

---

# AKUSTISCHE DATENÜBERTRAGUNG PER LASERSTRAHLEN

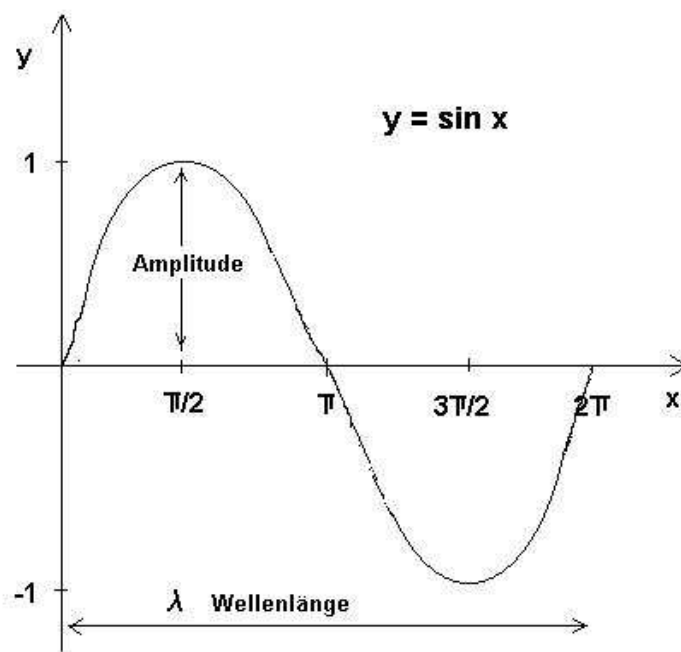
---

## SCHWINGUNGEN UND WELLEN

PHYSIK LK 12

11.05.04

Malte Zuch



# INHALT

---

<b>1.0 Einleitung</b>	<b>1</b>
-----------------------	----------

---

<b>2.0 Das Gerät</b>	<b>2</b>
2.1 Vorteile – Nachteile	<b>2</b>

---

<b>3.0 Die Schaltung</b>	<b>3</b>
3.1 Funktionsweise des Senders	<b>3</b>
3.2 Funktionsweise des Empfängers	<b>3</b>
3.2.1 Besonderheit am Empfänger	<b>3-4</b>

---

<b>4.0 Problemanalyse</b>	<b>4-6</b>
---------------------------	------------

---

<b>5.0 Fazit</b>	<b>7</b>
------------------	----------

---

<b>6.0 Anhang</b>	<b>7</b>
6.1 Anwendungsbereiche	<b>7</b>

---

## 1.0 Einleitung

Heutige Technologien sind aufgrund Ihrer enormen Komplexität im Aufbau und der verbauten Elektronik häufig sehr störanfällig und wartungsintensiv.

Reparaturen sind dem entsprechend sehr zeit- und kostenintensiv.

Die Neuanschaffung solcher Geräte ist ebenfalls sehr kostenintensiv; aufgrund ihrer modernen und komplexen Technologie.

Häufig stehen die Kosten und die langfristige Zuverlässigkeit solcher Geräte in keiner „benutzerfreundlichen“-Relation.

Mein Ziel war es daher, ein technisches Gerät zu entwickeln, welches auf minimalen Reparatur und Produktions- Kosten basiert und ebenfalls ein Minimum an Reparatur- und Produktionszeit benötigt, aber dennoch eine maximaler Zuverlässigkeit besitzt und welches den Hauptzweck heutiger hochmodernen technologischen Geräten nachahmen kann.

Selbstverständlich musste ich Einschränkungen in der Vielseitigkeit meiner Entwicklung akzeptieren, um die Kriterien:

**Günstig, schnell, einfach und robust**

realisieren zu können.

## 2.0 Das Gerät

Mein Ziel, akustische Daten auf einfachste Art über große Entfernungen zuverlässig übertragen zu können, beruht auf moduliertem Licht. Anstatt von hochfrequent modulierten Radiowellen benutzte ich eine intensiv gebündelte Lichtquelle zur Datenübertragung. Dazu würde sich in erster Linie ein Laser oder ein optisch gebündelte Lichtquelle eignen.

Die Lichtquelle, bzw. der Laserstrahl wurde direkt mit dem akustischen Signal moduliert, mit Hilfe von nur einem Transistor.

Die Umwandlung des Laserstrahls in ein Akustisches Signal (also von Licht in Schall) erfolgte mit Hilfe einer Solarzelle, die über einen Verstärker an einem Lautsprecher gekoppelt wurde.

## 2.1 Vorteile – Nachteile

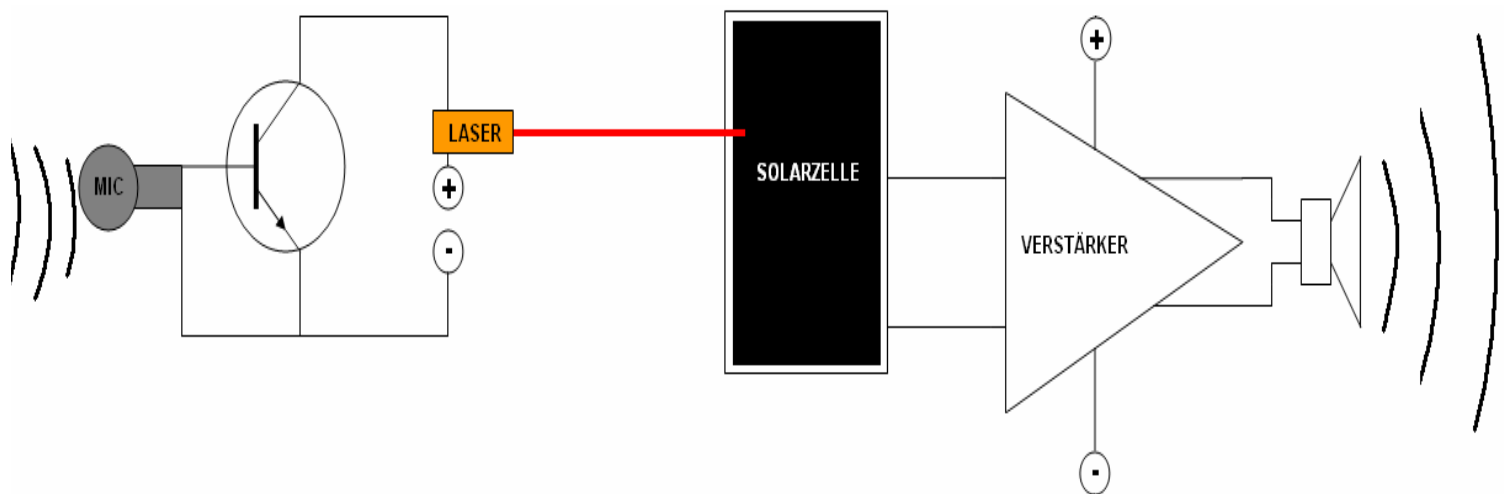
### NACHTEILE

- Direkte Sichtverbindung notwendig
- Nur bei fester Installation von Sender und Empfänger nutzbar (z.B. auf Gebäuden)
- Aufwendiges „Anpeilen“ von weit entfernten Empfängern

### VORTEILE

- Extrem kosten und zeitsparend bei Bau und Reparaturen
- Sehr zuverlässig
- Extrem abhörsicher im Gegensatz zu Radiowellen
- Sender kann nicht lokalisiert werden wie bei Radiowellen-Sendern (Laser breitet sich geradlinig aus und nicht radialsymmetrisch wie Radiowellen)
- Geringes Gewicht und Volumen des Gerätes
- Kann nicht in dem Maße wie Radiowellen-basierende Geräte durch Störsender gestört werden
- Große Reichweiten ohne hörbaren Qualitätsverlust
- Keine Verletzung von sensiblen Funkfrequenzen (Airlines, Militär)

### 3.0 Die Schaltung



#### 3.1 Funktionsweise des Senders

Ein Mikrofon (Bzw. eine Audioquelle wie z.B. MP3-Player, Walkman, Radio etc.) wird an Basis (Signal) und Emitter (Erde) eines Transistors angeschlossen.

Der durch Schallwellen induzierte Strom im Mikrofon dient als Steuerstrom für den Transistor und steuert den Collectorstrom, der durch ein Lasermodul fließt. Das Lasermodul emittiert folglich Laserstrahlen im Takt des vom Transistor verstärkten Audiosignal.

#### 3.2 Funktionsweise des Empfängers<sup>1</sup>

Das vom Sender emittierte, nach dem Audiosignal oszillierende Laserlicht wird bei dem Empfänger von einer Solarzelle in elektrischen Strom umgewandelt, der von einem Verstärker verstärkt wird, und an einem Lautsprecher wiedergegeben wird.

Zu hören ist das ursprüngliche Audiosignal.

##### 3.2.1 Besonderheit am Empfänger

Es wurde bewusst eine Solarzelle gewählt, anstatt einer Fotodiode, da eine Solarzelle eine deutlich größere Oberfläche gegenüber der Fotodiode hat (in meinem Versuchsaufbau 52x mehr Fläche), was das „Anpeilen“ des Empfängers deutlich vereinfacht.

Außerdem habe ich vor der Solarzelle ein Rohr montiert, welches störendes Außenlicht abhält, wie zum Beispiel das oszillierende Licht von Lichtquellen, die am Wechselstrom betrieben werden und am Empfänger ein störenden 100Hz Ton verursacht.

---

<sup>1</sup> Basiert auf der Schaltung der Seite 109, Bild 307 des Heftes: „Experimentieranleitung KOSOAS electronic XN3000“ des Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart

Weil Solarzellen nur eine endliche Menge von Strahlen pro Fläche in elektrischen Strom umwandeln können, ist es sinnvoll, den eintreffenden Laserstrahl nicht direkt auf die Solarzelle auftreffen zu lassen, sondern vorher möglichst über die gesamte Fläche der Solarzelle zu streuen. Dies habe ich mit zusammengeknäueltem Stanniolpapier realisieren können, welches sich in dem Rohr vor der Solarzelle befand. Das zusammengeknäuelte Stanniolpapier bewirkte, dass das in dem Rohr eintreffende Laserlicht gestreut und gebrochen wird und die gesamte Fläche der Solarzelle bestrahlt, um ein Maximales Empfangsergebnis zu erzielen.

#### **4.0 Problemanalyse**

Nach der ersten Inbetriebnahme des Versuchsaufbaus habe ich festgestellt, dass die Datenübertragung von Sender zu Empfänger erfolgreich war. Jedoch war die Qualität des übertragenen Audiosignals von geringer Qualität und klang sehr übersteuert und „blechern“. Die Qualität war jedoch ausreichend, um Sprache verstehbar zu übermitteln.

Für mich waren folgende Ursachen für die Qualitätseinbuße möglich:

##### **zu große Entfernung zwischen Sender und Empfänger bzw. falsche Ausrichtung von Sender / Empfänger**

###### Maßnahme:

Mehrfache Neuausrichtung und Positionierung

→ Problem nicht behoben

##### **Übersteuertes Audiosignal der Audioquelle**

###### Maßnahme:

Ausgangssignal des Senders wurde direkt an dem Eingang des Empfängers per Kabel gekoppelt und es wurde eine optimale Übertragungsqualität erreicht. (Signal war also nicht übersteuert)

Zusätzlich wurde die Lautstärke des Audiosignals vielfach verändert, was jedoch zu keiner Qualitätsverbesserung führte.

→ Problem nicht behoben

##### **Zu viel Störstrahlung (Tageslicht)**

###### Maßnahme:

Betrieb in Dunkelheit

→ Problem nicht behoben

##### **Solarzelle Reagiert nicht ausreichend auf Wellenlänge des Lasers**

###### Maßnahme:

Durchführung mit Lichtquellen verschiedener Wellenlängen.

Die Qualität war jedoch bei allen Farben (Weißes Licht) und Infrarotstrahlung genau so schlecht

→ Problem nicht behoben

## **Fehlerhafte Schaltung vom Empfänger**

### Maßnahme:

Der Empfänger hat eine klare 100Hz Schwingung von der am Netzstrom betriebenen Raumbelichtung empfangen.

Empfänger funktioniert folglich einwandfrei

→ Problem nicht behoben

## **Fehlerhafte Schaltung vom Sender**

### Maßnahme:

Das Ausgangssignal des Senders wurde direkt an dem Eingang des Empfängers per Kabel gekoppelt und es wurde eine optimale Übertragungsqualität erreicht.

Es war sogar noch eine optimale Datenübertragung gegeben, als das Kabel vom Sender zum Empfänger (an der Seite des Empfängers) abgezogen worden ist, so dass der Sender mit dem Kabel ein elektromagnetisches Feld erzeugte, welches durch Induktionen in den Leiterbahnen des Empfängers einen Strom induzierte, der durch den Verstärker des Empfängers deutlich hörbar gemacht wurde. Der Sender (ohne das Lasermodule!) funktionierte also einwandfrei.

→ Problem nicht behoben

## **Solarzelle Reagiert nicht ausreichend auf das übertragene Frequenzspektrum des Audiosignals**

### Maßnahme:

Die Audioquelle wurde durch einen regulierbaren Frequenzgenerator ersetzt. Es wurden Frequenzen von 100Hz- 14000Hz in optimaler Qualität übertragen. Diese Beobachtung hat mich zunächst verwundert, da ich davon ausgegangen bin, dass das übertragene Signal (wenigstens über einen kleinen Frequenzbereich, ähnlich dem des Audiosignals) ebenfalls „übersteuert“ und „blechern“ übertragen werden müsste, wie zuvor das Audiosignal übertragen wurde.

Nach weiteren Überlegungen bin ich zu dem Schluss gekommen, dass die Ursache des Problems folglich nur an dem Laser selbst liegen könne, da dies die einzig logische Möglichkeit wäre, nach dem vorherigen Ausschluss von Problemursachen.

Meine Vermutung war, dass der Laser zu „Binär“ auf das Audiosignal reagiert; dass seine Schwelle, wann er leuchtet und wann nicht, sehr gering ist, so dass kaum Zwischenzustände zwischen 100%-Leuchten und 0%-Leuchten existieren. Der Laser kann also vermutlich nur „zwei“ Amplituden wiedergeben: Hell und Dunkel. Es ist jedoch zwingend notwendig für die optimale Übertragung eines analogen Audiosignals (Sprache) und aus einer Vielzahl von verschiedenen Amplituden besteht, dass der Laser in der Lage ist, diese Amplituden des Audiosignals in Amplituden des Lichtsignals umzuwandeln. Wenn er dazu nicht in der Lage ist, so werden nur Maxima und Minima des Audiosignals übertragen, was dem „übersteuerten“ und „blechernen“ Empfang erklären würde.

Die Übertragung von dem Frequenzgenerator, also einer Sinusquelle, war nur „schein“-erfolgreich, denn dieses Signal wurde ebenfalls übersteuert. Dieses übersteuerte Sinussignal wurde folglich durch das Übersteuern zu einer Art Rechtecksignal. Dieses Rechtecksignal hört sich jedoch dem eines Sinussignals sehr ähnlich an, was dazu führte, dass man das Übersteuern nicht

wahrgenommen hat, da man einen gleichmäßigen „übersteuerten“ Ton gehört hatte. Denn wenn ein gleichmäßiges Signal mit immer den gleichen Amplituden (Sinus) übersteuert wird, so bleibt es auch nach dem Übersteuern gleichmäßig und schwingt mit der Frequenz des Ursprungsignals.

→ Ursache der Übersteuerung (LASER?) = Ursache des Problems!

Vermutung: Der Laser bereitet Probleme, Untersuchung folgt

### **Laser ist nicht geeignet für die analoge Datenübertragung**

#### Maßnahme:

Der Laser wurde durch diverse Leuchtdioden ausgewechselt, welches aber zu keinem befriedigenden Ergebnis führte.

Da mir die technischen Daten meiner „Austausch-Leuchtdioden“ nicht vorlagen und sie mit dem Auge betrachtet ähnlich „binär“ leuchteten; also nur wenige Helligkeitswerte annahmen, obwohl der elektrische Strom nur langsam erhöht wurde, beschloss ich mir eine Leuchtdiode zu besorgen, die in diese Hinsicht den vorherigen überlegen war und deutlich mehr Helligkeitswerte annehmen konnte; bzw. diese Helligkeitswerte auf einer breiteren Reaktionsschwelle lagen.

BEISPIEL<sup>2</sup>: Die vorherigen Leuchtdioden / Laser hatten bei 2,4V eine Leuchtstärke von 0% und bei 2,7V eine Leuchtstärke von 100%.

Das bedeutet, dass die Leuchtdioden / Laser alle Helligkeitswerte von 0%-100% innerhalb der Schwelle von nur **2,7V-2,3V = 0,4V** annehmen können.

Bei der neuen und besseren Leuchtdiode lag diese Schwelle bei **2,1V** (von 0,9V-3V).

Der Sender mit dieser neuen Leuchtdiode müsste also nun in der Lage sein, viel mehr verschiedene „Audioamplituden“, welche notwendig sind für eine gute Sprachübertragung, in verschiedenen Lichtamplituden umzusetzen.

Dies konnte von mir experimentell eindeutig nachgewiesen werden.

Nachdem ich den Laser durch diese Leuchtdiode ausgewechselt hatte, war die Übertragene Qualität des Audiosignals deutlich besser!

---

<sup>2</sup> Basiert auf eigene Messungen

## 5.0 Fazit:

Da die Datenübertragung mit einer simplen Leuchtdiode deutlich besser funktionierte als mit speziell meinem benutzten Lasermodul, habe ich mich entschieden, den Versuchsaufbau mit der Leuchtdiode zu betreiben. Ich könnte zwar ein Lasermodul benutzen, welches bessere Leistungsmerkmale für die akustische Datenübertragung besäße, jedoch würde dies meinen zu Beginn genannten Hauptkriterien widersprechen:

**Günstig, schnell, einfach und robust**

Ein derartiges Alternativlasermodul wäre nicht im angemessenen Rahmen „günstig“ und ebenfalls nicht so „robust“ wie eine simple Leuchtdiode und ich hätte die Schaltung des Senders für das neue Lasermodul erweitern müssen, welches den Versuchsaufbau ebenfalls störanfälliger und teurer machen würde.

Um trotzdem die Reichweite eines Lasers zu erhalten, könnte man den Lichtkegel der Leuchtdiode mit einer speziellen optischen Fassung bündeln, um höhere Reichweiten zu erzielen.

Solch eine optische Fassung wäre äußerst robust und kostengünstig ( $> 2\text{€}$ )<sup>3</sup>.

Meine zu Beginn genannten Hauptkriterien sind somit erfüllt und ich habe meine Idee positiv realisieren können.

## 6.0 Anhang:

### 6.1 Anwendungsbereiche

Anwendungsbereiche wären zum Beispiel denkbar, um Gipfelstationen / Wetterstationen zuverlässig und kostengünstig zu verbinden. Ebenfalls wäre der Einsatz an langen Stränden, bzw. großen Gewässern möglich, um einzelne Rettungsschwimmer-Stationen zu verbinden.

Einen großen Vorteil hätte sicherlich auch das Militär, um schnell abhörsichere Kommunikationsmöglichkeit zu stabilisieren, die ebenfalls deutlich portabler und unauffälliger sind, als schwere Militärfunkgeräte, die abhörbar sind und vor allem lokalisierbar sind, aufgrund der radialsymmetrischen Radiowellen Emission.

Wenn versucht wird, Daten abzuhören, die per Laserstrahl oder parallelen Lichtbündeln übertragen werden, hätte das einen deutlich hörbaren Abbruch der Kommunikation zum Empfänger zu Folge, da der Laserstrahl nur wenige Millimeter dick ist und ein Abhören durch ein in den Strahl gehaltenen Fotosensor diesen unterbrechen würde..

Wenn es sich außerdem noch um einen UV-Laser handelt, der nicht mit Hilfe einer „Staubprobe“ (Staub wird in den Laserstrahl geworfen, um ihn sichtbar zu machen) sichtbar gemacht werden kann, so hätte man ein nahezu perfektes abhörsicheres Kommunikationsmittel, welches sicherlich für das Militär von großen Nutzen wäre.

---

<sup>3</sup> Preise basieren auf [www.conrad.de](http://www.conrad.de)