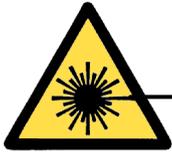


Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seitenzahl
1. Einleitung.....	2
2. Methoden und Vorgehensweise	4
a. Funktionsweise	4
b. Werdegang des Projekts	6
3. Ergebnisse	8
a. Frequenzmessung.....	8
b. Winkelmessung.....	9
c. Ermittlung der Koordinaten aus zwei Winkeln	11
4. Diskussion.....	13
5. Literaturverzeichnis/Danksagung.....	14
a. Literaturverzeichnis.....	14
b. Danksagung	14



1. Einleitung

Im Zuge der Modernisierung unserer Umwelt ist der Trend moderne elektronische Medien bei Präsentationen einzusetzen, hauptsächlich in der Wirtschaft, aber auch im Unterricht an den Schulen, deutlich spürbar. Klassische Unterrichtsmaterialien wie Overheadfolien, Wandplakate und Tafelanschriften werden durch moderne Computerpräsentationen über Beamer und Leinwand zwar nicht komplett abgelöst, aber deutlich ergänzt.

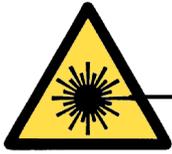
Bei Vorträgen, Projektpräsentationen und Referaten kann mit Hilfe dieser neuen Medien der Vortrag anschaulicher gestaltet werden. Die erstellten Dokumente zeichnen sich auch durch einfache Vervielfältigung, einfache Publikation und die Möglichkeit zur unkomplizierten Weiterverarbeitung aus.

Jedoch hat (fast) jedes System, das diese Präsentationen ermöglicht, seine Grenzen. Wenn ein Computer, ein Beamer und eine Leinwand eine Tafel ersetzen sollen, dann sollte das gezeigte Bild auch bearbeitet werden können.

Eine Bearbeitung über eine Tastatur und Maus ist nicht durchführbar. Der Referent müsste sich hierzu hinter einem Computermonitor platzieren und von dort aus die Daten eingeben. Er verschwindet dabei aus dem Blickfeld der Zuhörer, was erfahrungsgemäß ein Verlust der Aufmerksamkeit und eine Unterbrechung des Vortrages bewirkt. Eine mögliche Lösung für dieses Dilemma wäre eine "bearbeitbare Leinwand", ein riesiger Touchscreen, der auf Berührung reagiert, wie man es von Taschencomputern oder Videokameras kennt. Der Referent bleibt im Blickfeld der Zuhörer, und kann direkt mit der Hand oder mit einem Zeigestock Programme bedienen, Texte schreiben und produzierte Texte sichern.

Solche elektronische Wandtafeln gibt es bereits auf dem Markt. Die Firma Smart aus Kanada stellt das sog. "Smartboard" her. Andere Markennamen sind zum Beispiel "dlb", "AOFwb" oder "wb". Das Smartboard ist eine berührungssensitive Leinwand. Der größte Nachteil ist zurzeit noch der Preis. Die erhältlichen Modelle kosten zwischen 1200 und 4000 US\$. Außerdem sind sie mit einer Bilddiagonale von lediglich 150 cm relativ klein. Ein besonders großer Nachteil ist, dass sie nicht mobil sind. Die ganze Anordnung ist eben so groß wie die Leinwand.

Genau an diesen Punkten: Preis, Mobilität und Tafelgröße setzt mein, in der Zwischenzeit zum Patent angemeldetes, Verfahren an.



Mein System bietet folgende Vorteile:

- ❖ Durch einen modularisierten Aufbau lässt sich das System einfach an bereits vorhandenen Leinwänden oder Wänden anbringen.
- ❖ Die Größe der Leinwand ist variabel. Sie ist lediglich von der Anzahl der zur Verfügung stehenden Reflektionsleisten (Katzenaugen) abhängig.
- ❖ Durch einen mit einer Reflektionsspitze versehenen Spezialstift kann man sogar ganz auf die Reflektionsleisten verzichten. Dies ist vor allem bei einer mobilen Nutzung von Bedeutung.
- ❖ Je nach Anwendungsgebiet lässt sich ein Optimum zwischen Abtastfrequenz und Abtastgenauigkeit einstellen. Bisher ist dies bei keinem System möglich.
- ❖ Der Preis als Massenprodukts ist im Moment noch nicht kalkulierbar. Allerdings ist, im Vergleich zu anderen Systemen, mit einem geringen Preis zu rechnen.

Inzwischen habe ich meine Idee als Patent angemeldet. Die Patentunterlagen werden am Stand ausliegen



2. Methoden und Vorgehensweise

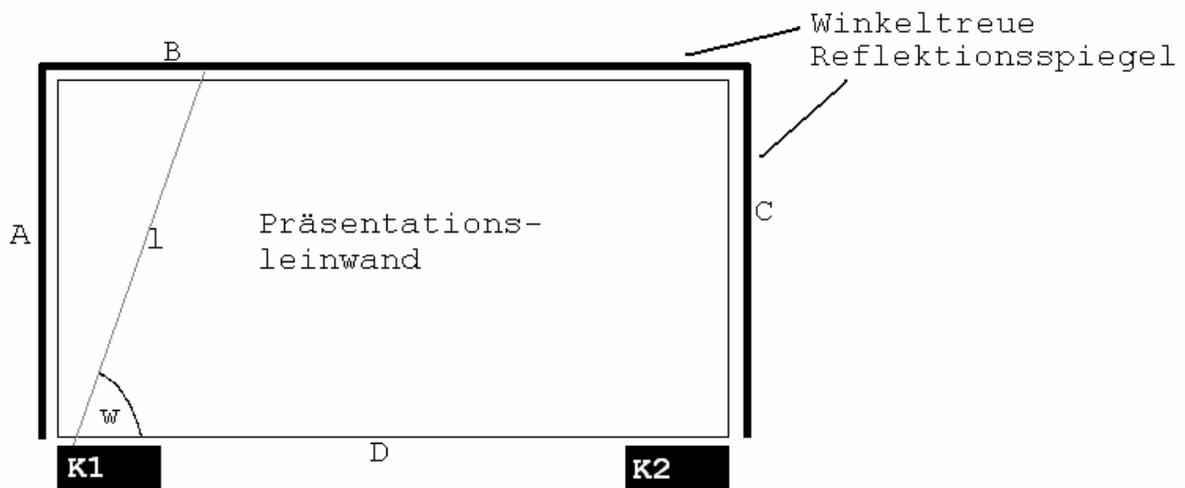
Zu welchem Zeitpunkt mir die Idee zu diesem Projekt kam, weiß ich nicht mehr. Anfang des Schuljahres 2002/2003 sollten wir im Informatikunterricht ein selbst ausgewähltes Projekt bearbeiten, das ich zusammen mit Thomas Holder anging.

a. Funktionsweise

Mein System besteht aus folgenden Komponenten (die Bezeichnungen beziehen sich auf Abbildung 1 und 2):

- ❖ Laserdiode, die einen gebündelten Laserstrahl (a) erzeugt
- ❖ Halbdurchlässiger Spiegel (S2)
- ❖ Drehspiegel (S3)
- ❖ Lichtsensor (Detektion) und Elektronik
- ❖ Winkeltreue Spiegel (Katzenaugen; A, B, C)

Abbildung 1 (Gesamter Aufbau):



Die Kästen K1 und K2 entsprechen dem Aufbau in Abbildung 2.

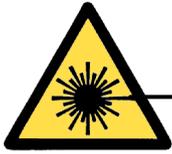
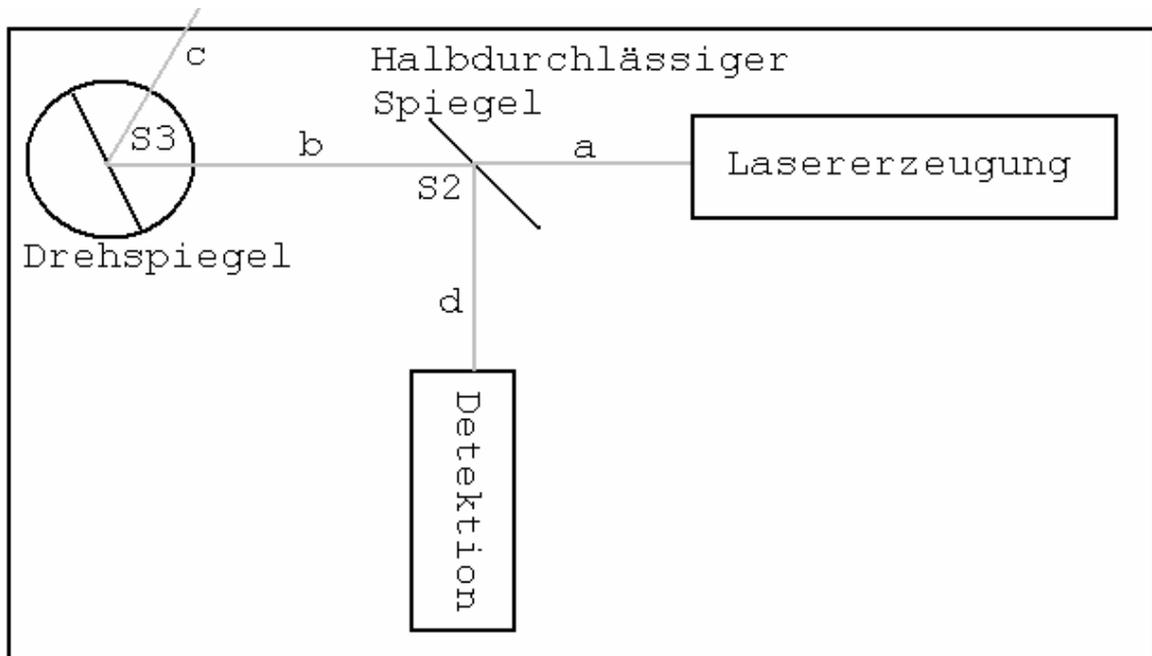


Abbildung 2 (Innerer Aufbau):



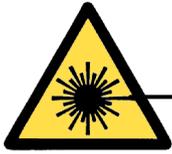
K1

Die gesamte Anordnung braucht man zweimal, um eine Eingabe auf einer zweidimensionalen Fläche (der Leinwand eben) zu detektieren. Es ergibt sich ein Aufbau entsprechend Abbildung 1.

Mein System soll wie folgt funktionieren:

Die gesamte Anordnung befindet sich in der Ebene der Präsentationsleinwand. Ein Lasermodul sendet einen Laserstrahl (Abb1: a) aus. Der Strahl trifft auf einen halbdurchlässigen Spiegel (Abb1: S2; Strahlteiler). Der Teil des Strahls (Abb1: b), der im Moment interessiert, geht hindurch und trifft auf einen Drehspiegel (Abb1: S3). Dieser lenkt ihn in Richtung Präsentationsleinwand ab. Trifft der Strahl (Abb2: I) nun auf einen winkeltreuen Spiegel (Abb2: A, B oder C; Katzenauge), so wird der Strahl exakt gleich zurück gestrahlt, wie er gekommen ist. Als erstes trifft er erneut auf den Drehspiegel (Abb1: S3). Dieser befindet sich noch in der gleichen Stellung, in der der Strahl ihn beim ersten Kontakt aufgefunden hat, da die Lichtlaufzeiten bei diesen kurzen Entfernungen zu vernachlässigen sind. Als nächstes trifft der reflektierte Strahl (Abb1: b) auf den halbdurchlässigen Spiegel. Ein Teil geht durch ihn hindurch, ein anderer wird von ihm abgelenkt. Der abgelenkte Teil (Abb1: d) trifft auf eine Detektionseinrichtung.

Man erhält die Information, ob der Strahl an einem Katzenauge reflektiert wurde, oder nicht. Ist der ganze Rand der Leinwand mit Katzenaugen bestückt, so erhält man ein konstantes Signal, welches



nur dann kein Signal liefert, wenn der Strahl z.B. durch einen Finger unterbrochen wurde.

Mit einem solchen Aufbau lässt sich ein Winkel messen. Will man nun die Koordinaten in einem zweidimensionalen Raum, wie zum Beispiel einer Leinwand, benötigt man den gesamten Aufbau ein zweites Mal. Man hat zwei Winkel und eine Strecke (Abstand der zwei Aufbauten). Ein Dreieck ist somit komplett beschrieben. Zwei Punkte des entstandenen Dreiecks sind die Aufbauten, der Dritte ist der Finger, der den Laserstrahl unterbrochen hat.

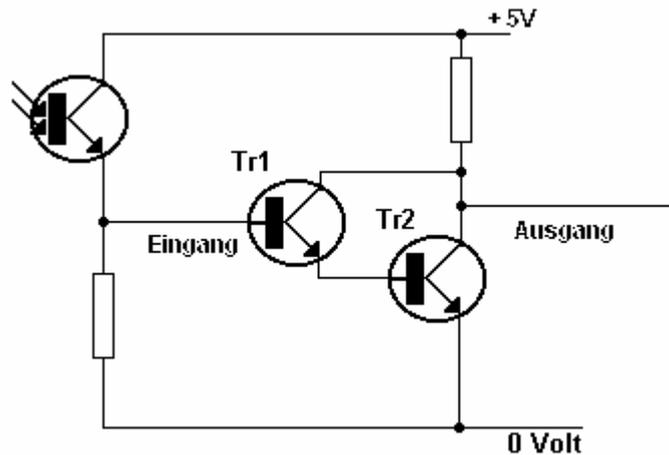
b. Werdegang des Projekts

Den ersten Versuchsaufbau bauten wir am 19. August 2002 auf. Wir zersägten einen Kosmetikspiegel und klebten die Stücke zu einem Dreieck zusammen. Dieses „Spiegeldreieck“ setzten wir auf einen Gleichstrommotor. Wir hatten unseren ersten Drehspiegel. Mit einem handelsüblichen Laserpointer bestrahlten wir die Spiegel. Den abgelenkten Strahl fingen wir mit einem Fotowiderstand auf. Dieser Fotowiderstand war Teil einer Spannungsteilerschaltung an der Basis eines Transistors. Am Emitter des Transistors konnte man eine Spannung abgreifen, die sich auf dem Oszilloskop darstellen lässt. Leider war der Fotowiderstand sehr träge, was kein schönes Bild auf dem Oszilloskop ergab. Trotzdem konnte man die Frequenz, mit der sich der Drehspiegel drehte ablesen.

Da das Ergebnis nicht zufrieden stellend war, baute ich eine neue Schaltung. Diesmal mit einem Phototransistor (BP103) und einem Verstärker in Form einer Darlingtonschaltung.



Abbildung 3 (Detektionsschaltung):



Mit der verbesserten Schaltung erhielt ich bedeutend bessere Werte. Auf dem Oszilloskop (Tektronix TDS 220, digitales Speicheroszilloskop, 100 MHz) konnte man die Peaks der Signale perfekt erkennen (siehe Abbildung XX unter Ergebnisse).

Die folgenden Arbeitsschritte waren hauptsächlich durch Materialsuche bestimmt.

Zunächst musste ein halbdurchlässiger Spiegel (Strahlteiler) gefunden werden. Die Glaserei Kugel aus Pliezhausen stellte mir freundlicherweise einen so genannten Spionspiegel zur Verfügung, welcher nur einen Teil des eintreffenden Lichtes durch lässt und den anderen Teil zurück spiegelt. Dieser Spiegel besteht allerdings aus zwei Glasscheiben. Der Strahl wird zweimal gebrochen und dadurch unscharf. Professionelle Strahlteiler würden jedoch den Kostenrahmen des Projekts sprengen. Aus diesem Grund testete ich die Eigenschaften von normalem Fensterglas.

Der selbst gebastelte Drehspiegel hatte keine besondere Laufruhe und Präzision. Aus einem alten Laserdrucker bekam ich einen neuen Spiegel mit Lager und Motor. Die Schrittmotoransteuerung erschien allerdings zu kompliziert, so dass ich einen Gleichstrommotor als Antrieb benutzte.

Der bisher verwendete Laserpointer zur Laserstrahlerzeugung war nicht besonders lichtstark, weshalb ich einen Laser der Klasse IIIA, mit einer Leistung 3mW (<5mW) und einer Wellenlänge von 630-680 nm besorgte.

Es folgte ein stabiler Aufbau des Experiments mit allen neuen Komponenten auf einem kleinen Holzbrett.

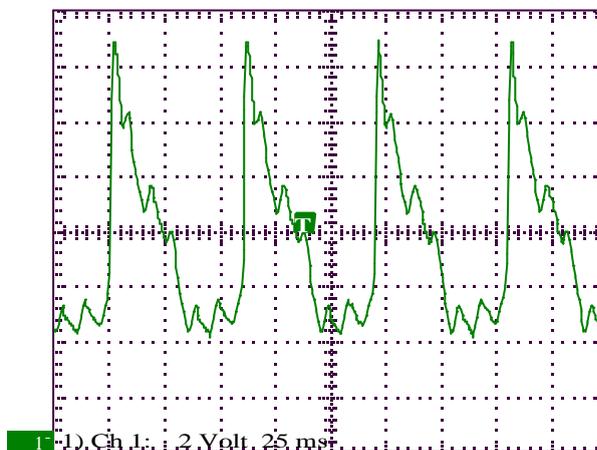


3. Ergebnisse

a. Frequenzmessung

Als erstes wurde die Frequenz des selbst gebastelten Drehspiegels gemessen. Die Messung erfolgte mit einem einfachen Fotowiderstand, aber der Typ war leider nicht auszumachen. Ein Oszilloskop kann nur Spannungen anzeigen. Darum wandelt ein Transistor mit dem Fotowiderstand an der Basis diesen Widerstand in eine Spannung um und verstärkt diese zugleich.

Abbildung 4 (Frequenzmessung mit Photowiderstand)

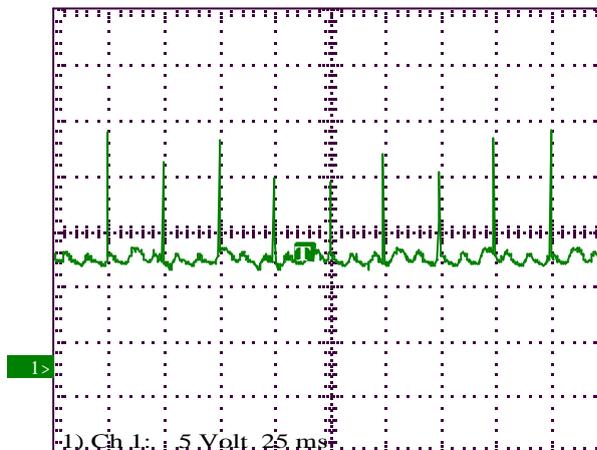


Gut erkennt man, dass der Fotowiderstand sehr träge ist. Das bedeutet, dass der Moment des Lichtimpulses nur sehr kurz ist, der Fotowiderstand jedoch ein sehr langes Signal ausgibt. Die ansteigende Flanke ist mit 3,6375 ms bereits annehmbar steil. Allerdings ist die abfallende Flanke mit 29,475 ms deutlich zu langsam.

Die gleiche Messung erzielt mit dem schnellen Phototransistor BP103, der auch, anstelle des langsamen Photowiderstand, zur IR-Datenübertragung im EDV-Bereich eingesetzt wird, viel bessere Werte.

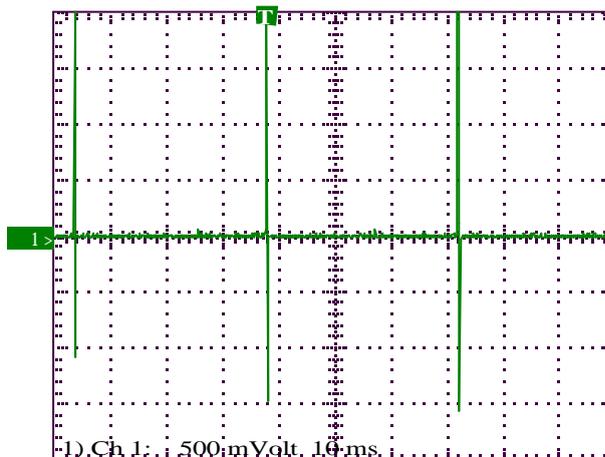


Abbildung 5 (Frequenzmessung mit BP103)



Baut man nun noch einen Kondensator ein, oder stellt das Oszilloskop in den AC-Betrieb, so erhält man eine „perfekte“ Kurvenform.

Abbildung 6 (Frequenzmessung mit BP103 und AC)



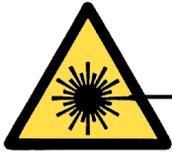
Die Frequenz lässt sich nun ganz einfach ablesen. In Abbildung 6 beträgt die Frequenz 22,81 Hz.

Die Flanken steigen und fallen in der Größenordnung von μ -Sekunden.

b. Winkelmessung

Ein Objektträgerglas erfüllte im Versuch alle Anforderungen eines Strahlteilers. Die Eigenschaften, wie Teilverhältnis und Streuverluste, waren bei einem geringeren Preis sogar besser als die eines Spionspiegels.

Der Drehspiegel reflektiert auf zwei Seiten. Ein halber Umlauf entspricht somit 180° . Er dreht sich mit konstanter Drehfrequenz f .



Daraus ergibt sich eine Periodendauer von $T = f^{-1}$. Pro Periodendauer erhält man zwei „Nulldurchgänge“, bei denen der Drehspiegel den Laserstrahl exakt so zurück strahlt, wie er eingefallen ist.

Ergibt sich eine Reflektion an einem Katzenauge, so gibt es einen weiteren Impuls.

Die Gerade I geht zum ersten durch den Drehspiegel (S3 in Abbildung 3) und zum anderen durch den Punkt der Reflektion durch ein Katzenauge.

α gibt den Winkel zwischen der Achse des Laserstrahls (α und β in Abbildung 2) und der Geraden I in Rotationsrichtung des Drehspiegels an.

t_0 ist die Zeit, die seit dem letzten Nulldurchgang verstrichen wird. Es gilt :

$$0 < t_0 < \frac{T}{2}$$

Mit Hilfe dieser Überlegung lässt sich der Nulldurchgang immer zweifelsfrei detektieren.

360° entsprechen einer halben Periodendauer, da an einem Spiegel der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ist.

Allgemein gilt:

$$\alpha = 360^\circ \cdot \frac{2}{T} \cdot t_0$$

Somit gilt $\alpha \sim t_0$, wobei der Proportionalitätsfaktor $360^\circ \cdot \frac{2}{T}$ nur von der Drehfrequenz f abhängt.

Es folgen zwei Beispiele:

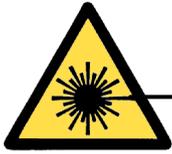
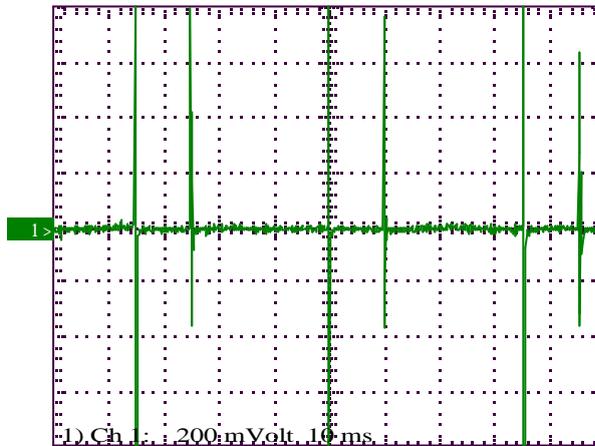
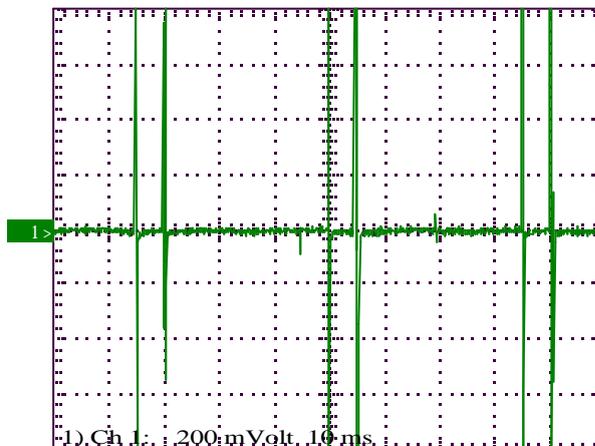


Abbildung 7 (Winkelmessung 90°)



In Abbildung 7 ist der erste Peak der Peakpaare der Nulldurchgang. Die Zeit t_0 bis zum zweiten Peak beträgt etwa ein Viertel der Zeit bis zum darauf folgenden zweiten Nulldurchgang. Daraus folgt: $\alpha = 90^\circ$

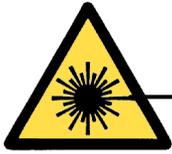
Abbildung 8 (Winkelmessung 45°)



In Abbildung 8 ist wiederum der erste Peak der Peakpaare der Nulldurchgang. Die Zeit t_0 bis zum zweiten Peak beträgt etwa ein Achtel der Zeit bis zum darauf folgenden zweiten Nulldurchgang. Daraus folgt: $\alpha = 45^\circ$

c. Ermittlung der Koordinaten aus zwei Winkeln

Aus zwei bekannten Winkel und zwei bekannten Punkten (Position der Kästen) lässt sich nun einfach der Punkt der Eingabe auf der Ebene der Präsentationsleinwand berechnen.



Nehmen wir folgendes Beispiel entsprechend Abbildung 1 an:

Die Kästen K1 und K2 befinden sich am unteren Ende der Leinwand. Ihr Abstand d beträgt 2 Meter. Der Kasten K1 misst einen Winkel $\alpha_1 = 30^\circ$ und der Kasten K2 misst $\alpha_2 = 45^\circ$ jeweils gegenüber der Geraden (D) durch K1 und K2.

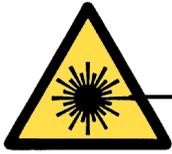
Somit befindet sich der Punkt der Eingabe

$$x = \frac{\tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \cdot d = 1,267m$$

rechts des Kastens K1 und

$$y = \tan \alpha_1 \cdot x = 0,732m$$

oberhalb des Kastens K1.



4. Diskussion

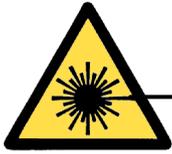
Die Versuche verlaufen bis jetzt sehr viel versprechend.

Die Grundidee, die Winkelmessung mit Hilfe des oben beschriebenen Systems, funktioniert mit Hilfe des Oszilloskop bereits sehr gut. Als Nächstes muss die Anordnung ein zweites Mal aufgebaut werden, so dass auch Koordinaten in einem zweidimensionalen Raum messbar sind.

Die ersten Probleme, die schlechte Verstärkerschaltung und der mangelhafte Photowiderstand sind behoben. Die Verstärkerschaltung erzeugt nun steile Flanken. Das Rauschen ist minimal. Was noch zu verbessern ist, ist die Anpassung an verschiedene Lichtverhältnisse, was bisher manuell eingestellt wird. Dies könnte durch einen separaten, sich nicht im Strahl befindlichen, Phototransistor geschehen. Eine andere Möglichkeit wäre die Verwendung eines Tageslichtfilters, der nur die vom Laser ausgesandten Wellenlängen hindurch lässt.

Ziel des Projekts war es, eine kostengünstige Alternative zu den bereits vorhandenen Produkten zu liefern. Der Preis der Komponenten, die bis jetzt verbaut worden sind, liegt bei unter 50€. Nun kommen noch Elektronik-, Software- und Arbeitskosten hinzu. Eine Abschätzung wie hoch der spätere Marktpreis sein wird, lässt sich zu diesem Zeitpunkt noch nicht machen. Ein deutlich attraktiverer Preis, als die derzeit auf dem Markt befindlichen Alternativen, ist jedoch nicht.

Was noch Probleme macht, ist die Materialbesorgung. Ich konnte noch immer keinen Lieferanten für präzise Katzenaugen ausmachen.



5. Literaturverzeichnis/Danksagung

a. Literaturverzeichnis

Es wurde keine Literatur verwendet.

b. Danksagung

Danken möchte ich

- ❖ *Christoph Pasch* für seine unermüdliche Unterstützung, insbesondere was Materialfragen angeht
- ❖ *Thomas Holder* für seine Unterstützung im ersten Teil des Projekts
- ❖ *Jürgen Baur* für die Unterstützung im Informatikunterricht
- ❖ der *Glaserei Kugel* für die Spionspiegel
- ❖ *Armin Beck* für seine Unterstützung in patentrechtlichen Fragen
- ❖ *Ilse Rein* für Korrekturen an den schriftlichen Arbeiten
- ❖ *Gerhard Zwanger* für alle Antworten bezüglich des Schullasers