



**Hochschule  
Bonn-Rhein-Sieg**

**Studiengang Elektrotechnik  
Fachrichtung Automatisierungstechnik**

## **Diplomarbeit**

**Untersuchung der Wärmebilanz einer Primärfokus-Empfängerbox im  
Radioteleskop Effelsberg und Erarbeiten von Strategien zur  
effektiven Klimatisierung**

**Vorgelegt von:** Patrice Kamdem Wotchung

**Matrikelnummer:** 9009788

**Erstprüfer: Hochschule Bonn-Rhein-Sieg:**

Prof. Dr.-Ing. Andreas Bunzemeier

**Zweitprüfer: Hochschule Bonn-Rhein-Sieg:**

Prof. Dr.-Ing. Klaus Wetteborn

**Diese Diplomarbeit entstand in Zusammenarbeit mit dem  
Max-Planck-Institut für Radioastronomie**

**Ansprechpartner:** Dr. Reinhard Keller

**Ausgabedatum:** 28.11.2008

**Abgabetermin:** 27.04.2009

# Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt und dabei nur die in der Arbeit ausdrücklich genannten Hilfsmittel und Quellen benutzt habe.

Sankt Augustin, den 27.04.2009



Patrice Kamdem

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich beim Max-Planck-Institut für Radioastronomie, das mir diese Diplomarbeit ermöglicht hat, bedanken. Auch möchte ich allen Mitarbeitern des Instituts für deren freundlichen Umgang herzlich danken. Weiterhin danke ich Herrn Dipl. Ing. Karl Grypstra, der mir als direkter Ansprechpartner am Radioteleskop in Effelsberg zur Seite stand.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. rer. nat. Rolf-Dieter Lepper und den weiteren Mitarbeitern der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, die mich im Studium engagiert beraten haben. Mein größter Dank gilt Herrn Prof. Dr. rer. nat. Volker Sommer, Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Wetteborn und Herrn Prof. Dr. Andreas Bunzemeier, die mich besonders konstruktiv betreut haben.

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....  | <b>IV</b> |
| <b>1 EINLEITUNG</b> .....  | <b>1</b>  |
| 1.1 MOTIVATION DER ARBEIT.....   | 1         |
| 1.2 DAS RADIOTELESKOP EFFELSBERG.....  | 2         |
| 1.3 AUFGABENSTELLUNG.....  | 4         |
| 1.4 ZIELSETZUNG.....   | 5         |
| <b>2 ARBEITSPLAN</b> .....   | <b>6</b>  |
| 2.1 ARBEITSPAKETE.....   | 6         |
| 2.2 ZEITPLAN.....  | 7         |
| <b>3 SITUATIONSANALYSE</b> .....   | <b>8</b>  |
| 3.1 PRIMÄRFOKUS-KABINE.....  | 8         |
| 3.1.1 <i>Mobilität</i> .....   | 8         |
| 3.1.2 <i>Einsatzzeiten</i> .....   | 11        |
| 3.1.3 <i>Temperaturen</i> .....  | 11        |
| 3.2 DIE 1,3CM-EMPFÄNGERBOX ALS THERMODYNAMISCHES SYSTEM.....                               | 12        |
| 3.2.1 <i>Die Systemgrenze: das Gehäuse</i> .....   | 13        |
| 3.2.2 <i>Signalverarbeitungsapparat</i> .....  | 15        |
| 3.2.3 <i>Energieversorgungsapparat</i> .....   | 19        |
| 3.2.4 <i>Klimatisierungsapparat</i> .....  | 21        |
| 3.3 EMV.....   | 25        |
| 3.3.1 <i>Vergleich zwischen DC- und AC-Lüfter bezüglich magnetischer Streufelder</i> ..... | 25        |
| Messvorgang:.....  | 26        |
| Messdaten:.....  | 27        |
| 3.3.2 <i>EMV-Maßnahmemöglichkeiten am Beispiel des DC-Lüfters</i> .....                    | 29        |
| 3.4 MESSEINRICHTUNG.....   | 36        |
| 3.4.1 <i>Temperaturmessung</i> .....   | 36        |
| 3.4.2 <i>Strom-, Spannung- und Energiemessung</i> .....                                    | 37        |
| <b>4 GRUNDLAGEN</b> .....  | <b>38</b> |
| 4.1 ELEKTRISCHE VERLUSTLEISTUNG.....   | 38        |
| 4.2 TEMPERATURMESSUNG.....   | 39        |
| 4.3 WÄRMEÜBERTRAGUNG.....  | 41        |
| 4.4 METHODE DER BLOCKKAPAZITÄT.....  | 42        |
| <b>5 WÄRMEBILANZ IN DER 1,3CM-EMPFÄNGERBOX</b> .....                                       | <b>43</b> |
| 5.1 VERLUSTLEISTUNG DER LASTEN.....  | 43        |
| 5.2 VERLUSTLEISTUNG DER NETZGERÄTEN.....   | 46        |
| 5.3 GESAMTE VERLUSTLEISTUNGSBILANZ.....  | 49        |
| <b>6 ZUSAMENFASSUNG</b> .....  | <b>52</b> |
| <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....   | <b>54</b> |
| <b>LITTERATURVERZEICHNIS</b> .....   | <b>56</b> |
| <b>ANHANG</b> .....  | <b>57</b> |

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation der Arbeit

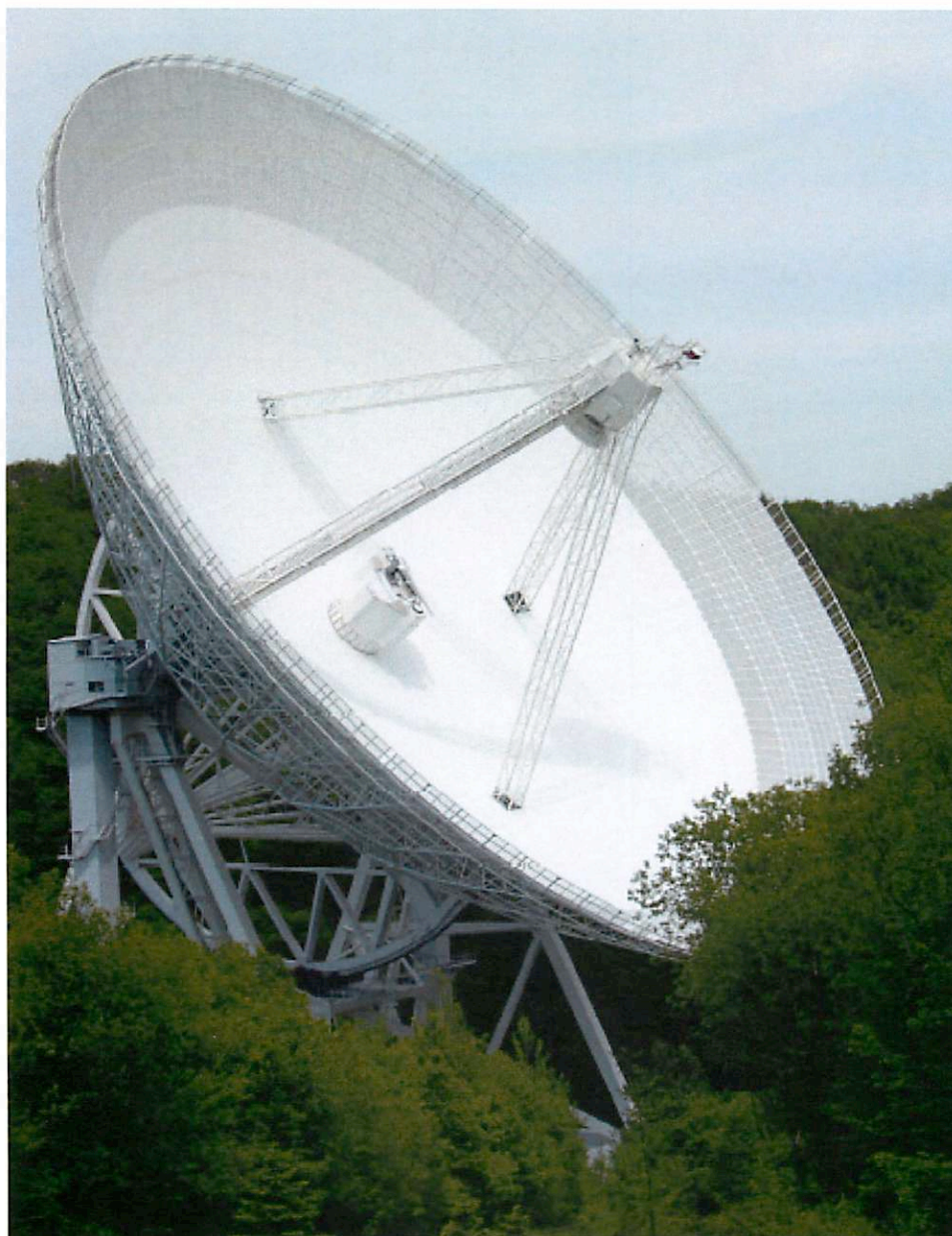
Wachsende Packungsdichte und viele Komponente mit hoher Verlustleistung ist der Trend für viele elektronische Geräte. In der Computertechnik werden die Rechner bei steigender Taktfrequenz weiter miniaturisiert und in Laptops müssen die Konzepte für die Wärmeableitung entsprechend weiterentwickelt werden. In der Energietechnik ist ein typischer Schaltschrank heute deutlich voller als es noch vor 20 Jahren der Fall war. Werden hier keine Gegenmaßnahmen ergriffen, hat dies eine Temperaturerhöhung und letztlich eine Schädigung der eingebauten Komponenten zur Folge. Anhand dieser zwei Beispiele sehen wir, dass die Klimatisierung ein aktuelles Thema in der Technik ist.

Allerdings finden in der Praxis Anwendungen statt, die eine strenge Regelung der Klimatisierung erforderlich machen. In Anlagen steigt die Anforderung an dem minimalen Energieverbrauch des Klimatisierungssystems und eine optimale Regelung dieses Systems bringt eine Möglichkeit, den Energieverbrauch zu minimieren. In Kommunikationseinrichtungen mit empfindlicher Elektronik ist eine robuste Regelung der Klimatisierung notwendig, um nicht nur eine Schädigung der eingebauten Komponenten, sondern auch um Signalstörungen aufgrund unkontrollierter Betriebstemperatur vorzubeugen. Das Radioteleskop Effelsberg hat elektronische Systeme, um Signale zu empfangen, die in mobilen Empfängerboxen untergebracht sind. In diesen Empfängerboxen sind mehrere Komponente vorhanden, die eine beträchtliche Verlustleistung besitzen. Aber die Empfängerelektronik in der Box ist bezüglich der Temperatur sehr empfindlich. Zusätzlich geht der Trend zur Integration von bis zu vier Empfangssystemen in einer gemeinsamen Box, wodurch die Packungsdichte weiter steigen wird. Die Untersuchung der Wärmebilanz und das Erarbeiten einer effektiven Klimatisierungsstrategie für eine Empfängerbox sind somit aktuelle Themen für das Radioteleskop Effelsberg.

Die Gelegenheit durch diese Diplomarbeit an diesen praxisrelevanten und aktuellen Themen, die eine wirtschaftliche Bedeutung besitzen, zu arbeiten stellt eine besondere Motivation für mich dar.

## 1.2 Das Radioteleskop Effelsberg

Das MPIfR<sup>1</sup> ist eines der Institute der Max-Planck-Gesellschaft. Ein wichtiger Bestandteil dieses Instituts ist das Radioteleskop in Effelsberg (Abbildung 1), welches im Jahr 1972 in Betrieb genommen wurde.



**Abbildung 1:** Radioteleskop Effelsberg [1]

Die Radioastronomie ist ein Teilgebiet der Astronomie, bei welcher astronomische Objekte mittels ihrer ausgesendeten Radiowellen beobachtet und untersucht werden. Das Teleskop kann zum Empfang von Radiowellen im Bereich von 90 cm bis hinunter zu 3,5 mm Wellenlänge

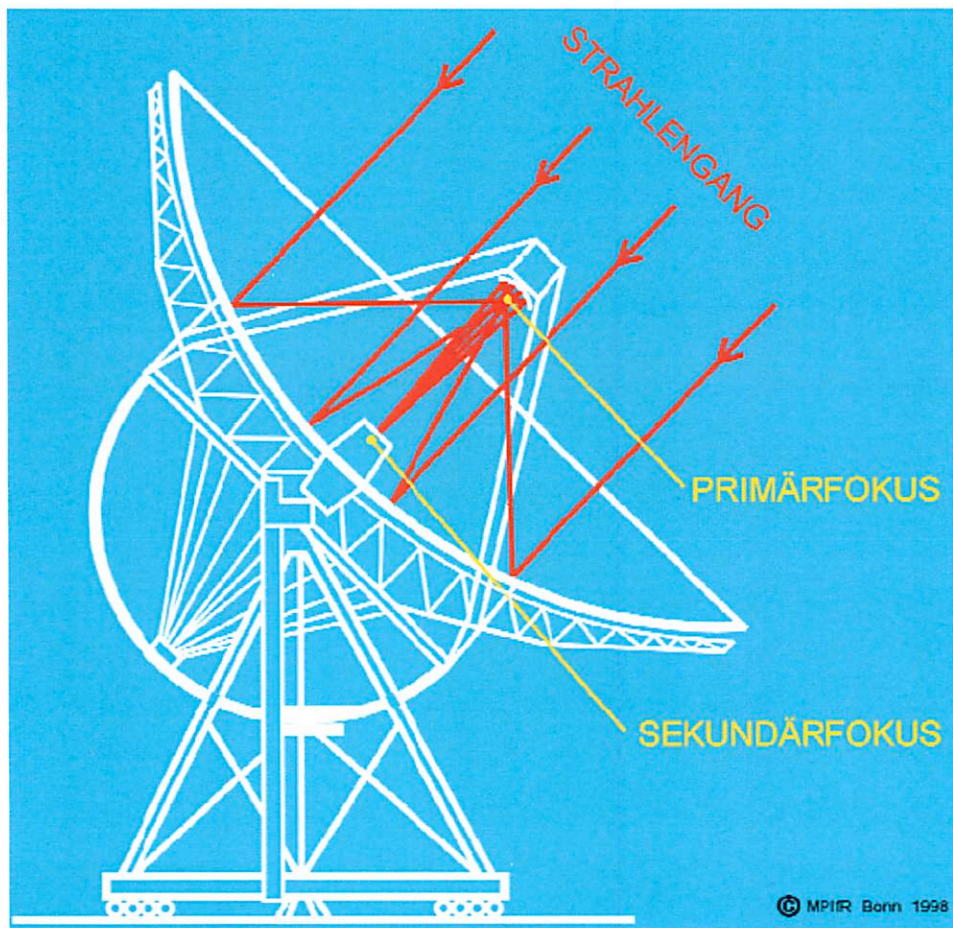
---

<sup>1</sup> Max-Planck-Institut für Radioastronomie

eingesetzt werden. Dabei werden unterschiedliche Beobachtungsmodi wie z.B. Kontinuumsmessung, Spektroskopie, On-/ Off-Messung durchgeführt. Alle Messungen werden mit Rechnerkontrolle unterstützt.

Das Klima der Teleskopumgebung ist von den klimatischen Gegebenheiten des Ortes geprägt. Effelsberg liegt in der Eifel, einer Region des Mittelgebirges. Dort kann es sehr feucht sein und es können Temperaturwerte zwischen ca. minus 20 Grad Celsius im Winter und ca. 30 Grad Celsius im Sommer entstehen.

Das Teleskop ist vollbeweglich. Seine Drehung um die Vertikalachse wird Azimut und seine Bewegung um die Horizontalachse Elevation genannt. Er hat einen Parabolspiegeldurchmesser von 100 m. Der Parabolspiegel hat die Funktion, die aus dem Weltall einfallende Strahlung im Primärfokus zu bündeln (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Primär- und Sekundärfokus [1]

Eine Kabine über den Primärfokus, die so genannte Primärfokuskabine, befindet sich an der Spitze von vier verstreuten Stützbeinen, 30 Meter mittig über der Oberfläche des Parabolspiegels und ist über einen Treppenaufgang innerhalb eines der Stützbeine zugänglich.

Mit einem mobilen 6,5 m breiten Umlenkspiegel am Primärfokus kann die Radiostrahlung zum Sekundärfokus reflektiert werden. Der Sekundärfokus befindet sich im Zentrum des 100-Meter-Spiegels (Abbildung 2). Es können wechselweise Messungen an beiden Fokussen stattfinden.

Im Primärfokus kommen die mobilen Empfängerboxen zum Einsatz. Zum Vergleich befinden sich im Sekundärfokus keine mobilen sondern fest eingebaute Empfängerboxen. Somit sind die Rahmenbedingungen für eine Klimatisierungsstrategie an den Empfängerboxen in den beiden Fokussen nicht gleich. Diese Diplomarbeit wurde auf Arbeiten im Bereich des Primärfokus definiert. Die Rahmenbedingungen, die im Primärfokus herrschten und diese Arbeit beeinflusst haben, werden im Kap. 3.1 erläutert.

### **1.3 Aufgabenstellung**

Im Radioteleskop Effelsberg werden verschiedene radioastronomische Empfänger eingesetzt. In der Primärfokus-Kabine sind sie in mobilen Empfängerboxen untergebracht. Wegen der Vielzahl unterschiedlicher Fragestellungen bezüglich Empfängerfrequenzen und Beobachtungsmodi sind zahlreiche Speziallösungen nötig. Dabei geht der Trend zur Integration von bis zu vier Empfangssystemen in einer gemeinsamen Box. Die Empfängerboxen sind thermisch an die Umwelt gekoppelt.

Um ein möglichst großes Signal-Rauschverhältnis zu erreichen, muss die erste Verstärkerstufe der Empfängerelektronik in der Box in einem Dewargefäß<sup>2</sup> bei Temperaturen möglichst nahe am absoluten Nullpunkt betrieben werden.

Die restliche Empfängerelektronik befindet sich in der Box aber außerhalb des Dewargefäßes. Dort können aufgrund der thermischen Kopplung zwischen dem Boxinneren und dem Boxäußeren beträchtliche Temperaturschwankungen stattfinden. Im Boxinneren steigt die Temperatur aufgrund der aufgenommenen elektrischen Leistung des niedrigen Wirkungsgrades und der kompakten Ausführung der Komponenten in der Box.

Bei Temperaturen außerhalb der zulässigen Betriebstemperaturen der elektronischen Module werden Schäden an der Elektronik verursacht. Zudem führen schon kleinste Temperaturschwankungen in der Box zu Störungen in der empfindlichen Empfängerelektronik und insbesondere zu Schwankungen der Gesamtverstärkung der Verstärkersysteme. Dies ist bei den extrem empfindlichen radioastronomischen Messungen besonders unangenehm.

Die Aufgabe besteht darin, in einer Empfängerbox, die Quellen dissipierter thermischer Energie zu beschreiben und quantitativ zu erfassen. Danach soll eine Wärmebilanz unter

---

<sup>2</sup> Gefäß, das nach seinem Erfinder Dewar benannt wurde.



Berücksichtigung wechselnder Primärfokus-Kabinentemperatur modellhaft erstellt werden. Dafür werden die Prozessparameter messtechnisch erfasst und entsprechend dargestellt. Darauf bauend sollen Strategien zur effektiven Klimatisierung untersucht werden. Dabei müssen Rahmenbedingungen wie Taupunkt und variable räumliche Lage der mobilen Empfänger Beachtung finden. Aufgrund der empfindlichen Empfangselektronik sollte zusätzlich die Eigenschaften der Klimatisierung bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit untersucht werden.

## 1.4 Zielsetzung

Zu Beginn dieser Arbeit wurde die 1,3cm-Empfängerbox<sup>3</sup> als Untersuchungsobjekt für diese Diplomarbeit festgelegt. Sie weist eine hohe Packungsdichte auf und es sind viele Komponente mit einer beträchtlichen Verlustleistung darin vorhanden. Die 1,3cm-Empfängerbox wird im Primärfokus eingesetzt und stand während der Entstehung dieser Arbeit oft im Einsatz. Die darin vorhandene Klimatisierung ist so ausgelegt, dass die Temperatur in der Box mit 25 Grad Celsius konstant bleiben soll. Diese Temperatur entspricht der zulässigen Betriebstemperatur für die vorhandene Elektronik.

Es gab vom Institut keine vorhandene frühere Wärmeuntersuchung einer Empfängerbox, die zu einer Weiterentwicklung verwendet werden konnte. Daher besteht der erste Schritt dieser Arbeit darin, eine neue Wärmebilanzuntersuchung einer Primärfokusempfängerbox am Beispiel der 1,3cm-Empfängerbox zu erstellen.

Wie es im Kapitel 3.2.2 näher dargestellt wird, führen kleinste Temperaturschwankungen besonders zu Schwankungen der Gesamtverstärkung der Verstärkersysteme. Mit der vorhandenen Klimatisierung in der 1,3cm-Empfängerbox ist die erzielte Konstanz der Temperatur für die radioastronomischen Messungen nicht zufriedenstellend. Der zweite Schritt besteht darin, eine Klimatisierungsstrategie, die eine Verbesserung der Konstanzeigenschaft der Temperatur in der 1,3cm-Empfängerbox darstellt, zu erstellen.

Dieses Ziel wird in Form einer Diplomarbeit verfolgt.

---

<sup>3</sup> Die Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung.

## 2 Arbeitsplan

Mit Rücksicht auf der im vorherigen Kapitel erläuterten Aufgabenstellung bzw. Zielsetzung wurde die Arbeit in Arbeitspaketen bzw. in einem Zeitplan wie folgt organisiert.

### 2.1 Arbeitspakete

Die Arbeitspakete sind in drei Phasen mit deren Inhalten wie im Folgenden organisiert:

#### **Phase 1: Einarbeitung**

- Paket 1: Einführung und Planung
- Paket 2: Untersuchung der elektromagnetischen Verträglichkeit von Lüftern
- Paket 3: Überlegungen zu den Wärmetransportphänomenen und zur Klimatisierung
- Paket 4: Testen und Charakterisierung der Messinstrumente
- Paket 5: Beschreibung der Quellen dissipierter thermischer Energie in der Empfängerbox

#### **Phase 2: Durchführung**

- Paket 6: Messaufbau einrichten
- Paket 7: Messreihe durchführen
- Paket 8: Thermische Quellen und Prozessparameter quantitativ erfassen
- Paket 9: Wärmebilanz erstellen
- Paket 10: Klimatisierungs-Regelkreis erstellen

#### **Phase 3: Auswertung**

- Paket 11: Arbeiten dokumentieren
- Paket 12: Arbeiten analysieren
- Paket 13: Ergebnisse erarbeiten
- Paket 14: Ergebnisse zusammenführen und Diplomarbeit verfassen

## 2.2 Zeitplan

Der Zeitplan (Abbildung 3) wurde konzipiert, um einen Überblick über die Arbeit zu behalten und um Prioritäten durch Meilensteine zu setzen. Der erste Meilenstein ist das Anmelden der Diplomarbeit in der sechzehnten Arbeitswoche. Der zweite Meilenstein ist das Beenden der Feldarbeiten am Radioteleskop Effelsberg nach der neunundzwanzigsten Arbeitswoche. Der dritte und letzte Meilenstein ist die Abgabe der Diplomarbeit am Ende der siebenunddreißigsten Arbeitswoche. Die erste Arbeitswoche begann am 13.08.2008.

| Arbeitswochen        | 1-2 | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | 13-14 | 15-16 | 17-18 | 19-20 | 21-22 | 23-24 | 25-26 | 27-28-29 | 30-31-32 | 33-34-35 | 36-37 |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------|
| <b>Arbeitspakete</b> |     |     |     |     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |       |
| Paket 1              | ■   | ■   | ■   |     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |       |
| Paket 2              |     | ■   | ■   | ■   | ■    |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |       |
| Paket 3              |     | ■   | ■   | ■   | ■    | ■     |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |       |
| Paket 4              |     |     | ■   | ■   | ■    | ■     |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |       |
| Paket 5              |     |     |     |     | ■    | ■     | ■     | ■     |       |       |       |       |       |          |          |          |       |
| <b>Meilenstein 1</b> |     |     |     |     |      |       |       | ■     |       |       |       |       |       |          |          |          |       |
| Paket 6              |     |     |     |     |      |       |       |       | ■     | ■     | ■     |       |       |          |          |          |       |
| Paket 7              |     |     |     |     |      |       |       |       | ■     | ■     | ■     | ■     |       |          |          |          |       |
| Paket 8              |     |     |     |     |      |       |       |       | ■     | ■     | ■     | ■     | ■     |          |          |          |       |
| Paket 9              |     |     |     |     |      |       |       |       | ■     | ■     | ■     | ■     | ■     | ■        |          |          |       |
| Paket 10             |     |     |     |     |      |       |       |       |       |       | ■     | ■     | ■     | ■        |          |          |       |
| <b>Meilenstein 2</b> |     |     |     |     |      |       |       |       |       |       |       |       |       | ■        |          |          |       |
| Paket 11             | ■   | ■   | ■   | ■   | ■    | ■     | ■     | ■     | ■     | ■     | ■     | ■     | ■     | ■        |          |          |       |
| Paket 12             |     |     |     |     |      |       |       |       |       |       |       | ■     | ■     | ■        | ■        |          |       |
| Paket 13             |     |     |     |     |      |       |       |       |       |       |       | ■     | ■     | ■        | ■        | ■        |       |
| Paket 14             |     |     |     |     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          | ■        | ■     |
| <b>Meilenstein 3</b> |     |     |     |     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          | ■     |

Abbildung 3: Zeitplan

## 3 Situationsanalyse

Das Radioteleskop Effelsberg ist die Anlage, in der die Empfängerboxen zum Betriebseinsatz kommen. In der Einleitung wurde bereits im Kapitel 1.2 das Radioteleskop mit seinen allgemeinen Daten im Bezug auf diese Diplomarbeit vorgestellt. Im Folgenden werden die zwei übergeordneten Komponenten: die 1,3cm-Empfängerbox und seine direkte Umgebung, die Primärfokuskabine, näher beschrieben. Weiterhin stellen die elektromagnetische Verträglichkeit und die Messeinrichtung wichtige Rahmenbedingungen dar und werden im Zusammenhang mit dieser Arbeit analysiert.

### 3.1 Primärfokus-Kabine

#### 3.1.1 Mobilität

Die Primärfokuskabine (Abbildung 4) hat die Form eines Hexagons. Unterhalb dieser Kabine ist eine Konstruktion mit einem 6,5m breiten Umlenkspiegel angebracht. In diesem Spiegel sind zwei Klappen eingebaut, die sich während des Primärfokus-Betriebs öffnen, um das Empfangen der vom Parabolspiegel gebündelten Strahlung am Primärfokus zu ermöglichen. Im Gegensatz dazu werden während des Sekundärfokusbetriebs die Klappen geschlossen und der Umlenkspiegel bündelt die Strahlung am Sekundärfokus.



**Abbildung 4:** Primärfokuskabine

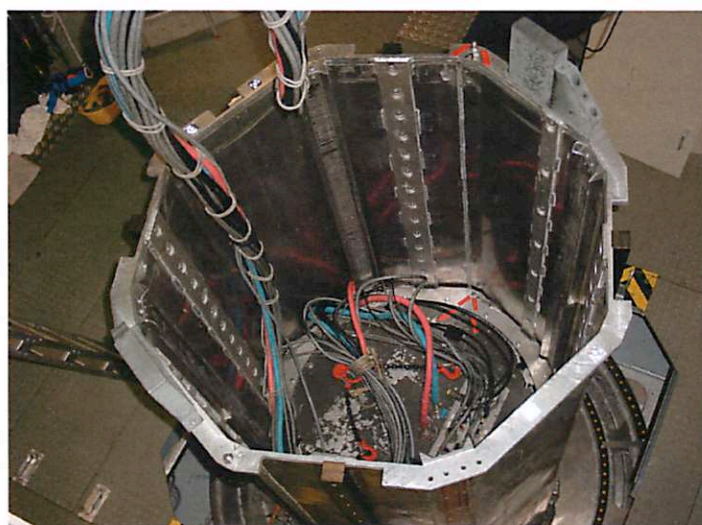
In der Primärfokuskabine stand die Empfängerbox an zwei unterschiedlich vom Betrieb festgelegten Positionen: Messposition und Warteposition.

Die Abbildung 5 zeigt die Box an der Messposition unterhalb von der Kabine gesehen. Hier sind die zwei Spiegel-Klappen aufgemacht und die Box ist an der Brennpfläche des Primärfokus geschoben.



**Abbildung 5:** Empfänger an der Messposition

Jede Empfängerbox wird mit Hilfe des Empfängerbox-Aufnahmerohres (Abbildung 6), das in seiner Höhenlage verstellbar ist, bis zur Brennpfläche des Primärfokus an der Messposition eingeschoben. Die Abbildung 6 zeigt das Aufnahmerohr innerhalb von der Kabine gesehen. Dort sieht man auch den Kabelbaum, der alle Leitungen zur Empfängerbox in einem Baum vereinigt. Im Aufnahmerohr ist am Ende des Kabelbaums die Deckelplatte der Empfängerbox zu sehen.



**Abbildung 6:** Empfängerbox-Aufnahmerohr an der Messposition

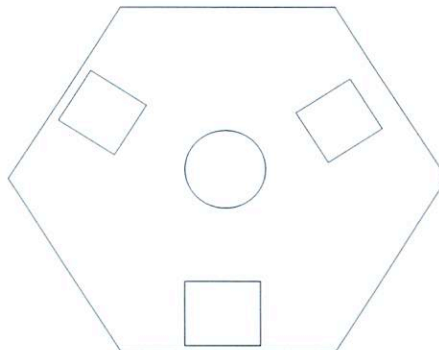
Die zweite Position ist gegeben, wenn die Box sich in der Warteposition (Abbildung 7) befindet. Dort steht sie in Betriebsbereitschaft an einer von drei Wartestellen, die an den

Wänden von der Kabine angebracht sind. Von dort wird sie in die Messposition gebracht, wenn sie an der Reihe ist, Signale zu empfangen und zu messen.



**Abbildung 7:** Empfänger in einer Warteposition

In der Abbildung 8 ist ein vereinfachtes Schema aller Empfängerbox-Positionen, in der alle drei Wartepositionen am Rand und die Messposition in der Mitte der Primärfokuskabine zu sehen sind. Dieses Bild stellt eine Sicht von oben dar, wenn die Primärfokuskabine senkrecht zu der Erdoberfläche steht.



**Abbildung 8:** Vereinfachtes Schema der Primärfokus-Kabine

Die Bewegung der Box zwischen der Warteposition und der Messposition und die Bewegung des gesamten Radioteleskops stellen die Mobilität der Empfängerbox im Primärfokus dar.

### **3.1.2 Einsatzzeiten**

Das Radioteleskop war rund um die Uhr im Messbetrieb. Die Optimierung der Dauer der radioastronomischen Beobachtungszeiten, in denen die radioastronomischen Messungen stattfinden, hatte die höchste Priorität. Diese Dauer betrug fast 24 Stunden am täglich, und währenddessen bestand normalerweise kein Zugang zur Primärfokus-Kabine. Für Untersuchungseinsätze in der Primärfokuskabine zum Zweck dieser Diplomarbeit standen in der Regel Zeiten zur Verfügung, in der ein so genannter Empfängerwechsel stattgefunden hat. Während eines Empfängerwechsels wird eine Empfängerbox aus der Messposition in die Warteposition gebracht und wiederum eine andere Empfängerbox aus der Warteposition in die Messposition eingeschoben. Ungünstige Ereignisse wie z.B. eine Klimaänderung über Effelsberg oder eventuelle Betriebsstörungen am Radioteleskop können die Entscheidung über einen Empfängerwechsel zeitlich verschieben. Somit war ein Untersuchungseinsatz in der Primärfokuskabine während eines Empfängerwechsels nicht fest planbar. Aber ein Wärmetransportvorgang in der Primärfokuskabine ist ein dynamischer Prozess. Deshalb sind weitgehend autarke Messsysteme (siehe Kapitel 3.4) notwendig, um eine Wärmebilanzuntersuchung an der 1,3cm-Empfängerbox im Umfeld der Primärfokuskabine durchzuführen.

### **3.1.3 Temperaturen**

In der Primärfokuskabine ist eine Kabinenraumklimatisierung vorhanden. Mit Hilfe dieser Klimatisierung soll die Raumtemperatur in der Kabine auf einen festen Mittelwert konstant gehalten werden. Der Mittelwert der Kabinentemperatur betrug im Winter ca. 19 Grad Celsius und konnte im Sommer bis ca. 29 Grad Celsius betragen. Innerhalb eines Tages schwankte der Mittelwert der Kabinentemperatur bis zu drei Grad Celsius. Folglich kann die Temperatur in der Kabine als nur begrenzt konstant betrachtet werden.

Außerdem betrug die Temperatur an zwei Punkten in der Kabine zu einem gegebenen Zeitpunkt eine Differenz von z.B. bis zu 20 Grad Celsius im Winter. Somit kann die Temperatur in der Kabine als stark unhomogen betrachtet werden.

Wenn eine Empfängerbox sich in der Warteposition befindet, dann ist ihre äußere Fläche hauptsächlich an eine einzelne Temperatur, die die Kabinentemperatur ist, ausgesetzt.

Die relevante Position für die Radioastronomische Messungen ist aber die Messposition. An dieser Position ist die äußere Fläche einer Empfängerbox hauptsächlich an zwei unterschiedlichen Temperaturen gleichzeitig ausgesetzt: Zum einen ist das seitens der Deckelplatte, die Kabinentemperatur und zum anderen ist das seitens der Bodenplatte, die

Temperatur der Teleskopumgebung außerhalb der Kabine. Die Einflüsse der Temperaturen an den seitlichen Verbundplatten der Box werden im Vergleich zu den Einflüssen der Temperaturen an der Deckelplatte und an der Bodenplatte vernachlässigt (siehe Kapitel 3.2.1).

### 3.2 Die 1,3cm-Empfängerbox als thermodynamisches System

Die Empfängerbox wird zuvor in einer Adapterbox geschoben um anschließend im Empfängerbox-Aufnahmerohr installiert werden zu können. Danach kann die Empfängerbox samt Adapterbox an der Messposition im Primärfokus geschoben werden. Die Abbildung 9 zeigt die 1,3cm-Empfängerbox samt der Adapterbox und im Moment der Bildaufnahme auf einer Transportpalette gestellt. Die Abbildung 10 zeigt zur Ergänzung die Adapterbox allein.

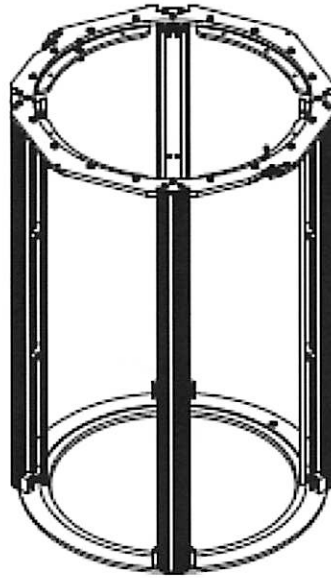


**Abbildung 9:** 1,3cm-Empfängerbox in der Adapterbox

In der Messposition kann die 1,3cm-Empfängerbox als ein Thermodynamisches System betrachtet werden. Zunächst stellt das Gehäuse der Empfängerbox die Systemgrenze dar, dann ist der Inhalt der Box als Innensystem zu sehen und abschließend sind die Primärfokuskabine und die Teleskopumgebung als das Außensystem zu betrachten.

Das Außensystem wurde bereits im Bezug auf diese Arbeit erläutert. Hierbei wurden die relevanten Eigenschaften der Primärfokuskabine im Unterkapitel 3.1 beschrieben. Auch auf die Eigenschaften der Teleskopumgebung wurde bereits in der Einleitung im Unterkapitel 1.2 eingegangen.





**Abbildung 10:** Adapterbox

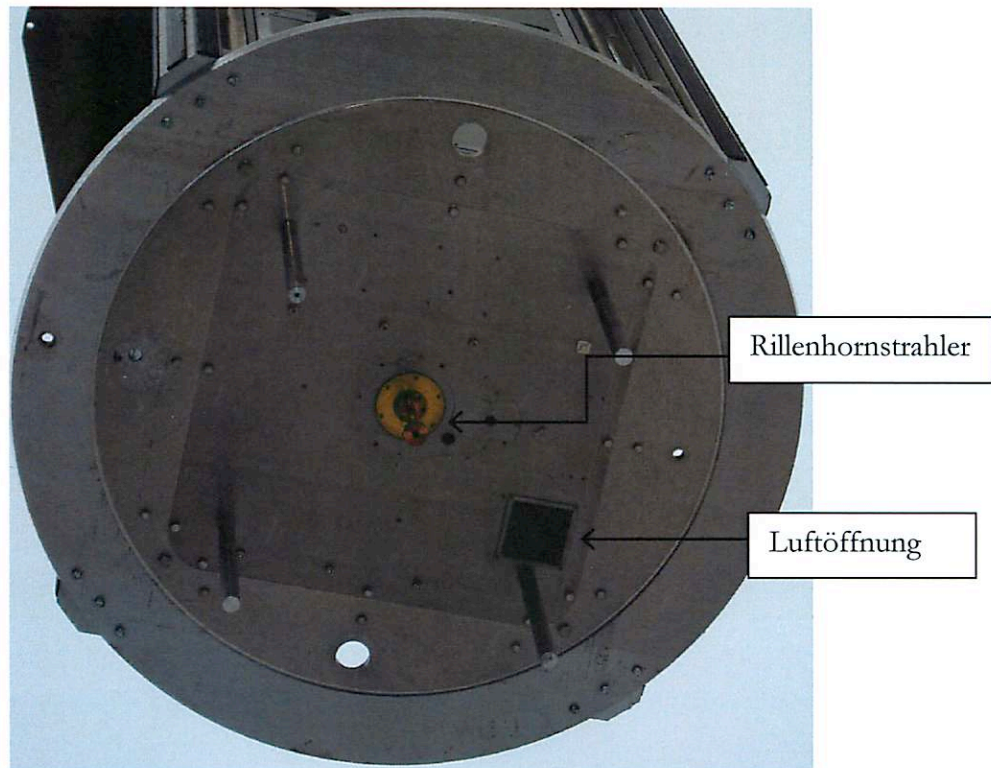
Die Systemgrenze wird im nächsten Abschnitt beschrieben. Danach wird das Innensystem in den darauf folgenden drei Abschnitten Signalverarbeitungs-, Energieversorgungs- und Klimatisierungsapparat beschrieben.

### **3.2.1 Die Systemgrenze: das Gehäuse**

In den Anhängen 1, 2 und 3 befinden sich technische Zeichnungen über den geometrischen Aufbau des Gehäuses der 1,3cm-Empfängerbox. Das Gehäuse ist würfelförmig, wobei ihre Deckelplatte und ihre Bodenplatte kreisförmig sind. Das Boxvolumen beträgt:  $V_{\text{box}} = 1,73 \text{ m} * 0,56 \text{ m} * 0,56 \text{ m} = 0,54 \text{ m}^3$ .

Die Systemgrenze wird für diese Arbeit in zwei Kategorien unterteilt. Zum einen soll eine erste Kategorie die Grenzteile, die für den Wärmetransport zwischen Innen- und Außensystem maßgeblich sind, zusammenfassen. Zum anderen soll eine zweite Kategorie die Grenzteile, die für den Wärmetransport vernachlässigbar sind, zusammenfassen. In der ersten Kategorie sind die Bodenplatte und die Deckelplatte enthalten. Die zweite Kategorie enthalten die Verbundplatten und das Boxgerüst.

Im Folgenden wird auf die Bodenplatte (siehe Abbildung11) eingegangen.



**Abbildung 11:** Bodenplatte

Man sieht den Empfängereingang der als Rillenhornstrahler bezeichnet wird. Ferner ist eine quadratische Öffnung für den Luftaustausch zwischen der Box und der Umgebung vorhanden. Diese Luftöffnung ist außerhalb der Box mit einem Schutzgitter versehen. Innerhalb der Box ist sie mit einer Klappe versehen um manuell den Öffnungsgrad einstellen zu können. Zusätzlich sind an der Bodenplatte vier Löcher vorhanden, an diesen sollen bei einem Boxtransport vier Stützbeine geschraubt werden, um den empfindlichen Rillenhornstrahler zu schützen. Im Messbetrieb sind die vier Stützbeine nicht angeschraubt und die vier Löcher stellen somit eine zusätzliche Luftöffnung an der Bodenplatte dar.

Weiterhin wird die Deckelplatte beschrieben. An der Deckelplatte befindet sich eine Schnittstelle für alle Leitungen zwischen dem Empfänger und der Anlage außerhalb des Empfängers. Ferner befindet sich dort auch eine quadratische Öffnung für den Luftaustausch zwischen der Box und der Umgebung. Diese Luftöffnung ist außerhalb der Box mit einem Schutzgitter versehen. Innerhalb der Box ist ein Gebläse an dieser Öffnung montiert mit dem der Luftaustausch zwischen der Box und der Umgebung verstärkt befördert wird.

Die Fläche der Bodenplatte bzw. der Deckelplatte an der Systemgrenze ist beträchtlich groß hinsichtlich der Gesamtfläche der Systemgrenze. Somit können dort erhebliche Wärmetransporte stattfinden.

Zum Schluss werden die restlichen Teile der Systemgrenze beschrieben. Die Verbundplatten und das Boxgerüst haben keine Öffnung und sind hermetisch verbunden. Außerdem wirken die Verbundplatten aufgrund deren Werkstoffe und deren Sandwich-Struktur wärmeisolierend. Das Boxgerüst ist zwar aus Metall, aber seine Fläche an der Systemgrenze ist sehr klein im Vergleich zur Fläche der Deckelplatte oder der Bodenplatte. Somit können dort minimale Wärmetransporte stattfinden.

Aufgrund dieser Beschreibungen bezüglich der betrachteten Flächen wird die vorher gemachte Kategorien-Unterteilung bestätigt. Dies wird in den späteren Arbeiten im Kapitel 5 berücksichtigt.

### **3.2.2 Signalverarbeitungsapparat**

Mit dem 1,3cm-Empfänger werden radioastronomische Quellen, die eine elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von 1,3cm aussenden, beobachtet. Dies entspricht einer Frequenz von 23 GHz. Die Quellenstrahlung wird am Eingang des 1,3cm-Empfängers aufgefangen, anschließend über mehrere Stufen zum Messen aufbereitet, dann gemessen und zum Schluss am Ausgang des Empfängers als übertragbare Daten bereitgestellt. Die Abbildung 12 zeigt das Blockdiagramm der Signalverarbeitung in der 1,3cm-Empfängerbox.

Am Eingang befindet sich ein Empfängerhorn: der Rillenhornstrahler, der die Quellenstrahlung auffängt. Der Rillenhornstrahler liegt unmittelbar unterhalb der Bodenplatte (siehe Abbildung 11).

Die erste Verstärkerstufe mit dem HEMT<sup>4</sup> befindet sich unmittelbar oberhalb der Bodenplatte in einem Dewargefäß und mithilfe der Kühlmaschine mit geschlossenem Helium-Kreislauf auf 15 Kelvin gekühlt. Der HEMT, eine Weiterentwicklung des GaAs-MESFET<sup>5</sup>, ist ein Transistor mit hoher Elektronenbeweglichkeit. Er ist aufgrund seiner hohen Ladungsträgermobilität und seiner extrem rauscharmen Eigenschaften für Hochfrequenzanwendungen gut geeignet.

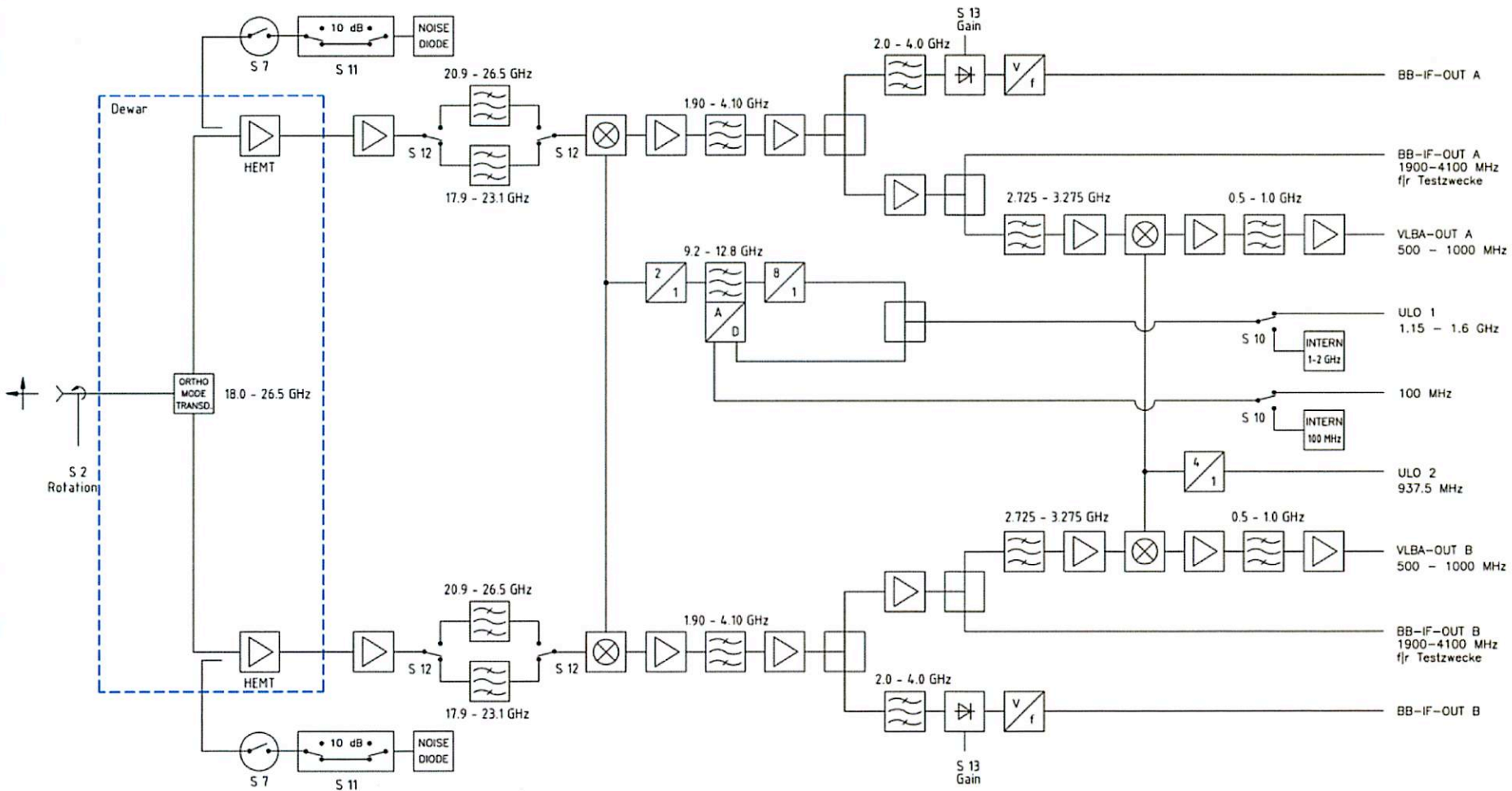
Am Eingang der ersten Verstärkerstufe wird über ein Richtkoppler und einem Dämpfungsglied ein von einer Halbleiter-Rauschdiode bzw. Noise-diode erzeugtes Rauschsignal zur Kalibration der Messungen eingespeist.

---

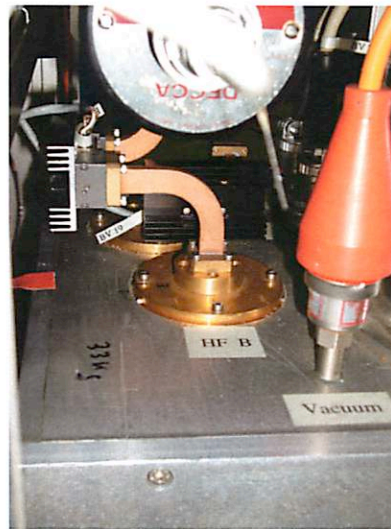
<sup>4</sup> High Electron Mobility Transistor

<sup>5</sup> Galliumarsenid metal semiconductor field-effect transistor

Abbildung 12: Blockdiagramm der Signalverarbeitung in der 1,3cm-Empfängerbox



Die zweite Verstärkerstufe ist direkt oberhalb des Dewar-Gefäßes angebracht. Die Abbildung 13 zeigt die zweite Verstärkerstufe am Beispiel des Kanals B. Für den Kanal A ist die Verstärkerstufe ähnlich.



**Abbildung 13:** Zweite Verstärkerstufe Kanal B

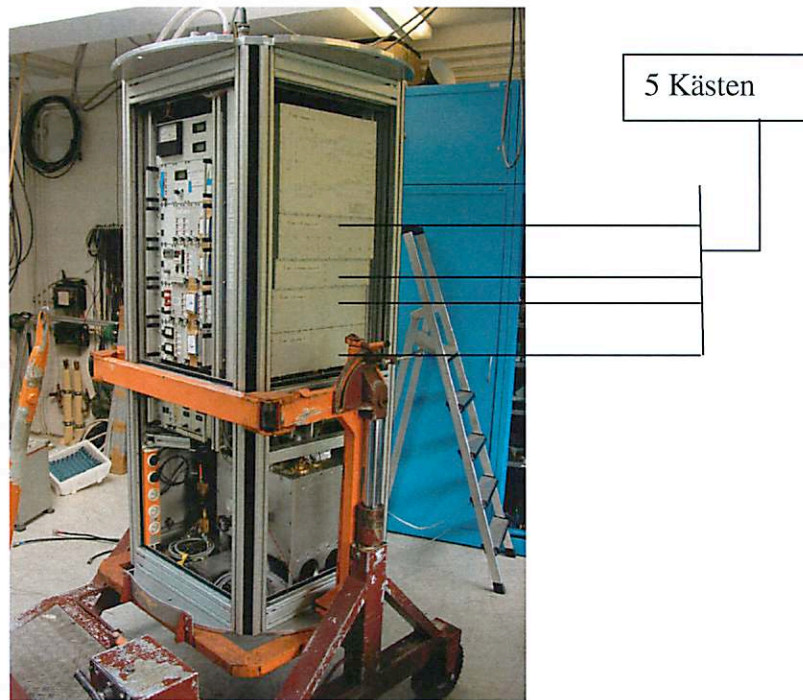
Die weiteren Verstärkerstufen der Signalverarbeitung befinden sich verteilt in fünf elektronischen Kästen in der 1,3cm-Empfängerbox. Die Abbildungen 14 und 15 zeigen die fünf elektronischen Kästen in der 1,3cm-Empfängerbox.

In diesen fünf elektronischen Kästen befinden sich entsprechend der Abbildung 12 zusätzlich folgende elektronische Module:

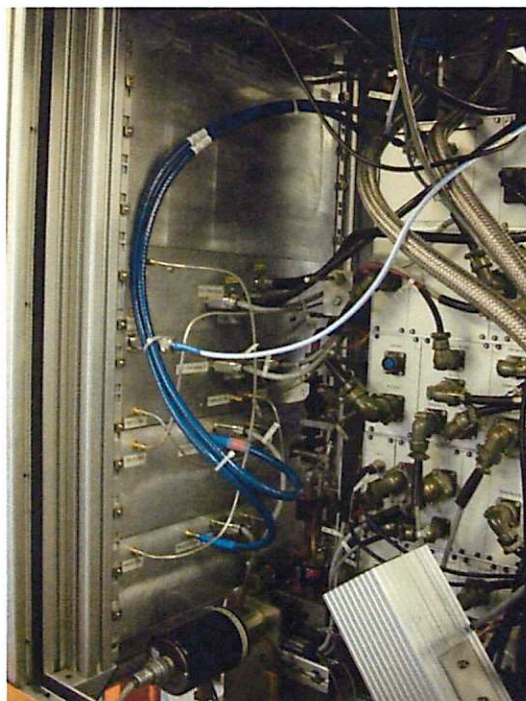
- Mehrere Filterstufen, um die Signale entsprechend der Weiterverarbeitung zu filtern.
- Zwei Stufen zur Umsetzung der Signale vom Radiofrequenzband in einem niedrigeren Zwischenfrequenzband. Die Umsetzung der Signale von Radiofrequenz- in Zwischenfrequenzbereich erfolgt über Oszillatoren, analoge Multiplizierern, Frequenzvervielfachern und Mischern. Für die erste Stufe der Zwischenfrequenz wird ein interner Oszillator in der Empfängerbox verwendet. Man könnte auch das Universal Lokal Oszillator (ULO1) verwenden. Für die zweite Stufe der Zwischenfrequenz wird das Signal des Universal Lokal Oszillator (ULO2) verwendet.
- Eine breitbandige Detektorenstufe zur Erfassung der Werte.
- Eine Spannung/Frequenzwandler-Stufe, um die Spannungssignale in Pulse umzuwandeln.

Nach der ersten Stufe des Zwischenfrequenzbandes werden die Signale am Signalausgang mit der Bezeichnung „BB-IF-Out für Testzwecke“ bereitgestellt. Nach der ersten Stufe des Zwischenfrequenzbandes werden die Signale an der Detektorenstufe erfasst, über eine Spannung/Frequenzwandler-Stufe in Pulse umgewandelt und am Signalausgang mit der

Bezeichnung „BB-IF-Out“ bereitgestellt. Nach der zweiten Stufe des Zwischenfrequenzbands werden die Signale am Signalausgang mit der Bezeichnung „VLBA-Out“ bereitgestellt. Die Signalverarbeitung in der Box erfolgt gleichwertig über zwei Kanäle mit den Bezeichnungen: Kanal A bzw. Kanal B. Alle Signalausgänge münden an der Schnittstelle an der Deckelplatte.



**Abbildung 14:** Außenansicht der fünf elektronischen Kästen



**Abbildung 15:** Innenansicht der fünf elektronischen Kästen

### 3.2.3 Energieversorgungsapparat

Der Signalverarbeitungsapparat und Teile des Klimatisierungsapparates benötigen zum Betrieb eine elektrische Energieversorgung mit Gleichspannung. Dafür sind AC/DC-Netzgeräte notwendig, um aus der Netzversorgung mit Wechselstrom eine Stromversorgung mit Gleichspannung zu erzeugen.

Eine Möglichkeit zur Energieversorgung wäre der Einsatz von AC/DC-Schaltnetzteile. Schaltnetzteile haben aufgrund der Pulsweitenmodulation den Vorteil einen höheren Wirkungsgrad und damit eine geringere Verlustwärme aufzuweisen. Sie erzeugen jedoch aufgrund der höheren Taktfrequenzen deutlich mehr Störspannungen und können dadurch den Empfänger mehr stören.

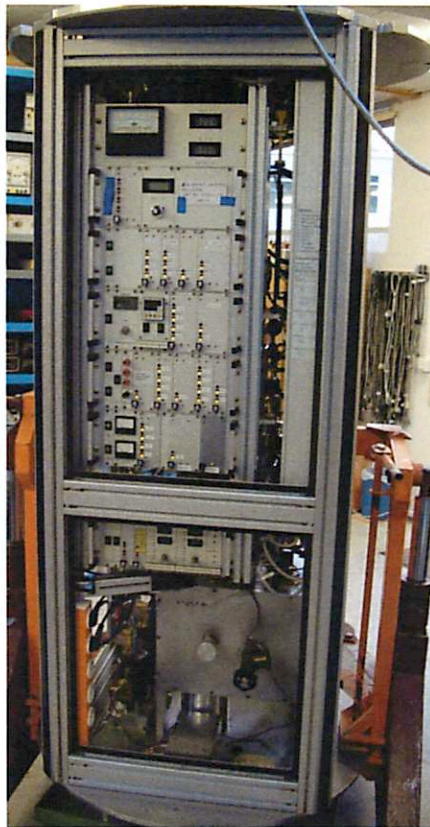
Eine weitere Möglichkeit wäre der Einsatz von linear geregelten AC/DC-Netzteilen. Sie haben den Nachteil, aufgrund ihrer Regelschaltung in Form einer Linearschaltung, einen niedrigeren Wirkungsgrad als die Schaltnetzteile zu besitzen. Aber sie haben den Vorteil aufgrund ihrer niedrigen 50Hz-Taktfrequenz niedrigere Störspannungen aufzuweisen.

Für die Energieversorgung in der 1,3cm-Empfängerbox sind linear geregelte AC/DC-Netzteile ausgewählt worden. Die eingebauten Netzgeräte in der Box sind von der Firma Kniel. Insgesamt sind davon 16 Netzgeräte in der Box eingebaut. Sie besitzen jeweils einen eingebauten Kühlkörper aber keinen eingebauten Lüfter. Im Kapitel 5 wird deren Beitrag zur Wärmebilanz im Arbeitspunkt untersucht. Die 16 Netzgeräte sind in einem standardisierten Format für 19-Zoll-Schranken und sind in 6 Reihen mit einer standardisierten Höheneinheit von 3HE<sup>6</sup> dicht nebeneinander montiert.

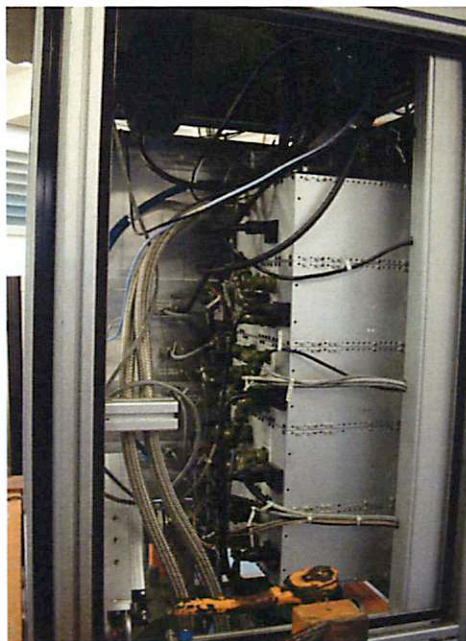
Die mechanische Ausrichtung der Netzgeräte ist ebenso wie die mechanische Ausrichtung des Signalverarbeitungsapparats in der Box fest gegeben. Die Wärmebilanzuntersuchung in dieser Arbeit wird bei dieser Ausrichtung durchgeführt und die Klimatisierungsstrategie wird ebenso für diese Ausrichtung erstellt. Die Ausrichtung der Netzgeräte ist in den Abbildungen 16 und 17 dargestellt.

---

<sup>6</sup> HE: Höheneinheit



**Abbildung 16:** Außenansicht der Netzgeräte



**Abbildung 17:** Innenansicht der Netzgeräte



### 3.2.4 Klimatisierungsapparat

Der Klimatisierungsapparat in der 1,3cm-Empfängerbox besteht aus zwei getrennten Einheiten.

#### **Erste Klimatisierungseinheit:**

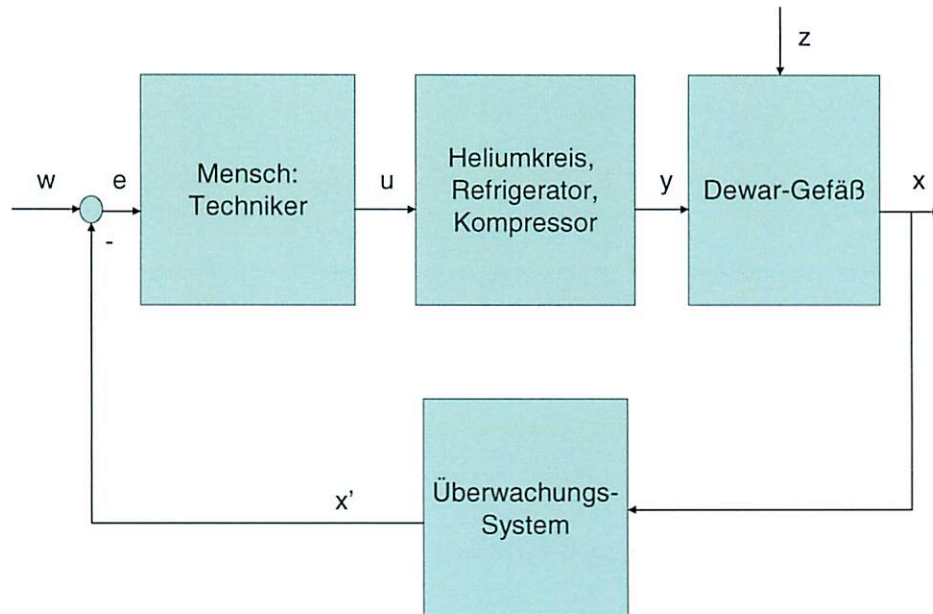
Die erste Einheit dient der Klimatisierung der ersten Verstärkerstufe der Signalverarbeitung in der Empfängerbox. Hierbei wird das Prinzip des Kühlens eines Gases beim Expandieren verwendet um die erste Verstärkerstufe bis auf 15 Kelvin zu kühlen. Diese Einheit besteht aus einem Refrigerator, einem geschlossenen Helium-Kreissystem, einem Dewargefäß, einem Überwachungssystem und einem Kompressor. Mit der Ausnahme des Kompressors, Teile des Überwachungssystem und Teile des Helium-Kreissystems befinden sich die restlichen Teile dieser Einheit in der Empfängerbox.

Der Refrigerator beinhaltet einen Wechselstrommotor. Aus den Datenblättern des Herstellers „Cryogenic Technology, inc“ wird eine Versorgungsleistung von 100 Watt für den Elektromotor angegeben. Die Arbeitsleistung des Motors ist nicht angegeben. Da kein adäquater Zugang zum Motor bestand, konnten keine Messungen daran durchgeführt werden. Die Leitungen des Helium-Kreissystem werden als thermisch isoliert angenommen und liefern somit einen vernachlässigbaren Beitrag zur Wärmebilanz in der Box.

Ein Dewargefäß ist ein verspiegeltes, doppelwandiges, in einem Vakuumzustand befindliches Glasgefäß. Das Dewargefäß wirkt sehr gut thermisch isolierend. Trotz der extrem niedrigen Temperatur darin wird angenommen, dass es einen vernachlässigbaren Beitrag zur Wärmebilanz außerhalb des Gefäßes in der Empfängerbox liefert.

Das Überwachungssystem überwacht die Temperatur und den Druck im Dewargefäß. Der Beitrag dieses Systems zur Wärmebilanz in der Empfängerbox wird in den folgenden Kapiteln berücksichtigt.

Das Blockschaltbild dieser ersten Einheit des Klimatisierungsapparats, in folgenden Abschnitten Dewar-Klimatisierung genannt, wird in Abbildung 18 dargestellt.



**Abbildung 18:** Blockschaltbild der Dewar-Klimatisierung

Die Bedeutung der abgekürzten Buchstaben wird im Folgenden erläutert:

w: Sollwert der Dewar-Temperatur an der ersten Verstärkerstufe

e: Differenz zwischen Soll- und Istwert der Temperatur

u: Wartungs- und Reparaturarbeiten

y: Kühlleistung

z: Störgrößen: Dewar-Umgebungstemperatur, Druckverluste im Dewar-Vakuum

x: Istwert der Dewar-Temperatur an der ersten Verstärkerstufe

x': Messwert der Dewar-Temperatur an der ersten Verstärkerstufe

### **Zweite Klimatisierungseinheit:**

Die zweite Einheit des Klimatisierungsapparats dient der Klimatisierung, mit Ausnahme der ersten Verstärkerstufe, aller anderen Verstärkerstufen der Signalverarbeitung in der Empfängerbox. Hier wird mithilfe einer Heizung in der Box und mittels Luftaustausch zwischen dem Boxinneren und der Boxumgebung, die Temperatur in der Box auf 25 Grad Celsius konstant gehalten. In der nahen Zukunft soll, von der Institutsleitung gefordert, das Prinzip des Wasser-Luft-Wärmetauschers zusätzlich bei den zukünftigen gebauten Empfängerboxen Verwendung finden. Die zweite Klimatisierungseinheit besteht aus Strömungsmaschinen: zwei AC-Axiallüftern und ein AC-Gebläse, eine Heizung, ein

Temperatursensor und ein Temperaturregler. Alle Teile dieser Einheit befinden sich in der Empfängerbox.

Mit dem Temperatursensor wird nicht an einer Oberfläche in der Box sondern an einem Punkt im Raum in der Box die Lufttemperatur gemessen. Es wurde beim Einsatz der 1,3cm-Empfängerbox an der Messposition festgestellt, dass ein beachtlicher Temperaturunterschied zwischen einem Punkt im oberen Raum der Box und einem anderen Punkt im unteren Raum der Box bestehen kann. Dieser Temperaturunterschied betrug z.B. im letzten Winter Werte von bis zu zehn Grad Celsius. Der Temperatursensor, der in der Box fest eingebaut ist, befindet sich in der Nähe der fünf elektronischen Kästen im oberen Raum der Box.

Der vorhandene Temperaturregler in der Box ist vom Typ eines PID-Reglers.

Die Heizung besteht aus einem ohmschen Widerstand und ist im mittleren Raum der Box eingebaut. Ihre Heizleistung beträgt ca. 330 Watt. Die Heizung wird im Messbetrieb vom Temperaturregler gesteuert, indem sie zeitweise ein- bzw. ausgeschaltet wird.

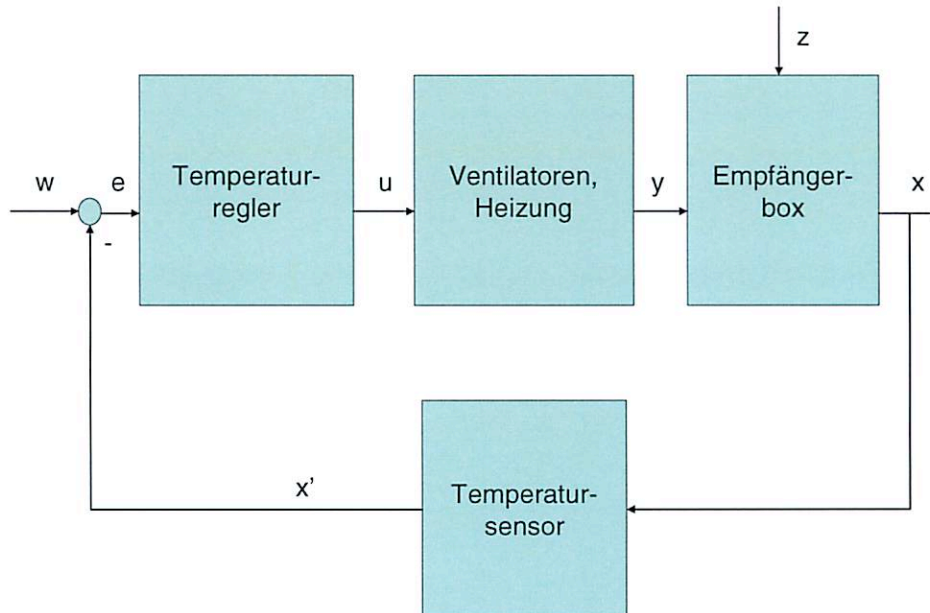
Der AC-Gebläse besteht aus einem Wechselstrommotor. Er ist an der Deckelplatte der Box eingebaut. Im Messbetrieb, an der Messposition, bläst er die Luft aus der freien Umgebungsluft durch die Öffnungen der Bodenplatte kommend, durch das Boxinnere und schließlich durch die Öffnung an der Deckelplatte in Richtung der Primärfokuskabine. Er ist im Messbetrieb immer eingeschaltet und bewirkt somit einen permanenten Luftaustausch zwischen der Boxinneren und der Boxumgebung. Auf dem Typenschild des Gebläses steht der Hersteller: „Karl Klein Apparatebau GmbH“ und den Typ: „ENG 3-6 K“ und weiterhin entnimmt man, dass er bei einer Nennleistung von 100 Watt einen maximalen Volumenstrom von 7 m<sup>3</sup> pro Minute bewirkt.

Der erste AC-Axiallüfter besteht aus einem Wechselstrommotor. Er ist im mittleren Raum der Box unter den Netzgeräte eingebaut und wie das Gebläse im Messbetrieb immer eingeschaltet. Auf dem Datenblatt dieser Lüfter entnimmt man den Hersteller: „ebm-papst GmbH“ und den Typ: „8556 N“ und weiterhin sagt er aus, dass er bei einer Nennleistung von 12 Watt ein maximale Volumenstrom von 50 m<sup>3</sup> pro Stunde erzeugt wird.

Der zweite AC-Axiallüfter besteht ebenfalls aus einem Wechselstrommotor. Er ist an der Heizung in der Box eingebaut. Er wird im Messbetrieb, simultan mit der Heizung, vom Temperaturregler gesteuert. Auf dem Datenblatt dieser Lüfter steht den Hersteller: „ebm-papst GmbH“ und den Typ: „4656 N“ und weiterhin entnimmt man, dass er bei einer Nennleistung von 19 Watt einen maximalen Volumenstrom von 160 m<sup>3</sup> pro Stunde bewirkt.

Der Temperatursensor und der Temperaturregler sind aufgrund deren kleineren Stromverbrauchs für die Wärmebilanz in der Box vernachlässigbar. Der Beitrag der zwei Lüftern und des Gebläses zur Wärmebilanz in der Box werden im Kapitel 5 untersucht.

Das aktuelle Blockschaltbild der zweiten Einheit des Klimatisierungsapparats, Box-Klimatisierung genannt, wird in der Abbildung 19 dargestellt.



**Abbildung 19:** Blockschaltbild der Box-Klimatisierung

Die Bedeutung der abgekürzten Buchstaben ist im Folgenden erläutert:

w: Sollwert der Boxtemperatur

e: Differenz zwischen Soll- und Istwert der Boxtemperatur

u: Permanentes Einschalten des Gebläses und der erste Lüfter, Zeitweise Ein- bzw. Ausschaltbefehl der Heizung und des zweiten Lüfters: der Heizungslüfter

y: Luftdurchsatz zwischen dem Boxinneren und der Boxumgebung, Heizleistung im Boxinneren

z: Störgrößen: Box-Umgebungstemperatur, Raumlage der Box, Luftfeuchtigkeit

x: Istwert der Boxtemperatur

x': Messwert der Boxtemperatur

## **3.3 EMV**

### **3.3.1 Vergleich zwischen DC- und AC-Lüfter bezüglich magnetischer Streufelder.**

Der Empfänger und die Empfängerelektronik sind im Messbetrieb besonders empfindlich bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit. Das AC-Gebläse in der 1,3cm-Empfängerbox sollte, wie im Kapitel 7 begründet, ausgetauscht werden, um die Richtung des Luftaustausches zwischen dem Boxinnere und der Boxumgebung umzukehren. Hierfür stand ein neuer AC-Axiallüfter und ein neuer DC-Axiallüfter mit ähnlich großen Volumenstrom-Eigenschaften als Ersatz für das AC-Gebläse zur Verfügung. Die Axiallüfter sind kompakter als das Gebläse und erlauben so einen einfacheren Umbau in der Box. Im Folgenden werden die elektromagnetischen Eigenschaften des AC-Lüfters im Vergleich zum DC-Lüfter untersucht, um zu bestimmen welches der beiden vorteilhafter ist.

#### **Objekte:**

- Untersuchungsobjekte:

AC-Lüfter, Herstellerbezeichnung: San Ace 120, Model: 109S072UL

DC-Lüfter, Herstellerbezeichnung: San Ace 120, Model: 9SG1212G10

- Messsensor: Spule (mit einer Induktivität von 17,5 mH)

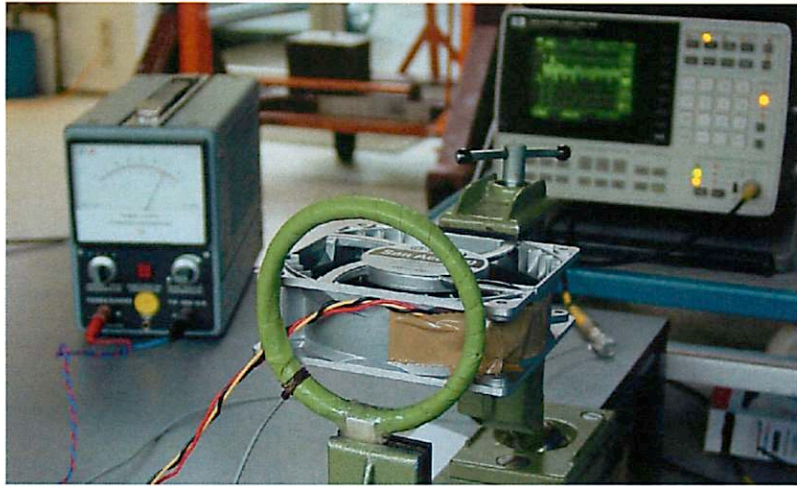
- Messgerät: Herstellerbezeichnung: Dynamic Signal Analyzer HP 3561A

- Hilfsgerät: DC-Netzgerät, Herstellerbezeichnung: Rohde & Schwarz, Typ NGG 15-15

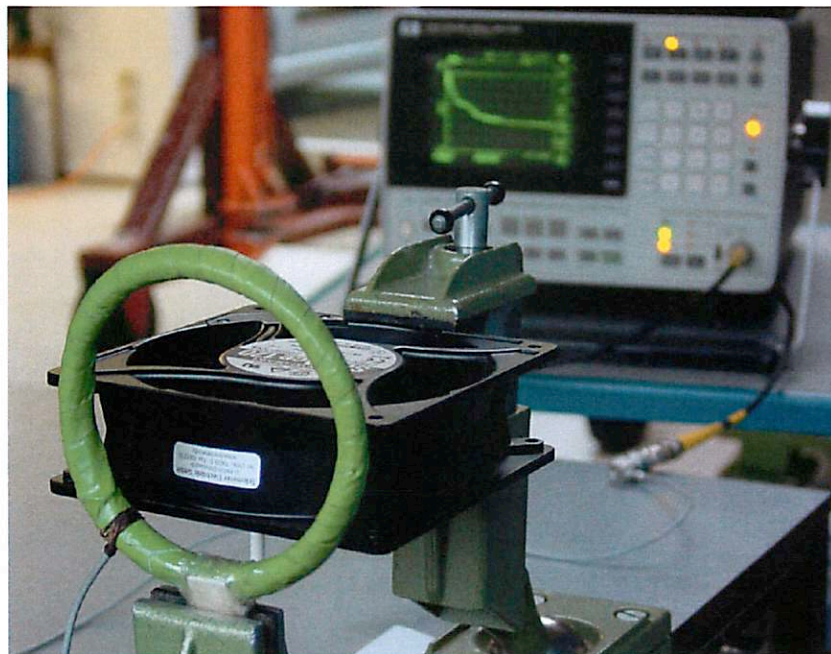
#### **Messaufbau:**

Der AC-Lüfter wird am Stromnetz bzw. der DC-Lüfter wird am Netzgerät angeschlossen.

Die Spule wird an dem Signal Analysator angeschlossen. Der AC-Lüfter bzw. der DC-Lüfter wird vor der Spule so ausgerichtet, dass seine Feldlinien die größte mögliche Spannung ( $U_{ind\_max}$ ) induzieren. Die Abbildungen 20 und 21 zeigen den realisierten Messaufbau.



**Abbildung 20:** Messaufbau mit DC-Lüfter



**Abbildung 21:** Messaufbau mit AC-Lüfter

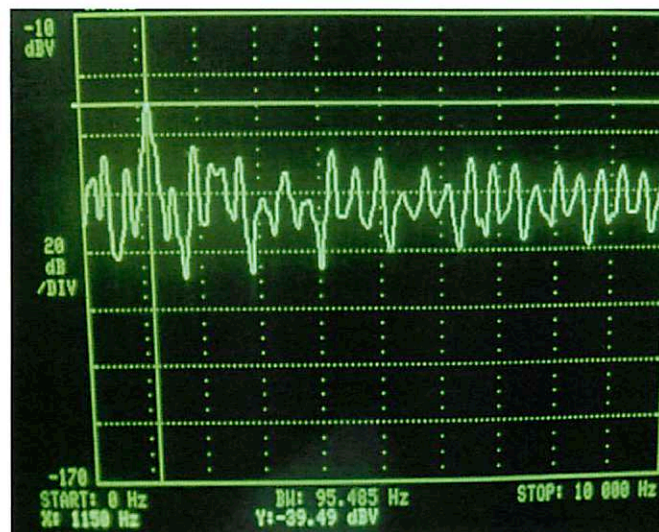
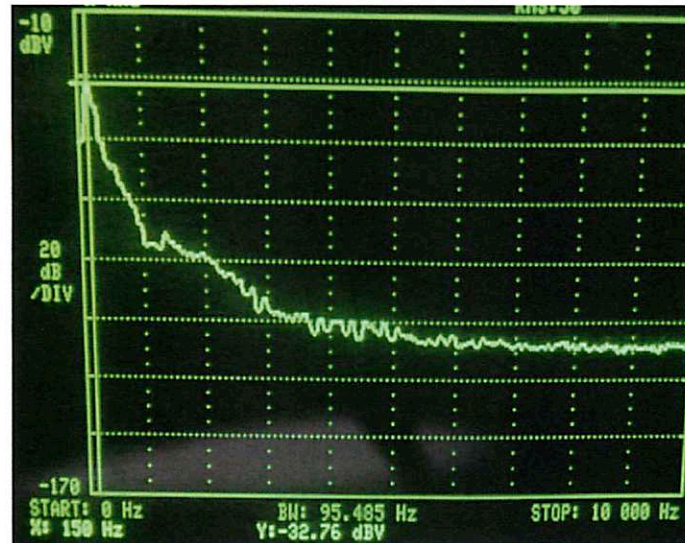
**Messvorgang:**

Das elektromagnetische Feld der Lüfter induziert eine Spannung an der Spule, die dann am angeschlossenen Signal-Analysator abhängig von der Frequenz gemessen wird. Die Ausrichtung des Lüfters vor der Spule wird beibehalten und der Abstand zwischen der Spule und dem Lüfter:  $d$  wird stückweise vergrößert. Der Abstand wird vom Mittelpunkt des Lüfters bis zum Mittelpunkt der Spule definiert. Der Wertebereich der Abstände variiert von 6 cm bis zu 50 cm und das Inkrement beträgt 1 cm.

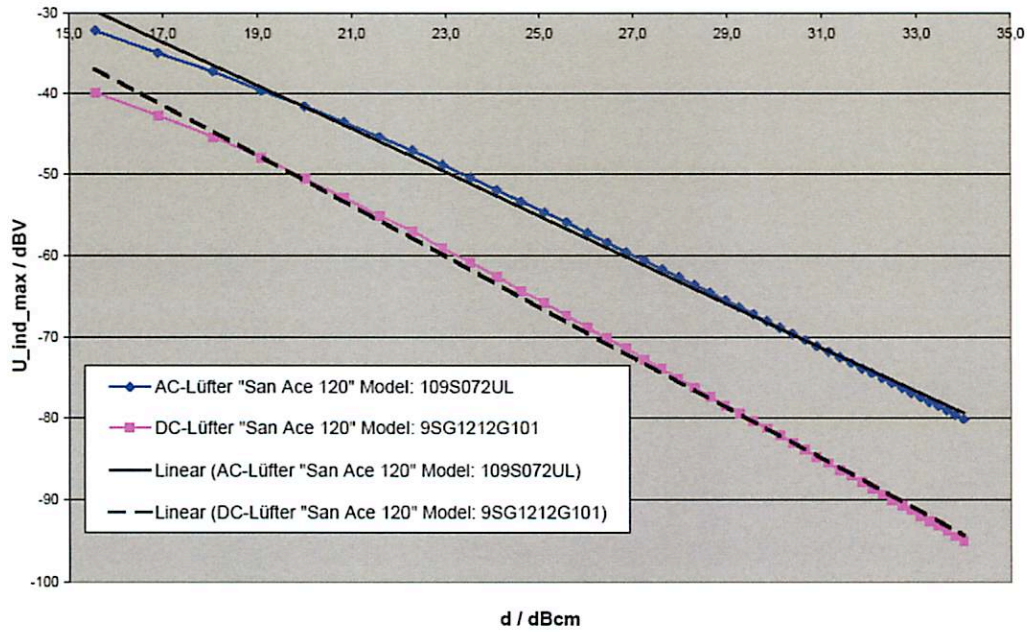
Dabei wird jeweils die maximal induzierte Spannung am Signal Analysator abgelesen.

### Messdaten:

Das Feld des AC-Lüfters ist frequenzabhängig und weist bei der Frequenz  $f=150\text{Hz}$  die maximale Spannung auf. Das Feld des DC-Lüfters ist auch frequenzabhängig und weist bei der Frequenz  $f=1150\text{Hz}$  die maximale Spannung auf. Die Abbildungen 22 und 23 zeigen die Messbilder bei einem Abstand von 6 cm zwischen Lüfter und Spule.



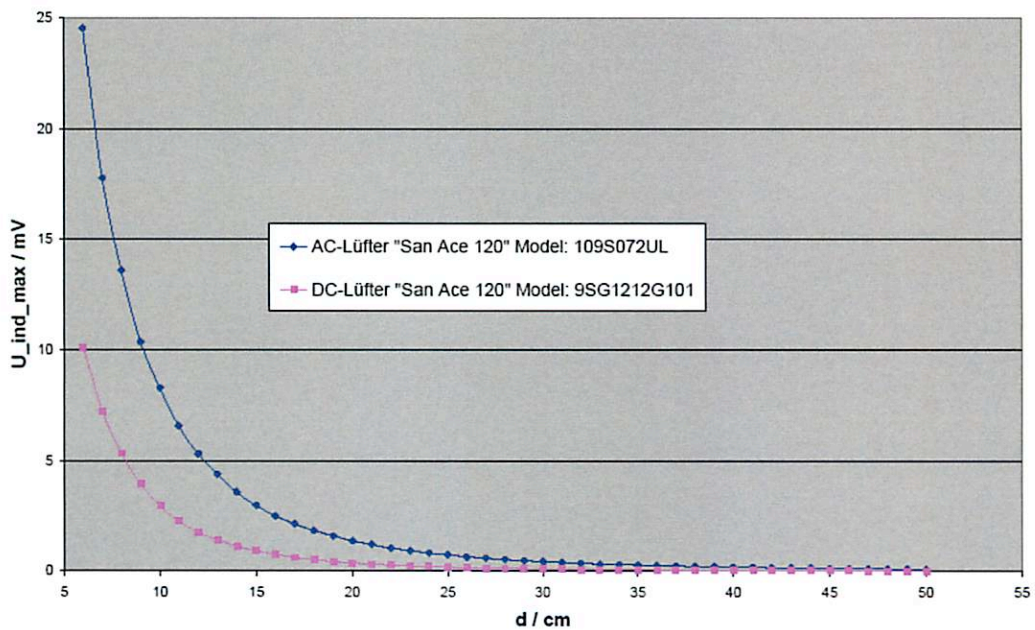
Nach dem stückweise Variieren des Abstands  $d$  sind die gemessenen Spannungen weiterhin bei der Frequenz  $f=150\text{Hz}$  für den AC-Lüfter und bei  $f=1150\text{Hz}$  für den DC-Lüfter maximal. Die gemessenen Spannungen sind in doppelt-logarithmischer Auftragung (Abbildung 24) dargestellt. Auf der y-Achse steht die Spannung in dBV und auf der x-Achse steht der Abstand in dBcm.



Lüfter-Vergleich in doppelt-logarithmischer Auftragung

Abbildung 24: doppelt-logarithmischer Auftragung

Weiterhin sind die gemessenen Werte der beiden Lüfter in linearer Auftragung (Abbildung 25) dargestellt.



Lüfter-Vergleich in linearer Auftragung

Abbildung 25: lineare Auftragung



### **Auswertung:**

Die Verläufe der beiden Lüfter in Abbildung 24 lassen sich in einer ersten Näherung durch jeweils eine lineare Kennlinie darstellen. Die beiden Näherungen stellen aufgrund eines von über 0,99 Bestimmtheitsmaßes, mit der Software Microsoft Excel berechnet, eine gute Approximation der jeweiligen Verläufe.

Die mithilfe des Abbildes 24 errechneten Gleichungen für die beiden linearen Kennlinien sind:

Gleichung 1: lineare Kennlinie des AC-Lüfters:  $y = -2,693x + 12,129$

Gleichung 2: lineare Kennlinie des DC-Lüfters:  $y = -3,114x + 11,495$

Dabei stellen  $y$  die induzierte Spannung in dBV und  $x$  den Abstand in dBcm dar. Je größer der Wert von  $y$  ist, desto größer ist die Spannung und entsprechend groß ist die Störung aufgrund der Streufelder.

Der AC-Lüfter induziert im Vergleich zum DC-Lüfter betragsmäßig die größte Spannung und somit verursacht der AC-Lüfter betragsmäßig die größte Störung. Bei einem minimalen Abstand von  $d=6\text{cm}$  ist die Spannung vom DC-Lüfter um 7dBV kleiner. Weiterhin ist der Betrag der Steigung der Kennlinie des DC-Lüfters größer und somit nimmt seine Störung schneller mit dem Abstand ab. Folglich hat der DC-Lüfter eine bessere Betragseigenschaft der elektromagnetischen Verträglichkeit als der AC-Lüfter.

Ein weiterer Aspekt beim Vergleich der beiden Lüfter ist deren Frequenzeigenschaft. Die induzierte Spannung des AC-Lüfters ist bei der Frequenz  $f = 150\text{ Hz}$  maximal und sinkt dann, wie im Bild 3 zu sehen ist, schnell mit der Frequenz ab. Im Vergleich zu 150 Hz ist bei 10 KHz die induzierte Spannung des AC-Lüfters um 90 dBV gesunken. Die induzierte Spannung des DC-Lüfters ist bei der Frequenz 1150 Hz maximal, aber bleibt (Abbildung 23) in einem Frequenzbereich bis über 10 KHz relativ groß. Im Vergleich zu 1150 Hz ist bei 10 KHz die Spannung nur um 25 dBV gesunken. Somit hat der DC-Lüfter eine schlechtere Frequenzeigenschaft der elektromagnetischen Verträglichkeit als der AC-Lüfter.

Für den Betrieb der 1,3cm-Empfängerbox wurde die Betragseigenschaft der elektromagnetischen Verträglichkeit im Vergleich zu seiner Frequenzeigenschaft als relevanter bewertet. In Folge dessen ist, bezüglich der elektromagnetische Eigenschaft, der DC-Lüfter für den Einsatz in der 1,3cm-Empfängerbox zu bevorzugen.

### **3.3.2 EMV<sup>7</sup>-Maßnahmemöglichkeiten am Beispiel des DC-Lüfters**

Im Folgenden werden experimentell Maßnahmen untersucht, mit denen die Eigenschaften der elektromagnetischen Verträglichkeit des DC-Lüfters verbessert werden können.

---

<sup>7</sup> EMV: elektromagnetische Verträglichkeit

Dafür standen als Hilfsmitteln ein Kondensator und ein Filter zur Verfügung. Mit diesen Hilfsmitteln können die Streufelder der Lüfter im freien Raum nicht beeinflusst werden, aber die an der Stromleitung gebundenen Störsignale können gedämpft werden. Der hier eingesetzte Filter sollte eine entsprechende Hochpass-Charakteristik aufweisen, um die Störsignale der Lüfter, die niederfrequent sind, zu dämpfen. Ebenfalls sollte die Frequenzabhängigkeit des Wechselstromwiderstands des eingesetzten Kondensators geeignet sein, um die Störsignale des Lüfters abzusenken.

Ein DC-Lüfter kann beim Einbauen in der 1,3cm-Empfängerbox zusammen mit der empfindlichen Empfangselektronik an einem gleichen Netzgerät in der Box angeschlossen werden. Deswegen wird die Wirkung der vorher genannten Hilfsmittel zur Dämpfung der vom Lüfter verursachten Störsignale an einer Stromleitung des Netzgeräts untersucht.

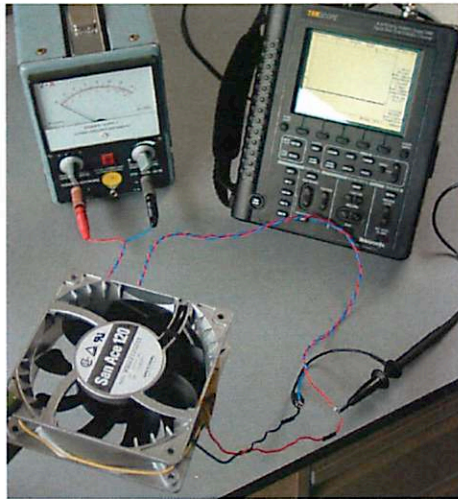
Für den Fall, dass getrennte Netzgeräte für Lüftern und Empfangselektronik Anwendung findet, kann aufgrund einer vorhandenen galvanischen Signaltrennung zwischen den separaten Netzgeräten der Einsatz dieser Emu-Maßnahmen nicht erforderlich sein.

### **Objekte:**

- Untersuchungsobjekt:  
DC-Lüfter, Herstellerbezeichnung: San Ace 120", Model: 9SG1212G10
- Messgerät: Digital Oszilloskope von Tektronix, Model: THS 720 Std
- Filter: EMI-Filter, Herstellerbezeichnung: Corcom, Model: 7344
- Kondensator: Elektrolyt Kondensator mit einer Kapazität von 470 $\mu$ F
- Hilfsgerät: DC-Netzgerät, Herstellerbezeichnung: Rohde & Schwarz Typ NGG 15-15

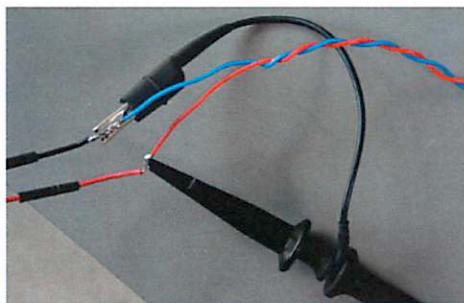
### **Messaufbau:**

Der DC-Lüfter ist mit dem Netzgerät verbunden. Die Nennspannung des DC-Lüfters ist 12V und dieser Spannungswert wird am Netzgerät eingestellt. Der Lüfter verursacht im Betrieb ein Spannungssignal. Dieses Signal überlagert sich auf der Versorgungsspannung von 12V und kann an der Verbindungsleitung gemessen werden. In dieser Verbindungsleitung zwischen dem Lüfter und dem Netzgerät werden Filter und Kondensator eingebaut und mit dem Oszilloskope deren Auswirkungen untersucht. Die Abbildung 26 stellt der Messaufbau dar. Dort sind der Lüfter, das Netzgerät und das Oszilloskope zu sehen.



**Abbildung 26:** Messaufbau mit dem DC-Lüfter

In Abbildung 27 ist die Verbindungsstelle zwischen dem DC-Lüfter und dem Netzgerät mit der Messspitze des Oszilloskopes zu sehen.



**Abbildung 27:** Verbindungsstelle zwischen Lüfter und Netzgerät

Für die weiteren Untersuchungen werden an dieser Verbindungsstelle Filter und Kondensator, wie in den folgenden Bildern zu sehen ist, eingebaut.

Zunächst wird an der Verbindungsstelle der Filter eingebaut (Abbildung 28). Dabei ist die Messspitze des Oszilloskopes nach dem Filter an der Seite des Netzgeräts verbunden.



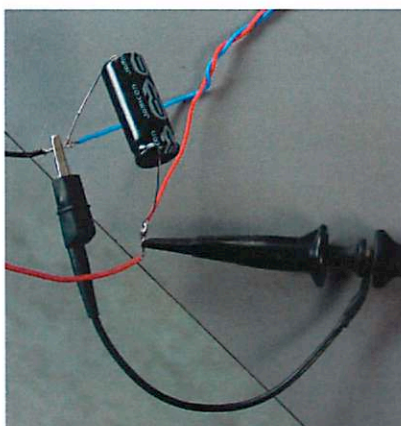
**Abbildung 28:** Filter

Anschließend wird zusätzlich wie im Abbildung 29 dargestellt der Kondensator nach dem Filter eingebaut. Ebenfalls ist auch hier die Messspitze des Oszilloskopes nach dem Filter an der Seite des Netzgeräts verbunden.



**Abbildung 29:** Filter und Kondensator

Abschließend wird an der Verbindungsstelle (Abbildung 30), der Kondensator ohne Filter eingebaut und mit der Messspitze verbunden.



**Abbildung 30:** Kondensator

### **Messdaten:**

Das Messergebnis des Ausgangszustandes, wo weder der Lüfter noch der Kondensator eingebaut ist, ist in Abbildung 31 dargestellt.

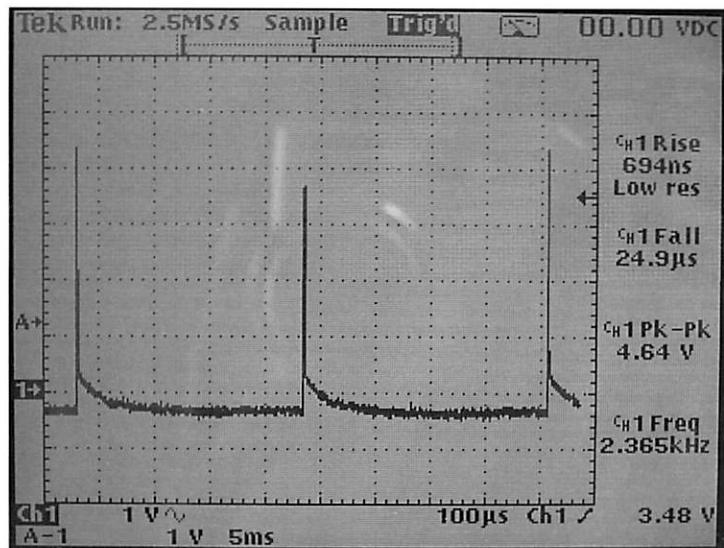


Abbildung 31: Ausgangszustand

Dann wird der Filter (Abbildung 28) eingebaut. Das Messergebnis, dieses Messaufbaus steht in der Abbildung 32.

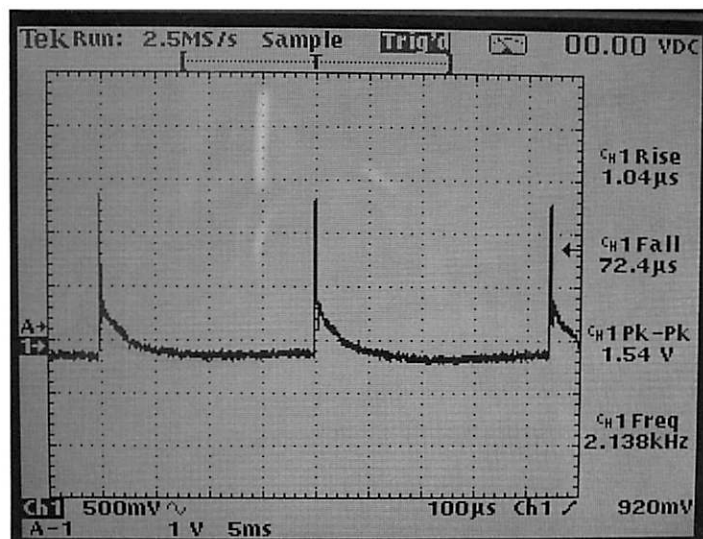


Abbildung 32: Filter

Das Ergebnis nach der Erweiterung mit dem zusätzlichen Einbau des Kondensators ist in Abbildung 33 zu sehen.

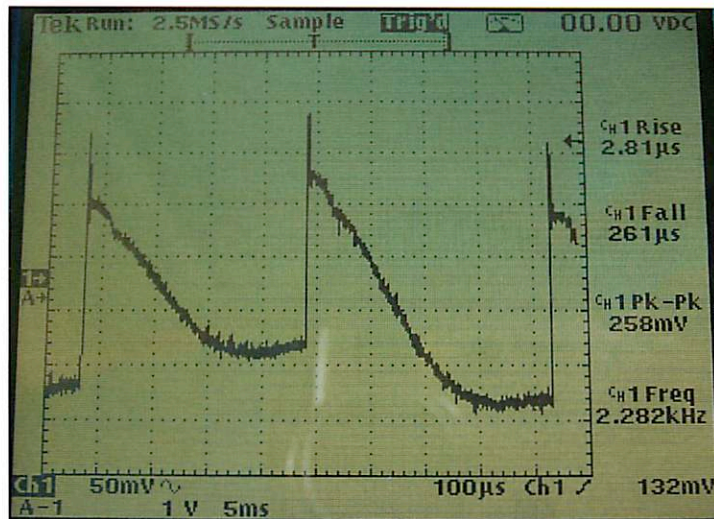


Abbildung 33: Filter und Kondensator

Abschließend steht das Ergebnis für den Fall (Abbildung 30), dass der Kondensator ohne den Filter eingebaut wird in Abbildung 34 gezeigt.

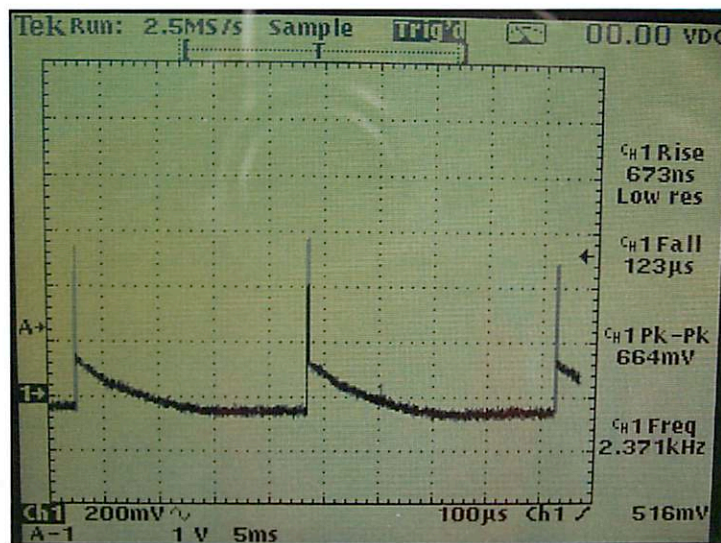


Abbildung 34: Kondensator ohne Filter

### **Auswertung:**

Die Versorgungsspannung des Netzgerätes ist eine Gleichspannung mit einem konstanten Wert von 12 V. Der Lüfter verursacht im Betrieb ein Störsignal mit einer Wechselfspannung. Diese Wechselfspannung überlagert sich an der Gleichspannung des Netzgerätes. Das Resultat dieser Überlagerung ist wiederum eine Wechselfspannung. Der Betrag dieser Überlagerung ist die Summe der Beträge der zwei Spannungen. Aber der Spitze-Spitze-Wert dieser Überlagerung ist gleich dem Spitze-Spitze-Wert der Wechselfspannung allein. Somit kann der gemessene Spitze-

Spitze-Wert des Spannungssignals an der Stromleitung als der Spitze-Spitze-Wert der Wechselspannung des Störsignals des DC-Lüfters dargestellt werden.

Im Ausgangszustand wie im Abbildung 27 aufgebaut und im Abbildung 31 gemessen wurde, ergibt sich ein Störsignal des Lüfters mit einem Spitze-Spitze-Wert von 4,64 V und mit einer Frequenz von ca. 2,3 KHz.

Nach dem Einbau des Filters und danach der Messspitze am Filterausgang (Abbildung 28), zeigt die Abbildung 32 die erzielten Messergebnisse. Der Filter reduziert das Störsignal um das dreifache. Somit ist nach dem Filter an der Seite des Netzgeräts ein Spannungssignal mit einem Spitze-Spitze-Wert von nur noch 1,54V. Die Frequenz des Störsignals ist dabei mit ca. 2,1 KHz fast gleich geblieben.

Nach der Erweiterung mit dem zusätzlichen Einbau des Kondensators am Filterausgang (Abbildung 29), zeigt Abbildung 33 die dabei erzielten Ergebnisse. Hier ist ein Störsignal mit einem Spitze-Spitze-Wert von 0,26V und mit einer Frequenz von ca. 2,3 KHz zu sehen. Im Vergleich zum Filter ohne den zusätzlichen Kondensator ist der Wert des Störsignals am Ausgang des Filters von 1,54V auf 0,26V gesunken und die Frequenz fast gleich bei ca. 2,3 KHz geblieben.

Abschließend bei dem Einbau des Kondensators ohne den Filter (Abbildung 30), zeigt Abbildung 38 die dabei erzielten Ergebnisse. Hier ist ein Störsignal mit einem Spitze-Spitze-Wert von 0,66V und mit einer Frequenz von ca. 2,4 KHz zu sehen. Im Vergleich zum Aufbau ohne Kondensator und ohne Lüfter ist die Spannung von 4,64V auf 0,66V gesunken und die Frequenz fast gleich bei ca. 2,4 KHz geblieben.

Als Zusammenfassung kann man sagen, dass der maximale Spitze-Spitze-Wert des Lüfter-Störsignals auf der Netzgerät-Stromleitung 4,64 V beträgt. Nach dem Einbau des Filters erzielt man am Ausgang des Filters, also an der Seite des Netzgeräts eine Reduzierung des Störsignals auf 1,54 V. Nach dem zusätzlichen Einbau des Kondensators an der Seite des Netzgeräts lässt sich der Spitze-Spitze-Wert weiter auf 0,26 V reduzieren. Mit dem Kondensator allein ohne Filter erzielt man ohnehin eine Reduzierung von 4,64 V auf 0,66 V.

Bei all diesen Maßnahmen bleibt die Frequenz des Störsignals an der Stromleitung des Netzgerätes bei ungefähr ca. 2,3 KHz konstant.

## **3.4 Messeinrichtung**

### **3.4.1 Temperaturmessung**

Aufgrund des zeitlich beschränkten Zugangs zur Primärfokuskabine, wie im Abschnitt 3.1.2 erläutert, wurden Temperatur-Messsysteme in Form von Temperatur-Loggern ausgewählt. Sie haben die Eigenschaft als weitgehend autarkes Messsystem zu funktionieren. Außerdem wurde darauf geachtet, dass die Temperatur-Logger aufgrund der empfindlichen Empfängerelektronik eine sehr gute Eigenschaft bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit aufweisen.

Für Temperaturmessung in der Box wurde 10 Temperatur-Loggern vom Hersteller 3M mit der Typenbezeichnung TL20 angeschafft. Danach wurde zur Ergänzung ein Temperatur-Logger mit eingebautem Feuchtigkeit-Logger vom Hersteller Voltkraft mit der Typenbezeichnung DL-120TH angeschafft. Diese Messgeräte können ihre Messwerte, entsprechend einer zuvor durchgeführten manuellen Konfiguration, über eine Messdauer selbstständig aufzeichnen und speichern. Zur Auswertung können die Messgeräte an einem Computer angeschlossen werden um dann die gespeicherten Messwerte auszulesen. Mit einer Online-Anwendung kann man die Messwerte nicht nur nach, sondern während der Messdauer betrachten und die Konfiguration der Loggern währenddessen ändern. Bei allen in dieser Arbeit eingesetzten Loggern war keine solche Online Anwendung vorhanden. Dies bedeutete, dass die Messkonfiguration und alle Details bezüglich der Messung vor der Messdauer, gut geplant werden sollten.

Für eine optimale Auswertung der Messwerte während der Untersuchungen wurden die Temperatur-Logger bezüglich deren technischen Anwendung im Kapitel 5 zunächst charakterisiert.

Weiterhin stand eine Wärmebildkamera vom Hersteller Fluke mit der Typenbezeichnung Ti20 zur Verfügung. Damit können Temperaturwerte auf einer relativen großen Oberfläche betrachtet werden. Zusätzlich wurde einen Infrarot-Thermometer vom Hersteller BaseTech mit der Typenbezeichnung Mini1 angeschafft. Damit können Temperaturwerte auf einer Punktfläche betrachtet werden. Wärmebild- bzw. Infrarot-Messgeräte zeigen eine große Abhängigkeit bezüglich Randbedingungswerte wie z.B. Raum-Helligkeit, Emissionsgrad und Emissionsrichtung an der Oberfläche des Messobjekts. Diese Randbedingungen waren während dieser Arbeit nicht konstant. Deswegen werden mit der Wärmebildkamera und mit dem Infrarot-Thermometer keine für die Wärmebilanz auswertbaren Messungen gemacht, sondern nur Größenordnung-Messungen zur Vorbereitung und Ergänzung der Untersuchungen durchgeführt.



### **3.4.2 Strom- , Spannung- und Energiemessung**

Die elektrischen Strom-, Spannungs- und Energiewerte in der 1,3cm-Empfängerbox besitzen nicht die Eigenschaft sich kontinuierlich zu ändern wie die Temperatur in der Box. Daher sind hier keine Messsysteme erforderlich, die ihre Messwerte selbst aufzeichnen und speichern.

Für die Messung der mittleren elektrischen Stromwerte bzw. Spannungswerte in der 1,3cm-Empfängerbox stand ein Multimeter zur Verfügung. Die technischen Daten dieses Multimeter bezüglich Eigenschaften sind erfahrungsgemäß im Bereich der Größenordnung der zu messenden Werte in dieser Arbeit ausreichend. Es wurde keine technische Charakterisierung des Multimeters durchgeführt.

Für die Messung der mittleren elektrischen Energieverbrauchswerte in der 1,3cm-Empfängerbox wurde ein Wattmeter vom Hersteller Voltkraft mit der Typenbezeichnung Energy Monitor 3000 angeschafft. Es wurde im Kapitel 5 eine Charakterisierung dieses Messgeräts bezüglich der Messgenauigkeit durchgeführt.

# 4 Grundlagen

## 4.1 Elektrische Verlustleistung

In einem elektrischen System mit der aufgenommenen elektrischen Leistung ( $P_{auf}$ ) und der abgegebenen elektrischen Leistung ( $P_{ab}$ ) lautet die Verlustleistung ( $P_v$ ):

$$P_v = P_{auf} - P_{ab} \quad (1)$$

Die elektrische Verlustleistung ( $P_v$ ) eines mit dem Strom ( $I$ ) durchflossenen elektrischen Widerstands mit dem Widerstandswert ( $R$ ) ist gegeben durch:

$$P_v = R \cdot I^2 \quad (2)$$

Der Wirkungsgrad ( $\eta$ ) eines Systems ist allgemein definiert als das Verhältnis von Nutzen ( $P_{ab}$ ) zu Aufwand ( $P_{auf}$ ) [2]

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{auf}} \quad (3)$$

$$\rightarrow P_{ab} = \eta \cdot P_{auf} \rightarrow P_v = P_{auf} - \eta \cdot P_{auf}$$

$$\rightarrow P_v = P_{auf} (1 - \eta) \quad (4)$$

Die Wirkleistung ( $P$ ) ist die elektrische Leistung, die für die Umwandlung in andere Leistungen (z.B. mechanische, thermische oder chemische) verfügbar ist [4:salbert]

$$P = S \cdot \cos(\varphi) \quad (5)$$

S: Scheinleistung [VA]

Q: Blindleistung [var]

P: Wirkleistung [W]

$\cos(\varphi)$ : Leistungsfaktor

Als Leistungsfaktor oder auch Wirkfaktor bezeichnet man in der Elektrotechnik das Verhältnis von Wirkleistung  $P$  zu Scheinleistung  $S$ .

## 4.2 Temperaturmessung

Die Temperatur beschreibt den Wärmezustand eines Körpers und kann experimentell ermittelt werden. Viele messbare physikalische Eigenschaften eines Körpers ändern sich mit seiner Temperatur. Diese Eigenschaften sind z.B. die Änderung der Abmessungen, der Dichte, des spezifischen Widerstands, der Dielektrizitätskonstante oder der Menge der Wärmestrahlung des betrachteten Körpers. Je nach Messvorgang kann man zwischen Temperaturmessung mit einem thermischen Kontakt oder ohne einen thermischen Kontakt zwischen dem Temperatursensor und dem Messobjekt unterscheiden.

Bei den in dieser Arbeit eingesetzten Temperatur-Loggern handelt es sich um Temperaturmessungen mit thermischem Kontakt. Bei den eingesetzten Infrarotmessgeräten handelt es sich um eine Temperaturmessung ohne thermischen Kontakt.

Eine Temperaturmessung mit thermischem Kontakt kann z.B. durch mechanische oder elektrische Erfassung stattfinden.

Bei der mechanischen Erfassung finden z.B. die Änderung der Abmessungen oder der Dichte des Messensors bezüglich der Temperatur Anwendung.

Dagegen wird bei der elektrischen Erfassung, von der Änderung des spezifischen Widerstands eines elektrischen Leiters oder eines Halbleiters gebraucht gemacht. Ebenfalls kann die Thermoelektrizität zwischen zwei unterschiedlichen Metallen oder zwei unterschiedlich dotierten Halbleitermaterialien angewendet werden. Weiterhin kann die Nutzung der Temperaturabhängigkeit der Bandlücke von Halbleitern eingesetzt werden.

Für den Fall eines Temperatursensors bestehend aus einem temperaturabhängigen Widerstand eines elektrischen Leiters bzw. Halbleiters kann die folgende Formel zur Darstellung des physikalischen Prinzips des Sensors angewendet werden [3]:

$$\sigma(T) = e \cdot n \cdot \mu(T) \text{ bzw.} \tag{6}$$

$$\sigma(T) = e \cdot n(T) \cdot \mu(T)$$

Dabei bedeuten:

$\sigma(T)$ : spezifische Leitfähigkeit bei der Temperatur T

$e$ : Ladung eines Elektrons

$n$  bzw.  $n(T)$ : temperaturunabhängige Ladungsträgerdichte der Elektronen des elektrischen Leiters bzw. die temperaturabhängige Ladungsträgerdichte der Elektronen des Halbleiters

$\mu(T)$ : Elektronen Beweglichkeit bei der Temperatur T

Wenn ein Temperatursensor aus einem temperaturabhängigen Widerstand eines elektrischen Leiters besteht, kann die folgende Formel zur Ermittlung der Temperatur angewendet werden [4]:

$$R_T = R_{20}(1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (7)$$

Dabei bedeuten:

$R_T$ : Widerstandswert in  $\Omega$  bei der Temperatur T

$R_{20}$ : Widerstandswert in  $\Omega$  bei 20 °C

$\alpha$ : Temperaturkoeffizient in 1/K

$\Delta T$ : Temperaturdifferenz in K oder °C

Die temperaturabhängigen Widerstände können bezüglich des Temperaturkoeffizientes als „PTC-Sensoren“ mit dem üblichen Beispiel des „Pt100-Sensors“ oder als „NTC-Sensor“ realisiert werden. Beim „PTC-Sensor“: Positive-Temperature-Coefficient-Sensor ist der Temperaturkoeffizient  $\alpha$  positiv. Im Falle des Pt100-Sensors hat der Widerstand  $R_0$  des Sensors bei 0 Grad Celsius den Wert 100. Beim „NTC-Sensor“: Negative-Temperature-Coefficient-Sensor ist der Temperaturkoeffizient  $\alpha$  negativ.

Das Herstellungsverfahren hat eine maßgebliche Bedeutung für die technischen Eigenschaften eines Temperatursensors. Bezüglich des Herstellungsverfahrens können temperaturabhängige Widerstände als Lasergetrimmte Temperatursensoren, als Thermoelemente, als genormter Widerstandsthermometer aus z.B. Platin, Nickel, oder Silizium eingesetzt werden. [4]

Ein Temperatur-Logger ist in Form eines einzelnen Siliziumchips realisiert, indem außer dem eigentlichen Sensorelement alle dafür nötigen Zusatzfunktionen realisiert sind. Außer dem Sensorelement werden per Hardware oder auch Software die Zusatzfunktionen realisiert. Der prinzipielle Aufbau der Messkette einer Messwerterfassung wird in der Abbildung 34 dargestellt [3].

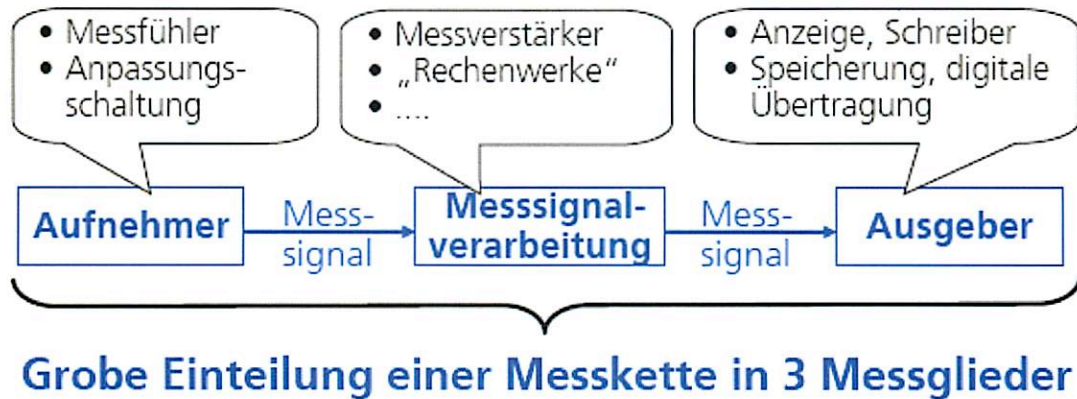


Abbildung 35: Messkette

Im Falle einer digitalen Messwerterfassung wie in dem Temperatur-Logger werden in der Messsignalverarbeitung zusätzlich Analoge/Digitale-Wandler eingesetzt.

Die Empfindlichkeit eines Messsystems mit einer linearisierten Kennlinie wie der Temperatur-Logger wird mit folgender Formel erläutert[2]

$$E = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (8)$$

Dabei bedeuten:

E: Empfindlichkeit

$\Delta y$ : Ausgangsspanne des Messsystems

$\Delta x$ : Eingangsspanne des Messsystems

### 4.3 Wärmeübertragung

Man kann zwischen 3 unterschiedlichen Mechanismen der Wärmeübertragung unterscheiden [5]:

- Wärmeübertragung durch Wärmeleitung:

$$Q = \frac{\lambda}{s} \cdot A \cdot \Delta T \quad (9)$$

- Dies findet an der Deckelplatte und an der Bodenplatte der Box an der Messposition statt.

Wärmeübertragung durch Wärmekonvektion:

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \Delta T \quad (10)$$

Aufgrund des Gebläse in der Box ist dies der größte Mechanismus der Wärmetransport in der Box

- durch Änderung des Aggregatzustandes: Dabei findet Verdampfung oder Kondensation statt. Dieser Mechanismus findet in der Empfängerbox nicht statt.
- Durch Strahlung: [6]

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = A \cdot \Sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (11)$$

#### 4.4 Methode der Blockkapazität

Die Umgebungstemperaturen an der Primärfokuskabine schwanken mit der Zeit. Somit findet die Wärmeübertragung in der Box als instationäre Prozess statt.

Mit der Methode der Blockkapazität [6] kann die Sprungantwort der Temperaturänderung modelliert werden.

In Analogie zu der elektrischen Kapazität mit:  $C = \frac{Q}{\Delta U}$  kann die

Wärmekapazität als:  $C_{therm} = \frac{\text{Wärmemenge}}{\text{Temperaturunterschied}}$  ausgedrückt werden.

Ferner kann der Wärmewiderstand als  $R_{therm} = \frac{\text{Temperaturunterschied}}{\text{Wärmestrom}}$

## 5 Wärmebilanz in der 1,3cm-Empfängerbox

Nach einer Analyse des elektrischen Schaltplans (Anhang B) und der Geräte in der Box wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

1. Die Box beinhaltet insgesamt 16 Netzgeräte.
2. Jede dieser Netzgeräte besitzt eine elektrische Last, die allein von dem betrachteten Netzgerät versorgt wird.
3. Jede dieser 16 elektrischen Lasten arbeitet, wenn die Box sich im Messbetrieb befindet, mit einem konstanten Stromverbrauch
4. In der Box sind fünf Geräte bzw. elektrische Lasten enthalten, die ohne Netzgeräte direkt an der Netzversorgung mit Wechselstrom angeschlossen sind. Diese sind die Heizung, das AC-Gebläse, 1 AC-Lüfter an der Heizung, 1 AC-Lüfter unter den Netzgeräten und der Refrigerator.
5. Die Heizung arbeitet im eingeschalteten Zustand mit einem konstanten Stromverbrauch. Der AC-Lüfter an der Heizung arbeitet simultan mit ihr und verbraucht einen konstanten Strom.
6. Das AC-Gebläse und der AC-Lüfter in der Box arbeiten auch mit einem konstanten Stromverbrauch
7. Der Refrigerator besitzt einen Elektromotor der auch mit einem konstanten Stromverbrauch arbeitet.

### 5.1 Verlustleistung der Lasten

Die vom Weltall empfangene Signalstrahlung trotz der Signal-Bündelung mit dem großen Parabolspiegel des Radioteleskops extrem gering. Es wurde festgestellt, dass die Eingangssignal- und die Ausgangssignalleistungen aller Empfängerelektroniksysteme in der Box weniger als 0 dBm (äquivalent zu 1 Milliwatt) beträgt. Diese Ausgangssignalleistung ist sie im Vergleich zu den wesentlich größeren Versorgungsleistungen zu vernachlässigen.

Die elektrischen Lasten der Empfängerelektronik werden (siehe unten) von 1 bis 21 nummeriert.

Aus dem elektrischen Schaltplan (Anhang B), werden die Eingangsstrom- ( $I_{ein}$ ) und die Eingangsspannungswerte ( $U_{ein}$ ) der Empfängerelektronik-Lasten (Lasten 1 bis 16) im Messbetrieb entnommen. Die Leistungsfaktoren sind dort aber nicht zu entnehmen. Sie konnten auch nicht experimentell ermittelt werden, da die Lasten aus der Box nicht ausgebaut werden sollten. Es ist offensichtlich, dass die Empfängerelektronik Kapazitäten und Induktivitäten enthält. Somit sind die Leistungsfaktoren der Empfängerelektronik-Lasten kleiner als eins.

Weiterhin ist vorgegeben, dass deren Ausgangsleistungen mit weniger als 1 Milliwatt vernachlässigbar sind. Somit berechnet sich deren Verlustleistung mit Hilfe der Formel (1) zu:

$$P_v = P_{auf} - P_{ab} = P_{auf} - 0 = P_{auf}$$

Ferner berechnet sich mit Hilfe der Formel (5) die Verlustleistung der Lasten 1 bis 16 zu:

$$P_v = S \cdot \cos\varphi \rightarrow P_v = U_{ein} \cdot I_{ein} \cdot \cos\varphi$$

Die Verlustleistung der Heizung (Last17) ist auf ihrem Typenschild mit ca. 330 Watt angegeben

Die Verlustleistungen der Lasten 18 bis 21 (Elektromotoren) berechnen sich mit Hilfe der Formel (4).

#### **Last1:** Verstärker des ersten Zwischenfrequenz-Systems Kanal A

Die Verlustleistung an der Last1 ist:  $P_{v\_L1} = 15 \text{ V} \cdot (0,11+0,2+0,375+0,4)\text{A} \cdot \cos\varphi_1$

$$= 16,3 \cdot \cos\varphi_1 \text{ Watt}$$

#### **Last2:** Detektoren

Die Verlustleistung an der Last2 ist:  $P_{v\_L2} = 15 \text{ V} \cdot (0,07+0,07)\text{A} \cdot \cos\varphi_2$

$$= 2,1 \cdot \cos\varphi_2 \text{ Watt}$$

#### **Last3:** Verstärker des ersten Zwischenfrequenz-Systems Kanal B

Die Verlustleistung an der Last3 ist:  $P_{v\_L3} = 15 \text{ V} \cdot (0,11+0,2+0,375+0,4)\text{A} \cdot \cos\varphi_3$

$$= 16,3 \cdot \cos\varphi_3 \text{ Watt}$$

#### **Last4:** Detektoren

Die Verlustleistung an der Last4 ist:  $P_{v\_L4} = 15 \text{ V} \cdot (0,07+0,07)\text{A} \cdot \cos\varphi_4$

$$= 2,1 \cdot \cos\varphi_4 \text{ Watt}$$

#### **Last5:** Multiplizierer

Die Verlustleistung an der Last5 ist:  $P_{v\_L5} = 15 \text{ V} \cdot (0,26+0,33+0,05+0,85+0,5)\text{A} \cdot \cos\varphi_5$

$$= 29,8 \cdot \cos\varphi_5 \text{ Watt}$$

#### **Last6:** f/V-Wandler und Multiplizierer-Heizung

Die Verlustleistung an der Last6 ist:

$$P_{v\_L6} = ((24\text{V} \cdot 0,3\text{A}) + (15\text{V} \cdot 0,07\text{A}) + (5\text{V} \cdot 0,4\text{A})) \cdot \cos\varphi_6 = 10,2 \cdot \cos\varphi_6 \text{ Watt}$$

#### **Last7:** Rauschdioden

Die Verlustleistung an der Last7 ist:  $P_{v\_L7} = 28 \text{ V} \cdot (0,06)\text{A} \cdot \cos\varphi_7$

$$= 1,7 \cdot \cos\varphi_7 \text{ Watt}$$

#### **Last8:** Verstärker des zweiten Zwischenfrequenz-Systems Kanal A und B



Die Verlustleistung an der Last8 ist:

$$P_{v\_L8} = ((15 \text{ V} \cdot 0,81\text{A}) + (15 \text{ V} \cdot 0,81\text{A})) \cdot \cos\varphi_8 = 24,3 \cdot \cos\varphi_8 \text{ Watt}$$

**Last9:** Detektoren

Die Verlustleistung an der Last9 ist:  $P_{v\_L9} = (15 \text{ V} \cdot 0,42\text{A}) \cdot \cos\varphi_9$   
 $= 6,3 \cdot \cos\varphi_9 \text{ Watt}$

**Last10:** V/f-Wandler Kanal A und B

Die Verlustleistung an der Last10 ist:  $P_{v\_L10} = ((15\text{V} \cdot 0,14\text{A}) + (5\text{V} \cdot 0,07\text{A})) \cdot \cos\varphi_{10}$   
 $= 2,4 \cdot \cos\varphi_{10} \text{ Watt}$

**Last11:** V/f-Wandler Kanal A und B

Die Verlustleistung an der Last11 ist:

$$P_{v\_L11} = ((15\text{V} \cdot 0,14\text{A}) + (5\text{V} \cdot 0,07\text{A})) \cdot \cos\varphi_{11} = 2,4 \cdot \cos\varphi_{11} \text{ Watt}$$

**Last12:** PIN-Schalter Kanal A und B

Die Verlustleistung an der Last12 ist:

$$P_{v\_L12} = ((12\text{V} \cdot 0,01\text{A}) + (5\text{V} \cdot 0,02\text{A}) + (5,2\text{V} \cdot 0,02\text{A})) \cdot \cos\varphi_{12} = 0,3 \cdot \cos\varphi_{12} \text{ Watt}$$

**Last13:** Rotations-Horn (entfiel wegen Empfänger-Messbetrieb ohne Rotation des Hornes)

Die Verlustleistung an der Last13 ist:  $P_{v\_L13} = 0 \text{ Watt}$

**Last14:** Universal Lokal Oszillator 1 (entfiel wegen Empfänger-Messbetrieb ohne ULO1)

Die Verlustleistung an der Last13 ist:  $P_{v\_L13} = 0 \text{ Watt}$

**Last15:** erste Verstärker Kanal A: Berechnung entfällt hier, weil der vorhandene Schaltplan unvollständig ist.

**Last16:** erste Verstärker Kanal B: Berechnung entfällt hier, weil der vorhandene Schaltplan unvollständig ist.

**Last17:** Box-Heizung mit Wechselstrom

Die Verlustleistung an der Last17 ist:  $P_{v\_L17} = 330 \text{ Watt}$

**Last18:** AC-Lüfter unter den Netzgeräte

Die Verlustleistung an der Last18 ist:  $P_{v\_L18} = 12 \cdot (1 - \eta_{L18}) \text{ Watt} = 2,4 \text{ Watt}$

**Last19:** AC-Lüfter an der Box-Heizung

Die Verlustleistung an der Last19 ist:  $P_{v\_L19} = 19 \cdot (1 - \eta_{L19}) \text{ Watt} = 3,8 \text{ Watt}$

**Last20:** AC-Gebläse

Die Verlustleistung an der Last18 ist:  $P_{v\_L18} = 100 \cdot (1 - \eta_{L20}) \text{ Watt} = 20 \text{ Watt}$

**Last21:** Refrigerator mit Wechselstrom

Die Verlustleistung an der Last18 ist:  $P_{v\_L18} = 100 \cdot (1 - \eta_{L21}) \text{ Watt} = 20 \text{ Watt}$

## 5.2 Verlustleistung der Netzgeräten

Bei einer gegebenen Leistungsaufnahme eines Netzgeräts mit einem bestimmten Wirkungsgrad lässt sich die Verlustleistung dieses Netzgeräts mit Hilfe der Gleichung (4) berechnen. Somit beschränkt sich die Untersuchung der Verlustleistung eines Netzgeräts hier auf die Untersuchung deren Wirkungsgrad.

Die Lasten mit den Nummer 1 bis 16 wurden so zusammengefasst, dass sie jeweils mit einem eigenen der 16 vorhandenen Netzgeräte versorgt werden. Netzgerät1 soll per Definition das Netzgerät, das allein die Last1 versorgt sein usw.

Die Wirkungsgrade der Netzgeräte werden in den Datenblätter (Anhang C) angegeben. Aber, da diese Werte hauptsächlich für den Nennbetrieb gelten, wurde versucht mit den folgenden Messungen die tatsächlichen Wirkungsgrade der Netzgeräte zu ermitteln.

Die Netzgeräte in der Box konnten nicht zur Messzwecke ausgebaut werden. Es wurden einige Netzgeräte vom gleichen Hersteller und vom gleichen Typ, wie die Box-Netzgeräte besorgt, um die Messungen durchzuführen. Mit Hilfe einer elektronischen Last, welche einstellbare Widerstandswerte besitzt, wurde die tatsächliche Last an einem Netzgerät in der Box simuliert.

### Netzgerät-Typ: CM 11:

Dieser Netzgerät-Typ wird hier betrachtet so wie er mit der Last10 zum Einsatz kommt. Er besitzt drei Spannungsstufen mit zwei mal 15V und ein mal 5V. An den 3 Stufen sind jeweils Teile der Last10 angeschlossen, die jeweils einen Strom von 70mA verbrauchen. Für die Stufe mit 5V bedeutet dies eine angeschlossene Last von  $5/0.07 = 70 \Omega$ . Für die 15V-Stufen bedeutet dies eine jeweils angeschlossene Last von  $15/0.07 = 210 \Omega$ . Die 5V-Stufe des Netzgeräts wurde mit einem ohmschen Widerstand von ca.  $70 \Omega$  angeschlossen. Eine 15V-Stufe wurde mit einem ohmschen Widerstand von ca.  $210 \Omega$  verbunden. Die andere 15V-Stufe wurde mit der elektronischen Last angeschlossen. Das Netzgerät mit den angeschlossenen Lasten wurde an der Netzversorgung angeschlossen. Der Widerstand der elektronischen Last wurde so variiert, dass der Strom von 0A bis zum maximal zulässigen Wert des Netzgeräts-Ausgangsstroms (1A) variiert. Dabei wurde mit einem Multimeter der den jeweiligen Eingangstrom am Netzgerät gemessen, dann seine jeweilige Eingangsleistung berechnet, danach die entsprechenden Wirkungsgrade berechnet und abschließend in Abbildung 35 dargestellt.

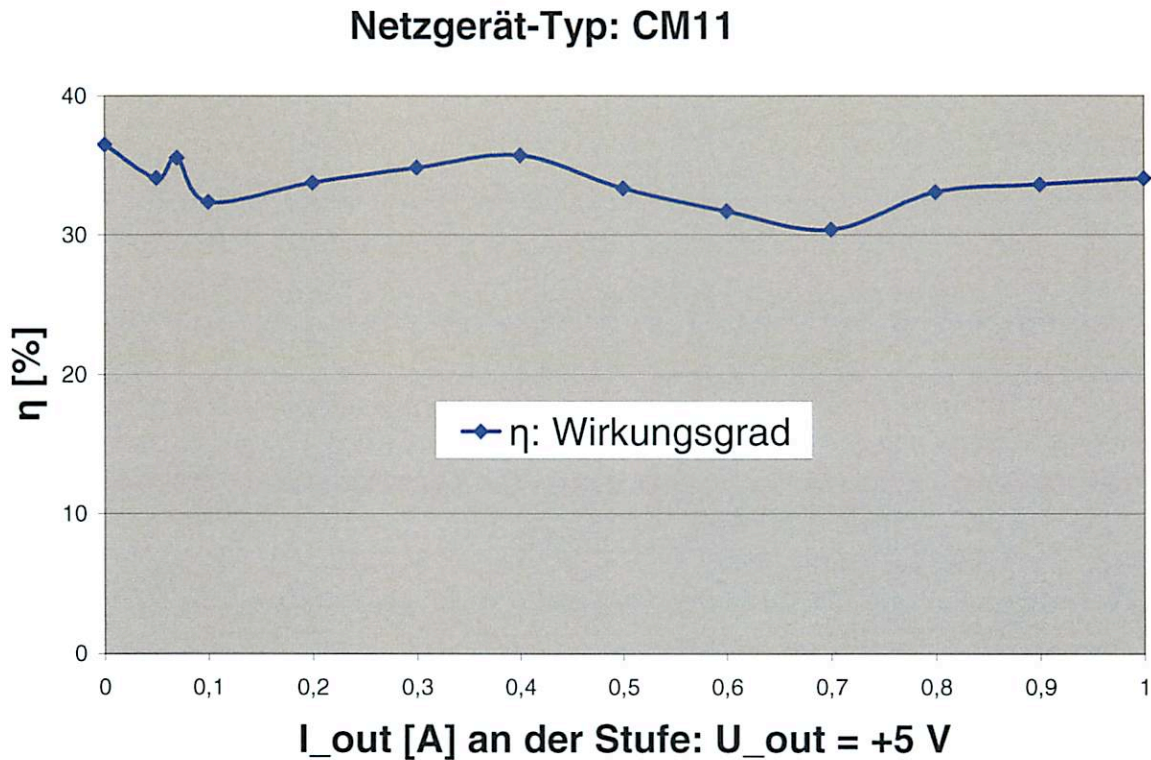


Abbildung 35: Wirkungsgrad des Netzgerät10

**Netzgerät-Typ: CQ 10:**

Dieser Netzgerät-Typ wird hier betrachtet so wie er mit der Last6 zum Einsatz kommt. Bei der Messung seines Wirkungsgrads wie im vorherigen Abschnitt ergibt sich das folgende Ergebnis (Abbildung 36). Hier beträgt der maximale Netzgeräts-Ausgangsstroms 0,5A. Bei der Darstellung der Abbildung 36 wurde die gleich Skala wie in der vorherigen Abbildung gewählt, um einen direkten Vergleich machen zu können.

**Netzgerät-Typ: CQ 6:**

Dieser Netzgerät-Typ wird hier betrachtet so wie er mit der Last12 zum Einsatz kommt. Bei der Messung seines Wirkungsgrads wie in den vorherigen Abschnitt ergibt sich die folgende Kennlinie (Abbildung 37). Hier beträgt der maximale Netzgeräts-Ausgangsstroms 0,4A. Bei der Darstellung der Abbildung 37 wurde die gleich Skala wie in der vorherigen Abbildung gewählt, um einen direkten Vergleich machen zu können.

Nach der Untersuchung der obigen drei Netzteile stellt man fest, dass die angegebenen Wirkungsgrade in dem Datenblätter nicht mit den gemessenen Werten übereinstimmen. Der

Wirkungsgrad dieser Netzgeräte, die linear geregelte Netzgeräte sind, kann (Abbildungen 36 und 37) stark mit dem Laststrom abhängig sein.

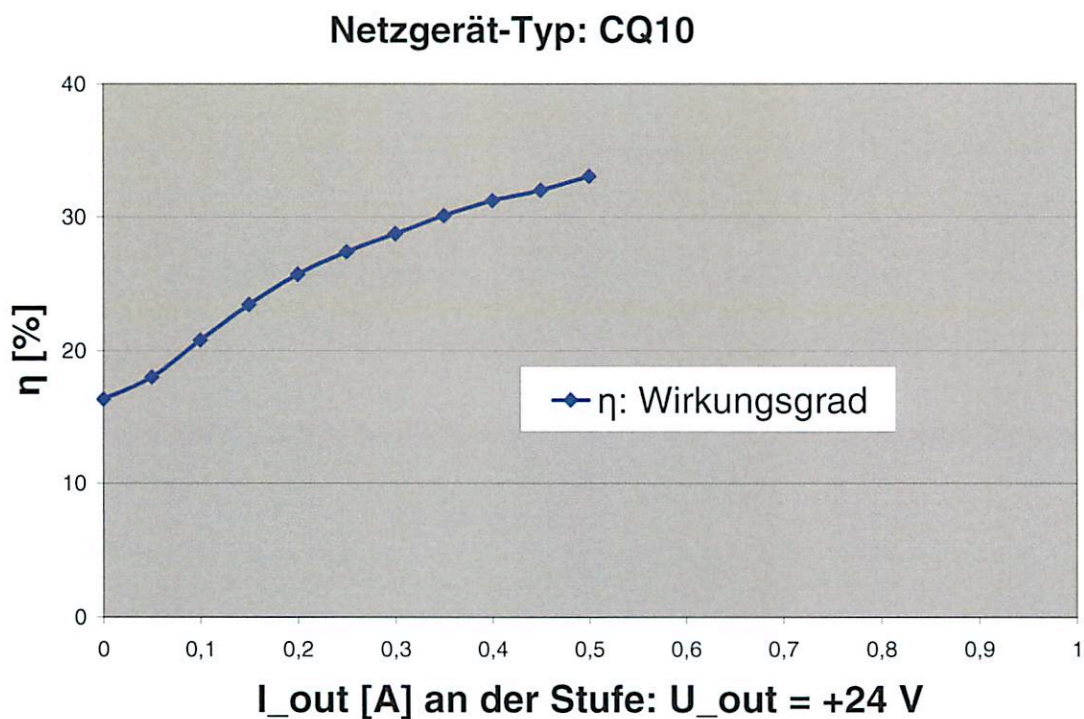


Abbildung 36: Wirkungsgrad des Netzgerät6

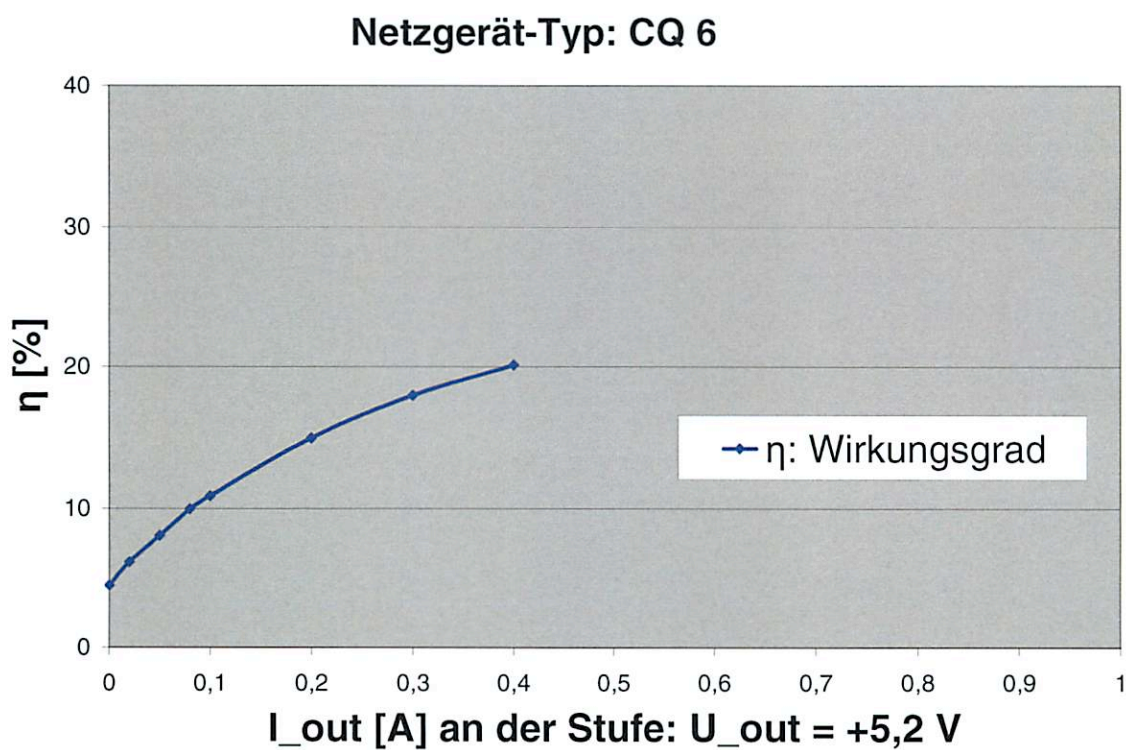


Abbildung 37: Wirkungsgrad des Netzgerät12

### 5.3 gesamte Verlustleistungsbilanz

Das gesamte System in der Box wurde in messbaren Leistungsgruppen von unabhängigen Lasten mit deren unabhängigen Netzversorgung unterteilt. Danach wurden die Leistungsgruppen eins nach dem anderen, mit Hilfe von Schaltern in der Empfängerbox, eingeschaltet und gemessen.

Als Messgerät wurde der Wattmeter vom Hersteller (Votcraft) mit der Typenbezeichnung (Energie Monitor 3000) eingesetzt. Er wurde an einer Stromsteckdose angeschlossen. Aus dieser Steckdose führte eine einzelne Stromkabelverbindung zur Stromversorgung der gesamten Box, mit Ausnahme der Stromversorgung für den Refrigerator. Mit dem Wattmeter kann die Wirkleistung aller Leistungsgruppen der Box, mit Ausnahme des Refrigerators gemessen werden. Die Schnittstelle an welche der Refrigerator lag, war für den Wattmeter nicht zugänglich. Alle Wirkleistungen, die mit dem Wattmeter in der Box gemessen werden, entsprechen einer Verlustleistung, mit Ausnahme der Lasten 18 bis 21, welche zusätzlich eine Arbeitsleistungskomponente besitzen.

Aus dem Datenblatt des Wattmeters wird entnommen, dass seine Messtoleranz typisch 1% und maximal 2 % beträgt. Dies bestätigte sich bei der Leistungsmessung eines fest definierten elektrischen Verbrauchers wie z.B. eine Glühlampe.

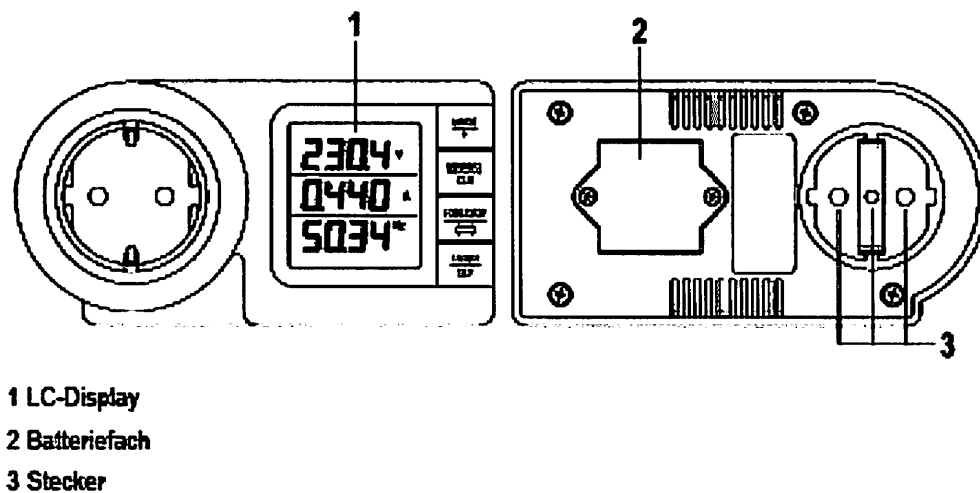


Abbildung 38: Wattmeter: Energie Monitor 3000

| Schalter | elektrische     | Beschreibung | max. Last-                             | Leistungsgruppe- |
|----------|-----------------|--------------|--|------------------|
|          | Leistungsgruppe |              | Verlustleistung                        | Verlustleistung  |
| 1        | 1               | Netzgerät 1  | -                                      | 20,8 W           |
|          |                 | Last 1       | $16,3 \cdot \cos\varphi_1 \text{ W}$   |                  |
|          | 2               | Netzgerät 2  | -                                      |                  |
|          |                 | Last 2       | $2,1 \cdot \cos\varphi_2 \text{ W}$    |                  |
| 2        | 3               | Netzgerät 3  | -                                      | 20,8 W           |
|          |                 | Last 3       | $16,3 \cdot \cos\varphi_3 \text{ W}$   |                  |
|          | 4               | Netzgerät 4  | -                                      |                  |
|          |                 | Last 4       | $2,1 \cdot \cos\varphi_4 \text{ W}$    |                  |
| 3        | 5               | Netzgerät 5  | -                                      | 55,5 W           |
|          |                 | Last 5       | $29,8 \cdot \cos\varphi_5 \text{ W}$   |                  |
|          | 6               | Netzgerät 6  | -                                      |                  |
|          |                 | Last 6       | $10,2 \cdot \cos\varphi_6 \text{ W}$   |                  |
| 4        | 7               | Netzgerät 7  | -                                      | 2,7 W            |
|          |                 | Last 7       | $1,7 \cdot \cos\varphi_7 \text{ W}$    |                  |
| 5        | 8               | Netzgerät 8  | -                                      | 50,6 W           |
|          |                 | Last 8       | $24,3 \cdot \cos\varphi_8 \text{ W}$   |                  |
|          | 9               | Netzgerät 9  | -                                      |                  |
|          |                 | Last 9       | $6,3 \cdot \cos\varphi_9 \text{ W}$    |                  |
| 6        | 10              | Netzgerät 10 | -                                      | 8,4 W            |
|          |                 | Last 10      | $2,4 \cdot \cos\varphi_{10} \text{ W}$ |                  |
|          | 11              | Netzgerät 11 | -                                      |                  |
|          |                 | Last 11      | $2,4 \cdot \cos\varphi_{11} \text{ W}$ |                  |
| 7        | 12              | Netzgerät 12 | -                                      | 3,5 W            |
|          |                 | Last 12      | $0,3 \cdot \cos\varphi_{12} \text{ W}$ |                  |
| 8        | 13              | Netzgerät 13 | -                                      | 0 W              |
|          |                 | Last 13      | 0 W                                    |                  |
| 9        | 14              | Netzgerät 14 | -                                      | 0 W              |
|          |                 | Last 14      | 0 W                                    |                  |
| 10       | 15              | Netzgerät 15 | -                                      | 5,6 W            |
|          |                 | Last 15      | -                                      |                  |
| 11       | 16              | Netzgerät 16 | -                                      | 5,4 W            |
|          |                 | Last 16      | -                                      |                  |
| 12       | 17              | Last 17      | 380 W                                  | 377 W            |
| 13       | 18              | Last 18      | $12 \cdot (1 - \eta_{L18}) \text{ W}$  | -                |
|          | 19              | Last 19      | $19 \cdot (1 - \eta_{L19}) \text{ W}$  |                  |
|          | 20              | Last 20      | $100 \cdot (1 - \eta_{L20}) \text{ W}$ |                  |
|          | -               | 21           | Last 21                                |                  |

Tabelle 1: Verlustleistungsbilanz

Für den Fall, dass die Wirkungsgrade der Motoren, einen üblichen Wert von z.B. 80 Prozent besitzen ergibt sich für die Lasten: 18, 19, 20 bzw. 21 die Verlustleistungen: 2,4 W; 3,8W; 20 W bzw. 20 W.

Somit würde sich eine Gesamtverlustleistung von:

$$P_{v\_gesamt} = 596,5 \text{ W}$$

## 6 Zusammenfassung

Die Wärmeenergie kann makroskopisch gesehen aus zwei unterschiedlichen Arten und Weisen in der Box gelangen bzw. die Box verlassen:

- Zum einen ist das durch die elektrischen Verlustleistungen der Geräte in der Box, die vollständig in Wärme in der Box umgesetzt werden.
- Zum anderen ist das durch den Wärmetransport aufgrund eines Temperaturunterschieds zwischen dem Boxinneren und der Boxumgebung

Durch die folgende Abbildung 39 kann die Wärmebilanz graphisch dargestellt werden.

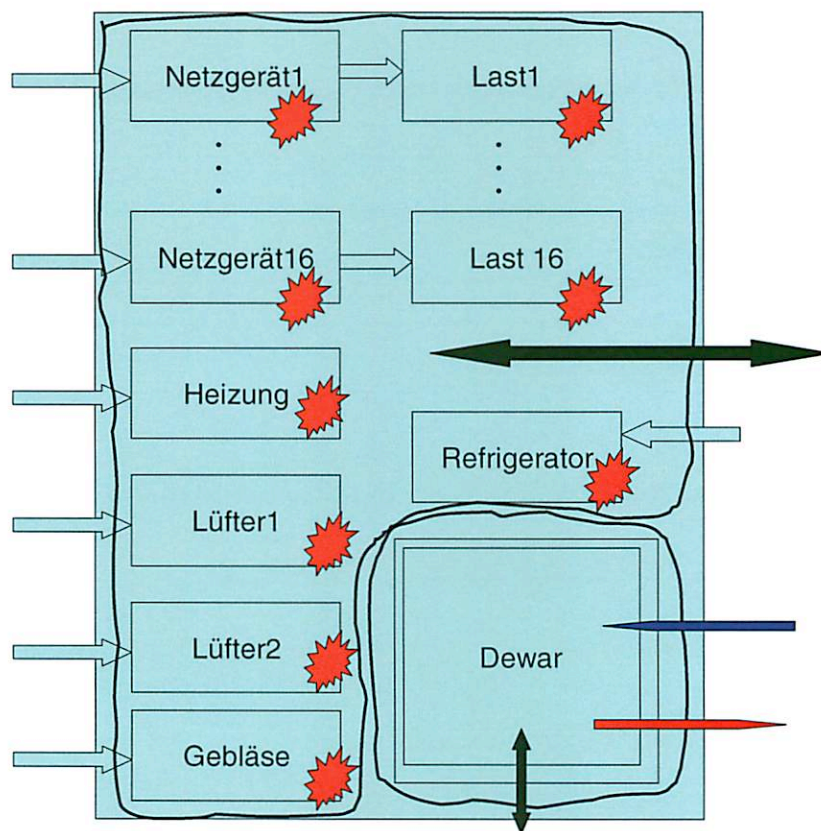


Abbildung 39: Wärmebilanz in der Box

Die Symbolik wird im Folgenden erläutert:



: Elektrische Leistung



: Elektrische Verlustleistung





: Kühlung



: Erwärmung



: Wärmeaustausch

Weiterhin wurde im Laufe der Temperaturmessungen in der Box festgestellt, dass die Feuchtigkeit eine schnellere Antwort bezüglich einer Temperaturänderung in der Box liefert. Diese Erkenntnis könnte verwendet werden um eine Kaskade-Regelung zur Klimatisierung in einem Regelkreis angewendet werden.

Dabei wäre der innere Kreis der Regelung mit dem Feuchtigkeitssensor verbunden. Und der äußere Kreis der Regelung wäre mit dem Temperatursensor verbunden.

# Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Radioteleskop Effelsberg [1] .....  | 2  |
| Abbildung 2: Primär- und Sekundärfokus [1] .....   | 3  |
| Abbildung 3: Zeitplan .....  | 7  |
| Abbildung 4: Primärfokuskabine.....  | 8  |
| Abbildung 5: Empfänger an der Messposition .....   | 9  |
| Abbildung 6: Empfängerbox-Aufnahmerohr an der Messposition.....  | 9  |
| Abbildung 7: Empfänger in einer Warteposition.....   | 10 |
| Abbildung 8: Vereinfachtes Schema der Primärfokus-Kabine.....  | 10 |
| Abbildung 9: 1,3cm-Empfängerbox in der Adapterbox.....   | 12 |
| Abbildung 10: Adapterbox.....  | 13 |
| Abbildung 11: Bodenplatte.....   | 14 |
| Abbildung 12: Blockdiagramm der Signalverarbeitung in der 1,3cm-Empfängerbox.....                            | 16 |
| Abbildung 13: Zweite Verstärkerstufe Kanal B.....  | 17 |
| Abbildung 14: Außenansicht der fünf elektronischen Kästen.....   | 18 |
| Abbildung 15: Innenansicht der fünf elektronischen Kästen .....  | 18 |
| Abbildung 16: Außenansicht der Netzgeräte.....   | 20 |
| Abbildung 17: Innenansicht der Netzgeräte .....  | 20 |
| Abbildung 18: Blockschaltbild der Dewar-Klimatisierung .....   | 22 |
| Abbildung 19: Blockschaltbild der Box-Klimatisierung .....   | 24 |
| Abbildung 20: Messaufbau mit DC-Lüfter .....   | 26 |
| Abbildung 21: Messaufbau mit AC-Lüfter .....   | 26 |
| Abbildung 22: AC-Lüfter bei $d=6\text{cm}$ , Marker bei $f=150\text{ Hz}$ gesetzt, $U= -32,76\text{dBV}$ ..  | 27 |
| Abbildung 23: DC-Lüfter bei $d=6\text{cm}$ , Marker bei $f=1150\text{ Hz}$ gesetzt, $U= -39,49\text{dBV}$ .. | 27 |
| Abbildung 24: doppelt-logarithmischer Auftragung .....   | 28 |
| Abbildung 25: lineare Auftragung .....   | 28 |
| Abbildung 26: Messaufbau mit dem DC-Lüfter .....   | 31 |
| Abbildung 27: Verbindungsstelle zwischen Lüfter und Netzgerät .....  | 31 |
| Abbildung 28: Filter .....   | 31 |
| Abbildung 29: Filter und Kondensator .....   | 32 |
| Abbildung 30: Kondensator .....  | 32 |
| Abbildung 31: Ausgangszustand .....  | 33 |
| Abbildung 32: Filter .....   | 33 |
| Abbildung 33: Filter und Kondensator .....   | 34 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Abbildung 34: Kondensator ohne Filter .....</b>        | <b>34</b> |
| <b>Abbildung 35: Messkette .....</b>                      | <b>41</b> |
| <b>Abbildung 36: Wirkungsgrad des Netzgerät6 .....</b>    | <b>48</b> |
| <b>Abbildung 37: Wirkungsgrad des Netzgerät12 .....</b>   | <b>48</b> |
| <b>Abbildung 38: Wattmeter: Energie Monitor 3000.....</b> | <b>49</b> |
| <b>Abbildung 39: Wärmebilanz in der Box.....</b>          | <b>52</b> |

# Litteraturverzeichnis

[1]: Max-Planck-Institut für Radioastronomie

[2]: Prof. Dr.-Ing. Salbert, Hochschule Bonn-Rhei-Sieg, Vorlesungsskript:  
Leistungselektronik

[3]: Prof. Dr.-Ing. Sommer, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Vorlesungsskript:  
Messwerterfassung

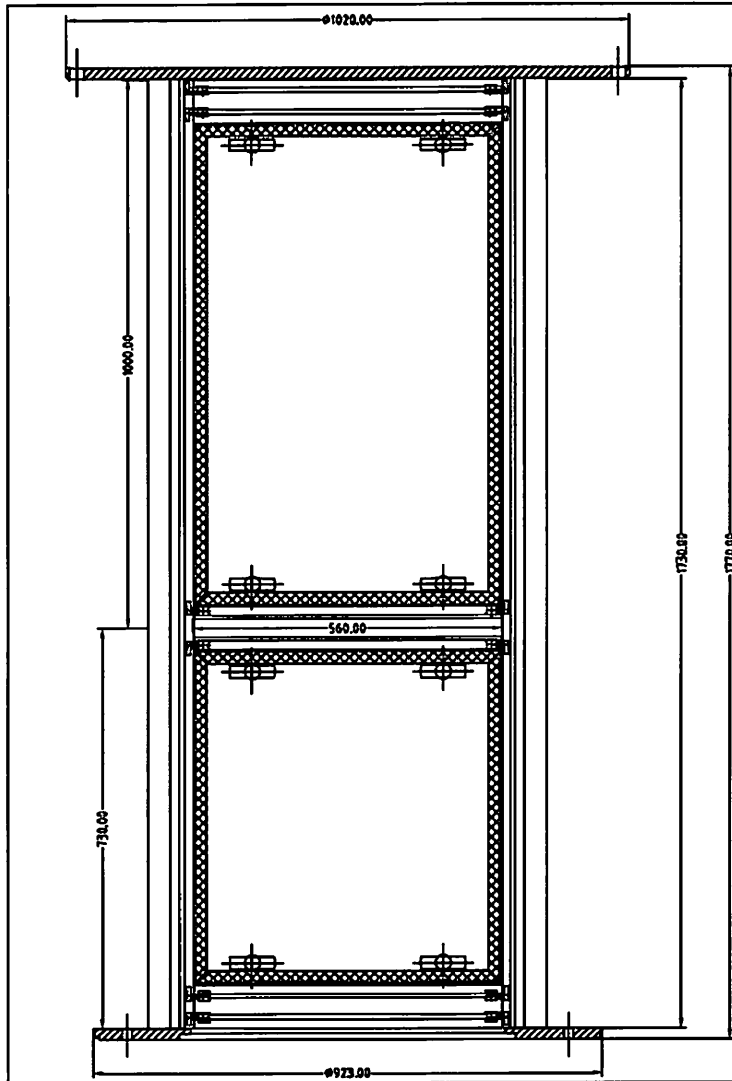
[4]: Herbert Bernstein, Buch: Sensoren und Meßelektronik

[5]: Werner Hemming, Buch: Verfahrenstechnik

[6]: Wolfgang Polifke, Buch Wärmeübertragung

# ANHANG

# Anhang A



### Materialliste ITEM :

- 4 Stück 1730 mm Profil 80 x 80 - 45b leicht 0.0.416.89
- 12 Stück 560 mm Profil 80 x 40 leicht 0.0.026.34
- 4 Stück 2000 mm Gleitleiste 8 0.0.418.39
- 8 Stück Gleitkelle 0.0.422.04
- 48 Stück Universal-Verbindungssatz 0.0.026.92
- 48 Stück Verstiftungselement 0.0.265.37
- 24 Stück Nutenstein St schwer M 8 0.0.420.83
- 14 Stück 2000 mm Winkelleiste 0.0.416.12
- 32 Stück Potentialausgleich 0.0.265.77

### 4 Stück Erdanschluß B 0.3.001.81

### Materialliste Southco :

- 32 Stück Griffe E - 11 - 25
- 32 Stück Klauenscheibe 90 - 6 - 875

### Materialliste Alu Platten :


- 1 Stück Hornhalteplatte " Boxhpl "
- 1 Stück Boxbodenplatte " Boxb "
- 1 Stück Boxdeckelplatte " Boxd "

### Materialliste Gammel Metall :

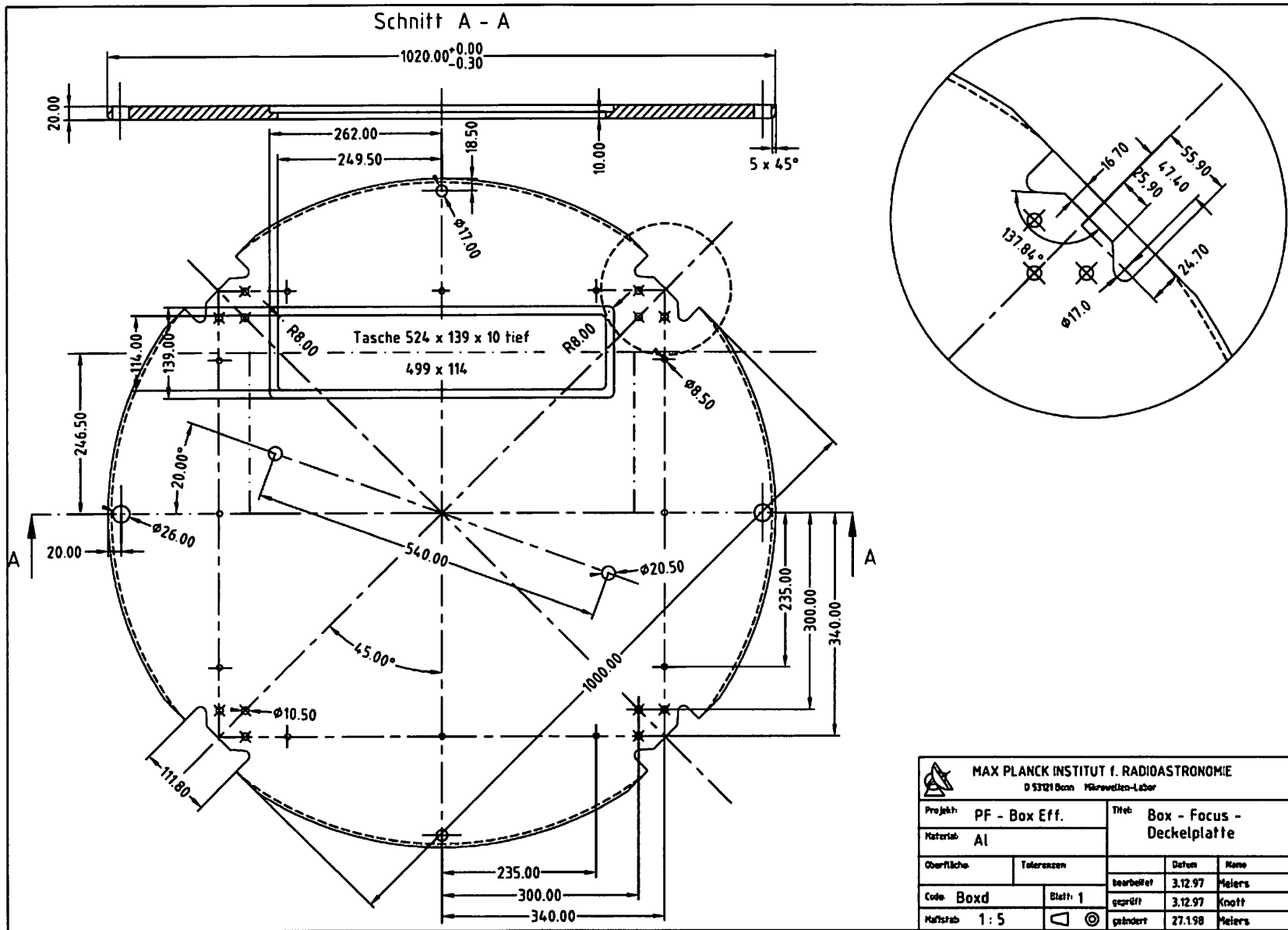
- 4 Stück Alu U - Profil 6000 mm 23 x 23 x 23 x 1.5

### Materialliste Stadur Verbundplatten :

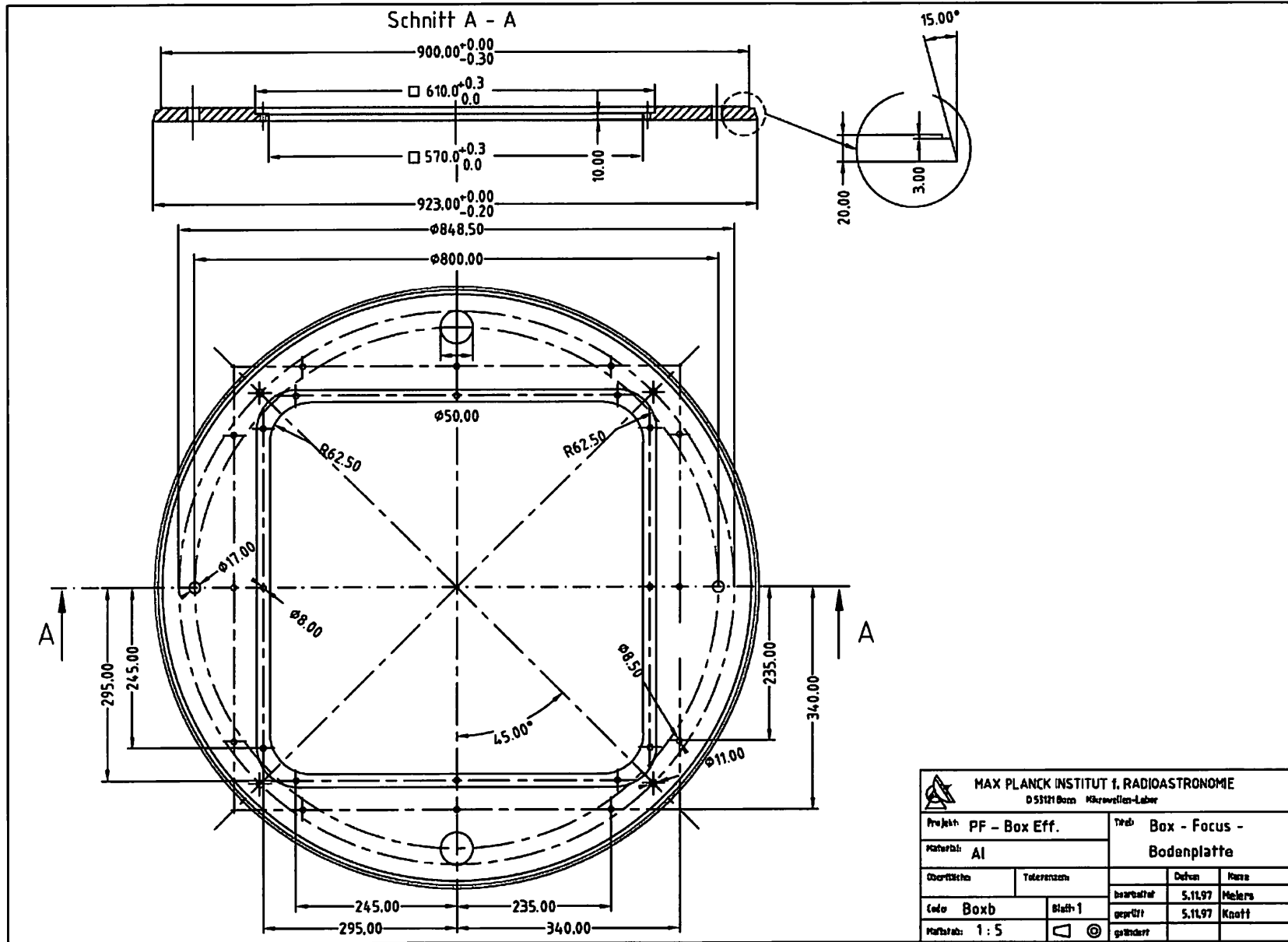
- 4 Stück Stadur FB 4/1 Aluplatte E6.EV1, 2mm Alu beidseitig, gesamt 20mm stark 552mm X 872mm
- 4 Stück Stadur FB 4/1 Aluplatte E6.EV1, 2mm Alu beidseitig, gesamt 20mm stark 552mm X 602mm

|   |  |            |                      |            |         |
|---|--|------------|----------------------|------------|---------|
|  <b>MAX PLANCK INSTITUT F. RADIOASTRONOMIE</b><br><small>D 55121 Bonn Pflanzgarten-Labor</small> |  |            |                      |            |         |
| Projekt: PF - Box Eff.  |  |            | Titel: Box - Focus - |            |         |
| Material: Al  |  |            | Seitenansicht        |            |         |
| Oberflächen   |  | Taborezanz |                      | Defeur     | Heure   |
| Lende: Boxiters   |  | Blatt 1    |                      | bearbeitet | 5.11.97 |
| Maßstab: 1:5  |  |            |                      | geprüft    | 5.11.97 |
|   |  |            |                      | gezeichnet | Kneft   |

Seitenansicht und Materialstückliste der 1,3cm-Empfängerbox [1]



Deckelplatte (obere Platte) der 1,3cm-Empfängerbox [1]



Bodenplatte (untere Platte) der 1,3cm-Empfängerbox [1]



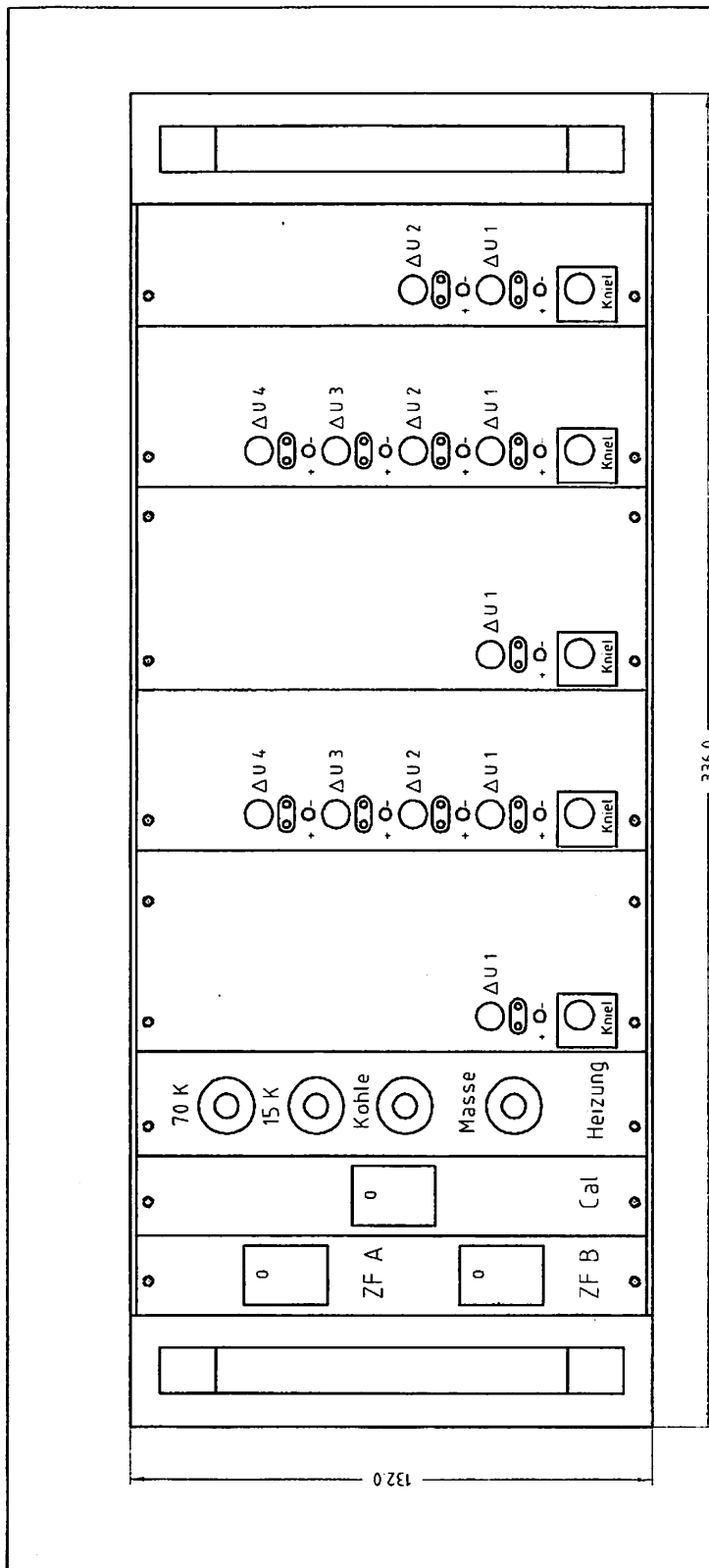
## **Anhang B**

# **Netzteile**

## **Projekt 146**

**18 - 26 GHz, Drehhorn**

- **Meiers - MW - labor**



|  |             |               |                |
|--|-------------|---------------|----------------|
| MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR RADIOASTRONOMIE<br>D 53121 Bonn · Heidehofstraße 1 |             |               |                |
| Projekt  | 146         | 18 - 26,5 GHz | Teil ZF A, B   |
| Material   | Netzteil    |               |                |
| Hersteller   | Fabrikanten | Datum         | Blatt          |
|  |             |               | 5 12 97 Meiers |
| Code netztfp   | Blatt       | geprüft       | 5 12 97 Knott  |
| Material   |             | geändert      |                |

**DC - Versorgung : 1. ZF, Kanal A und B**

Stand: 09.10.2008

| Spannung             | Strom  | Netzteilgruppe<br>Spannung | Bemerkung | Bauteil                                 |
|----------------------|--------|----------------------------|-----------|---|
| <b>1. ZF-Kanal A</b> |        |                            |           |   |
| + 15 V               | 110 mA | 1 / A                      |           | Verstärker Miteq JS2-02000400-050-5P    |
| + 15 V               | 200 mA | 1 / A                      |           | Verstärker Miteq AFD2-0200-40-17P       |
| + 15 V               | 375 mA | 1 / A                      |           | Verstärker Miteq AFD2-0200-40-25P       |
| + 15 V               | 400 mA | 1 / A                      |           | Verstärker DBL - 1826 N 410 / WR 42 i/o |
| + 15 V               | 70 mA  | 2 / B                      |           | Detektor MPIIR S 210                    |
| - 15 V               | 70 mA  | 2 / C                      |           | "                                       |
| + 15 V               |        | 2 / D                      |           | Reserve                                 |
| + 5 V                |        | 2 / E                      |           | Reserve                                 |
| <b>1. ZF-Kanal B</b> |        |                            |           |   |
| + 15 V               | 110 mA | 3 / F                      |           | Verstärker Miteq JS2-02000400-050-5P    |
| + 15 V               | 200 mA | 3 / F                      |           | Verstärker Miteq AFD2-0200-40-17P       |
| + 15 V               | 375 mA | 3 / F                      |           | Verstärker Miteq AFD2-0200-40-25P       |
| + 15 V               | 400 mA | 3 / F                      |           | Verstärker DBL - 1826 N 410 / WR 42 i/o |
| + 15 V               | 70 mA  | 4 / G                      |           | Detektor MPIIR S 210                    |
| - 15 V               | 70 mA  | 4 / H                      |           | "                                       |
| + 15 V               |        | 4 / I                      |           | Reserve                                 |
| + 5 V                |        | 4 / J                      |           | Reserve                                 |

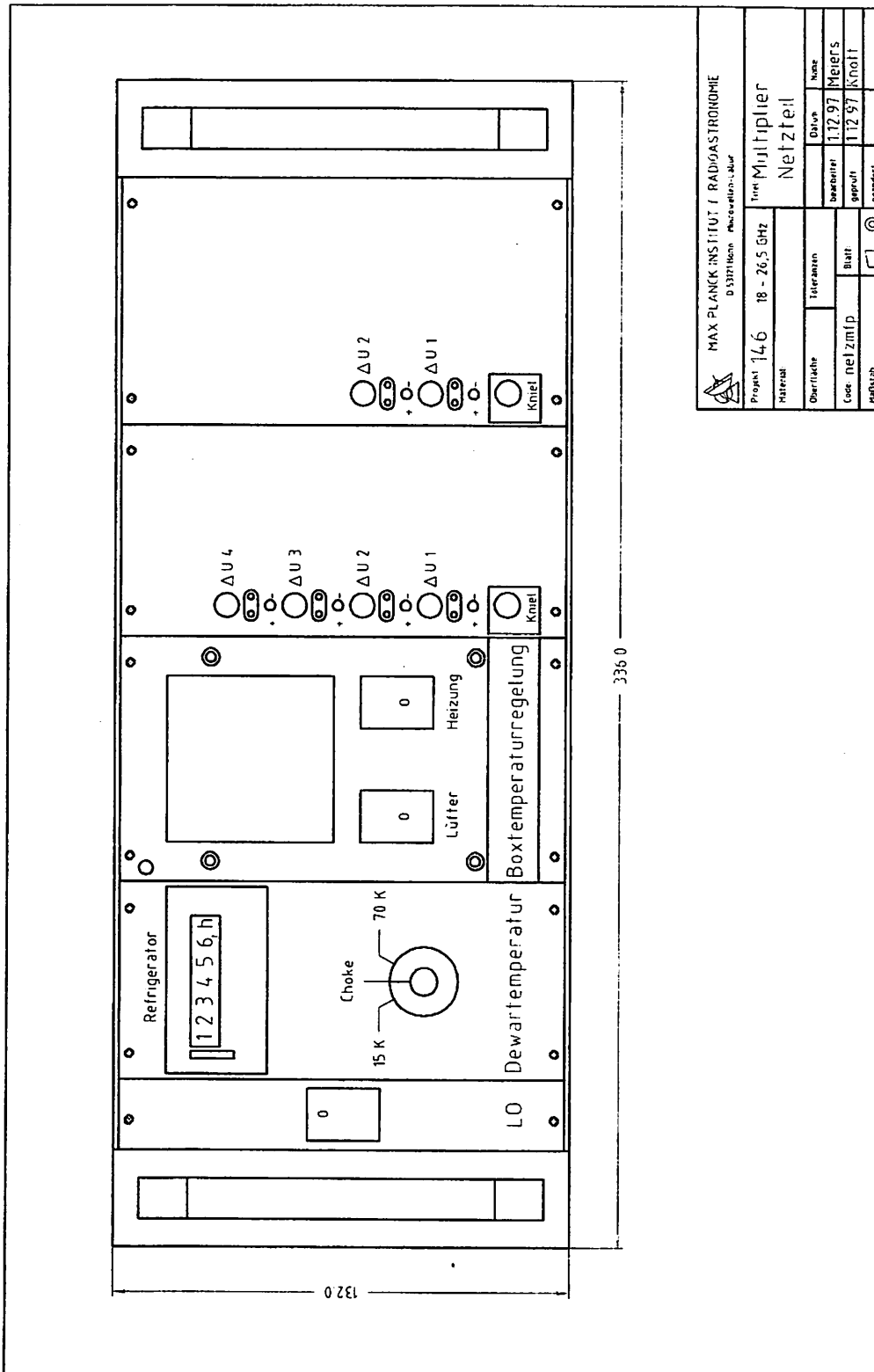
| Netzteil            | Spannung         | Netzteiltyp | Techn. Daten   | Bestellnummer | Breite TE |
|---------------------|------------------|-------------|--|---------------|-----------|
| <b>ZF - Kanal A</b> |                  |             |  |               |           |
| 1                   | A                | C 15.2      | +15V, 2A   | 101-009-02    | 10        |
| 2                   | B<br>C<br>D<br>E | CQ 103      | +15V, 0,2A<br>- 15V, 0,2A<br>+15V, 0,2A<br>+5V, 0,3A | 140-027-02    | 8         |
| <b>ZF - Kanal B</b> |                  |             |  |               |           |
| 3                   | F                | C 15.2      | +15V, 2A   | 101-009-02    | 10        |
| 4                   | G<br>H<br>I<br>J | CQ 103      | +15V, 0,2A<br>- 15V, 0,2A<br>+15V, 0,2A<br>+5V, 0,3A | 140-027-02    | 8         |

**DC-Versorgung : Calibration**

Stand: 09.10.2008

| Spannung | Strom | Netzteilgruppe<br>Spannungen | Bemerkung   | Teil                              |
|----------|-------|------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| + 28 V   | 60 mA | 7 / Q                        | Kanal A + B | 2 Rauschdioden Noise Com. NC 5142 |

| Netzteil | Spannung | Netzteiltyp | Techn. Daten                 | Bestellnummer | Breite TE |
|----------|----------|-------------|------------------------------|---------------|-----------|
| 7        | Q        | CRD 15.0,3  | { +15V, 0,3A<br>{ +15V, 0,3A | 116-001-02    | 6         |



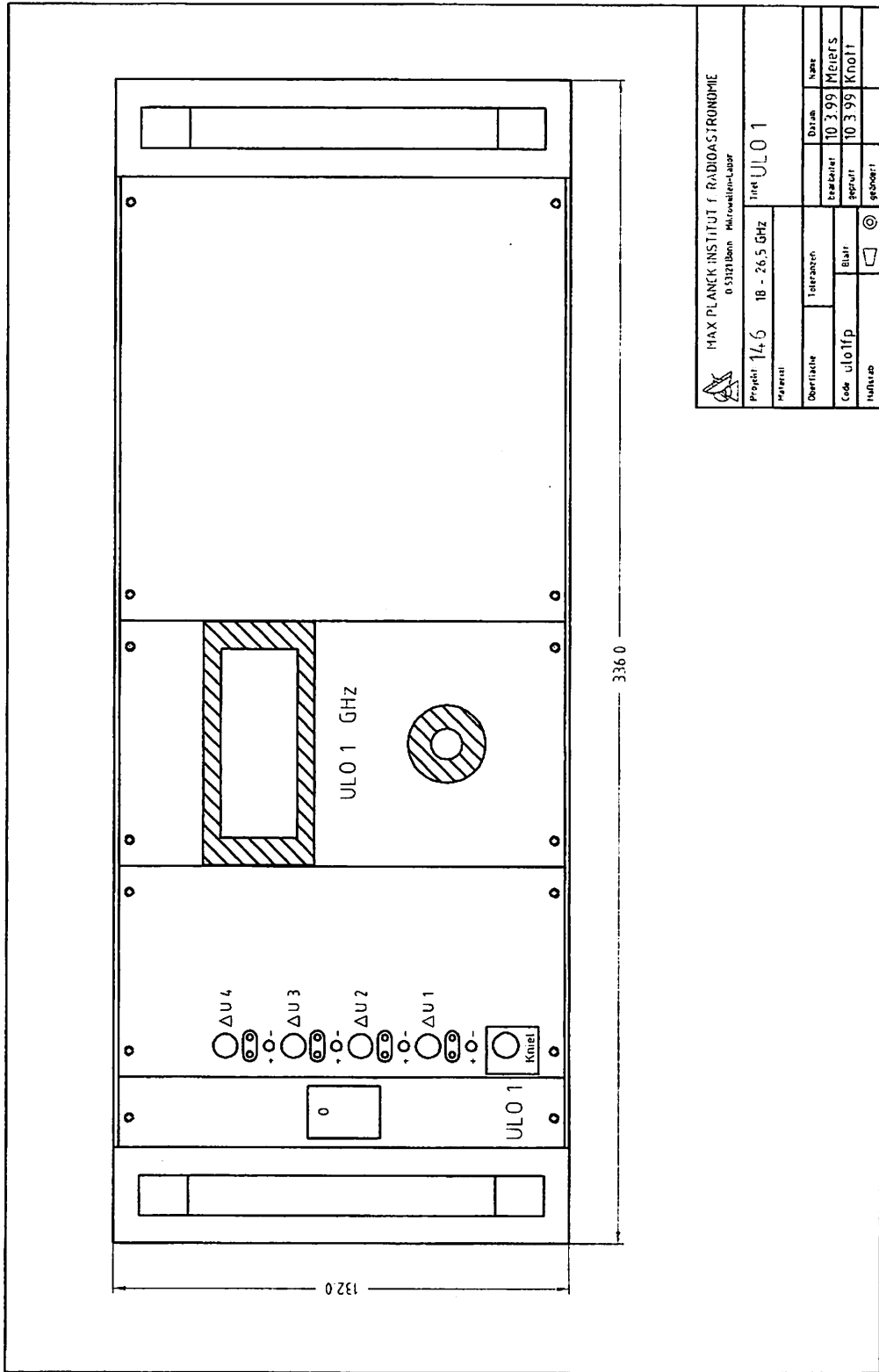
|            |            |  |          |
|------------|------------|--|----------|
|            |            | <b>MAX PLANCK INSTITUT FÜR RADIOASTRONOMIE</b><br>D 53121 Bonn Radioastronomie-Labor |          |
| Projekt    | 146        | 18 - 26,5 GHz  |          |
| Titel      |            | Multiplifier   |          |
| Material   |            | Netzteil   |          |
| Oberfläche | Toleranzen | Datum  | Notiz    |
| Code       | netzteilp  | bestimmt   | 11.12.97 |
| Maßstab    | Blatt      | geprüft  | 11.12.97 |
|            |            | geändert   |          |


**DC-Versorgung : Multiplizierer 18,0 - 25,5 GHz**

Stand: 09.10.2008

| Spannung | Strom  | Netzteilgruppe<br>/<br>Spannungen | Bemerkung | Teil                                    |
|----------|--------|-----------------------------------|-----------|---|
| + 15 V   | 260 mA | 5 / K                             |           | Verstärker JCA 04-403                   |
| + 15 V   | 330 mA | 5 / K                             |           | Verstärker JCA 48-305                   |
| + 15 V   | 50 mA  | 5 / O                             |           | YIG - Filter mit Treiber Omni Yig M 978 |
| - 15 V   | 850 mA | 5 / L                             |           |   |
| + 24 V   | 300 mA | 6 / N                             | Heizung   |   |
| + 15 V   | 20 mA  | 6 / O                             |           | f / V - Wandler MPiFR M 373             |
| - 15 V   | 10 mA  | 6 / M                             |           |   |
| + 5 V    | 170 mA | 6 / P                             |           |   |
| + 5 V    | 230 mA | 6 / P                             |           | Teiler MPiFR M 372                      |
| + 15 V   | 500 mA | 5 / K                             |           | Verstärker Miteq AMF-5B-080180-50-25P   |
| + 15 V   | 20 mA  | 6 / O                             |           | Monitorverstärker MPiFR M 48            |
| - 15 V   | 20 mA  | 6 / M                             |           |   |

| Netzteil | Spannung         | Netzteiltyp | Techn. Daten   | Bestellnummer | Breite TE |
|----------|------------------|-------------|--|---------------|-----------|
| 5        | K<br>L           | CD 15.1,5   | +15V , 1,5A<br>- 15V , 1,5A                              | 120-015-02    | 14        |
| 6        | M<br>N<br>O<br>P | CQ 10       | - 15V , 0,5A<br>+24V , 0,5A<br>+15V , 0,5A<br>+5V , 1,0A | 140-010-02    | 12        |



|   |            |               |            |         |
|---|------------|---------------|------------|---------|
|  <b>MAX PLANCK INSTITUT FÜR RADIOASTRONOMIE</b><br><small>0 53121 Bonn Mikrowellen-Labor</small> |            |               |            |         |
| Projekt   | 14.6       | 1B - 26.5 GHz | Titel      | ULO 1   |
| Material  |            |               |            |         |
| Oberfläche  | Toleranzen | Datum         | Name       |         |
| Code  | Ulo1fp     | Blatt         | Ersteller  | 10.3.99 |
| Modifiziert   |            |               | Reprüft    | 10.3.99 |
|   |            |               | gezeichnet | Knoft   |

**DC-Versorgung : ULO 1**

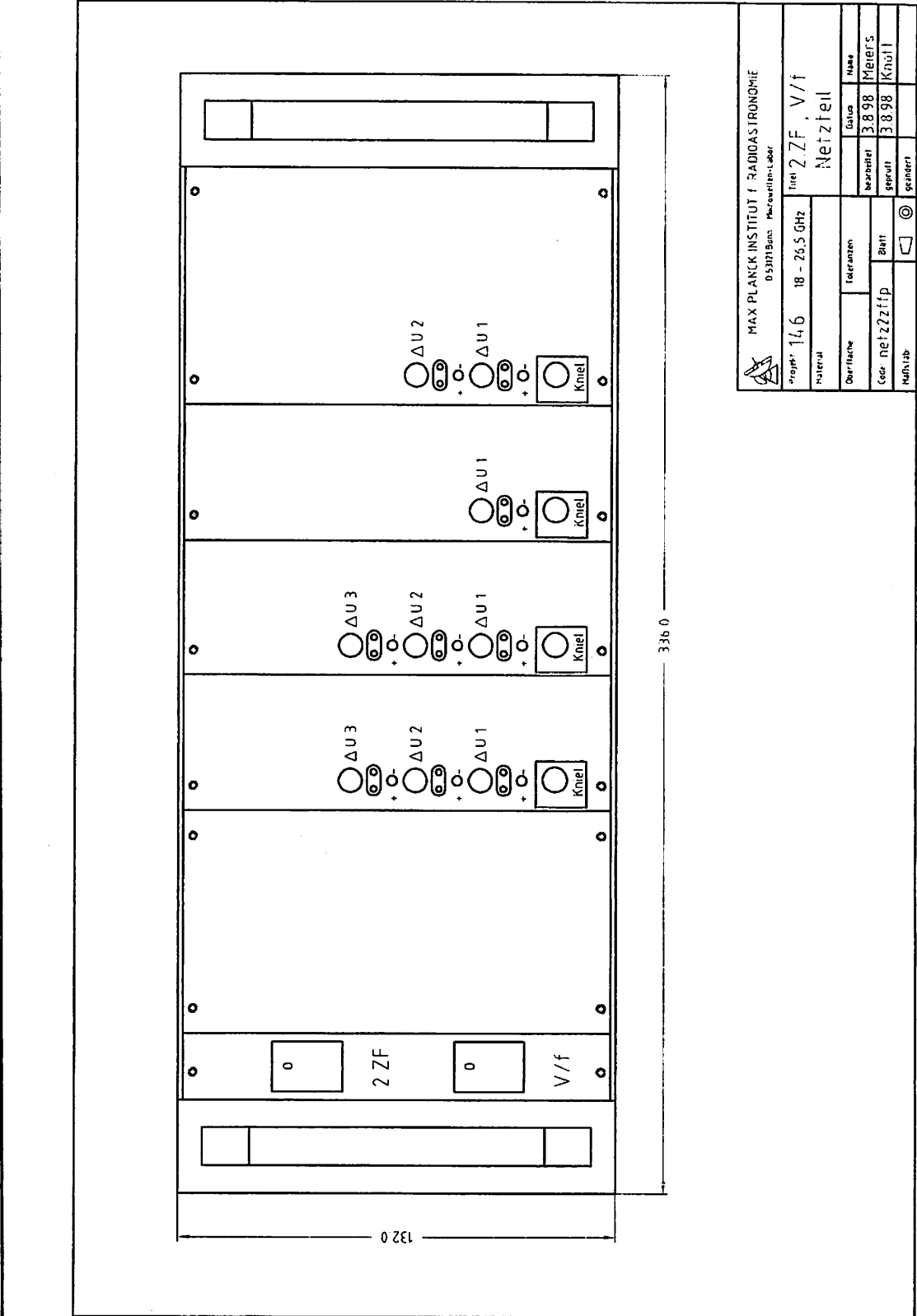
**Stand: 09.10.2008**


| Spannung | Strom  | Netzteil / Spannungen | Bemerkung | Teil                                       |
|----------|--------|-----------------------|-----------|--|
| + 15 V   | 10 mA  | 14 / a                |           | YIG - Treiber Omni Yig DWG 82670           |
| - 15 V   | 200 mA | 14 / b                |           | YIG - Treiber Omni Yig DWG 82670           |
| + 15 V   | 150 mA | 14 / a                |           | Crystal Oscillator Wenzel 500-06581        |
| + 15 V   | 150 mA | 14 / a                |           | YIG - Tuned Oscillator Avantek AV - 7104   |
| + 24 V   | 300 mA | 14 / c                |           | YIG - Tuned Oscillator Avantek AV - 7104   |
| + 5 V    | 230 mA | 14 / d                |           | Teiler MPIR M 372                          |
| + 5 V    | 50 mA  | 14 / d                |           | Anzeige Electronic Assembly EA 6110 - 13FA |

| Netzteil | Spannung | Netzteiltyp | Techn. Daten | Bestellnummer | Breite TE |
|----------|----------|-------------|--------------|---------------|-----------|
| ULO 1    |          |             |              |               |           |
| 14       | a        | CQ 10       | +15V , 0,5A  | 140-010-02    | 12        |
|          | b        |             | -15V , 0,5A  |               |           |
|          | c        |             | +24V , 0,5A  |               |           |
|          | d        |             | +5V , 1,0A   |               |           |

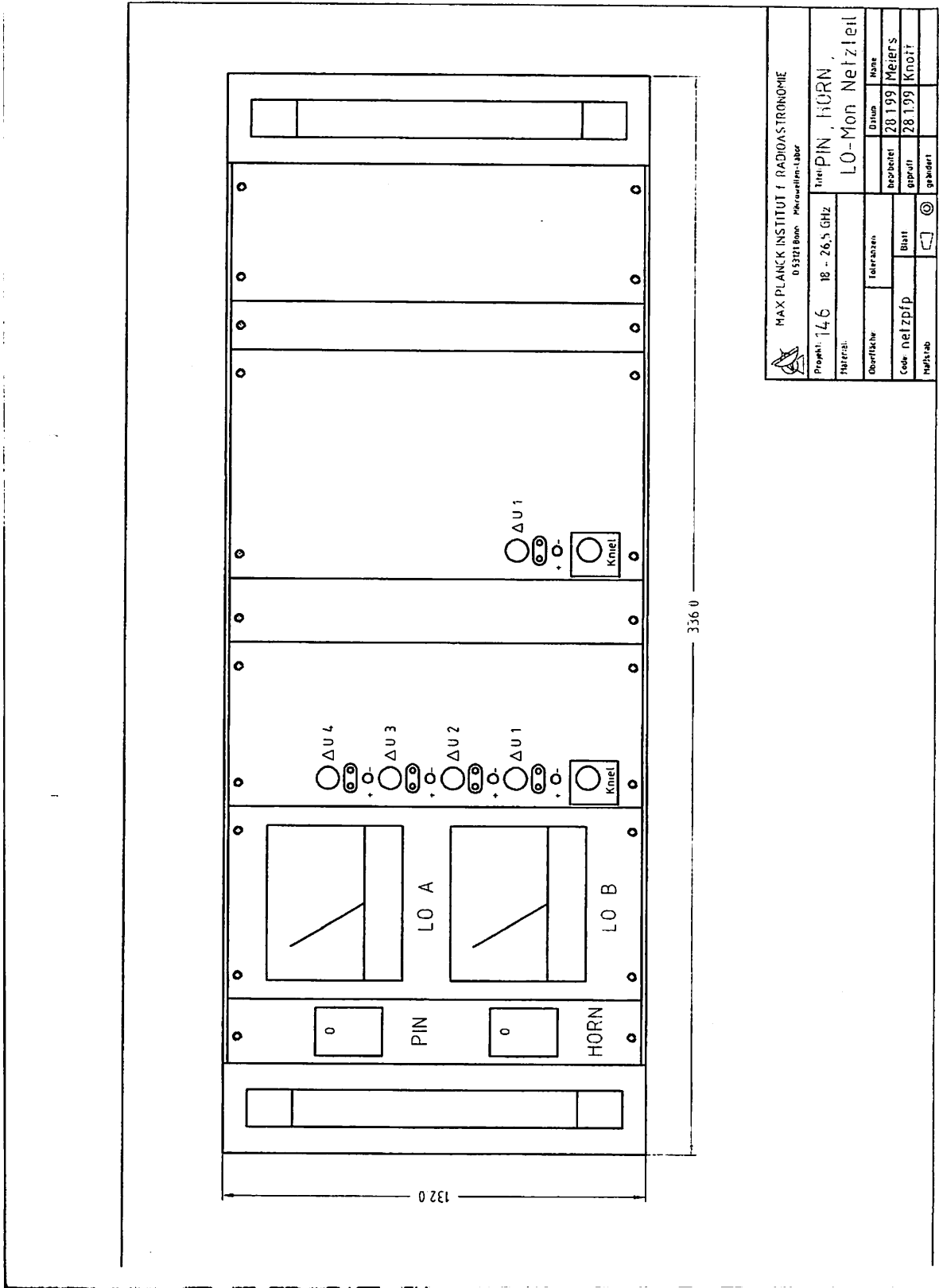
~~Soll nicht sein! 7 sein!~~






**MAX-PLANCK INSTITUT FÜR RADIOASTRONOMIE**  
 0 5371 Bonn: Mehrzweck-Labor

|                 |               |                  |
|-----------------|---------------|------------------|
| Projekt: 14.6   | 18 - 26.5 GHz | Titel: 2.ZF, V/f |
| Material        |               | Netzteil         |
| Überfläche      | Telekanzen    | Größe            |
| Coor-Netzzeitp. | Brett         | Material         |
| Herz.Lab.       | ☐             | 3898 Meiers      |
|                 | ☉             | 3898 Kniel       |
|                 |               | schleiert        |



|   |  |
|---|--|
| MAX PLANCK INSTITUT FÜR RADIOASTRONOMIE<br>0 53121 Bonn Mikrowellen-Labor |  |
| Projekt: 146  | 18 - 26,5 GHz  |
| Material: Tier PIN, HORN<br>LO-Mon Netzteil                               |  |
| Oberfläche:   | Toleranzen:  |
| Code: netzfp  | Blatt:   |
| Herzlab:  | geändert   |
|   | Datum: 20.1.99<br>Name: Meiers<br>geprüf: 28.1.99<br>gezeichnet: Knott |

**DC-Versorgung : 2.ZF , V / f , Kanal A und B**

Stand: 09.10.2008

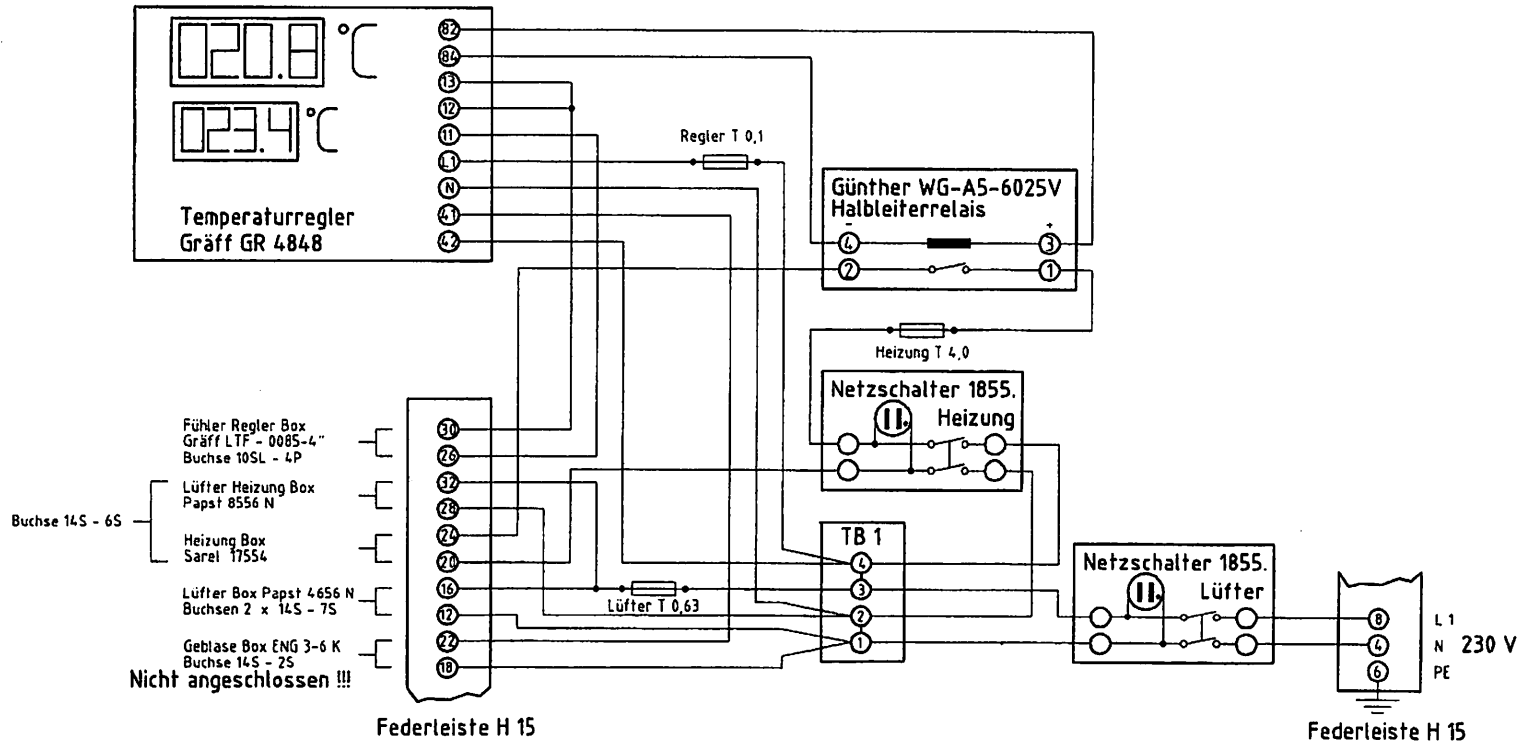
| Spannung                     | Strom  | Netzteilgruppe/<br>Spannung | Bemerkung | Bauteil                           |
|------------------------------|--------|-----------------------------|-----------|-----------------------------------|
| <b>2. ZF-Kanal A</b>         |        |                             |           |                                   |
| + 15 V                       | 375 mA | 8 / Q                       |           | Verstärker Miteq AFD2-0200-40-25P |
| + 15 V                       | 260 mA | 8 / Q                       |           | Verstärker JCA 04-403             |
| + 15 V                       | 175 mA | 8 / Q                       |           | Verstärker Miteq AFD1-0050-10-23P |
| <b>2. ZF-Kanal B</b>         |        |                             |           |                                   |
| + 15 V                       | 375 mA | 8 / R                       |           | Verstärker Miteq AFD2-0200-40-25P |
| + 15 V                       | 260 mA | 8 / R                       |           | Verstärker JCA 04-403             |
| + 15 V                       | 175 mA | 8 / R                       |           | Verstärker Miteq AFD1-0050-10-23P |
| <b>LO 2. ZF-Kanal A / B</b>  |        |                             |           |                                   |
| + 15 V                       | 200 mA | 9 / S                       |           | Verstärker JCA 24-203             |
| + 15 V                       | 220 mA | 9 / S                       |           | Verstärker JCA 04-303             |
| <b>V/f - Wandler Kanal A</b> |        |                             |           |                                   |
| + 15 V                       | 70 mA  | 10 / T                      |           | V / f - Wandler MPIfR H 665       |
| - 15 V                       | 70 mA  | 10 / U                      |           | "                                 |
| + 5 V                        | 70 mA  | 10 / V                      |           | "                                 |
| <b>V/f - Wandler Kanal B</b> |        |                             |           |                                   |
| + 15 V                       | 70 mA  | 11 / W                      |           | V / f - Wandler MPIfR H 665       |
| - 15 V                       | 70 mA  | 11 / X                      |           | "                                 |
| + 5 V                        | 70 mA  | 11 / Y                      |           | "                                 |

| Netzteil                      | Spannung    | Netzteiltyp | Techn. Daten                              | Bestellnummer | Breite TE |
|-------------------------------|-------------|-------------|---|---------------|-----------|
| <b>2. ZF - Kanal A / B</b>    |             |             |   |               |           |
| 8                             | Q<br>R      | CD 15.1,5   | +15V, 1,5A<br>+15V, 1,5A                  | 120-015-02    | 14        |
| <b>LO 2. ZF - Kanal A / B</b> |             |             |   |               |           |
| 9                             | S           | C 15.1      | +15 V, 1A                                 | 101-003-02    | 8         |
| <b>V/f - Wandler Kanal A</b>  |             |             |   |               |           |
| 10                            | T<br>U<br>V | CM 11       | +15 V, 0,35A<br>- 15 V, 0,1A<br>+ 5 V, 1A | 130-040-02    | 8         |
| <b>V/f - Wandler Kanal B</b>  |             |             |   |               |           |
| 11                            | W<br>X<br>Y | CM 11       | +15 V, 0,35A<br>- 15 V, 0,1A<br>+ 5 V, 1A | 130-040-02    | 8         |


**DC - Versorgung : PIN-Schalter , Kanal A u. B , Rotat. Horn** Stand: 09.10.2008

| Spannung              | Strom   | Netzteilgruppe<br>Spannung | Bemerkung | Bauteil                               |
|-----------------------|---------|----------------------------|-----------|---------------------------------------|
| <b>PIN-Schalter A</b> |         |                            |           |                                       |
| + 5 V                 | 20 mA   | 12 / Z                     |           | PIN Schalter - Millitech PSP-42-SIFSO |
| - 12 V                | 5 mA    | 12 / a                     |           | "                                     |
| <b>PIN-Schalter B</b> |         |                            |           |                                       |
| + 5 V                 | 20 mA   | 12 / b                     |           | PIN Schalter - Millitech PSP-42-SIFSO |
| - 12 V                | 5 mA    | 12 / c                     |           | "                                     |
| <b>Rotationshorn</b>  |         |                            |           |                                       |
| + 24 V                | 1000 mA | 13 / d                     |           | Antriebselektronik u. Motor           |

| Netzteil              | Spannung | Netzteiltyp | Techn. Daten               | Bestellnummer | Breite TE |
|-----------------------|----------|-------------|----------------------------|---------------|-----------|
| <b>PIN-Schalter A</b> |          |             |                            |               |           |
| 12                    | Z<br>a   | CQ 6        | +5,2V, 0,4A<br>-12V, 0,35A | 140-006-02    | 10        |
| <b>PIN-Schalter B</b> |          |             |                            |               |           |
| 12                    | b<br>c   | CQ 6        | +5V, 0,25A<br>-12V, 0,35A  | 140-006-02    | 10        |
| <b>Rotationshorn</b>  |          |             |                            |               |           |
| 13                    | d        | C24.2       | +24V, 2A                   | 101-018-02    | 14        |



Das Gebläse Box wurde direkt an die Buchse 14S - 7S angeschlossen !!!

|  |                   |                                      |               |
|--|-------------------|--------------------------------------|---------------|
|  MAX PLANCK INSTITUT FÜR RADIOASTRONOMIE<br>D 53121 Bonn Hevelius-Labor |                   |                                      |               |
| Projekt:   | 146_18 - 26,5 GHz | Teil: Boxtemperatur - Regler Kasette |               |
| Material   |                   |                                      |               |
| Oberfläche   | Toleranzen        | Datum                                | Name          |
|  |                   | bearbeitet                           | 3.2.99 Meiers |
| Code/Netzboxtemp   | Blatt 1           | geprüft                              | 3.2.99 Knoll  |
| Maßstab  | 1                 | geändert                             |               |

# Anhang C

Linearregler Steckcompact 19"/3HE 30W  
**Einzelspannung C 15.2**



## Bestellinformation

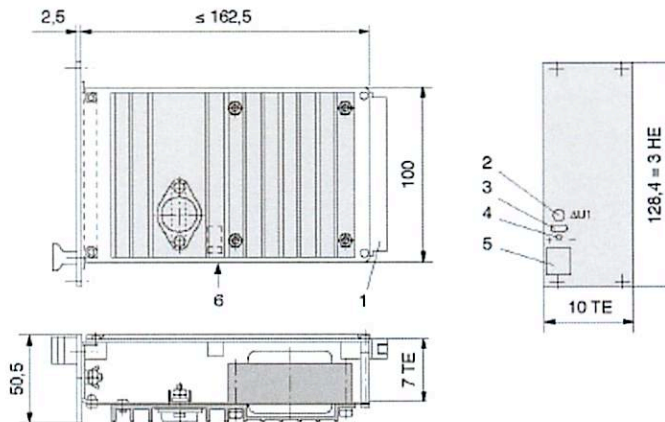
| Typ    | Ausgang<br>( ) Power Boost | Eingangsspannung * | Einbaumaße | Artikel-Nr. *1 |
|--------|----------------------------|--------------------|------------|----------------|
| C 15.2 | A1 = 15V ; 2A              | 230 Vac            | 10TE/3HE   | 101-009-02     |

\* Netzspannung umsteckbar (Achtung: Sicherungswechsel)      \* Frontplatte vorne natur eloxal, Rückseite chromiert

## Abmessungen in mm

- 1 = Steckverbinder
- 2 = Potentiometer
- 3 = Prüfbuchse
- 4 = LED, grün
- 5 = Griff
- 6 = Primärsicherung

1 TE = 5,08mm



## Steckerbelegung H11

Freie Kontakte dürfen extern nicht belegt werden!

|                 | Stift |
|-----------------|-------|
| - Ausgang       | 8     |
| + Ausgang       | 14    |
| - Fühlerleitung | 17    |
| + Fühlerleitung | 20    |
| Netz L1         | 26    |
| Netz N          | 29    |
| Schutzleiter PE | 32    |

voreilend

Linearregler Steckcompact 19"/3HE 30W  
 Einzelspannung C 15.2



**Technische Daten**

Garantierte Werte nach einer Einlaufzeit im Nennbetrieb von ca. 15 min., gemessen am Geräteausgang.

| <b>Ausgang</b>  |                     | <b>A1</b>                    |                            |  |              |
|---|---------------------|------------------------------|----------------------------|--|--------------|
| Ausgangsspannung  | [Vdc]               | 15                           |                            |  |              |
| Einstellbereich (±)   | [V]                 | 1                            |                            |  |              |
| Ausgangsstrom   |                     |                              |                            |  |              |
| Nominal   | [A]                 | 2                            |                            |  |              |
| Strombegrenzung   | [A]                 | 2,4                          |                            |  |              |
| Kennlinie   |                     | rückschaltend                |                            |  |              |
| Funktion  |                     | linear geregelt              |                            |  |              |
| Wirkungsgrad  | [%]                 | ≥ 53                         |                            |  |              |
| Spannungsabweichung bei   |                     |                              |                            |  |              |
| Laständerung 0... 100% (statisch)   | [mV]                | ≤ 15                         |                            |  |              |
| Eingangsspannungsänderung U <sub>Emin</sub> -U <sub>Emax</sub>  | [mV]                | ≤ 15                         |                            |  |              |
| Restwelligkeit (100Hz)  | [mV <sub>ss</sub> ] | ≤ 10                         |                            |  |              |
| Dynamische Regelabweichung bei  |                     |                              |                            |  |              |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>   | [mV]                | ≤ 100                        |                            |  |              |
| Regelzeit für   |                     |                              |                            |  |              |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>   | [μs]                | ≤ 100                        |                            |  |              |
| Anlaufverzögerung   | [ms]                | ≤ 150                        |                            |  |              |
| Fühlerleitung<br>(Lastzuleitungskompensation)   | [V]                 | max. 0,25<br>pro Lastleitung |                            |  |              |
| Überlastschutz  |                     | dauerkurzschlussfest         |                            |  |              |
| Temperaturkoeffizient   | [ppm/K]             | ≤ 200                        |                            |  |              |
| <b>Eingangsspannung</b>   | Nennbereich         | [Vac]                        | 115                        |  | 230          |
| Arbeitsbereich (umsteckbar)   |                     | [Vac]                        | ±10%                       |  | ±10%         |
| Frequenz  |                     | [Hz]                         | 50-400 ±10%                |  | 50-400 ±10%  |
|   |                     |                              | ≈ 103-127                  |  | ≈ 207-253    |
|   |                     |                              | ≈ 45-440                   |  | ≈ 45-440     |
| max. Eingangsstrom (im Nennbereich)   |                     | [A]                          | 0,6                        |  | 0,3          |
| Einschaltstromstoß  |                     |                              |                            |  |              |
| worst case  | $\int i^2 dt ; I s$ | [A <sup>2</sup> s] ; [A]     | ≤ 0,03 ; ≤ 6               |  | ≤ 0,01 ; ≤ 3 |
| Gerätesicherung (primär, intern)  |                     | [A]                          | T 0,63                     |  | T 0,315      |
| Betriebstemperaturbereich   |                     |                              |                            |  |              |
| (1cm neben dem Kühlkörper gemessen)   |                     | [°C]                         | -25 ... +70, ohne Derating |  |              |
| Lagertemperaturbereich  |                     | [°C]                         | -40 ... +85                |  |              |
| Gewicht ca.   |                     | [kg]                         | 1,5                        |  |              |
| Definitionen, elektrische Sicherheit und EMC sowie Angaben zur mechanischen Belastbarkeit siehe Beschreibung. |                     |                              |                            |  |              |

# Linearregler Steckcompact 19"/3HE 45W

## Doppelspannung CD 15.1,5



### Bestellinformation

| Typ       | Ausgang<br>( ) Power Boost         | Eingangs-<br>spannung * | Einbau-<br>maße | Artikel-Nr. *1 |
|-----------|------------------------------------|-------------------------|-----------------|----------------|
| CD 15.1,5 | A1 = 15V ; 1,5A<br>A2 = 15V ; 1,5A | 230 Vac                 | 14TE/3HE        | 120-015-02     |

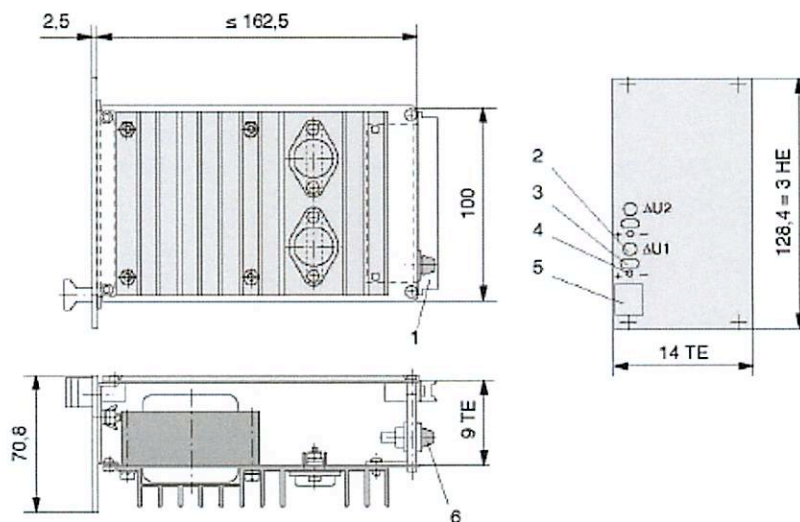
\* Netzspannung umlötbar (Achtung: Sicherungswechsel)

\*1 Frontplatte vorne natur eloxal, Rückseite chromatiert

### Abmessungen in mm

- 1 = Steckverbinder
- 2 = Potentiometer
- 3 = Prüfbuchse
- 4 = LED, grün
- 5 = Griff
- 6 = Primärsicherung

1 TE = 5,08mm



### Steckerbelegung H11

Freie Kontakte dürfen extern nicht belegt werden!

|                   | Stift     |
|-------------------|-----------|
| - Ausgang 2       | 2         |
| + Ausgang 2       | 5         |
| - Fühlerleitung 2 | 8         |
| + Fühlerleitung 2 | 11        |
| + Fühlerleitung 1 | 14        |
| - Fühlerleitung 1 | 17        |
| + Ausgang 1       | 20        |
| - Ausgang 1       | 23        |
| Netz L1           | 26        |
| Netz N            | 29        |
| Schutzleiter PE   | 32        |
|                   | voreilend |



Linearregler Steckcompact 19"/3HE 45W  
**Doppelspannung CD 15.1,5**



**Technische Daten**

Garantierte Werte nach einer Einlaufzeit im Nennbetrieb von ca. 15 min., gemessen am Geräteausgang.

| <b>Ausgang</b>   | <b>A1</b>                             | <b>A2</b>                     |
|--|---------------------------------------|-------------------------------|
| Ausgangsspannung   | [Vdc] 15                              | 15                            |
| Einstellbereich (±)  | [V] 1                                 | 1                             |
| Ausgangsstrom  |                                       |                               |
| Nominal  | [A] 1,5                               | 1,5                           |
| Strombegrenzung  | [A] 1,8                               | 1,8                           |
| Kennlinie  | rückschaltend                         |                               |
| Funktion   | linear geregelt                       |                               |
| Wirkungsgrad   | [%] ≥ 54                              |                               |
| Spannungsabweichung bei  |                                       |                               |
| Laständerung 0... 100% (statisch)                                | [mV] ≤ 15                             | ≤ 15                          |
| Eingangsspannungsänderung U <sub>Emin</sub> -U <sub>Emax</sub>   | [mV] ≤ 15                             | ≤ 15                          |
| Restwelligkeit (100Hz)   | [mV <sub>ss</sub> ] ≤ 10              | ≤ 10                          |
| Dynamische Regelabweichung bei                                   |                                       |                               |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>                    | [mV] ≤ 100                            | ≤ 100                         |
| Regelzeit für  |                                       |                               |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>                    | [μs] ≤ 100                            | ≤ 100                         |
| Anlaufverzögerung  | [ms] ≤ 150                            |                               |
| Fühlerleitung<br>(Lastzuleitungskompensation)                    | [V] max. 0,25<br>pro Lastleitung      | max. 0,25                     |
| Überlastschutz   | dauerkurzschlussfest                  |                               |
| Temperaturkoeffizient  | [ppm/K] ≤ 200                         |                               |
| <b>Eingangsspannung</b>  | Nennbereich [Vac] 115                 | 230                           |
| Arbeitsbereich (umlötbar)  | [Vac] ±10%                            | ≈ 104-126 ±10% ≈ 207-253      |
| Frequenz   | [Hz] 50-400 ±10%                      | ≈ 45-440 50-400 ±10% ≈ 45-440 |
| max. Eingangsstrom (im Nennbereich)                              | [A] 0,9                               | 0,45                          |
| Einschaltstromstoß   |                                       |                               |
| worst case $\int i^2 dt ; I_s$                                   | [A <sup>2</sup> s]; [A] ≤ 0,45 ; ≤ 16 | ≤ 0,15 ; ≤ 8                  |
| Gerätesicherung (primär, intern)                                 | [A] T 1                               | T 0,5                         |
| Betriebstemperaturbereich<br>(1cm neben dem Kühlkörper gemessen) | [°C] -25 ... +70, ohne Derating       |                               |
| Lagertemperaturbereich   | [°C] -40 ... +85                      |                               |
| Gewicht ca.  | [kg] 2                                |                               |

Definitionen, elektrische Sicherheit und EMC sowie Angaben zur mechanischen Belastbarkeit siehe Beschreibung.

Linearregler Steckcompact 19"/3HE 10,5W  
 Vierfachspannung CQ 103



Bestellinformation

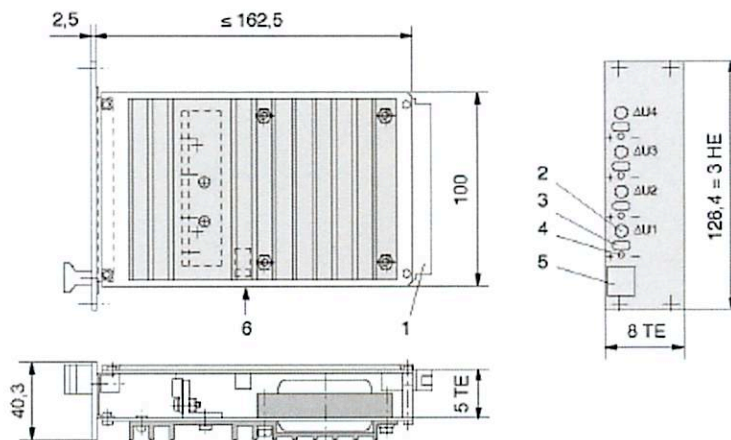
| Typ    | Ausgang<br>( ) Power Boost  | Eingangs-<br>spannung | Einbau-<br>maße | Artikel-Nr. * |
|--------|---|-----------------------|-----------------|---------------|
| CQ 103 | A1 = 5V ; 0,3A<br>A2 = 15V ; 0,2A<br>A3 = 15V ; 0,2A<br>A4 = 15V ; 0,2A | 230 Vac               | 8TE/3HE         | 140-027-02    |

\* Frontplatte vorne natur eloxal, Rückseite chromatiert

Abmessungen in mm

- 1 = Steckverbinder
- 2 = Potentiometer
- 3 = Prüfbuchse
- 4 = LED, grün
- 5 = Griff
- 6 = Primärsicherung

1 TE = 5,08mm



Steckerbelegung H11

Freie Kontakte dürfen extern nicht belegt werden!

|                 | Stift     |
|-----------------|-----------|
| - Ausgang 4     | 2         |
| + Ausgang 4     | 5         |
| - Ausgang 3     | 8         |
| + Ausgang 3     | 11        |
| - Ausgang 2     | 14        |
| + Ausgang 2     | 17        |
| - Ausgang 1     | 20        |
| + Ausgang 1     | 23        |
| Netz L1         | 26        |
| Netz N          | 29        |
| Schutzleiter PE | 32        |
|                 | voreilend |

# Linearregler Steckcompact 19"/3HE 10,5W

## Vierfachspannung CQ 103



### Technische Daten

Garantierte Werte nach einer Einlaufzeit im Nennbetrieb von ca. 15 min., gemessen am Geräteausgang.

| Ausgang  |                     | A1                              | A2              | A3    | A4    |
|--|---------------------|---------------------------------|-----------------|-------|-------|
| Ausgangsspannung   | [Vdc]               | 5                               | 15              | 15    | 15    |
| Einstellbereich (±)  | [V]                 | 0,5                             | 1               | 1     | 1     |
| Ausgangsstrom  |                     |                                 |                 |       |       |
| Nominal  | [A]                 | 0,3                             | 0,2             | 0,2   | 0,2   |
| Strombegrenzung  | [A]                 | 0,36                            | 0,24            | 0,24  | 0,24  |
| Kennlinie  |                     | annähernd U/I * (A1-A4)         |                 |       |       |
| Funktion   |                     | linear geregelt                 |                 |       |       |
| Wirkungsgrad   | [%]                 | ≥ 43                            |                 |       |       |
| Spannungsabweichung bei  |                     |                                 |                 |       |       |
| Laständerung 0... 100% (statisch)                              | [mV]                | ≤ 5                             | ≤ 15            | ≤ 15  | ≤ 15  |
| Eingangsspannungsänderung U <sub>Emin</sub> -U <sub>Emax</sub> | [mV]                | ≤ 5                             | ≤ 15            | ≤ 15  | ≤ 15  |
| Restwelligkeit (100Hz)   | [mV <sub>ss</sub> ] | ≤ 5                             | ≤ 10            | ≤ 10  | ≤ 10  |
| Dynamische Regelabweichung bei                                 |                     |                                 |                 |       |       |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>                  | [mV]                | ≤ 200                           | ≤ 200           | ≤ 200 | ≤ 200 |
| Regelzeit für  |                     |                                 |                 |       |       |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>                  | [μs]                | ≤ 200                           | ≤ 200           | ≤ 200 | ≤ 200 |
| Anlaufverzögerung  | [ms]                | ≤ 160                           |                 |       |       |
| Überlastschutz   |                     | * thermisch abschaltend (A1-A4) |                 |       |       |
| Temperaturkoeffizient  | [ppm/K]             | ≤ 200                           |                 |       |       |
| Eingangsspannung   | Nennbereich         | [Vac]                           | 230             |       |       |
| Arbeitsbereich   |                     | [Vac]                           | ±10%            |       |       |
| Frequenz   |                     | [Hz]                            | 50-400 ±10%     |       |       |
|  |                     |                                 | ≈ 207-253       |       |       |
|  |                     |                                 | ≈ 45-440        |       |       |
| max. Eingangsstrom (im Nennbereich)                            | [A]                 | 0,13                            |                 |       |       |
| Einschaltstromstoß   |                     |                                 |                 |       |       |
| worst case   | $\int i^2 dt ; I s$ | [A <sup>2</sup> s] ; [A]        | ≤ 0,002 ; ≤ 1,5 |       |       |
| Gerätesicherung (primär, intern)                               | [A]                 | T 0,16                          |                 |       |       |
| Betriebstemperaturbereich                                      |                     |                                 |                 |       |       |
| (1cm neben dem Kühlkörper gemessen)                            | [°C]                | -25 ... +70, ohne Derating      |                 |       |       |
| Lagertemperaturbereich   | [°C]                | -40 ... +85                     |                 |       |       |
| Gewicht ca.  | [kg]                | 1                               |                 |       |       |

Definitionen, elektrische Sicherheit und EMC sowie Angaben zur mechanischen Belastbarkeit siehe Beschreibung.

# Linearregler Steckkarte 19"/3HE 9W

## Doppelspannung CKD 15.0,3



### Bestellinformation

| Typ        | Ausgang<br>( ) Power Boost         | Eingangs-<br>spannung * | Einbau-<br>maße | Artikel-Nr. *1 |
|------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------|----------------|
| CKD 15.0,3 | A1 = 15V ; 0,3A<br>A2 = 15V ; 0,3A | 230 Vac                 | 6TE/3HE         | 115-011-02     |

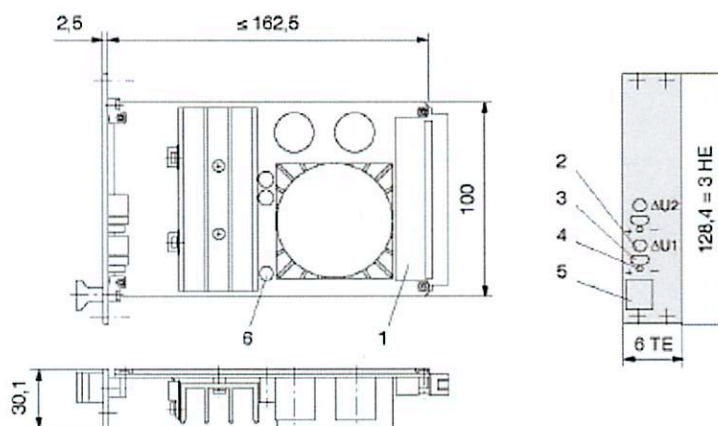
\* Netzspannung umlötbar (Achtung: Sicherungswechsel)

\*1 Frontplatte vorne natur eloxal, Rückseite chromatiert

### Abmessungen in mm

- 1 = Steckverbinder
- 2 = Potentiometer
- 3 = Prüfbuchse
- 4 = LED, grün
- 5 = Griff
- 6 = Primärsicherung

1 TE = 5,08mm



### Steckerbelegung H11

Freie Kontakte dürfen extern nicht belegt werden!

|             | Stift |
|-------------|-------|
| - Ausgang 2 | 2     |
| + Ausgang 2 | 5     |
| + Ausgang 1 | 20    |
| - Ausgang 1 | 23    |
| Netz L1     | 26    |
| Netz N      | 29    |

Linearregler Steckkarte 19"/3HE 9W  
**Doppelspannung CKD 15,0,3**



**Technische Daten**

Garantierte Werte nach einer Einlaufzeit im Nennbetrieb von ca. 15 min., gemessen am Geräteausgang.

| Ausgang   |                     | A1                              | A2                         |                            |
|---|---------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Ausgangsspannung  | [Vdc]               | 15                              | 15                         |                            |
| Einstellbereich (±)   | [V]                 | 1                               | 1                          |                            |
| Ausgangsstrom   |                     |                                 |                            |                            |
| Nominal   | [A]                 | 0,3                             | 0,3                        |                            |
| Strombegrenzung   | [A]                 | 0,33                            | 0,33                       |                            |
| Kennlinie   |                     | annähernd U/I *                 | annähernd U/I *            |                            |
| Funktion  |                     | linear geregelt                 |                            |                            |
| Wirkungsgrad  | [%]                 | ≥ 40                            |                            |                            |
| Spannungsabweichung bei   |                     |                                 |                            |                            |
| Laständerung 0... 100% (statisch)   | [mV]                | ≤ 60                            | ≤ 60                       |                            |
| Eingangsspannungsänderung U <sub>Emin</sub> -U <sub>E<sub>max</sub></sub>                                     | [mV]                | ≤ 20                            | ≤ 20                       |                            |
| Restwelligkeit (100Hz)  | [mV <sub>ss</sub> ] | ≤ 10                            | ≤ 10                       |                            |
| Dynamische Regelabweichung bei  |                     |                                 |                            |                            |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>   | [mV]                | ≤ 50                            | ≤ 50                       |                            |
| Regelzeit für   |                     |                                 |                            |                            |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>   | [μs]                | ≤ 100                           | ≤ 100                      |                            |
| Anlaufverzögerung   | [ms]                | ≤ 160                           |                            |                            |
| Überlastschutz  |                     | * thermisch abschaltend (A1/A2) |                            |                            |
| Temperaturkoeffizient   | [ppm/K]             | ≤ 200                           |                            |                            |
| <b>Eingangsspannung</b>   | Nennbereich         | [Vac]                           | 115                        | 230                        |
| Arbeitsbereich (umlötbar)   |                     | [Vac]                           | ±10%                       | ≈ 104-126 ±10% ≈ 207-253   |
| Frequenz  |                     | [Hz]                            | 50-60 ±10%                 | ≈ 45-66 50-60 ±10% ≈ 45-66 |
| max. Eingangsstrom (im Nennbereich)   |                     | [A]                             | 0,24                       | 0,12                       |
| Einschaltstromstoß  |                     |                                 |                            |                            |
| worst case  | $\int i^2 dt ; 1s$  | [A <sup>2</sup> s] ; [A]        | ≤ 0,003 ; ≤ 1,5            | ≤ 0,001 ; ≤ 0,75           |
| Gerätesicherung (primär, intern)  |                     | [A]                             | T 0,25                     | T 0,125                    |
| Betriebstemperaturbereich   |                     |                                 |                            |                            |
| (5mm neben dem Kühlkörper gemessen)   |                     | [°C]                            | -25 ... +70, ohne Derating |                            |
| Lagertemperaturbereich  |                     | [°C]                            | -40 ... +85                |                            |
| Gewicht ca.   |                     | [kg]                            | 0,6                        |                            |
| Definitionen, elektrische Sicherheit und EMC sowie Angaben zur mechanischen Belastbarkeit siehe Beschreibung. |                     |                                 |                            |                            |

# Linearregler Steckcompact 19"/3HE 32W

## Vierfachspannung CQ 10



### Bestellinformation

| Typ   | Ausgang<br>( ) Power Boost  | Eingangs-<br>spannung * | Einbau-<br>maße | Artikel-Nr. *1 |
|-------|---|-------------------------|-----------------|----------------|
| CQ 10 | A1 = 24V ; 0,5A<br>A2 = 15V ; 0,5A<br>A3 = 15V ; 0,5A<br>A4 = 5V ; 1A | 230 Vac                 | 12TE/3HE        | 140-010-02     |

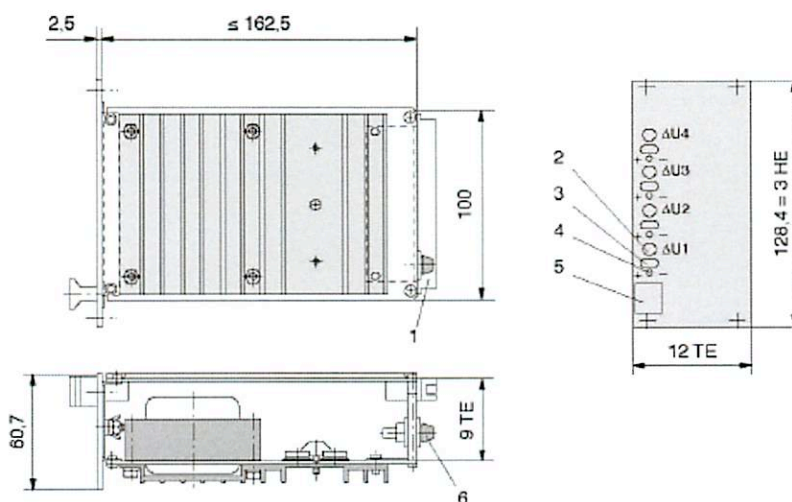
\* Netzspannung umlötlbar (Achtung: Sicherungswechsel)

\*1 Frontplatte vorne natur eloxal, Rückseite chromatiert

### Abmessungen in mm

- 1 = Steckverbinder
- 2 = Potentiometer
- 3 = Prüfbuchse
- 4 = LED, grün
- 5 = Griff
- 6 = Primärsicherung

1 TE = 5,08mm



### Steckerbelegung H11

Freie Kontakte dürfen extern nicht belegt werden!

|                 | Stift     |
|-----------------|-----------|
| - Ausgang 4     | 2         |
| + Ausgang 4     | 5         |
| - Ausgang 3     | 8         |
| + Ausgang 3     | 11        |
| - Ausgang 2     | 14        |
| + Ausgang 2     | 17        |
| - Ausgang 1     | 20        |
| + Ausgang 1     | 23        |
| Netz L1         | 26        |
| Netz N          | 29        |
| Schutzleiter PE | 32        |
|                 | voreilend |

1 08/2007

Dok.: 96120667.02

- zugehörige Beschreibung Nr.: 95910003

--- Druckfehler, technische Änderungen und Irrtümer vorbehalten ---

Linearregler Steckcompact 19"/3HE 32W  
**Vierfachspannung CQ 10**



**Technische Daten**

Garantierte Werte nach einer Einlaufzeit im Nennbetrieb von ca. 15 min., gemessen am Geräteausgang.

| Ausgang   |   | A1                         | A2        | A3           | A4        |
|---|---|----------------------------|-----------|--------------|-----------|
| Ausgangsspannung  | [Vdc]                                       | 24                         | 15        | 15           | 5         |
| Einstellbereich (±)   | [V]   | 1                          | 1         | 1            | 0,5       |
| Ausgangsstrom   |   |                            |           |              |           |
| Nominal   | [A]   | 0,5                        | 0,5       | 0,5          | 1         |
| Strombegrenzung   | [A]   | 0,6                        | 0,6       | 0,6          | 1,2       |
| Kennlinie   |   | rückschaltend              |           |              |           |
| Funktion  |   | linear geregelt            |           |              |           |
| Wirkungsgrad  | [%]   | ≥ 49                       |           |              |           |
| Spannungsabweichung bei Laständerung 0... 100% (statisch)   | [mV]  | ≤ 25                       | ≤ 15      | ≤ 15         | ≤ 10      |
| Eingangsspannungsänderung U <sub>Emin</sub> -U <sub>Emax</sub>  | [mV]  | ≤ 25                       | ≤ 15      | ≤ 15         | ≤ 10      |
| Restwelligkeit (100Hz)  | [mVss]                                      | ≤ 10                       | ≤ 10      | ≤ 10         | ≤ 5       |
| Dynamische Regelabweichung bei ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>                                  | [mV]  | ≤ 200                      | ≤ 100     | ≤ 100        | ≤ 100     |
| Regelzeit für ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>   | [μs]  | ≤ 100                      | ≤ 100     | ≤ 100        | ≤ 100     |
| Anlaufverzögerung   | [ms]  | ≤ 150                      |           |              |           |
| Überlastschutz  |   | dauerkurzschlussfest       |           |              |           |
| Temperaturkoeffizient   | [ppm/K]                                     | ≤ 200                      |           |              |           |
| Eingangsspannung  | Nennbereich [Vac]                           | 115                        |           | 230          |           |
| Arbeitsbereich (umlötbar)   | [Vac]                                       | ±10%                       | ≈ 103-127 | ±10%         | ≈ 207-253 |
| Frequenz  | [Hz]  | 50-400 ±10%                | ≈ 45-440  | 50-400 ±10%  | ≈ 45-440  |
| max. Eingangsstrom (im Nennbereich)   | [A]   | 0,7                        |           | 0,35         |           |
| Einschaltstromstoß  |   |                            |           |              |           |
| worst case  | $\int i^2 dt ; I_s$ [A <sup>2</sup> s]; [A] | ≤ 0,03 ; ≤ 6               |           | ≤ 0,01 ; ≤ 3 |           |
| Gerätesicherung (primär, intern)  | [A]   | T 0,8                      |           | T 0,4        |           |
| Betriebstemperaturbereich (1cm neben dem Kühlkörper gemessen)   | [°C]  | -25 ... +70, ohne Derating |           |              |           |
| Lagertemperaturbereich  | [°C]  | -40 ... +85                |           |              |           |
| Gewicht ca.   | [kg]  | 1,8                        |           |              |           |
| Definitionen, elektrische Sicherheit und EMC sowie Angaben zur mechanischen Belastbarkeit siehe Beschreibung. |   |                            |           |              |           |

# Linearregler Steckcompact 19"/3HE 12W

## Vierfachspannung CQ 6



### Bestellinformation

| Typ  | Ausgang<br>( ) Power Boost  | Eingangs-<br>spannung * | Einbau-<br>maße | Artikel-Nr. *1 |
|------|---|-------------------------|-----------------|----------------|
| CQ 6 | A1 = 5V ; 0,25A<br>A2 = 5,2V ; 0,4A<br>A3 = 12V ; 0,35A<br>A4 = 12V ; 0,35A | 230 Vac                 | 10TE/3HE        | 140-006-02     |

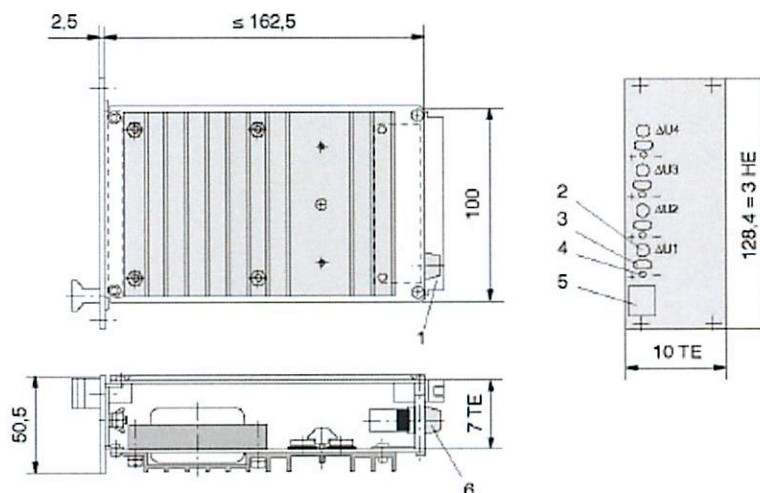
\* Netzspannung umlötbar (Achtung: Sicherungswechsel)

\*1 Frontplatte vorne natur eloxal, Rückseite chromatiert

### Abmessungen in mm

- 1 = Steckverbinder
- 2 = Potenziometer
- 3 = Prüfbuchse
- 4 = LED, grün
- 5 = Griff
- 6 = Primärsicherung

1 TE = 5,08mm



### Steckerbelegung H11

Freie Kontakte dürfen extern nicht belegt werden!

|                 | Stift     |
|-----------------|-----------|
| - Ausgang 4     | 2         |
| + Ausgang 4     | 5         |
| - Ausgang 3     | 8         |
| + Ausgang 3     | 11        |
| - Ausgang 2     | 14        |
| + Ausgang 2     | 17        |
| - Ausgang 1     | 20        |
| + Ausgang 1     | 23        |
| Netz L1         | 26        |
| Netz N          | 29        |
| Schutzleiter PE | 32        |
|                 | voreilend |



# Linearregler Steckcompact 19"/3HE 12W

## Vierfachspannung CQ 6



### Technische Daten

Garantierte Werte nach einer Einlaufzeit im Nennbetrieb von ca. 15 min., gemessen am Geräteausgang.

| Ausgang   |                     | A1                         | A2            | A3          | A4              |
|---|---------------------|----------------------------|---------------|-------------|-----------------|
| Ausgangsspannung  | [Vdc]               | 5                          | 5,2           | 12          | 12              |
| Einstellbereich (±)   | [V]                 | 0,5                        | 0,5           | 1           | 1               |
| Ausgangsstrom   |                     |                            |               |             |                 |
| Nominal   | [A]                 | 0,25                       | 0,4           | 0,35        | 0,35            |
| Strombegrenzung   | [A]                 | 0,3                        | 0,48          | 0,42        | 0,42            |
| Kennlinie   |                     | rückschaltend              |               |             |                 |
| Funktion  |                     | linear geregelt            |               |             |                 |
| Wirkungsgrad  | [%]                 | ≥ 39                       |               |             |                 |
| Spannungsabweichung bei   |                     |                            |               |             |                 |
| Laständerung 0... 100% (statisch)   | [mV]                | ≤ 5                        | ≤ 5           | ≤ 15        | ≤ 15            |
| Eingangsspannungsänderung U <sub>Emin</sub> -U <sub>E<sub>max</sub></sub>                                     | [mV]                | ≤ 5                        | ≤ 5           | ≤ 15        | ≤ 15            |
| Restwelligkeit (100Hz)  | [mV <sub>ss</sub> ] | ≤ 5                        | ≤ 5           | ≤ 10        | ≤ 10            |
| Dynamische Regelabweichung bei  |                     |                            |               |             |                 |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>   | [mV]                | ≤ 100                      | ≤ 100         | ≤ 100       | ≤ 100           |
| Regelzeit für   |                     |                            |               |             |                 |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>   | [μs]                | ≤ 100                      | ≤ 100         | ≤ 100       | ≤ 100           |
| Anlaufverzögerung   | [ms]                | ≤ 150                      |               |             |                 |
| Überlastschutz  |                     |                            |               |             |                 |
| Temperaturkoeffizient   | [ppm/K]             | ≤ 200                      |               |             |                 |
| Eingangsspannung  |                     |                            |               |             |                 |
| Nennbereich   | [Vac]               | 115                        |               | 230         |                 |
| Arbeitsbereich (umlötbar)   | [Vac]               | ±10%                       | ≈ 103-127     | ±10%        | ≈ 207-253       |
| Frequenz  | [Hz]                | 50-400 ±10%                | ≈ 45-440      | 50-400 ±10% | ≈ 45-440        |
| max. Eingangsstrom (im Nennbereich)   | [A]                 | 0,32                       |               | 0,16        |                 |
| Einschaltstromstoß  |                     |                            |               |             |                 |
| worst case  | $\int i^2 dt ; I s$ | [A <sup>2</sup> s] ; [A]   | ≤ 0,006 ; ≤ 3 |             | ≤ 0,002 ; ≤ 1,5 |
| Gerätesicherung (primär, intern)  | [A]                 | T 0,4                      |               | T 0,2       |                 |
| Betriebstemperaturbereich   |                     |                            |               |             |                 |
| (1cm neben dem Kühlkörper gemessen)   | [°C]                | -25 ... +70, ohne Derating |               |             |                 |
| Lagertemperaturbereich  | [°C]                | -40 ... +85                |               |             |                 |
| Gewicht ca.   | [kg]                | 1,5                        |               |             |                 |
| Definitionen, elektrische Sicherheit und EMC sowie Angaben zur mechanischen Belastbarkeit siehe Beschreibung. |                     |                            |               |             |                 |

Linearregler Steckcompact 19"/3HE 15W  
 Einzelspannung C 15.1



**Bestellinformation**

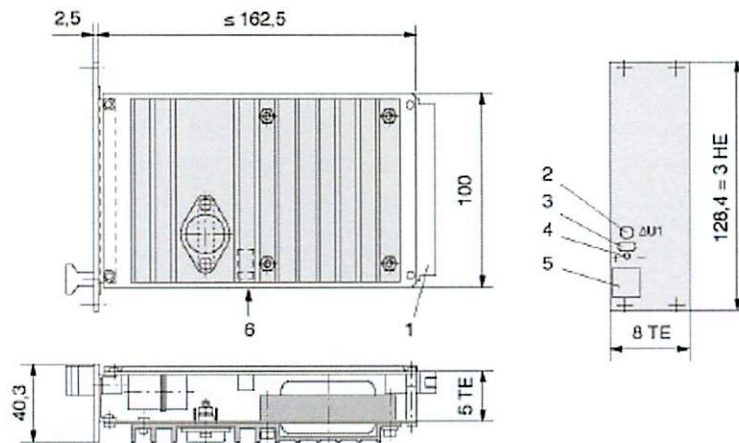
| Typ    | Ausgang<br>( ) Power Boost | Eingangsspannung | Einbaumaße | Artikel-Nr. <sup>*</sup> |
|--------|----------------------------|------------------|------------|--------------------------|
| C 15.1 | A1 = 15V ; 1A              | 230 Vac          | 8TE/3HE    | 101-003-02               |

<sup>\*</sup> Frontplatte vorne natur eloxal, Rückseite chromatiert

**Abmessungen** in mm

- 1 = Steckverbinder
- 2 = Potentiometer
- 3 = Prüfbuchse
- 4 = LED, grün
- 5 = Griff
- 6 = Primärsicherung

1 TE = 5,08mm



**Steckerbelegung H11**

Freie Kontakte dürfen extern nicht belegt werden!

|                 | Stift     |
|-----------------|-----------|
| - Ausgang       | 8         |
| + Ausgang       | 14        |
| - Fühlerleitung | 17        |
| + Fühlerleitung | 20        |
| Netz L1         | 26        |
| Netz N          | 29        |
| Schutzleiter PE | 32        |
|                 | voreilend |

# Linearregler Steckcompact 19"/3HE 15W

## Einzelspannung C 15.1



### Technische Daten

Garantierte Werte nach einer Einlaufzeit im Nennbetrieb von ca. 15 min., gemessen am Geräteausgang.

| Ausgang  |                     | A1                           |                           |
|--|---------------------|------------------------------|---------------------------|
| Ausgangsspannung   | [Vdc]               | 15                           |                           |
| Einstellbereich (±)  | [V]                 | 1                            |                           |
| Ausgangsstrom  |                     |                              |                           |
| Nominal  | [A]                 | 1                            |                           |
| Strombegrenzung  | [A]                 | 1,2                          |                           |
| Kennlinie  |                     | rückschaltend                |                           |
| Funktion   |                     | linear geregelt              |                           |
| Wirkungsgrad   | [%]                 | ≥ 50                         |                           |
| Spannungsabweichung bei  |                     |                              |                           |
| Laständerung 0... 100% (statisch)                              | [mV]                | ≤ 15                         |                           |
| Eingangsspannungsänderung U <sub>Emin</sub> -U <sub>Emax</sub> | [mV]                | ≤ 15                         |                           |
| Restwelligkeit (100Hz)   | [mVss]              | ≤ 10                         |                           |
| Dynamische Regelabweichung bei                                 |                     |                              |                           |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>                  | [mV]                | ≤ 100                        |                           |
| Regelzeit für  |                     |                              |                           |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>                  | [μs]                | ≤ 30                         |                           |
| Anlaufverzögerung  | [ms]                | ≤ 150                        |                           |
| Fühlerleitung<br>(Lastzuleitungskompensation)                  | [V]                 | max. 0,25<br>pro Lastleitung |                           |
| Überlastschutz   |                     | dauerkurzschlussfest         |                           |
| Temperaturkoeffizient  | [ppm/K]             | ≤ 200                        |                           |
| <b>Eingangsspannung</b>  | Nennbereich         | [Vac]                        | <b>230</b>                |
| Arbeitsbereich   |                     | [Vac]                        | ±10%      ≈ 207-253       |
| Frequenz   |                     | [Hz]                         | 50-400 ±10%      ≈ 45-440 |
| max. Eingangsstrom (im Nennbereich)                            |                     | [A]                          | 0,16                      |
| Einschaltstromstoß   |                     |                              |                           |
| worst case   | $\int i^2 dt ; I_s$ | [A <sup>2</sup> s] ; [A]     | ≤ 0,002 ; ≤ 1,5           |
| Gerätesicherung (primär, intern)                               |                     | [A]                          | T 0,16                    |
| Betriebstemperaturbereich                                      |                     |                              |                           |
| (1cm neben dem Kühlkörper gemessen)                            | [°C]                | -25 ... +70, ohne Derating   |                           |
| Lagertemperaturbereich   | [°C]                | -40 ... +85                  |                           |
| Gewicht ca.  | [kg]                | 1                            |                           |

Definitionen, elektrische Sicherheit und EMC sowie Angaben zur mechanischen Belastbarkeit siehe Beschreibung.

# Linearregler Steckcompact 19"/3HE 12W

## Dreifachspannung CM 11



### Bestellinformation

| Typ   | Ausgang<br>( ) Power Boost                          | Eingangsspannung * | Einbaumaße | Artikel-Nr. *1 |
|-------|---|--------------------|------------|----------------|
| CM 11 | A1 = 15V ; 0,35A<br>A2 = 15V ; 0,1A<br>A3 = 5V ; 1A | 230 Vac            | 8TE/3HE    | 130-040-02     |

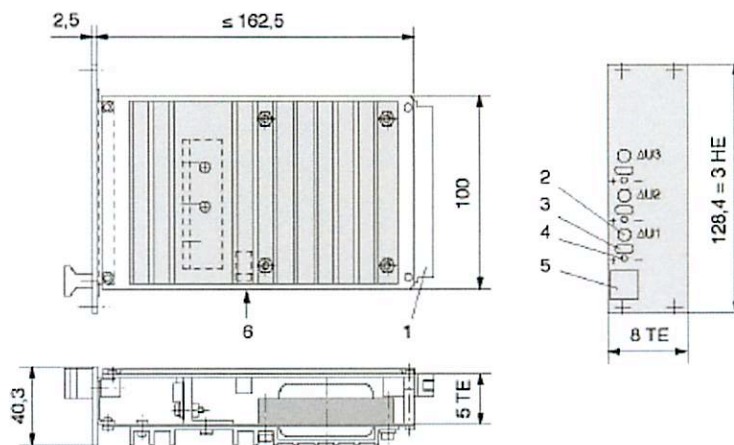
\* Netzspannung umsteckbar (Achtung: Sicherungswechsel)

\*1 Frontplatte vorne natur eloxal, Rückseite chromatiert

### Abmessungen in mm

- 1 = Steckverbinder
- 2 = Potenziometer
- 3 = Prüfbuchse
- 4 = LED, grün
- 5 = Griff
- 6 = Primärsicherung

1 TE = 5,08mm



### Steckerbelegung H11

Freie Kontakte dürfen extern nicht belegt werden!

|                 | Stift     |
|-----------------|-----------|
| - Ausgang 3     | 2         |
| + Ausgang 3     | 5         |
| + Ausgang 2     | 11        |
| - Ausgang 2     | 14        |
| + Ausgang 1     | 20        |
| - Ausgang 1     | 23        |
| Netz L1         | 26        |
| Netz N          | 29        |
| Schutzleiter PE | 32        |
|                 | voreilend |

Linearregler Steckcompact 19"/3HE 12W  
**Dreifachspannung CM 11**



**Technische Daten**

Garantierte Werte nach einer Einlaufzeit im Nennbetrieb von ca. 15 min., gemessen am Geräteausgang.

| Ausgang  | A1                                    | A2        | A3                   |
|--|---------------------------------------|-----------|----------------------|
| Ausgangsspannung   | [Vdc] 15                              | 15        | 5                    |
| Einstellbereich (±)  | [V] 1                                 | 1         | 0,5                  |
| Ausgangsstrom  |                                       |           |                      |
| Nominal  | [A] 0,35                              | 0,1       | 1                    |
| Strombegrenzung  | [A] 0,42                              | 0,12      | 1,2                  |
| Kennlinie  | annähernd U/I (A1/A2)                 |           | rückschaltend        |
| Funktion   | linear geregelt                       |           |                      |
| Wirkungsgrad   | [%] ≥ 38                              |           |                      |
| Spannungsabweichung bei  |                                       |           |                      |
| Laständerung 0... 100% (statisch)                              | [mV] ≤ 20                             | ≤ 20      | ≤ 10                 |
| Eingangsspannungsänderung U <sub>Emin</sub> -U <sub>Emax</sub> | [mV] ≤ 20                             | ≤ 20      | ≤ 10                 |
| Restwelligkeit (100Hz)   | [mV <sub>ss</sub> ] ≤ 10              | ≤ 10      | ≤ 5                  |
| Dynamische Regelabweichung bei                                 |                                       |           |                      |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>                  | [mV] ≤ 100                            | ≤ 100     | ≤ 100                |
| Regelzeit für  |                                       |           |                      |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>                  | [μs] ≤ 100                            | ≤ 100     | ≤ 100                |
| Anlaufverzögerung  | [ms] ≤ 160                            |           |                      |
| Überlastschutz   | thermisch abschaltend (A1/A2)         |           | dauerkurzschlussfest |
| Temperaturkoeffizient  | [ppm/K] ≤ 200                         |           |                      |
| Eingangsspannung   | Nennbereich [Vac] 115                 |           | 230                  |
| Arbeitsbereich (umsteckbar)                                    | [Vac] ±10%                            | ≈ 103-127 | ±10% ≈ 207-253       |
| Frequenz   | [Hz] 50-400 ±10%                      | ≈ 45-440  | 50-400 ±10% ≈ 45-440 |
| max. Eingangsstrom (im Nennbereich)                            | [A] 0,3                               |           | 0,15                 |
| Einschaltstromstoß   |                                       |           |                      |
| worst case $\int i^2 dt ; I_s$                                 | [A <sup>2</sup> s]; [A] ≤ 0,006 ; ≤ 3 |           | ≤ 0,002 ; ≤ 1,5      |
| Gerätesicherung (primär, intern)                               | [A] T 0,315                           |           | T 0,16               |
| Betriebstemperaturbereich                                      |                                       |           |                      |
| (1cm neben dem Kühlkörper gemessen)                            | [°C] -25 ... +70, ohne Derating       |           |                      |
| Lagertemperaturbereich   | [°C] -40 ... +85                      |           |                      |
| Gewicht ca.  | [kg] 1                                |           |                      |

Definitionen, elektrische Sicherheit und EMC sowie Angaben zur mechanischen Belastbarkeit siehe Beschreibung.

Linearregler Steckcompact 19"/3HE 48W  
 Einzelspannung C 24.2



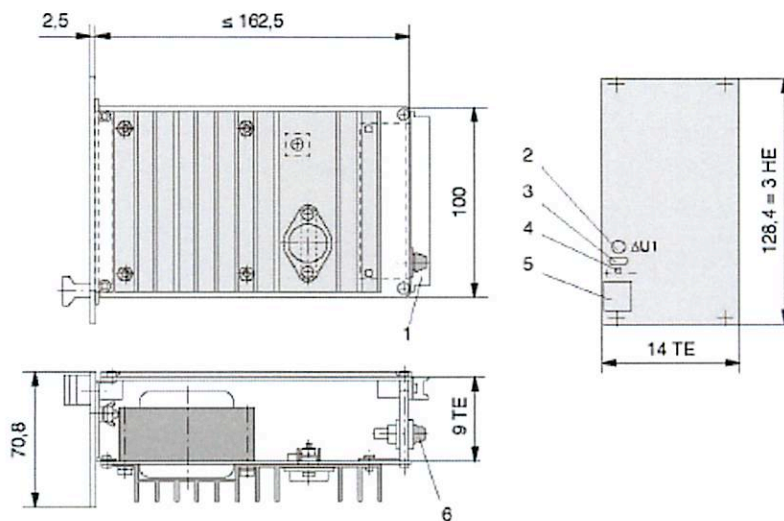
**Bestellinformation**

| Typ   | Ausgang<br>( ) Power Boost | Eingangs-<br>spannung * | Einbau-<br>maße  | Artikel-Nr. *1 |
|---|----------------------------|-------------------------|--|----------------|
| C 24.2  | A1 = 24V ; 2A              | 230 Vac                 | 14TE/3HE   | 101-018-02     |
| Netzspannung umlötlbar (Achtung: Sicherungswechsel) |                            |                         | *1 Frontplatte vorne natur eloxal, Rückseite chromatiert |                |

**Abmessungen** in mm

- 1 = Steckverbinder
- 2 = Potentiometer
- 3 = Prüfbuchse
- 4 = LED grün
- 5 = Griff
- 6 = Primärsicherung

1 TE = 5,08mm



**Steckerbelegung H11**

Freie Kontakte dürfen extern nicht belegt werden!

|                 | Stift     |
|-----------------|-----------|
| - Ausgang       | 8         |
| + Ausgang       | 14        |
| - Fühlerleitung | 17        |
| + Fühlerleitung | 20        |
| Netz L1         | 26        |
| Netz N          | 29        |
| Schutzleiter PE | 32        |
|                 | voreilend |

Linearregler Steckcompact 19"/3HE 48W  
**Einzelspannung C 24.2**



**Technische Daten**

Garantierte Werte nach einer Einlaufzeit im Nennbetrieb von ca. 15 min., gemessen am Geräteausgang.

| Ausgang   |                     | A1                           |               |             |              |
|---|---------------------|------------------------------|---------------|-------------|--------------|
| Ausgangsspannung  | [Vdc]               | 24                           |               |             |              |
| Einstellbereich (±)   | [V]                 | 1                            |               |             |              |
| Ausgangsstrom   |                     |                              |               |             |              |
| Nominal   | [A]                 | 2                            |               |             |              |
| Strombegrenzung   | [A]                 | 2,4                          |               |             |              |
| Kennlinie   |                     | rückschaltend                |               |             |              |
| Funktion  |                     | linear geregelt              |               |             |              |
| Wirkungsgrad  | [%]                 | ≥ 61                         |               |             |              |
| Spannungsabweichung bei   |                     |                              |               |             |              |
| Laständerung 0... 100% (statisch)   | [mV]                | ≤ 25                         |               |             |              |
| Eingangsspannungsänderung U <sub>Emin</sub> -U <sub>Emax</sub>  | [mV]                | ≤ 25                         |               |             |              |
| Restwelligkeit (100Hz)  | [mV <sub>ss</sub> ] | ≤ 10                         |               |             |              |
| Dynamische Regelabweichung bei  |                     |                              |               |             |              |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>   | [mV]                | ≤ 100                        |               |             |              |
| Regelzeit für   |                     |                              |               |             |              |
| ΔI <sub>a</sub> = 10... 90% I <sub>nenn</sub>   | [μs]                | ≤ 100                        |               |             |              |
| Anlaufverzögerung   | [ms]                | ≤ 150                        |               |             |              |
| Fühlerleitung<br>(Lastzuleitungskompensation)   | [V]                 | max. 0,25<br>pro Lastleitung |               |             |              |
| Überlastschutz  |                     | dauerkurzschlussfest         |               |             |              |
| Temperaturkoeffizient   | [ppm/K]             | ≤ 200                        |               |             |              |
| Eingangsspannung Nennbereich  |                     |                              |               |             |              |
|   | [Vac]               | 115                          |               | 230         |              |
| Arbeitsbereich (umlötbar)   |                     |                              |               |             |              |
|   | [Vac]               | ±10%                         | ≈ 104-126     | ±10%        | ≈ 207-253    |
| Frequenz  |                     |                              |               |             |              |
|   | [Hz]                | 50-400 ±10%                  | ≈ 45-440      | 50-400 ±10% | ≈ 45-440     |
| max. Eingangsstrom (im Nennbereich)   |                     |                              |               |             |              |
|   | [A]                 | 0,9                          |               | 0,45        |              |
| Einschaltstromstoß  |                     |                              |               |             |              |
| worst case  | $\int i^2 dt ; 1s$  | [A <sup>2</sup> s]; [A]      | ≤ 0,45 ; ≤ 16 |             | ≤ 0,15 ; ≤ 8 |
| Gerätesicherung (primär, intern)  |                     |                              |               |             |              |
|   | [A]                 | T 1                          |               | T 0,5       |              |
| Betriebstemperaturbereich   |                     |                              |               |             |              |
| (1cm neben dem Kühlkörper gemessen)   |                     |                              |               |             |              |
|   | [°C]                | -25 ... +70, ohne Derating   |               |             |              |
| Lagertemperaturbereich  |                     |                              |               |             |              |
|   | [°C]                | -40 ... +85                  |               |             |              |
| Gewicht ca.   |                     |                              |               |             |              |
|   | [kg]                | 2                            |               |             |              |
| Definitionen, elektrische Sicherheit und EMC sowie Angaben zur mechanischen Belastbarkeit siehe Beschreibung. |                     |                              |               |             |              |

# Anhang D

## 3M™ Temperaturlogger TL20 - "Quick-Start-Up" Benutzeranleitung

### I. PC-Software

#### A) Installation :

1. Installieren Sie die PC-Software.
2. Stellen Sie die während der Installation die Sprache der PC-Software ein.
3. Erwägen Sie die Option, ein Administrator-Passwort anzulegen, um individuelle Benutzer-Passwörter bei Bedarf in allen 3M TL20-Anwendungen aufzuheben.

#### B) Verwendung der PC-Software):

1. Wählen Sie den [Setup]-Tab, um die Parameter in 3M TL20 einzustellen, die für den speziellen Versand temperaturempfindlicher Waren geeignet sind:
  - Stellen Sie die Häufigkeit der Messdatenerfassung in Minuten ein. Die Höchstanzahl an Aufzeichnungstagen erscheint automatisch in der unteren Zeile.
  - Stellen Sie die Höchstdauer von einem Tag bis zum zulässigen Höchstwert ein.
  - Stellen Sie die Temperatureinheit in Grad Celsius (°C) oder Fahrenheit (°F) ein.
  - Stellen Sie die obere und untere Temperaturgrenze (-20°C bis 60°C / -4°F bis 140°F) ein.

#### Erweiterte Konfiguration: [Wählen Sie aus der Symbolleiste: Setup (Erweiterte Konfiguration)]

##### a. Stellen Sie die Startoptionen ein: Manuell oder Automatik/Manuell.

- **Manueller Start:** Drücken Sie drei Sekunden auf die rote [Start/Stop]-Taste. Die grüne LED wird dann sechsmal aufleuchten, um die Aktivierung zu bestätigen. 3M TL20 beginnt mit der Temperatur-Messdatenerfassung, sobald die manuelle Verzögerungszeit erreicht wird, sofern diese zuvor eingestellt wurde.
- **Automatik-/Manueller Start:** Der 3M TL20 beginnt nach Drücken der [Load Configuration]-Taste in der PC-Software automatisch mit der Temperatur-Messdatenerfassung und erreicht die automatische Verzögerungszeit, sofern diese zuvor eingestellt wurde. Für diese Option kann der Benutzer den Logger auch manuell starten und somit die zuvor eingestellte automatische Zeit aufheben. Auch in diesem Fall wird die manuelle Verzögerung, sofern ausgewählt, angewendet.

##### b. Stellen Sie die manuelle Verzögerungszeit vor Starten des 3M TL20 ein: von 0 bis 240 Minuten (4 Stunden).

- Der 3M TL20 beginnt nach Erreichen der zuvor eingestellten Verzögerungszeit automatisch mit der Temperatur-Messdatenerfassung. Hierzu muss der Benutzer die [Start/Stop]-Taste auf dem 3M TL20 drücken, um die Verzögerung einzuleiten.

##### c. Stellen Sie vor Starten des 3M TL20 die automatische Verzögerung ein: von 0 bis 168 h (7 Tage).

- Der 3M TL20 beginnt nach Erreichen der zuvor eingestellten automatischen Verzögerungszeit automatisch mit der Temperatur-Messdatenerfassung.

##### d. Stellen Sie die Stopp-Optionen ein, um die Temperaturaufzeichnung zu beenden. Automatik oder Automatik/Manuell.

- **Automatischer Stopp:** Der 3M TL20 beendet bei Erreichen der in Abschnitt (I.B.1.b.) zuvor eingestellten Zeit automatisch die Temperatur-Messdatenerfassung.
- **Automatischer / Manueller Stopp:** Der 3M TL20 beendet bei Erreichen der in Abschnitt (I.B.1.b.) zuvor eingestellten Zeit automatisch die Temperatur-Messdatenerfassung oder lässt sich jederzeit manuell durch Drücken der roten [Start/Stop]-Taste für drei Sekunden oder länger stoppen. Die rote LED leuchtet sechsmal auf.

##### e. Stellen Sie während der Temperaturmessung die LED-Option ein (Auto-Blinken-Features):

- **Option 1:** Die rote LED leuchtet nicht auf.
- **Option 2:** Die rote ED leuchtet in Echtzeit auf (in 20- Sekunden-Abständen), und zwar nur solange die Temperatur die vorgegebenen Grenzen tatsächlich überschritten hat. Es erfolgt kein Aufleuchten, wenn die Temperatur wieder innerhalb der vorgegebenen Grenzen liegt.
- **Option 3:** Anhaltendes LED-Aufleuchten. a) Die grüne LED leuchtet auf (in 1-Minuten-Abständen), wenn alle Daten innerhalb des Bereichs liegen. b) Die rote LED leuchtet auf (in 20-Sekunden-Abständen), wenn mindestens ein Datenpunkt außerhalb des Bereichs liegt.  
BITTE BEACHTEN: Der Gebrauch von Option 2 und 3 der aufleuchtenden LED-Anzeigen kann die Lebensdauer der Batterie beträchtlich verkürzen. Empfohlen wird Option 1 (kein Aufleuchten) für Anwendungen mit anhaltender Überwachung von mehr als zwei Wochen.

##### f. Nehmen Sie die Passwort-Einstellungen (Benutzer-Passwort) vor.

- Passwort ist optional; die Standard-Konfiguration der PC-Software erfordert kein Passwort. Wenn ein Passwort während der Folgenutzung erforderlich ist, wird der Benutzer von 3M TL20 an die Eingabe erinnert.
- Jedes Passwort umfasst zwischen 6-12 Zeichen und besteht ausschließlich aus englischen alphabetischen und numerischen Zeichen.

##### g. Füllen Sie die Versandinformation aus (Bild und Bemerkungen).

- **Bild:** Hierdurch können Benutzer Ihr 3M TL20 mit einem Firmenlogo individuell anpassen. Die Bild-Dateigröße ist auf 8kB (etwa 100 x 100 Pixel) begrenzt und hat JPEG-Format; der Benutzer muss eine Größenanpassung vornehmen, um diese Anforderung zu erfüllen.



- **Bemerkungen:** Das Fenster für Versandinformationen ist auf 200 Zeichen begrenzt. Die Bemerkungen werden beim Laden der Konfiguration im 3M TL20 gespeichert. Die Bemerkungen werden automatisch in den Bericht aufgenommen.
2. **Standard-Einstellungen:** Die Software ist mit den folgenden Werten voreingestellt:
    - a. Häufigkeit der Messdatenerfassung: 15 Minuten
    - b. Dauer: 75 Tage
    - c. Temperatureinheit in Grad Celsius (°C)
    - d. Obere Grenze: 8°C / Untere Grenze: 2°C

**Erweiterte Konfiguration:**

- e. Start-Optionen: Manuell
- f. Manuelle Verzögerung: 60 Minuten
- g. Automatische Verzögerung: 0 h
- h. Stopp-Optionen: Automatik/Manuell
- i. LED-Option: Es erfolgt kein LED-Aufleuchten
- j. Password-Einstellung: Kein Passwort (Admin und Benutzer)

**II. Erstinstallation am Senderort des 3M™ Temperaturloggers TL20 am Senderort:**

1. Schließen Sie den 3M TL20 mit dem mitgelieferten USB-Schnittstellenkabel an Ihren PC an.
2. Nach Anschluss des 3M TL20 an den PC drücken Sie zur Aktivierung die [WAKE-UP]-Taste. Beide LEDs leuchten gleichzeitig für 3 Sekunden (6mal) auf. Der 3M TL20 muss vor der Informationsübertragung zwischen dem PC und 3M TL20 durch Drücken der [WAKE-UP]-Taste aktiviert werden. Der 3M TL20 bleibt etwa 5 Minuten lang aktiv. Der Benutzer muss die [WAKE-UP]-Taste erneut drücken, wenn Informationsübertragung zwischen 3M TL20 und dem PC oder umgekehrt erforderlich ist.
3. Drücken Sie zum Upload der Einstellenden in den 3M TL20 die [Load Configuration]-Taste, um die Messdatenerfassung zu starten. Bei Bestätigung eines erfolgreichen Uploads erscheint "OK" auf der linken unteren Bildschirmseite.
4. Die Einstellungskonfiguration kann mit dem entsprechenden Namen zwecks Folgenutzung [File( Save Setting)] gespeichert werden.



: Wenn der 3M TL20 in direkten Lebensmittelkontakt kommt, muss dieser in die mitgelieferten Lebensmittel-Plastiktüte gelegt und verpackt werden.

**III. Wie Sie den korrekten Betrieb des 3M TL20 überprüfen:**

Durch Drücken der [CHECK]-Taste des 3M TL20 können Sie folgendes ablesen:

- Kein Licht bedeutet, dass das Gerät nicht läuft.
- Rotes Licht bedeutet, dass der 3M TL20 läuft und mindestens ein Datenpunkt außerhalb der vorgegebenen Grenzen liegt.
- Grünes Licht bedeutet, dass der 3M TL20 läuft und alle Datenpunkte innerhalb der vorgegebenen Grenzen liegen.

**IV. Empfängersite nimmt den Download der Zeit- / Temperaturdaten am Empfängersite vor:**

1. Öffnen Sie die PC-Software.
2. Schließen Sie den 3M TL20 mit dem mitgelieferten USB-Schnittstellenkabel an Ihren PC an.
3. Drücken Sie die [WAKE-UP]-Taste, um den 3M TL20 zu aktivieren. Beide LEDs leuchten 3 Sekunden lang (6mal) gleichzeitig auf.
4. Drücken Sie die [Read Data from the 3M TL20]-Taste in der PC-Software.
5. Der [Graphic]-Tab in der PC-Software erscheint automatisch mit allen aufgezeichneten Datenpunkten.
  - Die tatsächlichen Daten eines speziellen Punkts können im kleinen Fenster durch Klicken über diesem Punkt in der Bilddatei angezeigt werden.
  - Heranzoomen können Sie durch Auswahl eines bestimmten Bereichs in der Bilddatei.
6. Drücken Sie den [Data table]-Tab, um die Arbeitsblatt-Tabelle mit allen aufgezeichneten Temperatur- / Zeitdaten anzuzeigen.
7. Wählen Sie den [Summary]-Tab, um eine Ergebnistabelle mit allen Hauptdatenstatistiken anzuzeigen.
8. Wählen Sie den [Report]-Tab, um das Berichtfenster anzuzeigen und wählen Sie die Parameter für Standard- oder Kundenbericht.
9. Zum Speichern der Download-Daten drücken Sie [File ( Save Data Table)].

**E) Ablesen gespeicherter Daten:**

1. Ablesen in der 3M TL20-Software: [File( Load Data Table)].
2. Nach Öffnen einer gespeicherten Datei öffnet sich automatisch ein Excel-Arbeitsblatt mit den gespeicherten Daten. Dies ist eine ausschließlich lesbare verschlüsselte Datei.

**F) Zur Folgenutzung des 3M TL20:**

1. Drücken Sie in der PC-Software auf [File (New configuration)].
2. Drücken Sie die [WAKE-UP]-Taste im 3M TL20.
3. Stellen Sie neue Parameter ein oder laden Sie gespeicherte Einstellungen [File ( Load Setting)] und gehen Sie zu A) Erstinstallation.

\* Für zusätzliche Informationen lesen Sie bitte das Betriebshandbuch in der PC-Software oder rufen Sie die 3M-Hotline an.