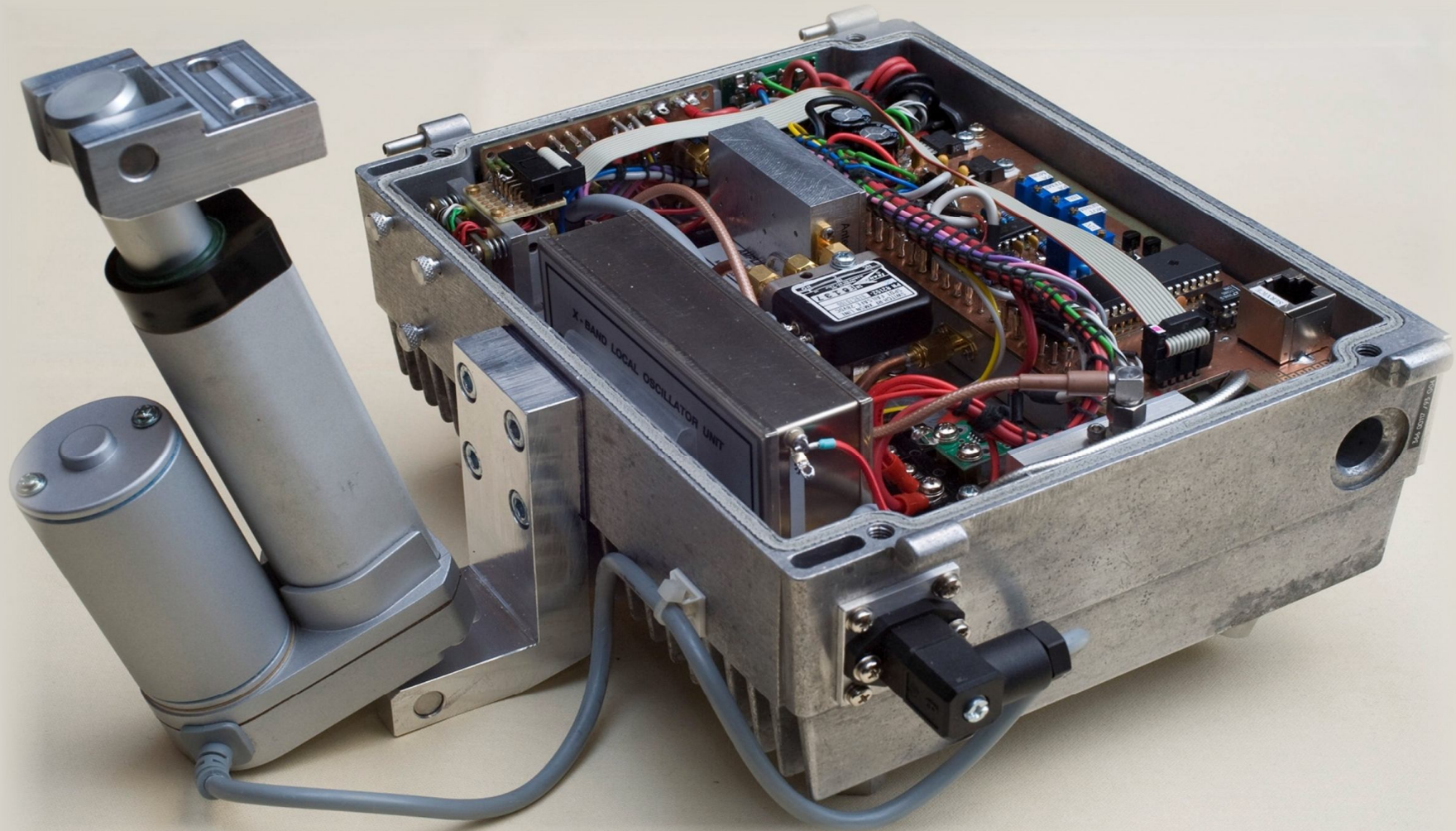


# 24 GHz-Transverter Mark III



# Einleitung

## Entstehungsgeschichte I

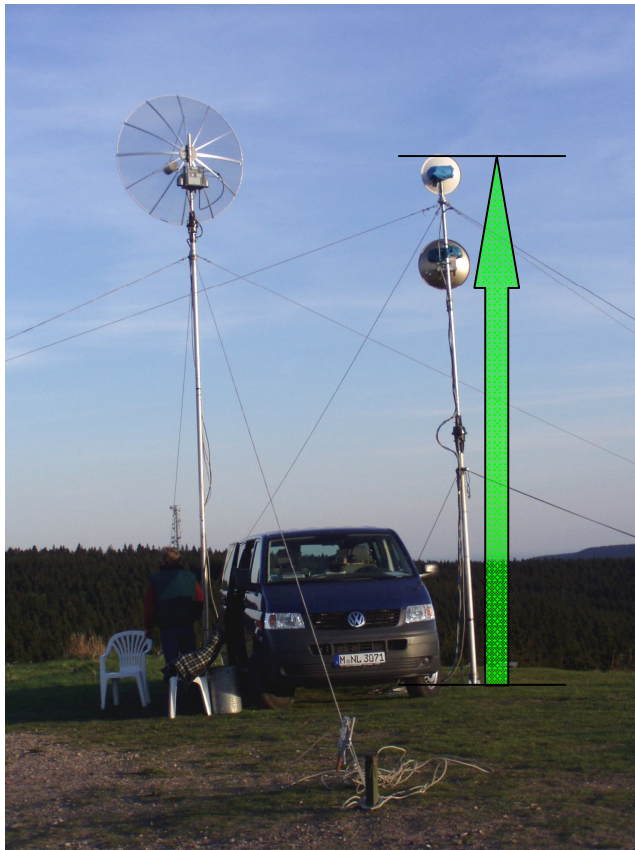


In den vergangenen Jahren wurde bei DL0GTH auf den Bändern ab 24GHz ausschließlich vom Stativ gearbeitet, teilweise unter extremen Bedingungen. Kälte, Sturm und Regen erschwerten das QSO – Fahren. Über Nacht musste der gesamte Stativkopf abgebaut und an sicherer Stelle untergebracht werden. Der Auf- und Abbau war entsprechend mühselig. Schnell mal QRV wurden wir auf diese Weise nicht.

**→ Eine Mastmontage für die 24GHz – Station  
musste realisiert werden**

# Einleitung

## Entstehungsgeschichte II



**Es zeigte sich sehr schnell, dass es sich auszahlt, durchgängig auf 24GHz QRV zu sein.**

**Allerdings bringt der Mastbetrieb neue Herausforderungen mit sich. Die senkrechte Aufstellung des Mastes konnte nicht über die Dauer des gesamten Contests gewährleistet werden und die Betriebsparameter waren nicht aus der Ferne ablesbar.**

**Nach einem Jahr Betrieb während der Contestsaison 2011 wurde schnell klar, dass eine neue, speziell dafür vorgesehene Station gebaut werden musste.**

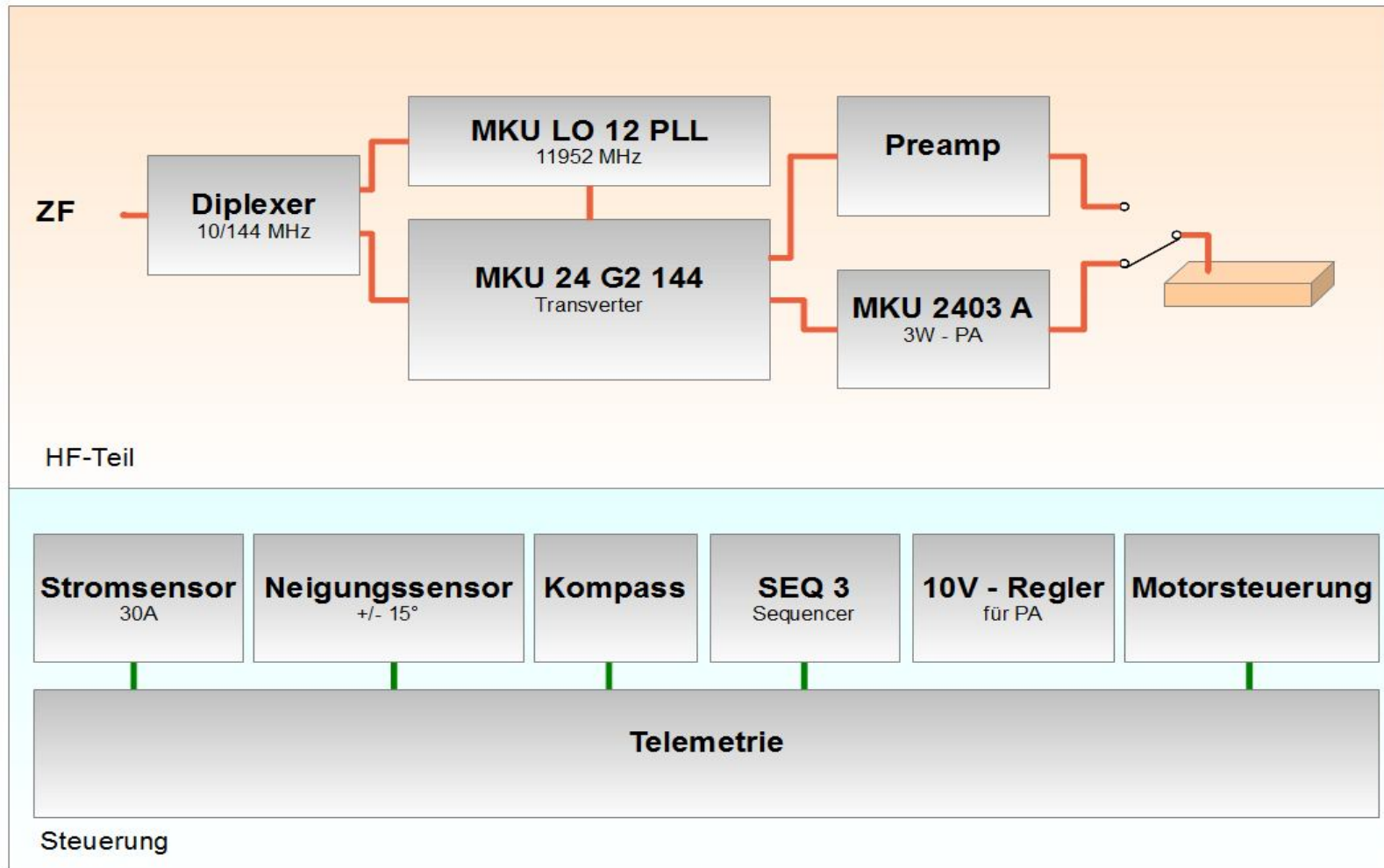
# Aufgabenstellung

## Eckpunkte des geplanten Systems

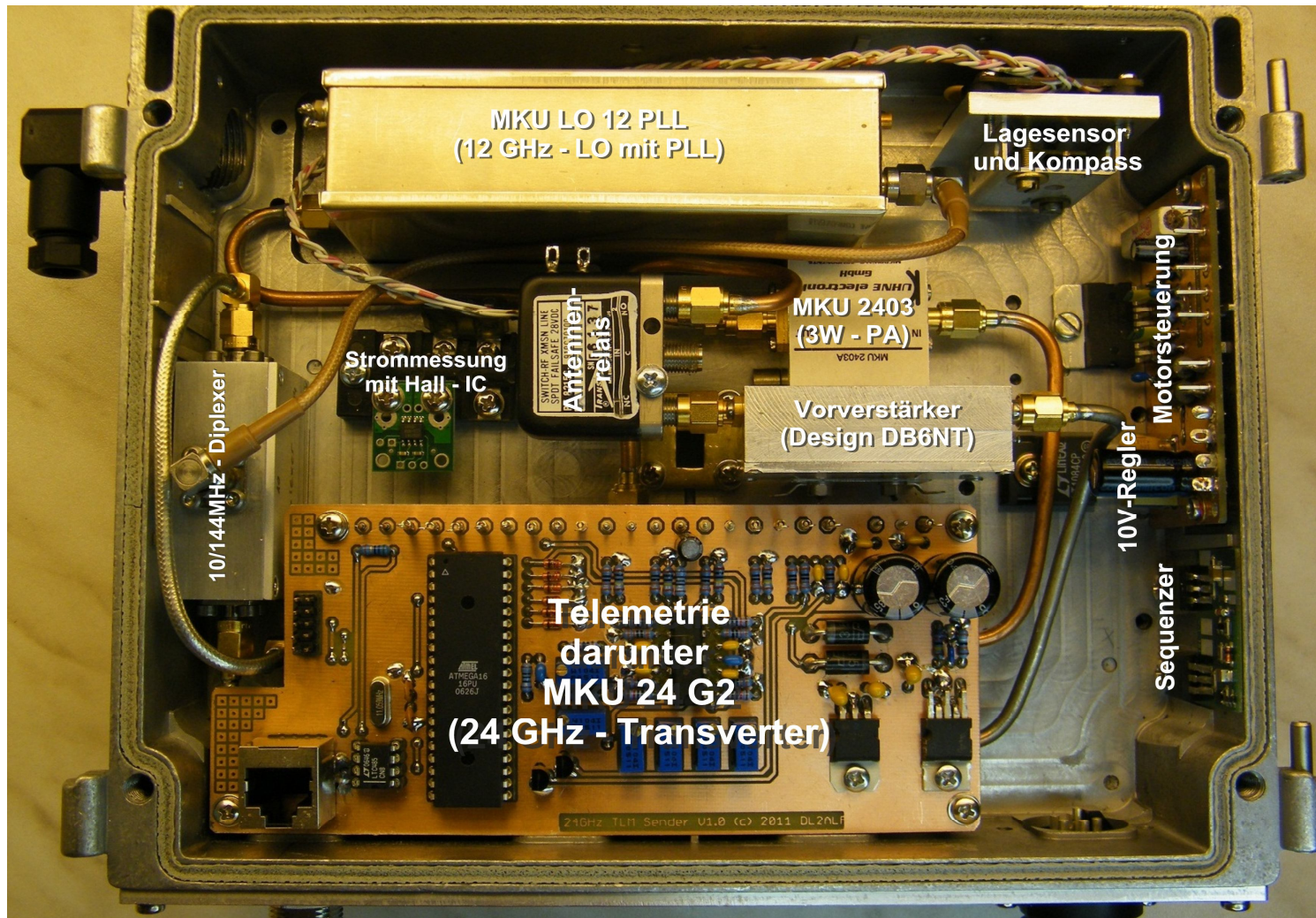
- **Wetterfestes, mastmontierbares 24GHz – Transvertersystem**
- **Output: > 3W**
- **Eingangsrauschzahl: < 4dB**
- **Stromversorgung: 13.8V DC**
- **GPS – stabilisierte Frequenzaufbereitung**
- **Automatische Lageregelung (Elevationskontrolle)**
- **Übermittlung aller Betriebsparameter durch Telemetrie**

# Aufgabenstellung

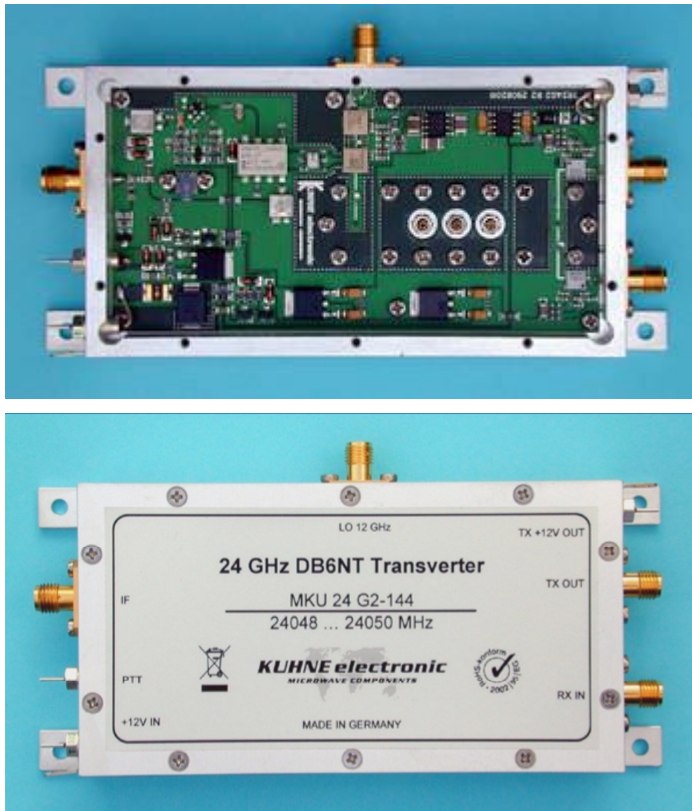
## Blockschaltbild



# Aufbau Übersicht



# Aufbau Transverter



Herzstück des Transverters ist das neue kompakte Modul MKU 24 G2 - 144 von Michael, DB6NT.

Es beinhaltet Verstärker, Mischer, Hohlleiterfilter, ZF-Teil und Steuerung. Zum kompletten Transverter wird lediglich noch eine Frequenz-aufbereitung benötigt.

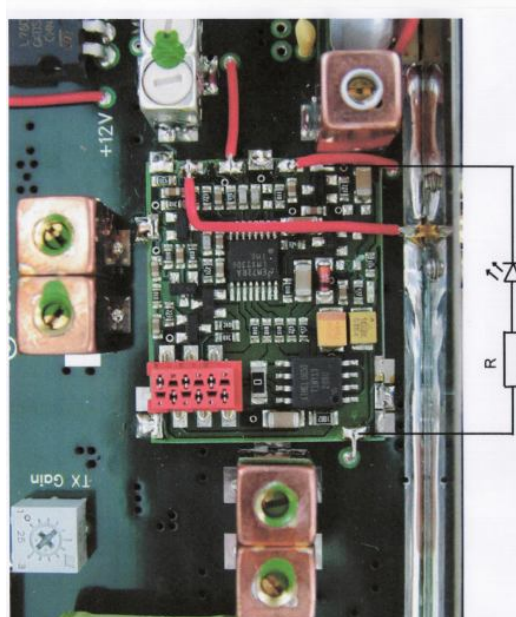
Der notwendige Aufwand für eine komplette Station reduziert sich damit auf ein Minimum.

# Aufbau

## Frequenzaufbereitung



Als Frequenzaufbereitung kommt ein Modul MKU LO 12 PLL von DB6NT zum Einsatz. Das externe 10MHz - Referenzsignal wird vom ZF – Kabel über einen Diplexer entnommen.



Der Zustand der PLL muss noch für die Telemetrie aufbereitet werden. Dazu wird die vorhandene Ansteuerung für eine externe LED – Anzeige modifiziert. Ein Schalttransistor wird zusätzlich auf der SMD – Platine montiert und über einen Durchführungskondensator nach außen geführt. Er liefert das Signal „PLL eingerastet/ausgerastet“ an den Mikroprozessor.



# Aufbau

## Antenne



Der Parabolspiegel ist eine bewährte Ausführung von [8] und wurde vom Vorgängersystem übernommen.

Als technische Daten sind angegeben:

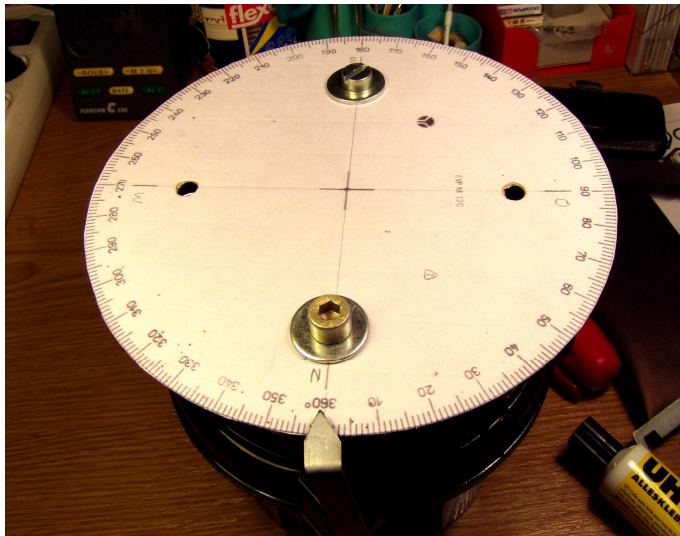
- Durchmesser: 48cm
- Gewinn: 36dBD
- 3dB-Öffnungswinkel: 2.5°

### Wichtig:

Auf Grund des geringen Öffnungswinkels der Antenne ist eine Positionierung  $<1^\circ$  erforderlich. Präzisionsrotoren sind für den Portabeleinsatz im allgemeinen nicht verfügbar. Unter bestimmten Bedingungen sind aber auch handelsübliche Rotoren brauchbar, wie die folgenden Folien zeigen.

# Aufbau

## Rotorkalibrierung I



Um die nötige Präzision zu erreichen, wurden die eingesetzten Rotoren vom Typ KR-800 und KR-1000 genau vermessen.

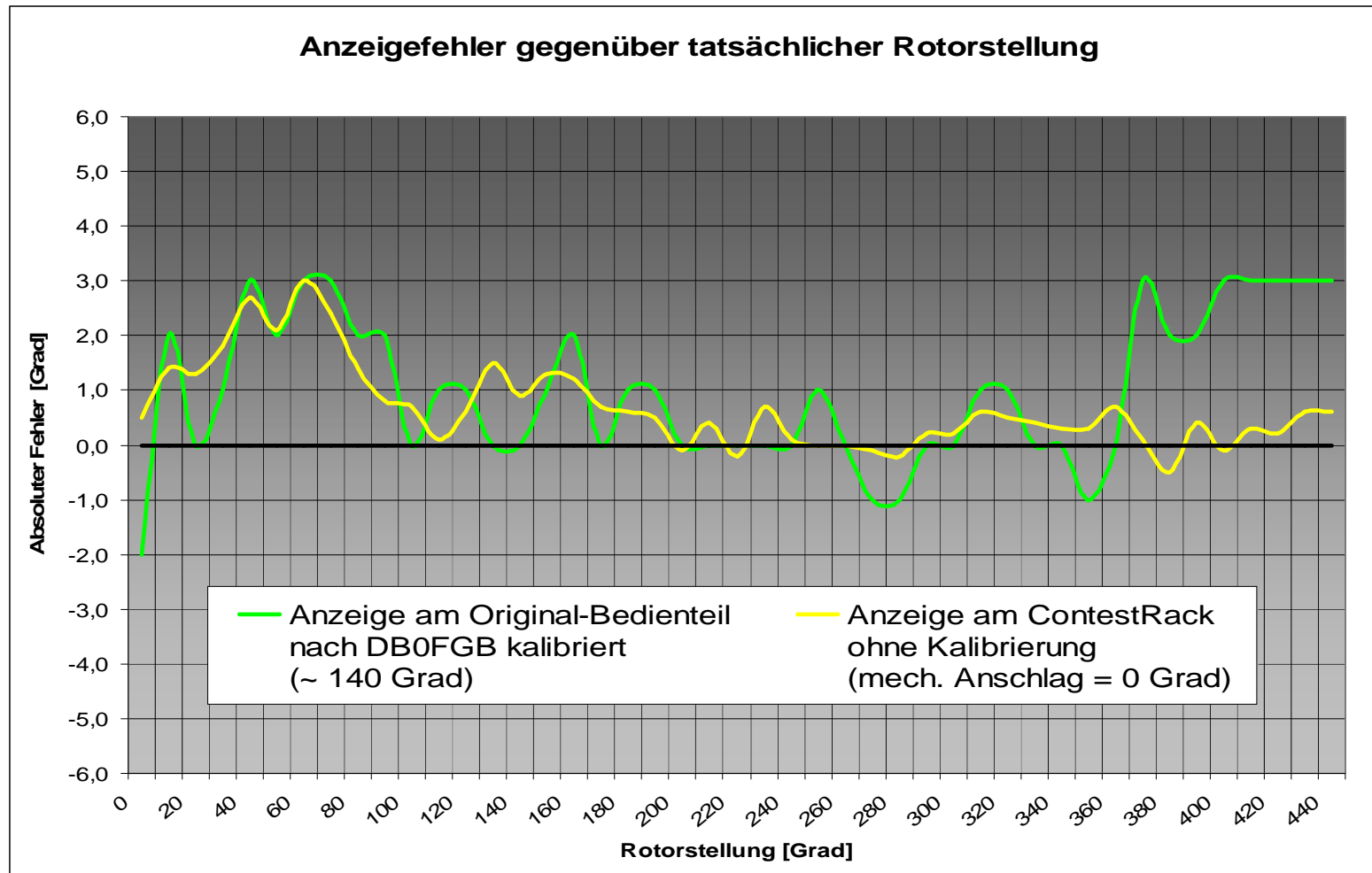
Dazu wurde eine eigens angefertigte Kreisskala auf dem Rotor montiert und alle 10° die tatsächliche Rotorstellung mit den Anzeigen des Original - Steuergerätes und der neu angefertigten elektronischen Messung im ContestRack verglichen.

### Fazit:

Die Rotoren sind besser als ihr Ruf, vor allem Hysterese und Wiederholgenauigkeit sind sehr gut. Für den Einsatz bei 24GHz ist aber eine Kompensation der Anzeige-fehler und eine Drehzahlregelung erforderlich. Für das elektronische Bedienteil kein Problem: Für jeden Rotor ist eine eigene Korrekturtabelle hinterlegt. Für die Feinpositionierung sorgt der in der Bediensoftware hinterlegte Sanftanlauf mittels Spannungsrampe.

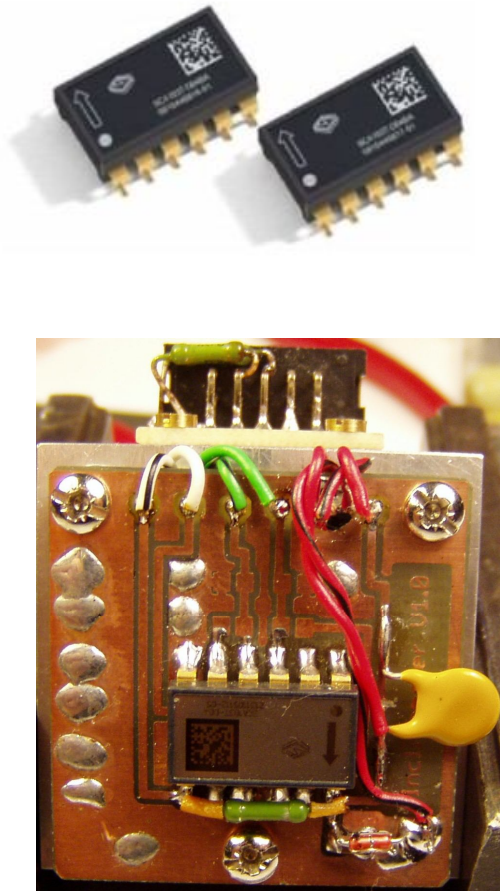
# Aufbau

## Rotorkalibrierung II



# Aufbau

## Elevationssteuerung: Neigungsmessung



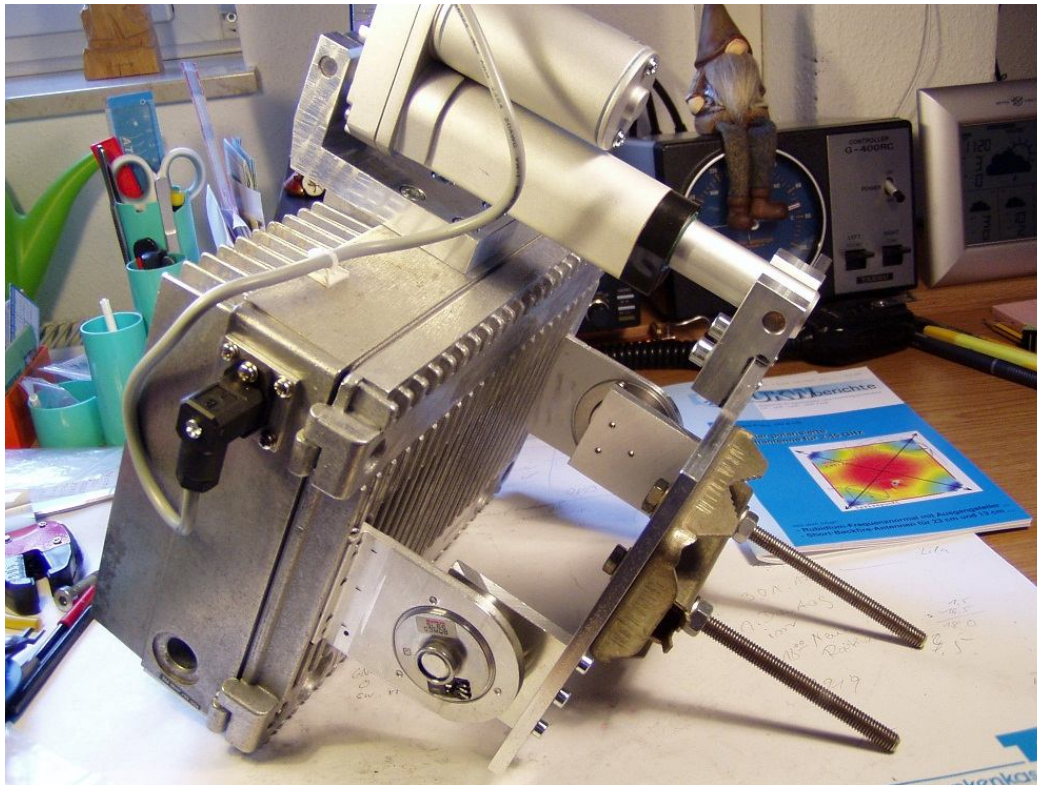
Die Neigungsmessung wird durch einen mikromechanischen Sensor SCA103T realisiert. Diese MEMS – Sensoren sind vollständig in Silizium realisiert und stehen im DIL-Gehäuse zur Verfügung. Das Auslesen der Daten erfolgt über einen seriellen Bus. Die im Bild auf der Leiterplatte sichtbaren drei Schrauben gestatten eine Korrektur der Nulllage im eingebauten Zustand.

Im Gegensatz zu den in vielen Smartphones verbauten Sensoren handelt es sich hier um ein Präzisionsgerät (Bezugspreis ca. 60€z.B. bei [6])

- Betriebsspannung: 5V DC
- Messbereich:  $\pm 15^\circ$
- Auflösung: 11bit [0.007°]

# Aufbau

## Elevationssteuerung: Kippgelenk



Das Kippgelenk erfordert einige Überlegungen im Vorfeld und erheblichen mechanischen Aufwand. So muss z.B. der Schubzylinder an beiden Enden drehbar gelagert werden.

Die im Bild zu sehenden Aluminiumteile wurden auf einer CNC – Maschine hergestellt (tnx DL1AOB).

Die Lager stammen aus ausgedienten 3.5“ – Festplatten, eine sehr kostengünstige und präzise Lösung.

# Aufbau

## Elevationssteuerung: Antrieb

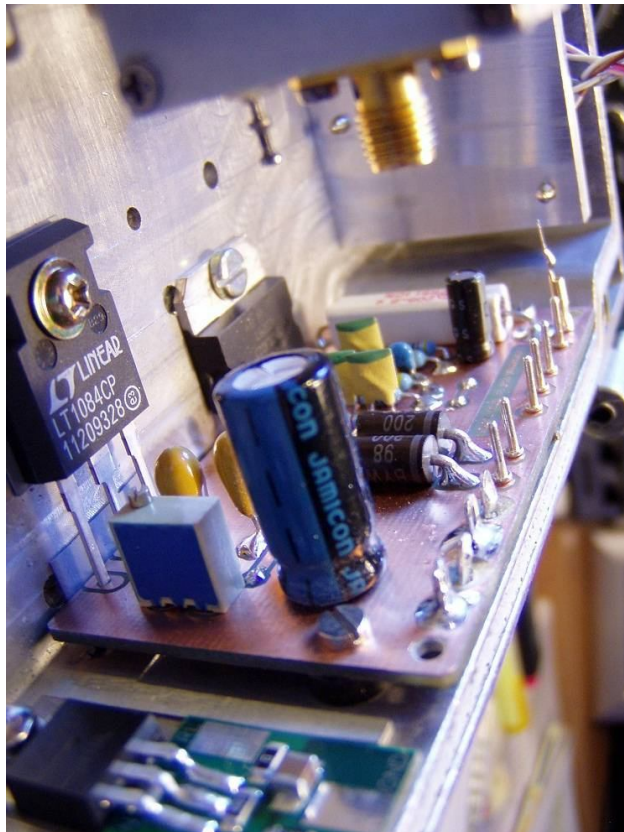
Die Suche nach einem geeigneten Antrieb hat uns lange Zeit beschäftigt. Der zu Beginn favorisierte Eigenbau scheiterte am technischen Aufwand, diverse Schubstangenantriebe aus der Satellitenempfangstechnik erwiesen sich als zu groß und zu ungenau. Fündig wurden wir schließlich im Bereich der Gebäudeautomation bei Antrieben für Lüftungsklappen bzw. Dachfenstern.



- Standard – Elektrozyylinder
- kompakter, wasserdichter Aufbau (IP54)
- langsam laufender, spielfreier Spindeltrieb
- integrierte Endlagenschalter
- in verschiedenen Spannungen, Untersetzungen, Hublängen lieferbar
- erhältlich für ca. 120€ z.B. bei [5]

# Aufbau

## Elevationssteuerung: Leistungselektronik



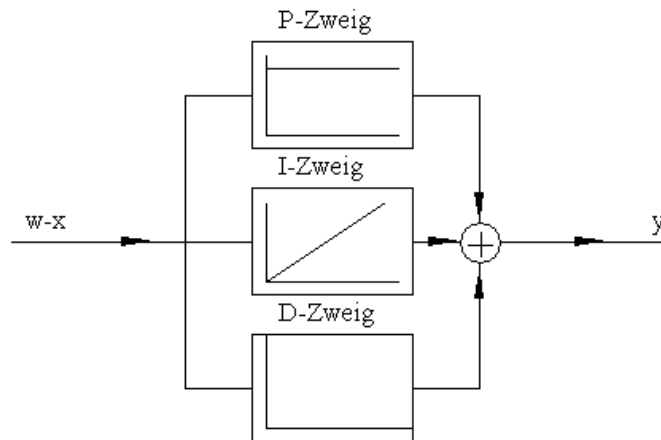
**Die pulsbreitenmodulierten Steuersignale aus dem Mikroprozessor lassen sich mit wenig Aufwand durch Standard – Leistungselektronik verarbeiten. Neben einem IC (L6203) sind nur wenige zusätzliche Bauelemente erforderlich.**

**Im Bild ist die Platine mit dem 10V - Spannungsregler und der Motorelektronik zu sehen.**

**Anfänglich befürchtete Empfangsstörungen durch die niederfrequenten Stromimpulse wurden nicht beobachtet.**

# Aufbau

## Elevationssteuerung: Numerischer Regler



Der Regler ist als numerischer PID – Regler ausgeführt. Entsprechende Codebeispiele sind vielfach aus dem Internet zu beziehen. Die Reglerparameter lassen sich einfach an die jeweiligen Erfordernisse anpassen.

Die schnelle Lageerkennung einerseits und der langsame Spindeltrieb der Motorsteuerung erfordern einigen Aufwand bei der Parametereinstellung. So muss ein guter Kompromiss zwischen schneller Reaktion und Schwingneigung gefunden werden.

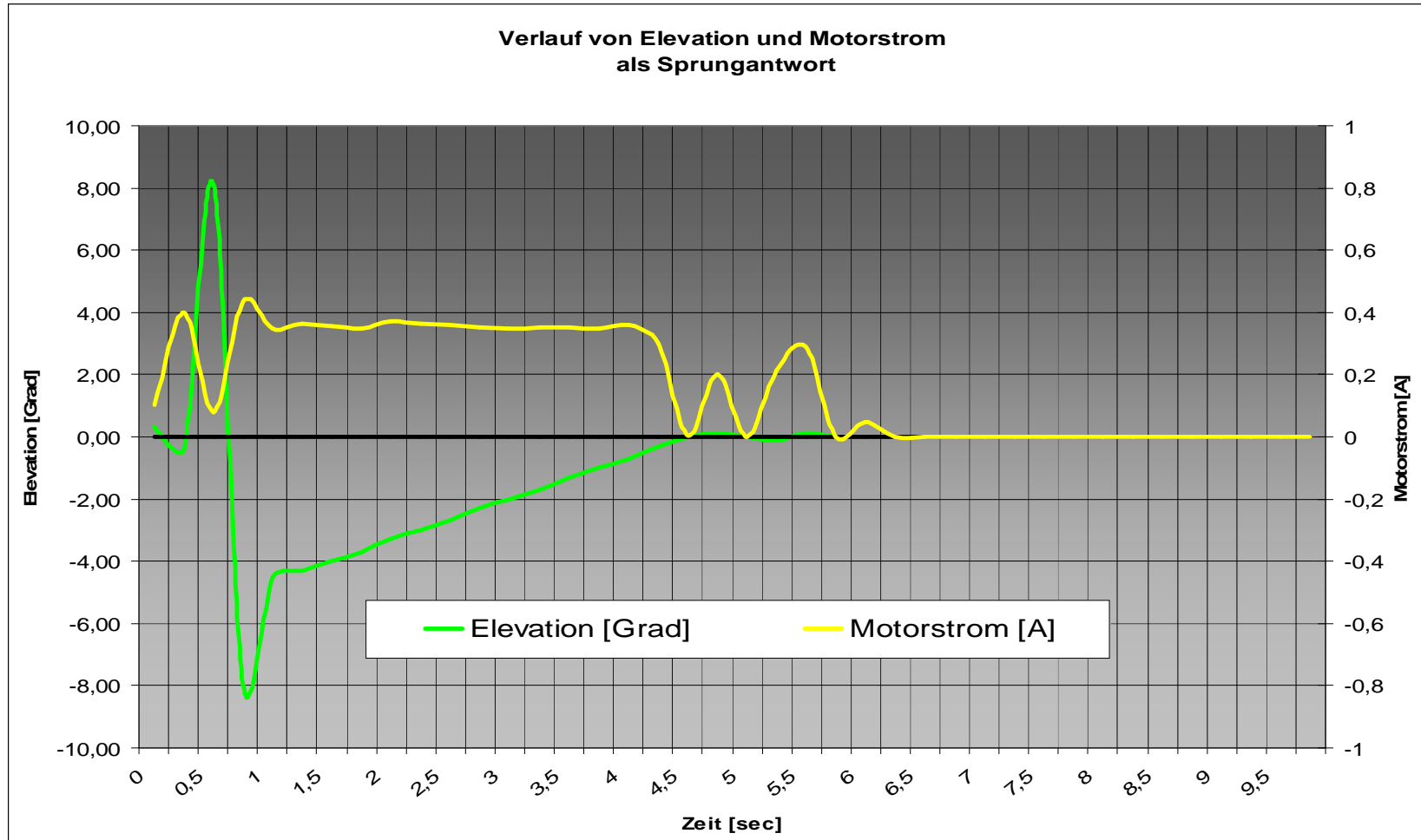
### Betriebserfahrungen:

Der Spindeltrieb ist aus mechanischen Gründen das Mittel der Wahl. Die technologisch bedingte langsame Arbeitsweise stellt hohe Ansprüche an den Regler und ist bei starkem Wind nicht mehr in der Lage, die Neigungsänderungen schnell genug auszuregeln. Eine Umstellung auf Handbetrieb ist daher unbedingt erforderlich, gleichzeitig kann damit auch eine bestimmte Elevation (z.B. für RS) vorgegeben werden.



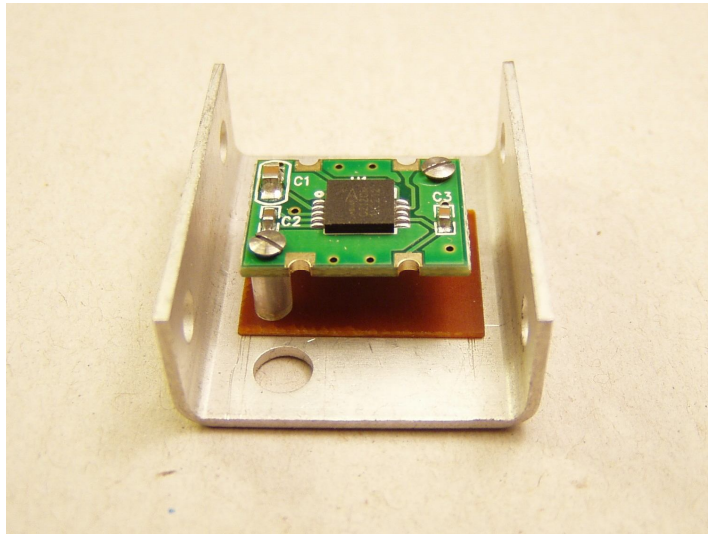
# Aufbau

## Elevationssteuerung: Regelabweichung



# Aufbau

## Kompass (experimentell)



Für weitere Experimente ist ein einfacher zweiachsiger Kompass – Sensor HDMM01 eingebaut (Bezugsquelle für < 10€ z.B. [7]). Dieser verfügt über eine I<sup>2</sup>C-Schnittstelle zum Auslesen der Daten.

Künftig soll damit das Ausrichten der Station nach Bakensignalen ersetzt werden.

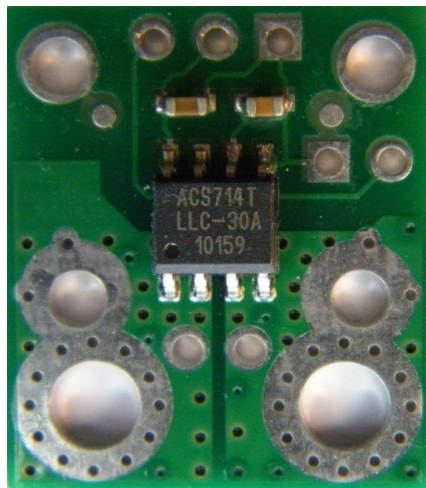
In der Praxis hat sich aber gezeigt, dass die Magnetfelder der Umgebung zu starken Messfehlern führen. Der Anzug des SMA – Relais im Sendefall führt bereits zu einer Missweisung von ca. 20°.

Ein geeigneter Kompensationsalgorithmus ist bisher noch nicht gefunden.

# Aufbau

## Strommessung

Durch moderne Bauelemente ist heute eine potentialfreie Strommessung mit guter Genauigkeit möglich. Die fertig aufgebaut erhältlichen Platinen können an jeder Stelle der Schaltung eingebaut und direkt mit einem Mikroprozessor ausgewertet werden.

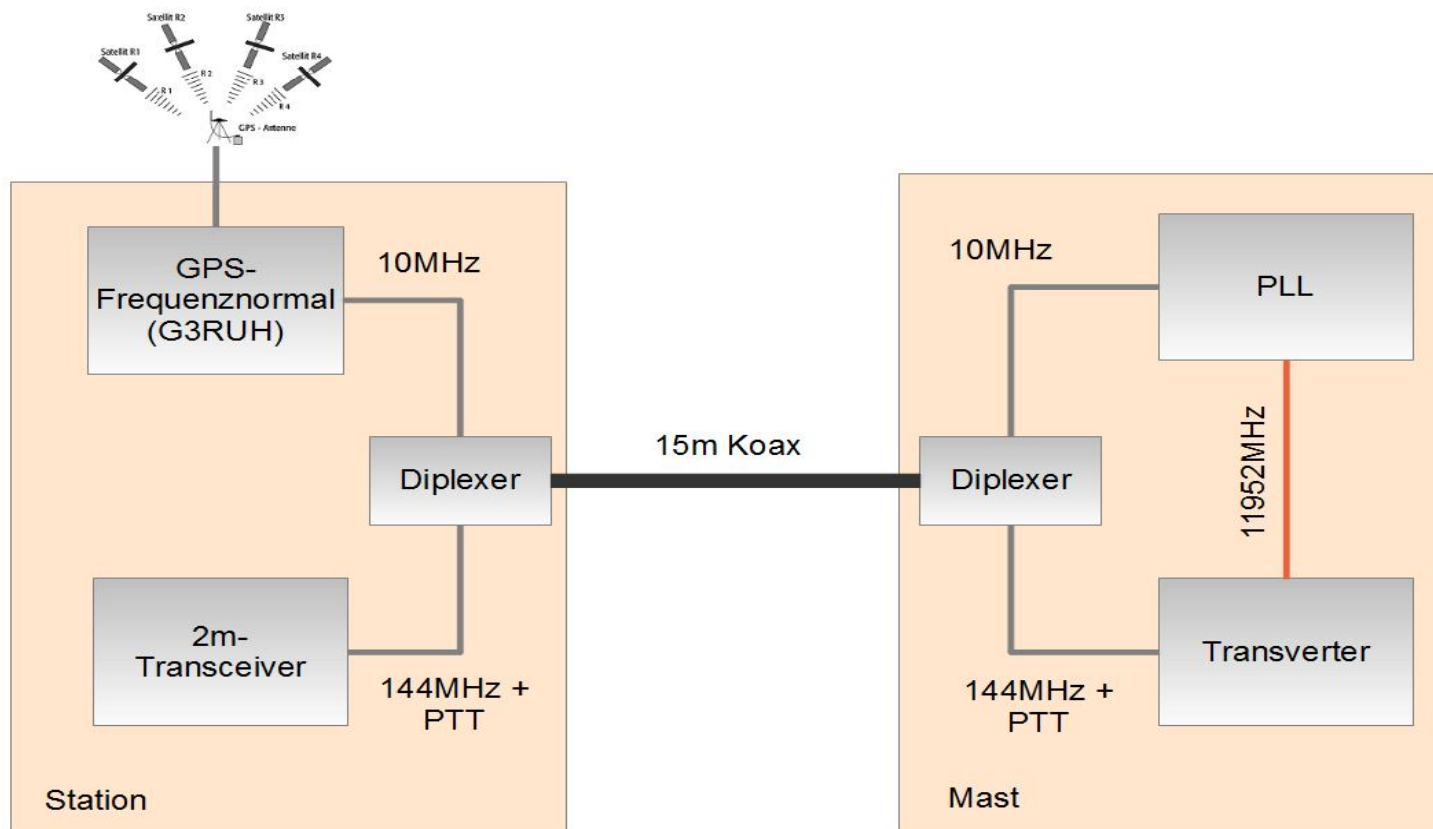


**Originalgröße**  
**18mm x 20mm**

- Hall-Sensor mit ACS714
- Wahlweise für +/- 30A oder +/- 5A
- interner Leiterbahnwiderstand < 1.5mOhm
- 5V Versorgungsspannung
- analoger Ausgang mit 2.5V Nulllage
- Empfindlichkeit 66 – 185mV/A
- Spannungsfestigkeit > 2kV
- Potentialfreie Messung im Pluszweig möglich
- erhältlich für < 10€(z.B. bei [3])

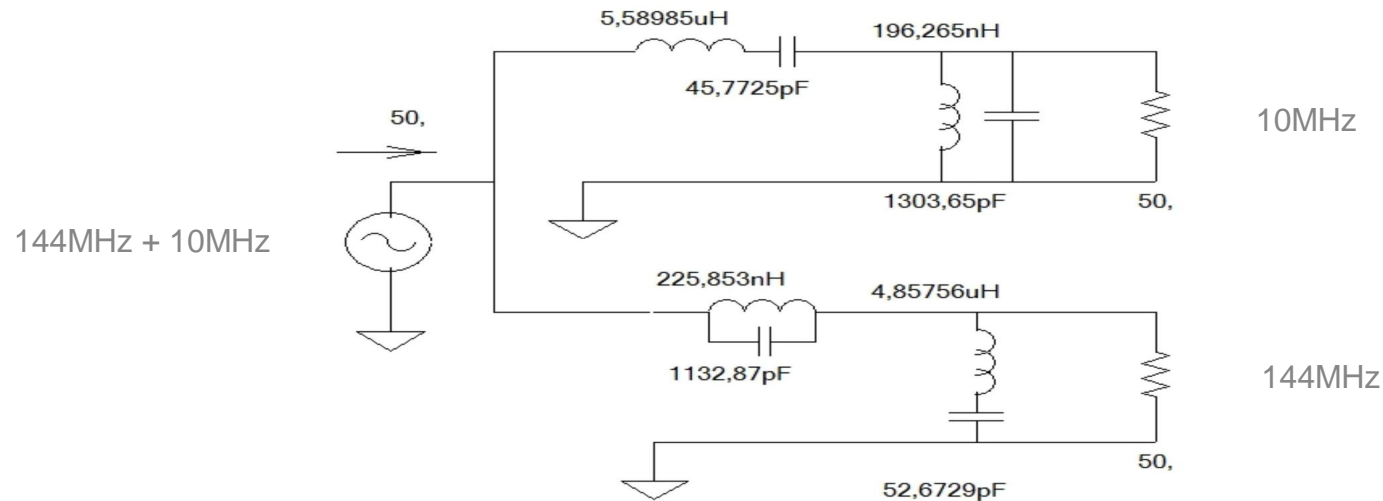
# Aufbau

## Frequenzstabilisierung



# Aufbau

## Diplexer 10/144MHz: Schaltung

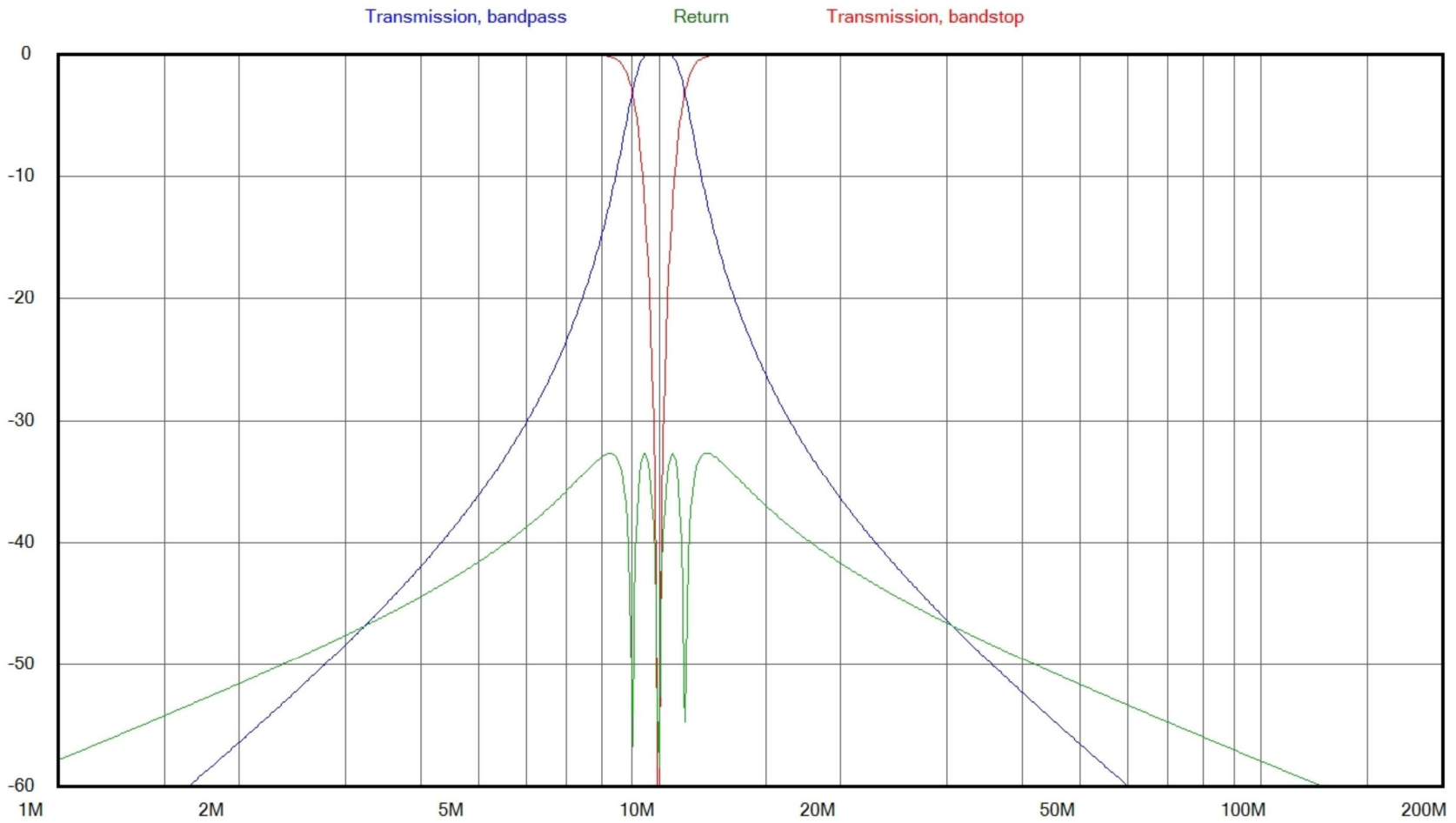


- gestattet das gleichzeitige Übertragen von 10MHz und 144MHz auf einem HF - Kabel
- Einfacher Schaltungsentwurf mit Diplexer.exe (nach [4])
- wegen des großen Abstandes der beiden Frequenzen zueinander genügt ein Bandpass / Bandfilter 2.Ordnung
- Gleichspannungsdurchgang für PTT auf dem 144 MHz - Zweig

# Aufbau

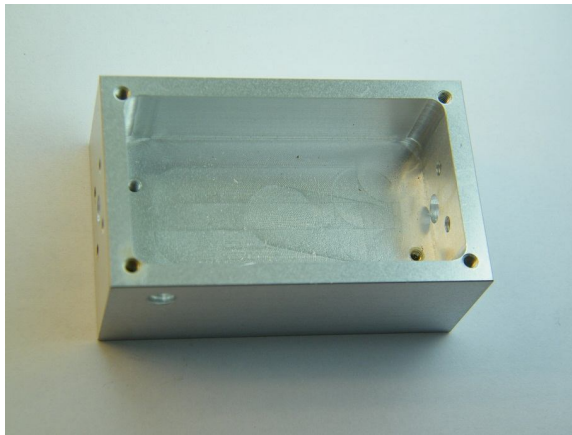
## Diplexer 10/144MHz: Frequenzgang

Lower edge: 9M Upper edge: 11M Passband ripple: ,1 Order: 2 System Z: 50,

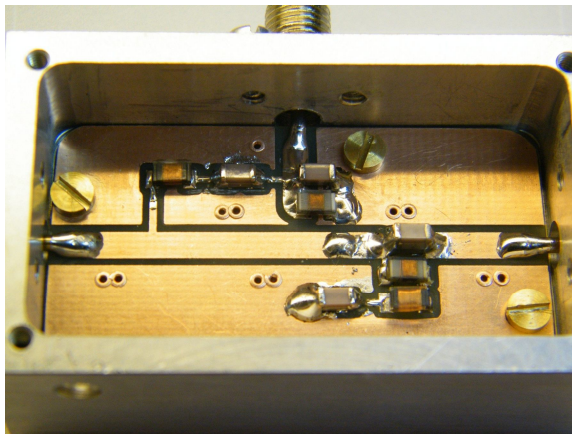


# Aufbau

## Diplexer 10/144MHz: Aufbau



Als Gehäuse werden Vorverstärker – Gehäuse eingebaut (Bezugsquelle [2]). Für den vorgesehenen Einsatzfall ist nur der Einbau einer zusätzlichen SMA - Buchse erforderlich. Die mechanische Präzision der Gehäuse ist ausgezeichnet.

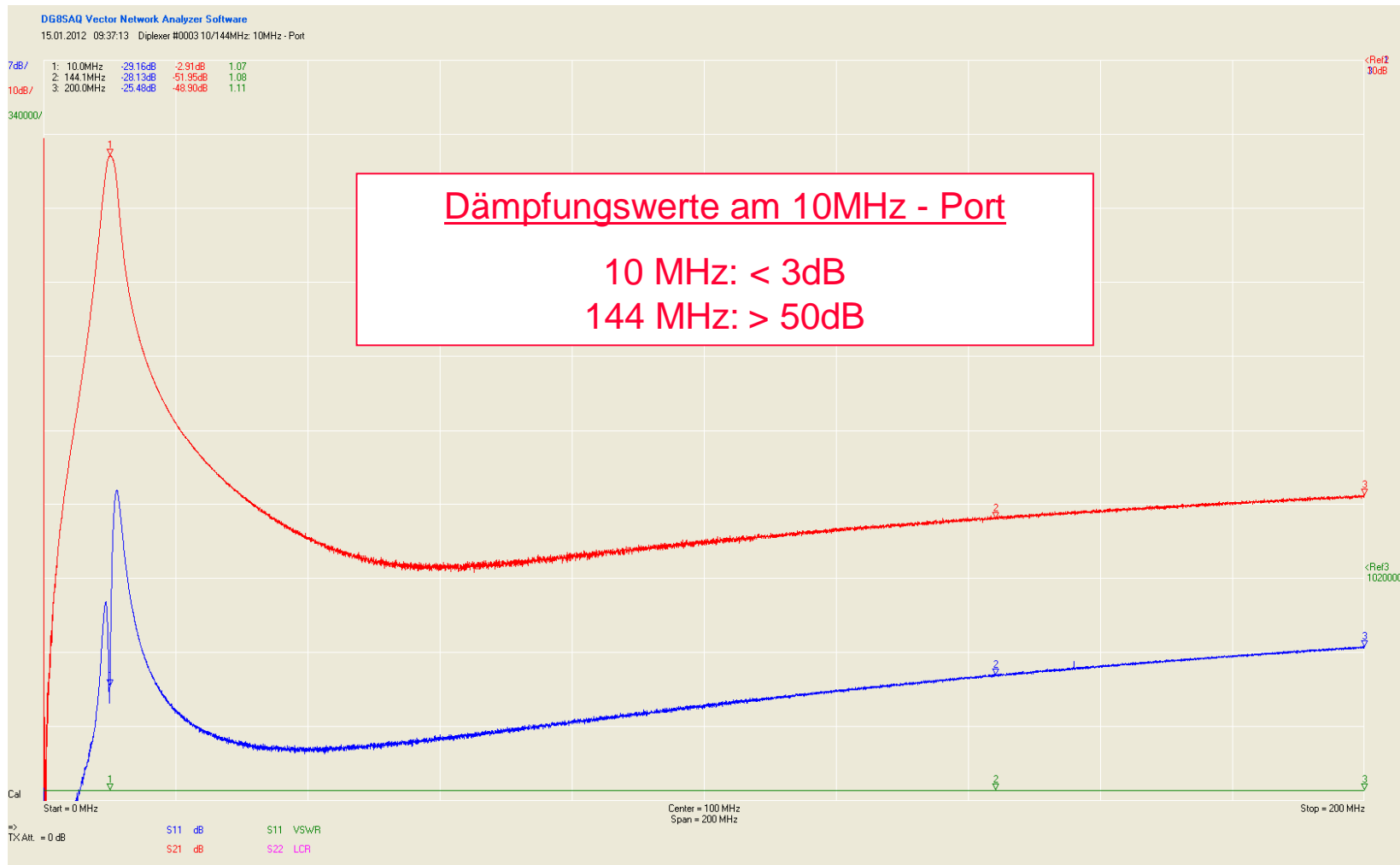


Eine kleine Platine aus 1.5mm FR4 nimmt die notwendigen SMD - Bauelemente auf. Im Bild links zu sehen ist die 50 Ohm - Stripline für den 144MHz - Zweig. Die Spulenwerte stammen aus der ISO - Reihe, die Kapazitätswerte entstehen durch das Stapeln verschiedener Werte übereinander.

Der Abgleich ist kritisch, die Verwendung eines Netzwerkanalysators erleichtert die Arbeiten erheblich.

# Aufbau

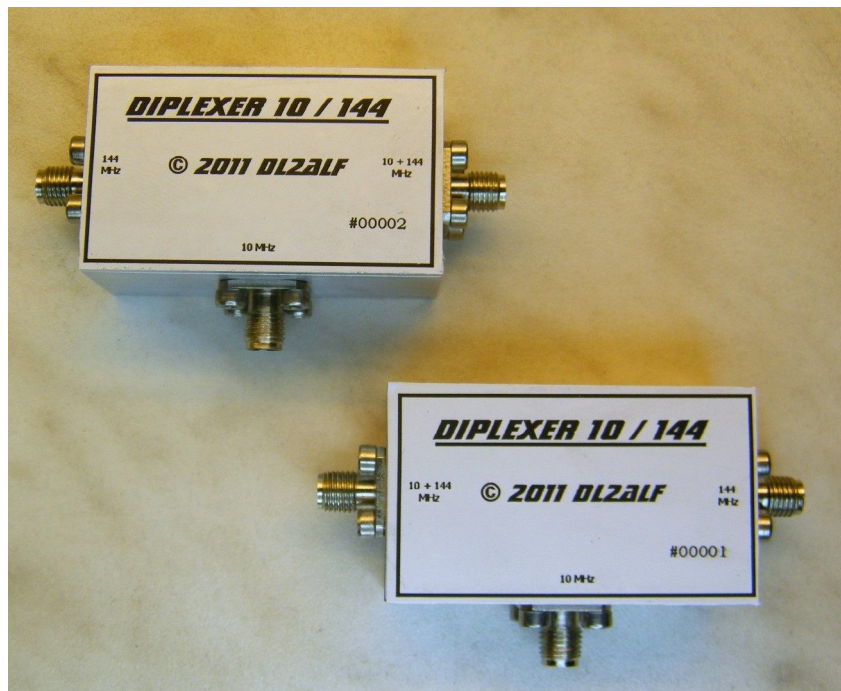
## Diplexer 10/144MHz: Messwerte





# Aufbau

## Diplexer 10/144MHz: Schlussbetrachtung

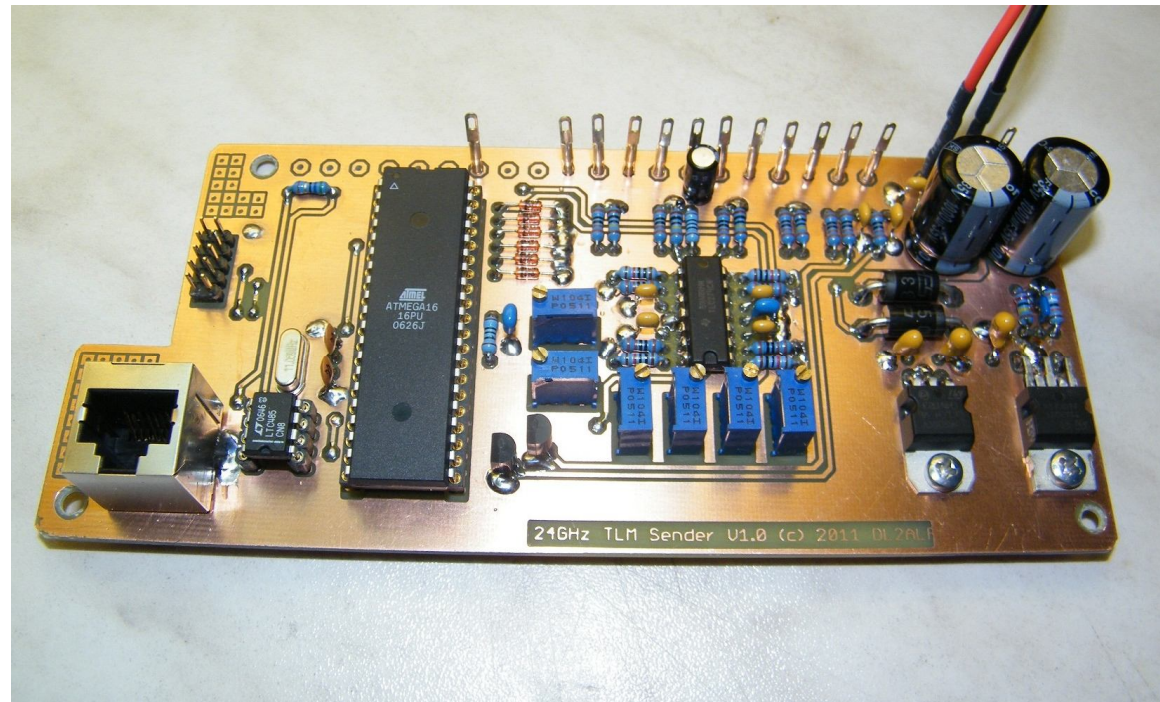


Aus den ersten Musteraufbauten ist eine Kleinserie entstanden, die bereits in mehreren Transvertern eingebaut wurde.

Die SMD – Bauelemente „vertragen“ die üblichen 1..3W Steuerleistung auf 144 MHz problemlos. Die Dämpfungswerte für die ZF am 10MHz – Port sind so hoch, dass keine Störungen des Referenzsignals auftreten.

Trotz der auf 10MHz relativ hohen Durchgangsdämpfung von -6dB (bei zwei hintereinandergeschalteten Diplexern) bleibt genügend Reserve zur Ansteuerung der PLL.

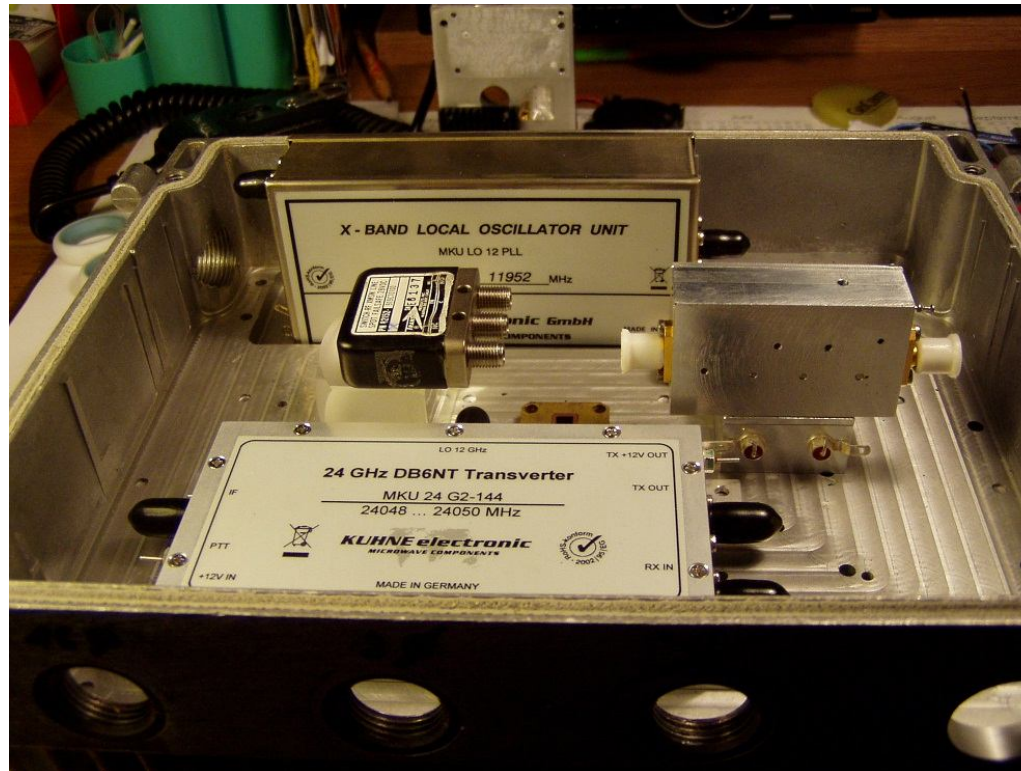
# Aufbau Telemetrie



**Die Telemetrie entspricht der bei DL0GTH eingesetzten Standardvariante. Die zusätzlichen Aufgaben für Lageregelung und Kompass werden vom Prozessor problemlos mit übernommen. Damit reiht sich der Transverter nahtlos in die bereits bestehende Technik ein.**

# Aufbau

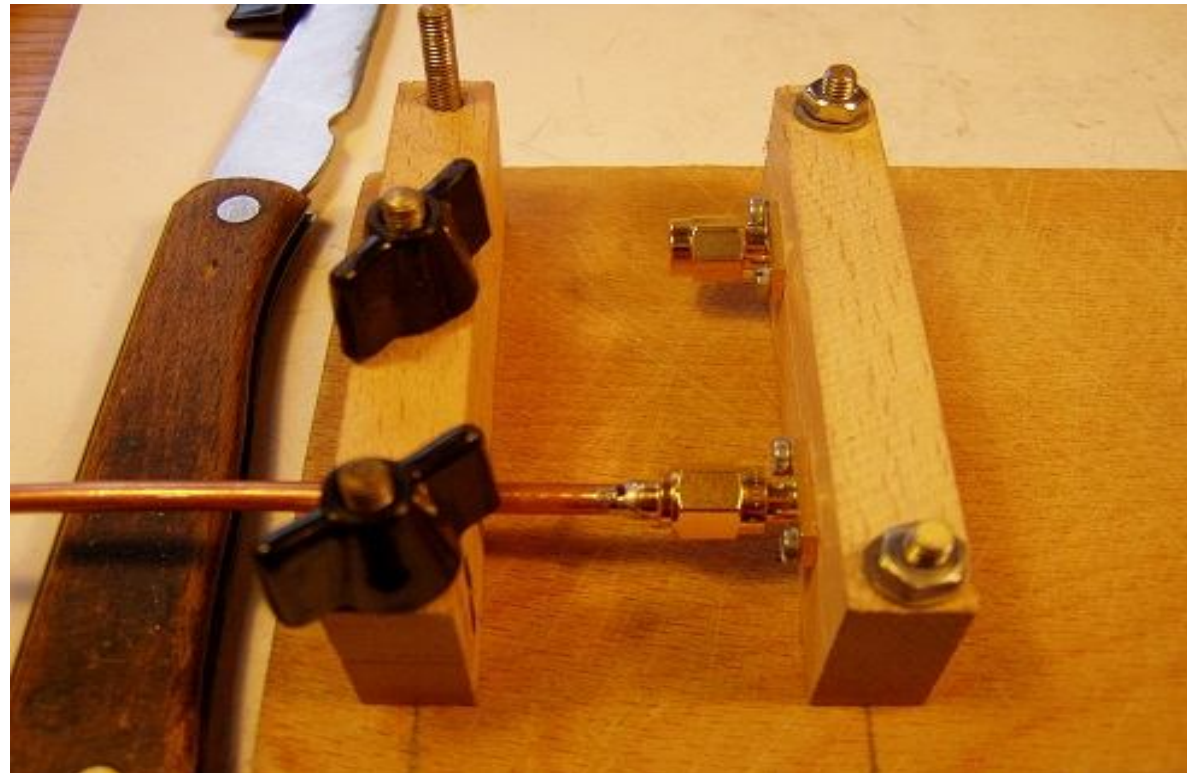
## Anordnung Komponenten



**Der mechanische Aufbau muss sorgfältig überlegt werden. In dem verwendeten Gehäuse bestimmt die Hohlleiterdurchführung die Anordnung der Komponenten. Eine kürzere Leitungsführung vom SMA – Relais aus wäre wünschenswert, ließ sich aber auch nach langwierigen Optimierungsversuchen nicht erreichen.**

# Aufbau

## Kabelfertigung



**Die Fertigung der Semirigid – Kabel erfordert höchste Präzision. Trotzdem lassen sich mit amateurmäßigen Mitteln akzeptable Resultate erzielen. Im Bild eine der Originalbeschreibung des Steckerherstellers nachempfundene Hilfsvorrichtung zum Verlöten des Außenleiters.**

# Aufbau

## Bedienteil



**Das ContestRack stellt einen kompakten Arbeitsplatz für den Anschluss von maximal 4 Mikrowellentransvertern dar. Er beinhaltet Stromversorgung, Steuertransceiver, 10MHz – Frequenznormal, Computerinterface, Rotorsteuerung und Telemetrie in einem 19“ – Gehäuse. Es ist Gegenstand eines zukünftigen Vortrags.**

# Aufbau

## Abschlussbild



Im Bild ist die neue Konfiguration im praktischen Einsatz zu sehen. Um den zusätzlichen Transverter aufnehmen zu können, wurde der Mast oberhalb der Abspannung verlängert.

Von oben nach unten:

- 24GHz – Transverter
- 10GHz – Transverter
- 5.7GHz - Transverter

Der Betrieb von 3 Transvertern an einem Mast hat jedoch nicht nur Vorteile. Bei guten Regenscatterbedingungen können nicht mehr alle Bänder gleichermaßen bedient werden, einige QSOs gehen so verloren.

# Quellenverzeichnis

- [1] DL0GTH: Telemetriesystem für Mikrowellentransverter, Vortrag Dorsten 2008
- [2] [www.kuhne-electronic.de](http://www.kuhne-electronic.de)
- [3] [www.watterott.com](http://www.watterott.com)
- [4] [www.tonnesoftware.com](http://www.tonnesoftware.com)
- [5] [www.conrad.de](http://www.conrad.de)
- [6] [www.hy-line.de/sensor/](http://www.hy-line.de/sensor/)
- [7] [www.pollin.de](http://www.pollin.de)
- [8] [www.procom-deutschland.de](http://www.procom-deutschland.de)

Dieser Vortrag wird künftig zum Download auf [www.dl0gth.de](http://www.dl0gth.de) zur Verfügung stehen. Weiterführendes Material ist auf Anfrage bei [dl2alf@darcd.de](mailto:dl2alf@darcd.de) zu bekommen.



**Auf Wiederhören 2013!**