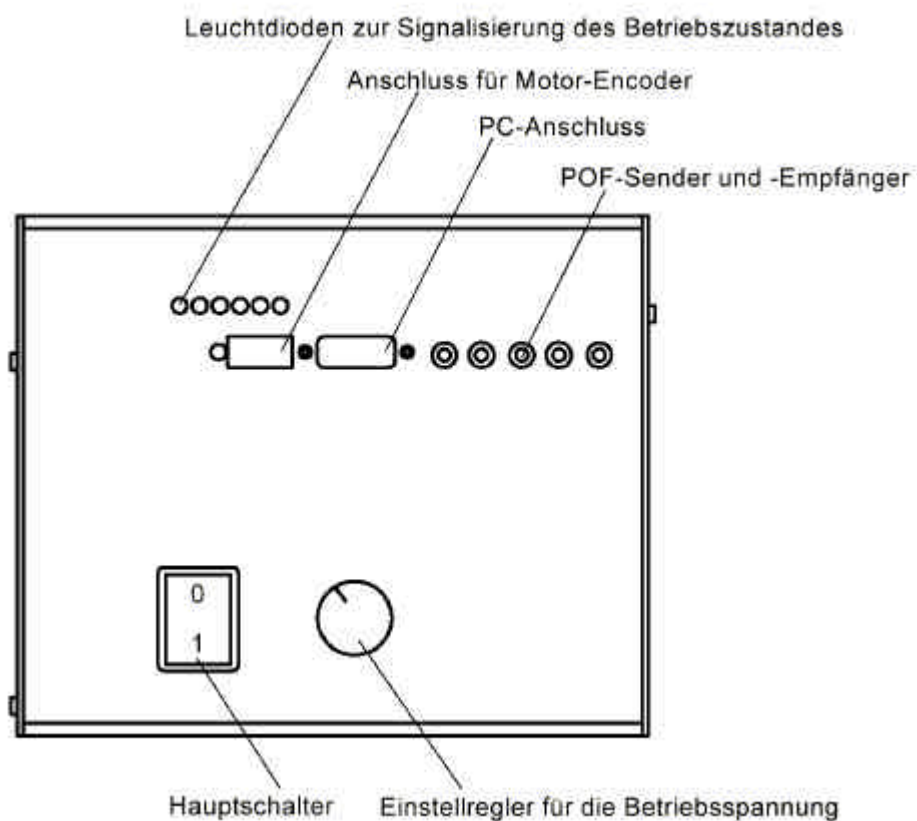


Abbildung 83: Gesamtansicht des Motorsteuerungsgerätes

Weitere Fertigungsunterlagen zum Motorsteuerungsgerät sind im **Anhang E** zu finden.

Der resultierende Frequenzwert innerhalb der oben beschriebenen FOR-Schleife ergibt sich aus:

$$\text{Frequenz} = \text{Startfrequenz} + \frac{(\text{Stoppfrequenz} - \text{Startfrequenz})}{(\text{Bildpunktzahl})} \cdot \text{Laufindex} \quad [\text{Gl.25}]$$

Diese jeweils berechnete Frequenz wird zusammen mit den Amplitudenwerten der Spektren bzw. der Grenzwertlinie (Limit Line) in einem Feld zusammengefasst. Dieses Feld kann dann zur Erzeugung eines Spektrums verwendet werden.

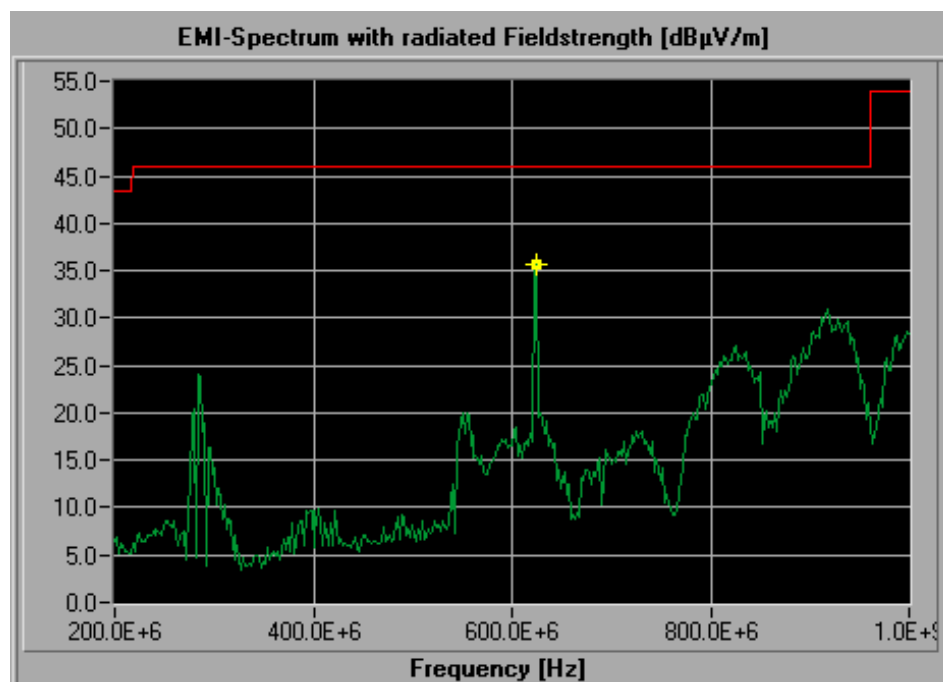


Abbildung 85: Darstellung eines Spektrums nach Auslesen der Werte aus einem Spektrumanalysator

5.3 Implementierung von Korrekturfaktoren

5.3.1 Kalibrieroutine am Beispiel des Verstärkers SHF 88

Für den Testaufbau zur Messung von Frequenzen unterhalb von 1GHz mussten Korrekturdaten für den Vorverstärker ermittelt werden. Da keine Daten vom Hersteller zur Verfügung standen, sollte die genaue frequenzbezogene Verstärkung des verwendeten Typs SFH88 ausgemessen werden.

Der Spektrumanalysator HP8591EM verfügt über einen internen Tracking Generator. Dieser Generator kann Frequenzen von 0...1900MHz bei einer maximalen Ausgangsleistung von 20dBm zur Verfügung stellen.

Folgende Schritte waren zur Messung der frequenzbezogenen Dämpfung oder Verstärkung eines beliebigen Prüfobjektes notwendig:

- Frequenzbereich (0...1800MHz) wählen
- Tracking Generator einstellen (auf -40dBm)
- Erzeugung eines Kurzschlusses zwischen Tracking Generator Ausgang (RF OUT) und Spektrumanalysator Eingang (INPUT)
- Aufnahme der Amplitudenwerte für den Kurzschlussfall
- Prüfobjekt (Verstärker, Kabel o.ä.) zwischen RF OUT und INPUT adaptieren
- Aufnahme der Amplitudenwerte für das Prüfobjekt
- Vergleich der aufgenommenen Amplitudenwerte mit dem Kurzschlussfall (Differenzbildung)
- Ermittlung der Dämpfungs- / Verstärkungswerte
- Begrenzung der Daten auf 20 Wertepaare
- Erzeugung einer Korrekturdatei (*.txt)
- Möglichkeit des Ladens der Daten in die AMPCOR Register des Spektrumanalysators

Beim Auslesen des Spektrumanalysators wurden ursprünglich 401 Wertepaare zurückgegeben. Diese Anzahl war für eine Übernahme in das entsprechende AMPCOR-Register zu hoch. Hier können maximal 80 Paare eingetragen werden. Deshalb wurden aus den 401 Wertepaaren nur 20 Wertepaare generiert.

All diese Funktionen sind zur Arbeitserleichterung in einem LabVIEW-Programm (HP8591EM Calibrate.vi) realisiert worden.

Da es notwendig ist, die Messmittel (Kabel, Verstärker ect.) in regelmäßigen Abständen zu kalibrieren, kann dies mit dem LabVIEW-Programm (Kalibrieroutine) erfolgen. Mit dieser Kalibrieroutine können beliebige Kabel oder Verstärker im Frequenzbereich von 0 bis 1800MHz kalibriert werden. Die aufgenommenen Korrekturdaten können sofort in den Spektrumanalysator geladen werden.

Ergebnis

Der Frequenzgang des Verstärkers SFH 88 konnte aufgenommen und implementiert werden. Die Messergebnisse zeigten eine konstante Verstärkung von $40,0\text{dB} \pm 0,8\text{dB}$ über einen weiten Frequenzbereich von 100kHz bis 1,8GHz. (Weitere Daten dazu befinden sich in **Anhang D.**)