

# Praktikumsbericht - Freiwilliges Wissenschaftliches Jahr an der Physikalisch Technischen Bundesanstalt Braunschweig

Jannik Dierks

Institut für Physik - Universität Rostock - 31. Mai 2022

## Einleitung

Die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) Braunschweig ist Deutschlands größtes Metrologieinstitut. Die verschiedenen Abteilungen in denen geforscht wird reichen dabei von Akustik bis hin zu hoch-genauen Messungen der Zeit.

Mein Freiwilliges Wissenschaftliches Jahr (FWJ) habe ich am QUEST-Institut (Institute for Quantum Engineering and Space Time Research) in der Quantum-Logic-Spectroscopy Gruppe absolviert. Diese beschäftigt sich vor allem mit der Grundlagenforschung im Bereich der Quanten-Spektroskopie.

Dabei wird mit verschiedenen Ionen-Strukturen und Fallenmechanismen experimentiert, um Quanten auf ihre Struktur und Eigenschaften zu untersuchen.

Unter der Leitung von Prof. Dr. Piet O. Schmidt, M.Sc. Johannes Kramer und Dr. Peter Micke wurden mir folgende Projekte anvertraut.

## Projekte

### Temperaturüberwachung der Labore mittels eines Rasperry Pis

Durch einen Wasserschaden und Ausfall der Temperaturstabilisierung in einem Labor des QUEST-Instituts, wurde mir als erstes aufgetragen einen Rasperry Pi so zu programmieren, dass er einen Alarm per E-Mail bzw. SMS an die Betroffenen Personen versendet, wenn ein Wasserstand-Sensor bzw. ein Temperatur-Sensor einen kritischen Wert überschreitet.

Hierbei war es vor allem wichtig, dass das System unabhängig vom normalen Stromnetz der Labore funktioniert, damit der Alarm (gerade) auch bei Stromausfall ausgelöst werden kann.

Der Programmcode, den ich geschrieben habe hat sich vorerst auf die Ansteuerung der verschiedenen Sensoren konzentriert. Diese liefen einwandfrei und haben die jeweiligen Werte an den Rasperry Pi übermittelt. Bevor ich mich allerdings der Unabhängigkeit vom Laborstromnetz und dem Benachrichtigungssystem widmen konnte, sind mir andere, wichtigere Projekte anvertraut worden.

Letztendlich habe ich das Projekt dann an die nächste FWJlerin abgegeben, die sich um die restlichen Aspekte gekümmert hat.

### Programmierung eines PID-Reglers zur aktiven Kühlung einer Frequenzverdopplungs-Einheit

Das nächste Projekt wurde mir von Dr. Stephan Hannig aufgetragen, der für seinen experimentellen Aufbau eine eigens entwickelte Frequenzverdopplungseinheit (FVE) für Laser verschiedener Wellenlängen entworfen und gebaut hat.

Das System bestand dabei aus vier Spiegeln, die in einem Trapez innerhalb eines massiven Metallgehäuses angeordnet waren. Das massive Metallgehäuse hat vor allem den Sinn das System weitgehend zu stabilisieren, da die Frequenzverdopplung stark von den Spiegelpositionen abhängt.

An dieser Stelle kam mein Projekt ins Spiel. Um die Ausdehnung des Metallgehäuses durch Temperaturschwankungen zu minimieren, habe ich eine aktive Temperaturstabilisierung gebaut, die die Temperatur innerhalb der FVE möglichst konstant hält. Diese Stabilisierung bestand im Wesentlichen aus einem programmierbaren PID-Regler und einem sogenannten Peltier-Element (siehe Abb. A.1 und Abb. A.2). Das Peltier-Element wurde mit



Wärmeleitpaste an der Bodenplatte der Frequenzdoppler-Einheit befestigt und dann mit dem PID-Regler angesteuert. Die Stellgröße war dabei indirekt die Temperatur (eigentlich die Stromstärke, die durch das Peltier-Element geschickt wurde).

Meine Hauptaufgabe bestand nun darin den PID-Regler so einzustellen, dass die Ziel-Temperatur sich möglichst schnell einstellt, ohne dass das System durch die aktive Kühlung/Heizung überschwingt und es zu Oszillationen kommt.

Das Projekt habe ich nach etwa 2 Wochen Arbeit erfolgreich abgeschlossen, sodass Hr. Dr. Hannig das System in seinen Versuchsaufbau integrieren konnte.

### **Aushilfe in der Elektrotechnik-Abteilung - Leiterplatten designen, ätzen, bestücken und vermessen**

Besonders gerne habe ich während meines FWJs in der institutseigenen Elektrotechnik-Abteilung ausgeholfen. Die verschiedenen Labore konnten bei Bedarf Leiterplatten und sehr spezielle Wünsche an die Elektrotechnik Abteilung weiterleiten und diese haben sich dann um den Bau der Platinen gekümmert. Dabei stand für mich vor allem im Vordergrund mit der Software EAGLE Leiterplatten unter der Aufsicht von Julia Buschermöhle und Nikolai Beev zu designen, diese dann im Chemie-Labor per Hand zu ätzen und schlussendlich zu bestücken und zu testen.

Anfangs waren das kleinere Projekte, wie Line-Trigger Platinen (Abb. A.4) oder RF-Verstärker (Abb. A.5), zum Ende meines FWJs habe ich in der Elektrotechnik Abteilung dann aber auch das mit Abstand größte Projekt während meiner Zeit am QUEST-Institut gebaut. Einen temperatur-stabilisierten Hochspannungsteiler für eine Electron Beam Ion Trap (kurz: EBIT [2]).

### **Hochspannungsteiler zur Installation in der EBIT am Max-Planck-Institut Heidelberg**

Meine wahrscheinlich umfangreichste projektleitende Aufgabe während des FWJs war der Aufbau eines hochpräzisen Hochspannungsteilers (HST). Ziel des Projektes war es eine minimale Spannungsabweichung beim Teilen von Hochspannungen bis zu 5 kV zu erzielen.

Um das Projekt zu bewerkstelligen, habe ich innerhalb der PTB mit verschiedenen Abteilungen zusammen an dem Aufbau und dem Layout der Leiterplatte sowie dem Gehäusedesign und der Temperaturstabilisierung gearbeitet.

Die Leiterplatte musste mit besonders genauen Widerständen (geringe absolute Fehler auch bei Spannungen von etwa 5 kV) für die Spannungsteilung bestückt werden und so aufgebaut sein, dass die Wärmeeentwicklung der Widerstände sich nicht gegenseitig beeinflusst.

Nachdem wir mehrere Prototypen für die Leiterplatte getestet hatten und uns für eine finale Version entschieden hatten, wurde die Platine bestückt und in ein Metallgehäuse eingebaut (vor allem aus Sicherheitsgründen, damit an keiner Stelle die Hochspannung offen liegt) - siehe Abb. A.7. Das alleine reichte aber nicht, um die Genauigkeit für die Spannungsteilung zu erzielen, die in dem EBIT-Experiment benötigt wurde.

Für die Temperaturstabilisierung - und damit die Stabilisierung der Widerstandswerte des HST - wurde eine Box aus Plexiglas gebaut (Abb. A.8), die von innen wiederum mit Styropor-Elementen von der Umgebungsluft isoliert wurde. Die Zieltemperatur für das ganze System wurde bei 40 °C gewählt, damit ein Heizelement (gekoppelt mit einem Zwei-Punkt-Regler) den gesamten Aufbau kontrolliert heizen kann. Eine Kühlung wäre deutlich komplexer gewesen und hätte eine höhere Ungenauigkeit bedeutet, da das System in einer Halle aufgebaut wurde, die im Sommer Spitzentemperaturen von etwa 34 °C erreicht hat.

Der Zwei-Punkt-Regler wurde in das Plexiglas-Gehäuse eingelassen (Abb. A.9 links) und mit Heizelementen verbunden und erste Testläufe gestartet.

Die Testläufe (Abb. A.10) sahen vielversprechend aus und letzte Änderungen wurden an der Isolierung des Plexiglas-Gehäuses vorgenommen. Die Styroporplatten wurden mit Aluminium-Folie verkleidet, um eine noch bessere Abschirmung des HST von der Umgebungsluft zu bewerkstelligen.

Nach finalen Testläufen, lag die absolute Temperaturschwankung des Apparats bei ca. 0,2 °C.

Das entspricht einer Genauigkeit der geteilten Spannung von etwa 2 ppm bei Hochspannungen bis zu 5 kV.

Nach etwa drei Monaten wurde das Gerät zuletzt in das Experiment von Dr. Peter Micke in Heidelberg eingebaut. Auf einer einwöchigen Dienstreise lernte ich so das Max-Planck-Institut in Heidelberg kennen und arbeitete für eine Woche mit Herrn Dr. Micke an der EBIT, um den gebauten HST zu integrieren. Ich konnte mich schnell in das Experiment einarbeiten und half Herrn Dr. Micke daher an den letzten drei Tagen bei mehreren Messungen, die mit dem neuen Hochspannungsteiler zu unseren vollen Zufriedenheit verliefen.



## A. Bilder

### Kühlung mittels PID-Controller und Peltier-Element



Abb. A.1: Erster Aufbau und erste Tests des PID-Controller (links im Bild) verbunden mit dem Peltier-Element (rechts).

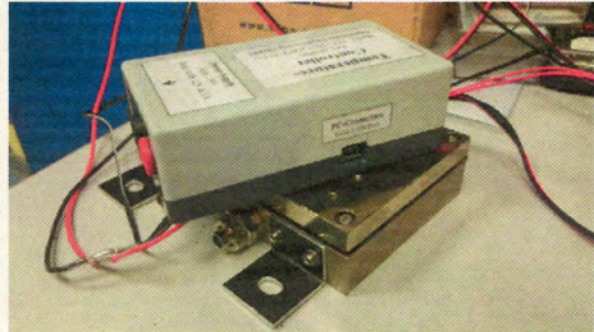


Abb. A.2: Endgültiges Setup der Kühlung mit PID-Controller (in einem Gehäuse) und dem Peltier-Element unten.

### Aushilfe in der Elektrotechnik



Abb. A.3: Ätzen einer Leiterplatte zur händischen Bestückung.

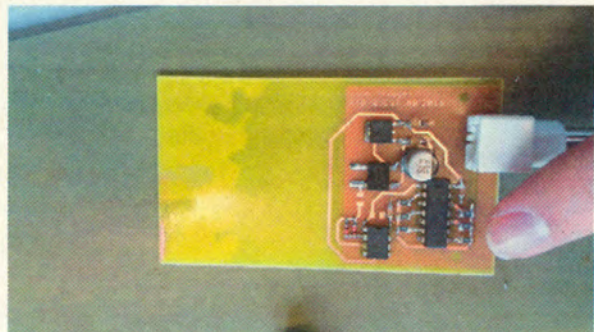


Abb. A.4: Händisch bestückte Platine (hier für einen Line-Trigger).

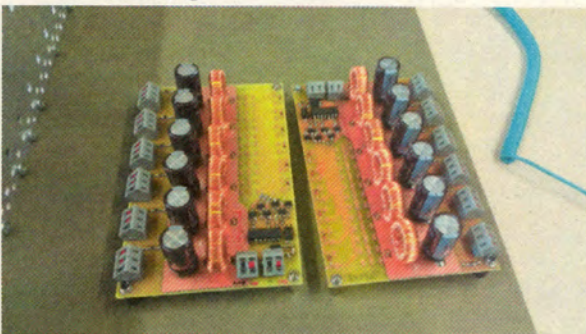


Abb. A.5: Leiterplatte für eine modulare (rack-mounted) RF-Verstärker-Einheit mit mehreren Ausgängen.

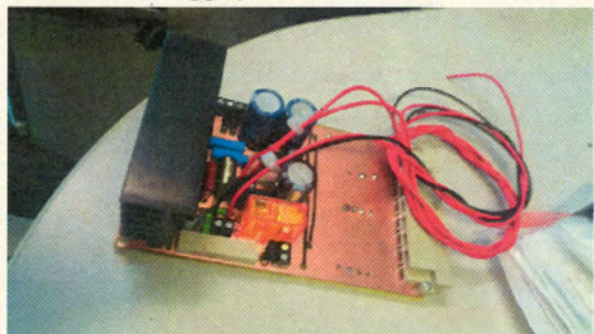


Abb. A.6: Stabiles Spannungsnetzgerät mit Kühlung. Durch den Anschluss (rechts) ist auch diese Platine modular gefertigt.



## Hochspannungsteiler



Abb. A.7: Erster Aufbau des Hochspannungsteilers (innen) mit der ersten Temperatur-Isolierung durch ein Plexi-Glas Gehäuse mit 2-Punkt-Regler (schwarzes Display, eingelassen in das Plexi-Glas Gehäuse).

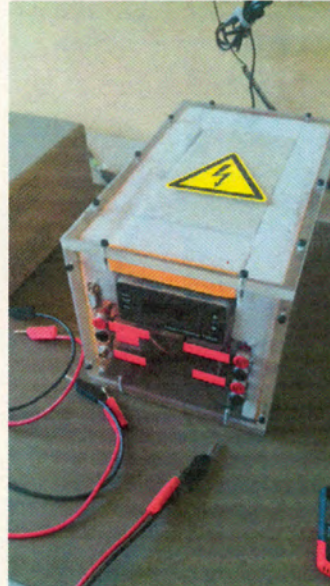


Abb. A.8: Einbau von Styropor-Platten für eine bessere Temperatur-Isolierung.

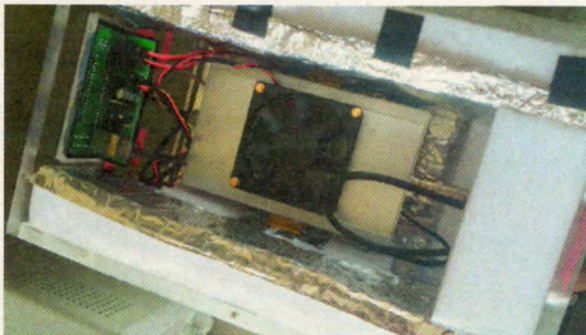


Abb. A.9: Auskleidung der Styropor-Platten mit Aluminium-Folie, um die Isolierung noch weiter zu verbessern.



Abb. A.10: Testen der Temperatur-Stabilisierung des Hochspannungsteilers.

## Literatur

[1] <https://www.quantummetrology.de/eqm/home/> [25.05.2022]

[2] P. Micke, S. Kühn, L. Buchauer et al., Rev. Sci. Instrum. 89, 063109 (2018) [27.05.2022]