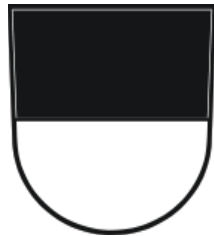




DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

ULM



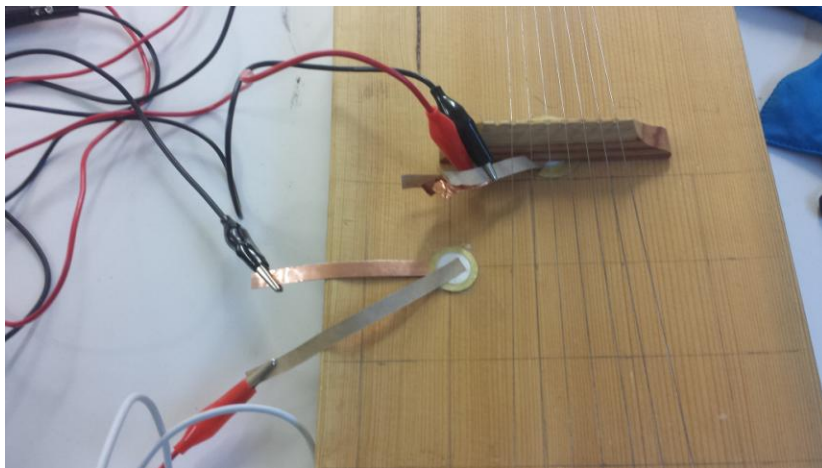
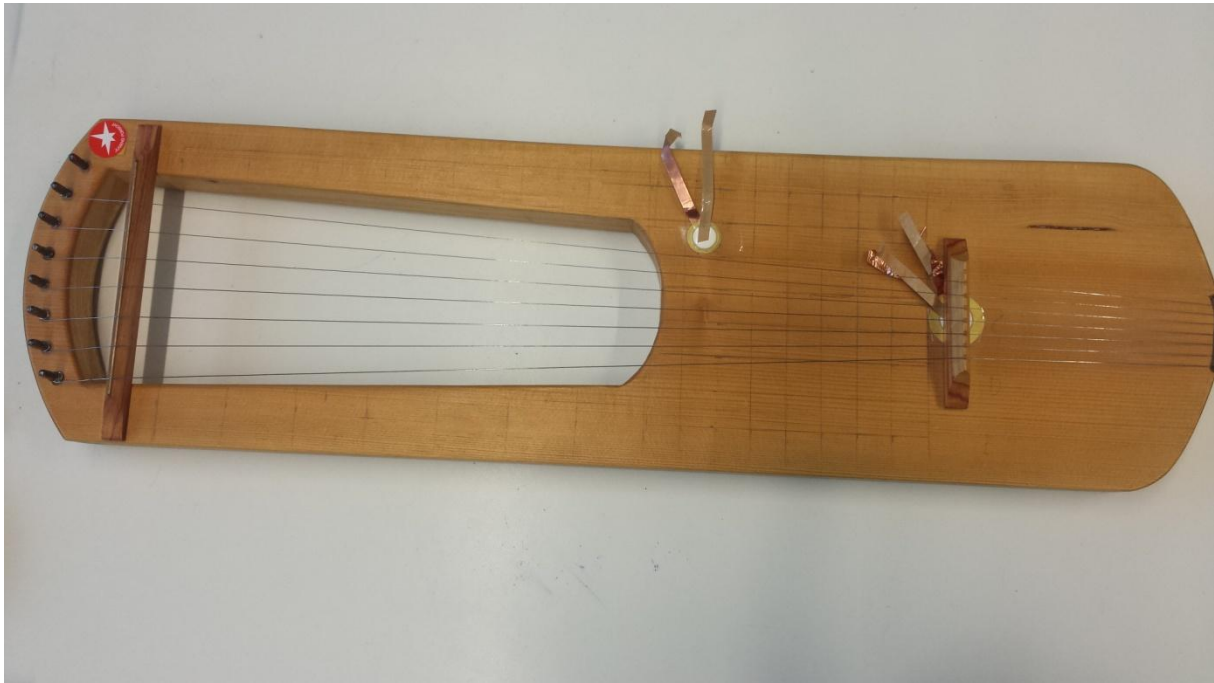
## Klanguntersuchung an Saiteninstrumenten

Simon Mielke

### **Schule:**

Schubart-Gymnasium  
Ulm

# Klanguntersuchung an Saiteninstrumenten



Jugend forscht 2016  
Schriftliche Ausarbeitung

## **Kurzfassung**

An einigen Saiteninstrumenten sind Tonabnehmer angebracht, damit sie an einen Verstärker angeschlossen werden können. Jedoch sollte dabei der Tonabnehmer richtig am Klangkörper befestigt werden, damit ein möglichst gutes Signal erhalten wird. Wo sind mehr oder weniger geeignete Stellen um den Tonabnehmer zu platzieren? Ziel meiner Arbeit ist mithilfe von Messwerten eine Art Landkarte zu erstellen, auf der zu erkennen ist wo günstige und ungünstige Stellen für die Anbringung eines Tonabnehmers sind. Dafür platzierte ich einen Piezo-Tonabnehmer an verschiedenen Stellen auf dem Klangkörper einer Leier. Ein zweiter Piezo-Tonabnehmer wurde als Referenz unter dem Steg der Leier festgeklemmt. Die Landkarten der einzelnen Töne legten dar, dass sich diese Stellen bei jedem Ton an einem anderen Ort befinden. Entgegen meiner anfänglichen Vermutung zeigte sich, dass bei manchen Tönen auch am Rand der Leier günstigere Stellen sind als in der Mitte. Nun muss als nächster Schritt die Landkarte genauer werden und die dafür nötigen Schritte unternommen werden.

## **Inhaltsverzeichnis**

### **1. Deckblatt**

### **2. Einleitung**

### **3. Vorgehensweise**

#### **3.1 Aufbau**

#### **3.2 Durchführung der Messungen**

### **4. Ergebnisse**

#### **4.1 Tabellarisch**

#### **4.2 Graphisch**

### **5. Nächste Schritte**

### **6. Zusammenfassung**

### **7. Danksagung**

## 2. Einleitung

Ein Tonabnehmer ist für Saiteninstrumente sehr nützlich, da er aus den Schwingungen des Klangkörpers beim Spielen des Instruments ein elektrisches Signal erzeugt. Diese kann dann z.B. an einen Verstärker geleitet werden und anschließend über einen Lautsprecher verstärkt als Ton wiedergegeben werden.

Als ich darüber genauer nachdachte, stellte ich mir die Frage, ob der Tonabnehmer nicht günstig und weniger günstig platziert werden kann und ob der Klangkörper eines Saiteninstrumentes nicht überall gleich schwingt oder bei jedem Ton an der gleichen Stelle gleich stark oder schwach schwingt. Ich vermutete, dass die Stelle bei der Mitte des Klangkörpers geeigneter wäre als eine Stelle am Rand.

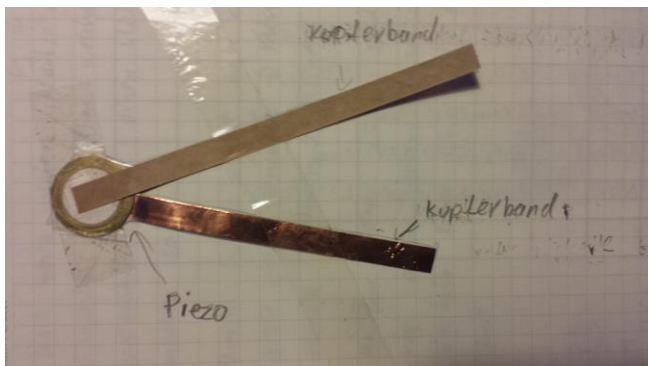
Mein Lehrer, Herr Däges, stellte den Nachbau einer frühmittelalterlichen Leier (Gräberfund von Oberflacht, Schwarzwald) zur Verfügung. Dieses Instrument wird gerne in der Mittelaltermusik eingesetzt und bei Auftritten wäre ein Tonabnehmer von großem Vorteil. Ich stellte mir dabei das Ziel herauszufinden welche Stellen auf dem Klangkörper mehr oder weniger günstig für die Platzierung eines Tonabnehmers sind. Dafür wollte ich mit einem selbst gebauten Piezo-Tonabnehmer die Schwingungen des Klangkörpers nachmessen. Danach folgte das Erstellen einer Art Landkarte, welche die Ergebnisse anschaulich darstellt.

## 3. Vorgehensweise

### 3.1 Aufbau

Um die bestmögliche Stelle zur Platzierung des Tonabnehmers herauszufinden, wird am Klangkörper der Leier, ein Piezo an unterschiedlichen Stellen am Klangkörper angebracht. Dazu wird auf der Leier ein Raster angelegt, dessen Felder von links nach rechts mit A, B, C... und von oben nach unten mit 1,2,3,... beschriftet sind. Somit ist z.B. das Feld A1 links oben.

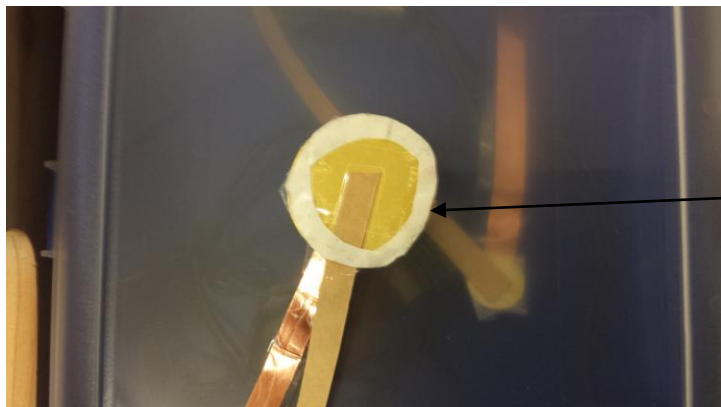
An diesem Piezo ist jeweils an der Unterseite und an der Oberseite ein Kupferband befestigt. Beim Befestigen des Kupferbandes ist es wichtig, dass darauf geachtet wird auf der Vorderseite des Piezos den Minuspol mit einigen Tesa-Streifen zu isolieren. Dieser Schritt ist erforderlich, da die Pole des Piezos sonst durch das Kupferband verbunden wären.



**Abb.1: Isolierter Piezo mit 2 Kupferbändern( eines mit Tesa Isoliert)**

Wird nun durch das Zupfen einer Saite ein Ton auf der Leier gespielt, so schwingt ihr Klangkörper und somit auch der darauf befestigte Piezo. Dabei wird der Piezo zum Tonabnehmer, welcher wiederum über die Kupferbänder am Oszilloskop angeschlossen ist. Am Oszilloskop ist noch ein zweiter Piezo-Tonabnehmer angeschlossen. Er ist zwischen Steg und Klangkörper an der Leier eingeklemmt und dient als Referenz.

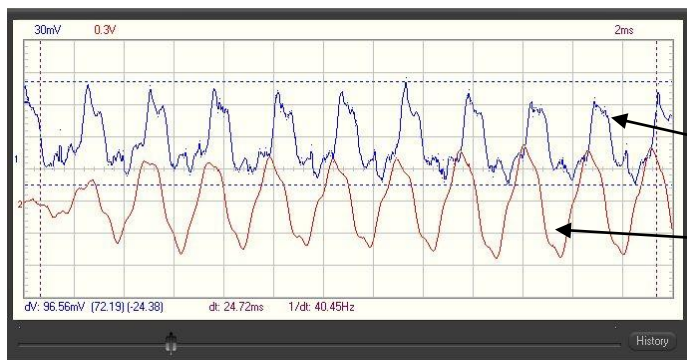
Die Piezo-Tonabnehmer sollten gut auf dem Klangkörper befestigt sein, dabei aber trotzdem noch schwingen können: Wird ein Piezo-Tonabnehmer beispielsweise mit seiner kompletten Fläche mit doppelseitigem Klebeband am Klangkörper befestigt, so ist er nichtmehr in der Lage zu schwingen. Besser ist es den Piezo-Tonabnehmer mit einem ein bis zwei Millimeter breiten Klebeband-Ring am Rand zu befestigen, da dieser völlig zur Befestigung ausreicht und er ermöglicht dem Piezo zu schwingen.



**Abb. 2: Piezo-Tonabnehmer mit Ring aus doppelseitigem Klebeband**

### 3.2 Durchführung der Messungen

Der Piezo-Tonabnehmer wird auf einem Feld des Rasters platziert. Dann werden alle Töne der Leier für dieses Feld nacheinander gemessen, indem der Piezo-Tonabnehmer die Schwingungen, die beim Spielen von ihm erzeugt werden ans Oszilloskop weiter gibt. Das Oszilloskop ist am Laptop angeschlossen, an welchem nun eine genaue Auswertung der Ergebnisse möglich ist. Wenn alle Ergebnisse für das Feld ausgewertet worden sind, wird der Piezo-Tonabnehmer auf das nächste Feld im Raster gesetzt. Daher ist es wichtig, dass der Piezo trotz gutem Halt auch wieder leicht zu entfernen ist und sich auf dem nächsten Feld wieder gut anbringen lässt. Um bei den Messungen, die ich nur einmal in der Woche in der AG durchführen kann, Zeit zu sparen, werden die Werte, die beim Messen erhalten werden, in einer Tabelle im Protokollbuch handschriftlich festgehalten. Später zuhause am Computer werden die Werte dann in eine Excel-Tabelle übertragen.



**Abb. 3: Auswertung der Spannung der 2 Piezos am Laptop**

Referenz

Piezo auf Feld

Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis für jeden Ton auf jedem Feld des Rasters ein Messwert vorliegt. Um sicherzustellen, dass korrekte Messwerte vorliegen, muss dafür gesorgt werden, dass immer gleich stark an den Saiten der Leier gezupft wird. Dafür ist die Referenz da, denn bei den Messungen wird darauf geachtet, dass Ihr Wert immer gleich ist.

Der nächste Schritt ist dann, mit Hilfe dieser Ergebnisse, das Erstellen einer Art Landkarte, die deutlich macht an welchen Stellen der Klangkörper am meisten schwingt bzw. an welchen Stellen günstige Positionen für einen Tonabnehmer sind.

Je genauer dabei das Raster wird, also je mehr Felder es auf die gleiche Fläche hat, desto:

Nachteile	Vorteile
- kleiner werden die Felder ↓	- mehr Messwerte liegen vor ↓
- kleiner müssen die Piezos werden	- genauer wird die Landkarte

Da die Piezos ab einer gewissen Größe zu klein werden, um genaue Messwerte zu erhalten, die Landkarte aber möglichst genau sein sollte, wird bei den Piezos eine mittlere Größe verwendet.



**Abb. 4: Großer, mittlerer und zu kleiner Piezo**

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Tabellarisch

Eine Tabelle gibt zwar nicht eine schnelle und übersichtliche Ansicht über die günstigen Stellen, ist aber ideal für die Erfassung der Werte während den Messungen.

Aus den ersten Messungen lässt sich schon heraus lesen, dass der Referenzwert im Vergleich mit den Werten auf dem Raster bis zu zehnmal kleiner ist. Dies ist durch den Steg bedingt, der das Schwingen des Piezo-Tonabnehmers verringert.

Ton	Ref	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4
c	0,22V	2,28V	2,31V	2,03V	3,06V	3,06V	1,91V	1,91V	1,13V
d	0,16V	1,07V	1,60V	1,69V	0,50V	2,41V	1,34V	1,38V	0,88V
e	0,17V	1,31V	1,88V	2,34V	0,56V	1,59V	2,19V	2,09V	0,94V
f	0,21V	1,81V	2,22V	2,47V	0,88V	1,69V	2,23V	2,22V	0,84V
g	0,25V	2,59V	2,72V	2,97V	0,84V	2,16V	2,41V	3,38V	1,06V
a	0,17V	1,47V	1,79V	2,06V	1,00V	1,16V	1,34V	2,56V	0,81V
h	0,15V	1,66V	1,75V	3,00V	1,6V	1,34V	1,75V	3,09V	0,81V

Referenz,                      inneren Spalte,                      mittleren Spalte

**Abb.5:**

**Tabelle mit den Werten der:**

Ton	Ref	A1	A2	A3	A4
c	0,22V	1,38V	1,78V	2,19V	1,38V
d	0,16V	0,56V	0,5V	1,28V	0,72V
e	0,17V	0,78V	1,06V	1,28V	0,63V
f	0,21V	1,22V	1,72V	1,60V	1,38V
g	0,25V	2,34V	2,06V	2,38V	1,41V
a	0,17V	1,47V	1,56V	1,47V	0,81V
h	0,15V	1,34V	1,38V	1,31V	1,28V

**Abb.6 Tabelle mit den Werten der äußeren Spalte**

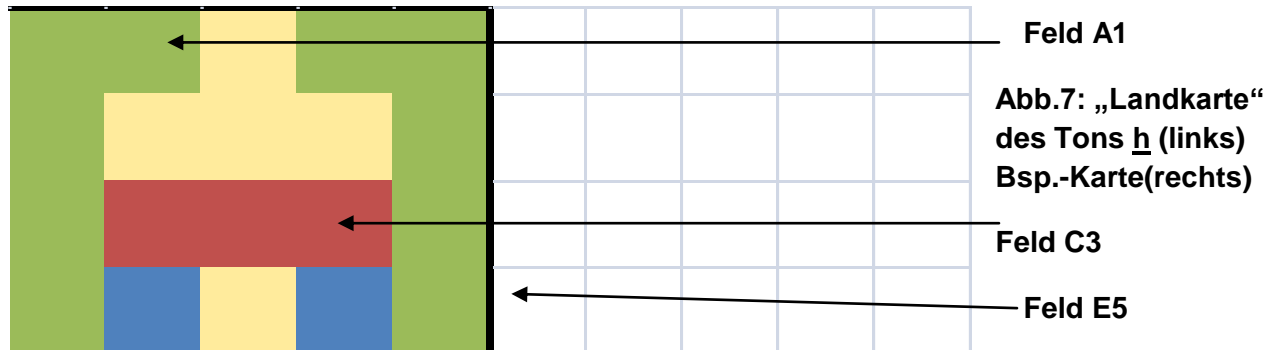
Die Tabelle zeigt auch, dass wie vermutet in der Mitte hohe Werte gemessen wurden, wie z.B. C3 bei dem Ton h. Allerdings sind auch hohe Werte von weiter außen am Rand gemessen worden, wie z.B. A1 bei dem Ton g. Um die Anzahl der Werte überschaubar zu halten und um Zeit zu sparen, bin ich davon ausgegangen, dass die Decke symmetrisch schwingt. Daher wurden die Reihen B und E nicht vermessen

## 4.2 Graphisch

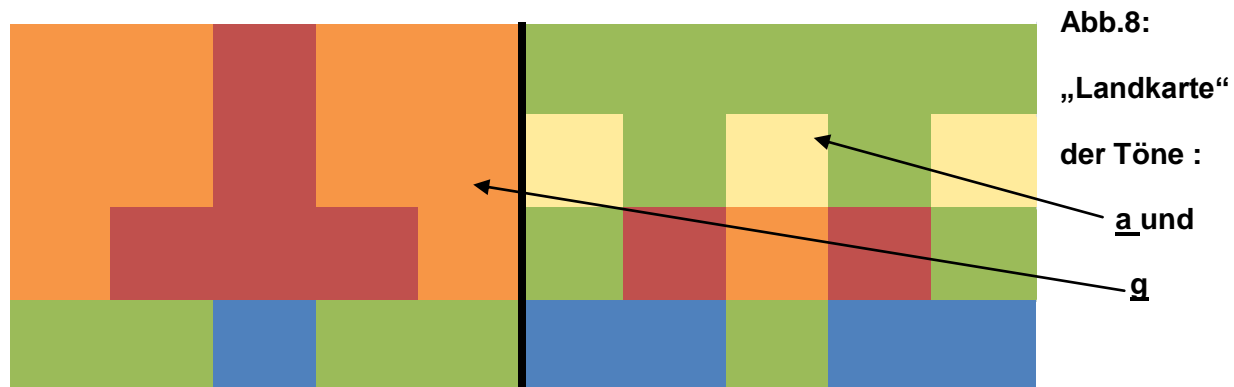
Die „Landkarten“ sind mit den Werten der Tabelle erstellt worden. Der klare Vorteil ist, dass die günstigen und weniger günstigen Stellen auf einen Blick erkennbar sind und auch die verschiedenen Töne lassen sich gut miteinander vergleichen.

Die Farben geben an wie hoch die Spannung ist:

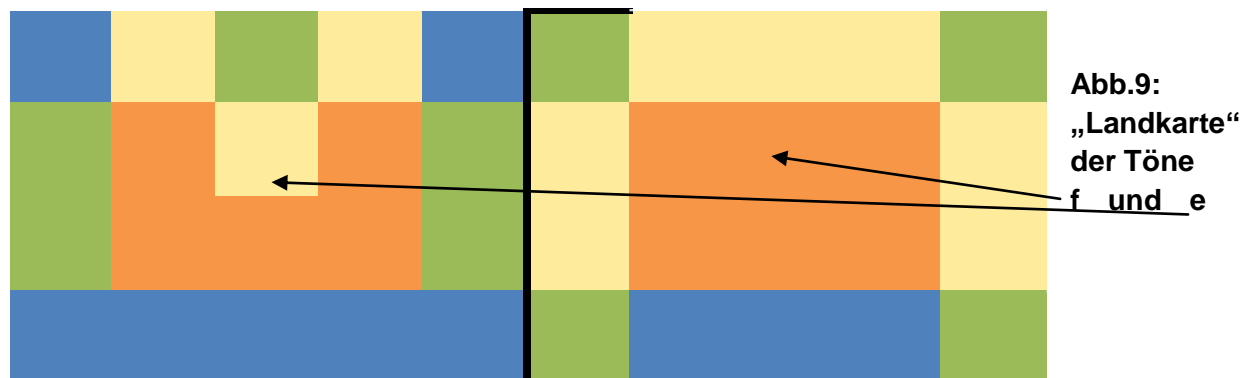
Blau 0,5-1V ; Grün 1-1,5V ; Gelb 1.5-2V ; Orange 2-2.5V und Rot >2,5V



Beim Ton h ist die Größte Spannung in der Mitte auf den Feldern B3, C3 und D3, die Niedrigste dagegen bei B4 und D4.

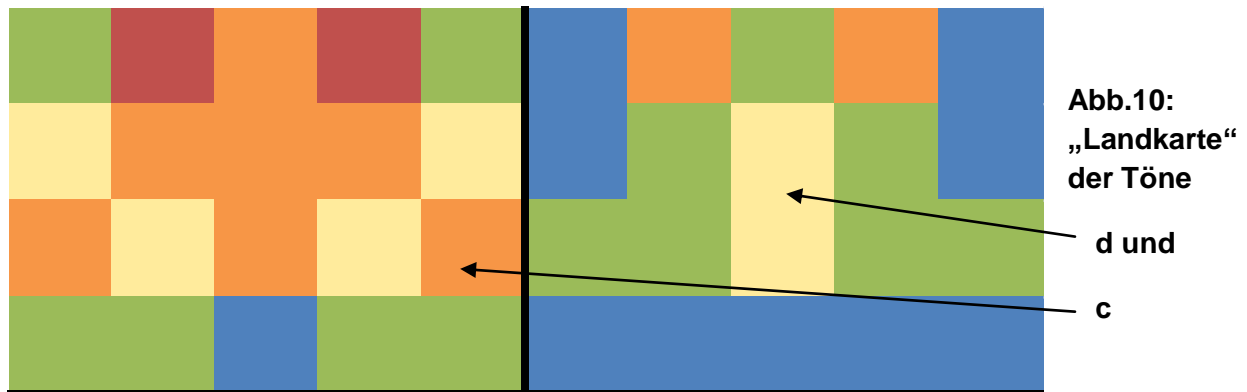


Bei g Ist die Spannung in den Zeilen eins bis 3 sehr hoch, in der Spalte C am meisten. Dagegen sind die Spannungen in der vierten Zeile eher niedrig. Es ist gut zu erkennen, dass bei manchen Tönen auf dem gleichen Feld eine ähnliche Spannung vorliegt. Es ist zum Beispiel das Feld C2 bei den Tönen d, e, a und h jeweils immer gelb. Jedoch sind die Muster der jeweiligen Raster bei jedem Ton anders.





Bei dem Tönen f und e ist schön zu sehen, dass wie vermutet in der Mitte die Werte am höchsten sind.



Am Ton c wird beispielsweise deutlich, dass die Werte am Rand entgegen meiner Vermutung auch höher sein können als die in der Mitte. Bei d sind am Rand wiederum die kleineren Werte.

Um zu testen wie gut der selbst gebaute Piezo-Tonabnehmer funktioniert, habe ich ihn mit einem gewöhnlichen Tonabnehmer verglichen: Es zeigte sich, dass der Piezo genauso gut wie der andere Tonabnehmer ist.

## 5.Nächste Schritte

Zu den nächsten Schritten zählt:

- Das Wegkommen vom Anzupfen der Saiten und bauen eines „Anregungsautomaten“, der jede Saite mit der gewünschte Frequenz anregen kann. Dann sollte auf jedes Feld Piezos geklebt werden (in einer Größe, die nach den jetzigen Versuchen für am sinnvollsten gehalten werden), so dass gleichzeitig die Schwingungen aller Felder angesehen werden kannst. Dazu ist notwendig, Kontakt zu einem professionellen Messstudio aufzunehmen (eine erste Email war vielversprechend und es könnte von dort Hilfe zu erwarten sein.)

-Schließlich muss der Tonabnehmer fest eingebaut werden und es ist zu untersuchen, ob eine Vorverstärkerschaltung eingebaut werden sollte, um die Klangqualität zu erhöhen. Interessant ist hier die Frage der Stromversorgung, die so unauffällig wie möglich geschehen sollte.

-Ein weiterer möglicher Schritt wäre zu untersuchen, ob eine andere Bauweise Einflüsse auf den Klang haben durch gezielte Beeinflussung des Obertonspektrums. Hierzu wäre eine Fourier-Tonanalyse notwendig.

## **6.Fazit**

Wenn ein Tonabnehmer am Klangkörper einer Leier befestigt wird, wandelt er dessen Schwingungen in ein elektrisches Signal um und leitet es z.B. an einen Verstärker weiter.... So sieht es auf den ersten Blick aus. Ich habe dies mithilfe eines selbst gemachten Piezo-Tonabnehmers näher erforscht und habe herausgefunden, dass der Klangkörper nicht überall gleich schwingt. Weiterhin habe ich durch die Erstellung einer Art Landkarte mit Hilfe der Messwerte bemerkt, dass die Stellen, an denen der Klangkörper mehr oder weniger schwingt, sich bei jedem Ton an einem anderen Punkt befinden.

## **7.Danksagung**

Ich möchte mich an dieser Stelle besonders bedanken bei:

- Der Landesstiftung Baden-Württemberg, die innerhalb ihres Programms Mikromakro mein Projekt finanziert hat.
- unserem AG-Leiter und meinem Betreuer Hr. Däges, der immer voller neuer Ideen ist und da ohne sein Engagement die AG wohl kaum möglich wäre.