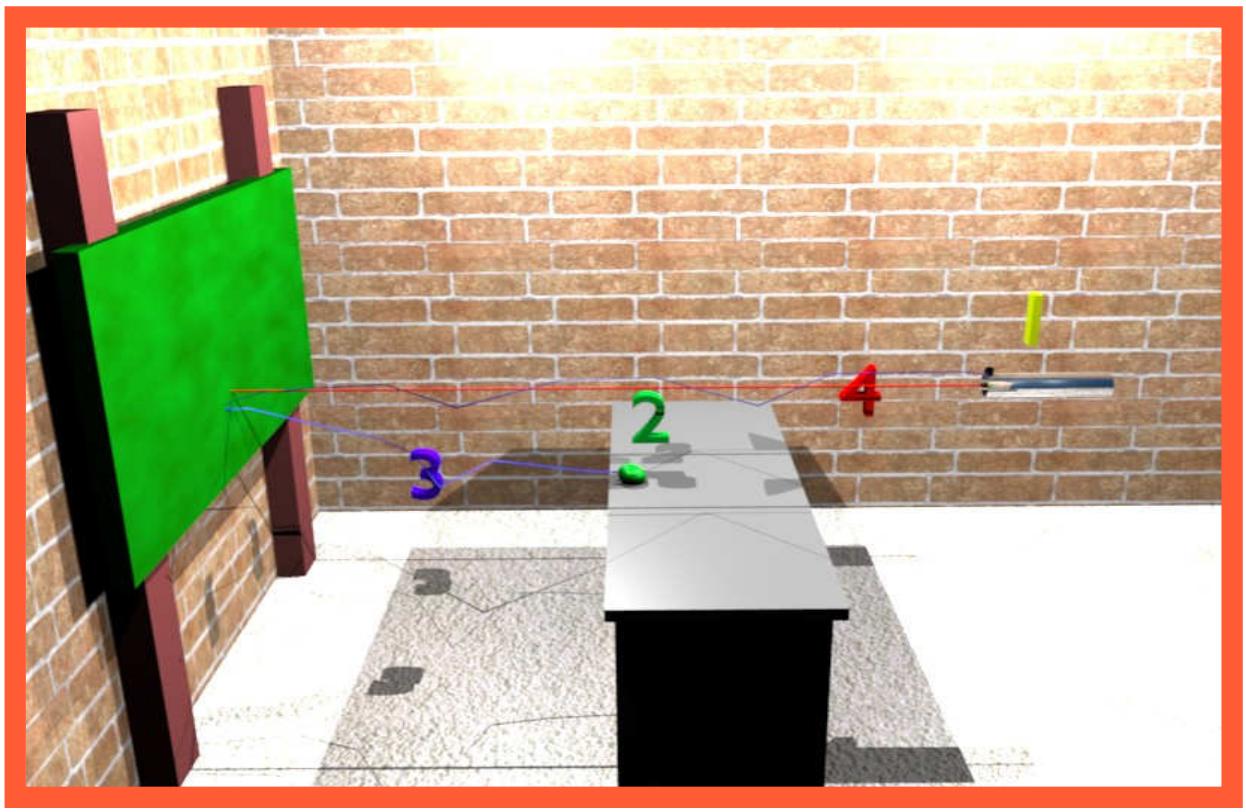
Der sichere Laserpointer



Schüler-experimentieren 2007

Cai-Oliver Thier

Gliederung:

1. Kurzfassung **2**

2. Das Problem **2**

3. Die Idee **2**

4. Die Fernsehfernbedienung **2**

5. Das Grundschema **5**

6. Der IR-Wandschalter **6**

7. Die IR-Lichtschranke **8**

8. Die analoge Schaltung **9**

9. Die digitale Schaltung **11**

10. Die zweite analoge Schaltung **12**

11. Danksagung **13**

12. Literatur **13**

13. Anhang **13**

1. Kurzfassung

Laserpointer sind eine potenzielle Gefahrenquelle für unsere Augen, da sie aufgrund ihres gebündelten Strahls starke Sehschäden bewirken können. Deshalb sind sie, obwohl sie ein hervorragender „Zeigestock“ sind, an Schulen verboten.
Dieses Problem habe ich nach zahlreichen Versuchen mit Erfolg gelöst. Das Grundprinzip meiner Entwicklung besteht aus einem IR-Sender der ein codiertes hochfrequentes Signal auf die Leinwand bzw. Tafel sendet und einer am Laser angebrachten Elektronik, die dafür sorgt, dass der Laser nur dann eingeschaltet werden kann, wenn er auf die Leinwand oder die Tafel gerichtet ist. So ist sichergestellt, dass der Vortragende die Augen seiner Zuhörer nicht schädigen kann.

2. Das Problem

Es ist schon oft passiert und es endet meistens mit Sehschäden. Der Strahl eines Lasers ist gefährlich für unser Auge. Er verletzt die Netzhaut und sorgt so für Sehfehler (siehe Anhang Kapitel 13). Dies ist auch der Grund, warum Laserpointer an Schulen verboten sind, obwohl sie sich hervorragend als „Zeigestock“ eignen. Deshalb habe ich es mir zum Ziel gemacht dieses Problem zu lösen, damit man diesen wunderbaren „Zeigestock“ bei allen Vorträgen, also auch in der Schule, gefahrlos einsetzen kann.
Doch wie macht man einen Laserpointer sicher? Das sehr helle, gebündelte Licht, was ja eine Grundvoraussetzung für einen guten „Zeigestock“ ist, darf natürlich nicht geschwächt werden. Eine andere, eine neue Idee musste her!

3. Die Idee

Nach einer langen Denkphase kam mir endlich die entscheidende Idee: Ein optischer Sensor! Er könnte - mit einer entsprechenden Elektronik versehen - erkennen, wann man sich von der Tafel oder der Leinwand wegdreht und dann sofort den Laserpointer ausschalten.

4. Die Fernsehfernbedienung

Damit meine Idee funktioniert, muss von der Tafel oder der Leinwand ein Licht ausgehen, welches sich von dem anderen Raumlicht unterscheidet. Meine erste Idee war, die Bildwiederholungsfrequenz bei der Beamerprojektion auszunutzen. Ein Beamer sendet zum Beispiel mit einer Bildwiederholungsfrequenz von 75 Hertz auf eine Leinwand. Meine Elektronik erkennt dies und schaltet den Laserpointer sofort aus, wenn es dieses Signal nicht mehr empfängt.
Nun gab es aber zwei Probleme. Das erste war, dass eine mit Kreide beschriebene Tafel überhaupt keine Bildwiederholungsfrequenz besitzt. Das zweite war, dass in den Klassenräumen meiner Schule Leuchtstofflampen hängen, die hundertmal in der Sekunde an- und ausgehen. Diese können meine Elektronik leicht verwirren.

Seltsamerweise kann man aber ein Fernsehgerät auch bei eingeschalteten Leuchtstofflampen mit einer Infrarotfernbedienung problemlos bedienen. Hier stört das 100Hz-Signal der Leuchtstofflampen nicht. Ob dies am Infrarotlicht liegt oder andere Gründe hat, untersuchte ich mit einem Foto-Transistor und einem Oszilloskop (Abbildung 1 - 3).

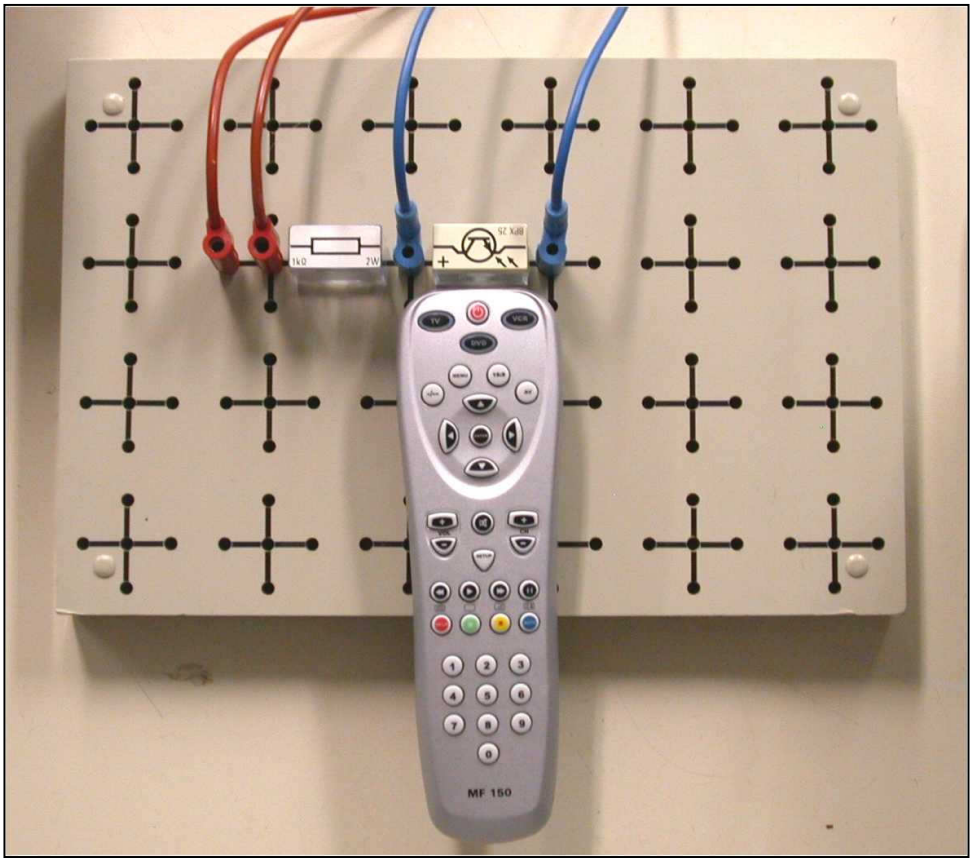


Abb. 1: Signalüberprüfung bei der Infrarotfernbedienung

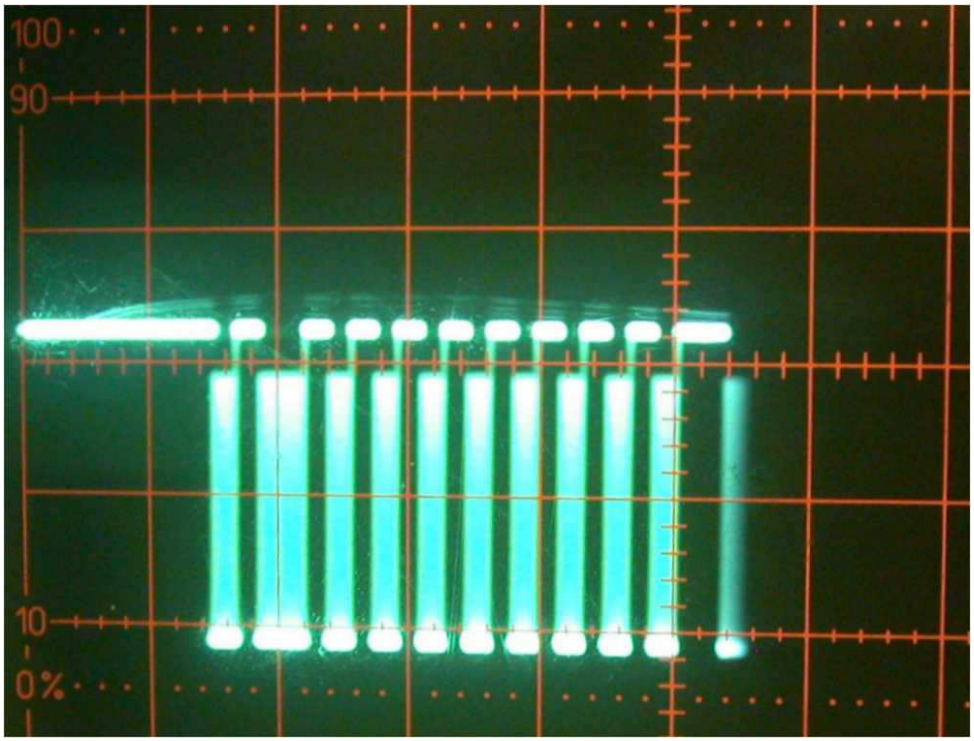


Abb. 2: Codiertes Signal der Fernbedienung

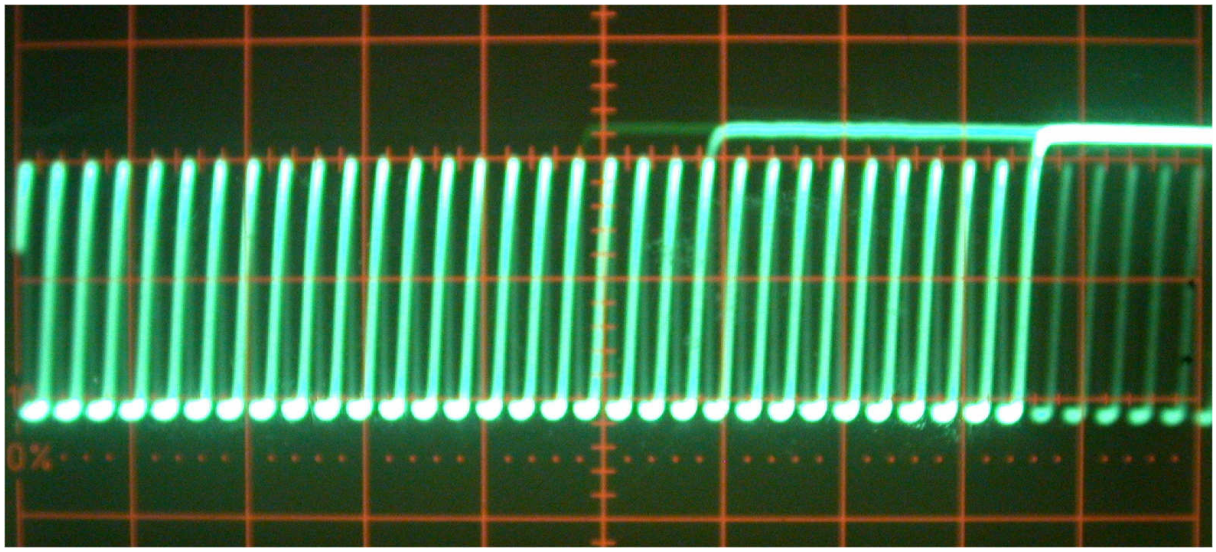


Abb. 3: Bei dieser Ausschnittsvergrößerung des codierten Signals erkennt man die Trägerfrequenz

Nach meinem Versuch wusste ich, warum die Leuchtstofflampen nicht stören. Es liegt nicht am Infrarotlicht. Die Ferndienung sendet ein codierte Signale für jeden Befehl aus (Abb. 2) und benutzt als Trägerfrequenz ein hochfrequentes Signal (Abb. 3) welches deutlich über 100Hz liegt. Dies muss die Lösung sein dachte ich mir!

So ging ich in ein Elektronikgeschäft um mir eine Infrarotempfangseinheit für ein Fernsehgerät zu kaufen Doch leider sagte man mir, dass man eine solche Empfangseinheit nicht einzeln kaufen kann. Wenn, dann müsste ich mir schon ein komplettes Fernsehgerät kaufen. Dies wollte ich aber nicht. Schließlich bekam ich einen alten Videorecorder geschenkt.
Ich machte mich sofort ans Werk und schraubte den Videorekorder auseinander.

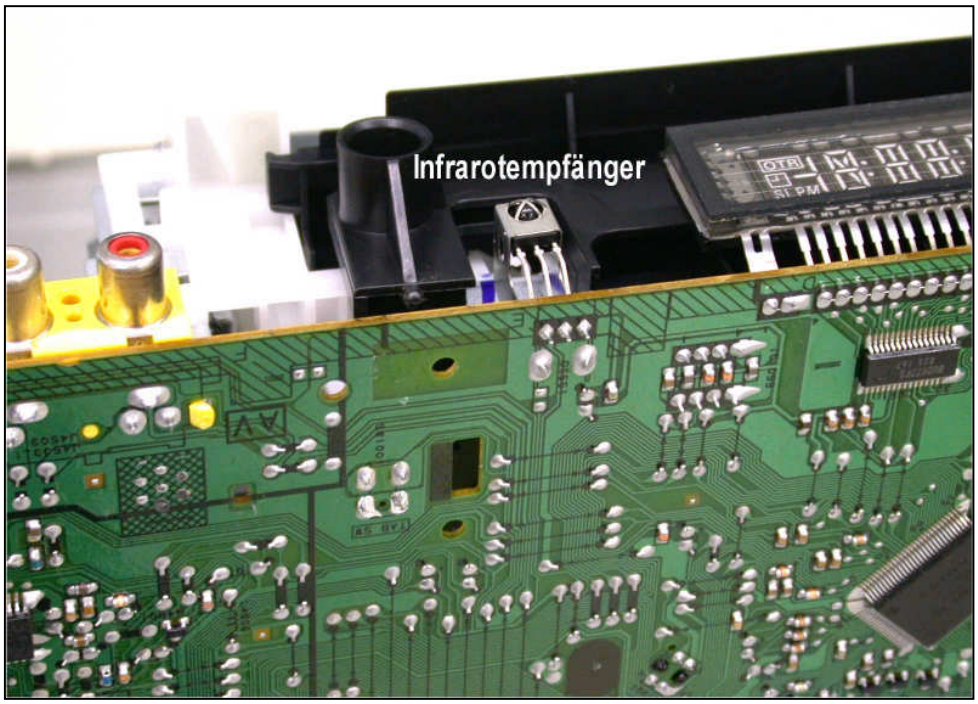


Abb. 4: Infrarotempfänger auf der Platine des Videorecorders

Wie man auf der Abbildung 4 erkennen kann, ist die Auswerteelektronik für die Infrarot-empfangsdiode auf der Platine des Videorecorders integriert. Also viel zu kompliziert und zu groß, um sie auf einen Laserpointer zu setzen.

5. Das Grundschema

Obwohl ich die Empfangseinheit des Videorecorders nicht verwenden konnte, so wusste ich jetzt jedoch wie das Grundschema meiner Erfindung aussehen sollte (Abb. 5).

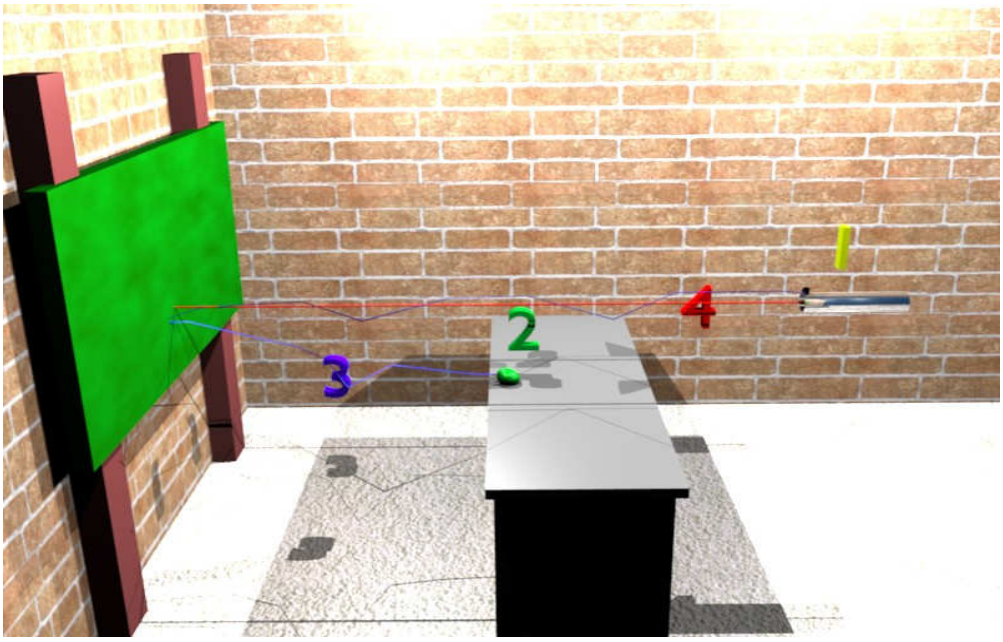


Abb.5: Grundschema meines Projektes

Wie man in der Abbildung sehen kann, trägt der Laserpointer zusätzlich eine kleine IR-Empfangsdiode auf seinem Gehäuse (1). Auf einen Tisch oder im Beamer eingebaut befindet sich einen kleinen Sender (2), der dauerhaft ein codiertes hochfrequentes IR-Signal zur Tafel bzw. zur Leinwand sendet (3). Sobald dieses Signal von der Diode auf dem Laserpointer empfangen wird, kann der Laserpointer eingeschaltet werden (4). Dreht man sich nun von der Tafel oder Leinwand weg, so bekommt der Laserpointer kein Signal mehr und schaltet sich auch bei gedrückter Einschalttaste automatisch aus. So kann man den Zuhörern nicht mehr in die Augen leuchten. Der Laserpointer kann somit als nützlicher und sicherer „Zeigestock“ benutzt werden.

6. Der IR-Wandschalter

Um mir noch eine Schaltung anzusehen, die einen IR-Empfänger benutzt, bestellte ich mir einen so genannten IR-Wandschalter, den man mit einer normalen Fernsehfernbedienung ein- und ausschalten konnte.

Abb. 6: Der IR-Wandschalter

Ich schraubte sein Gehäuse auseinander und musste feststellen, dass er erstens auch eine gedruckte Schaltung besaß und zweitens einen 230 V Anschluss brauchte um zu funktionieren. Also war er für meinen Zweck nicht geeignet.

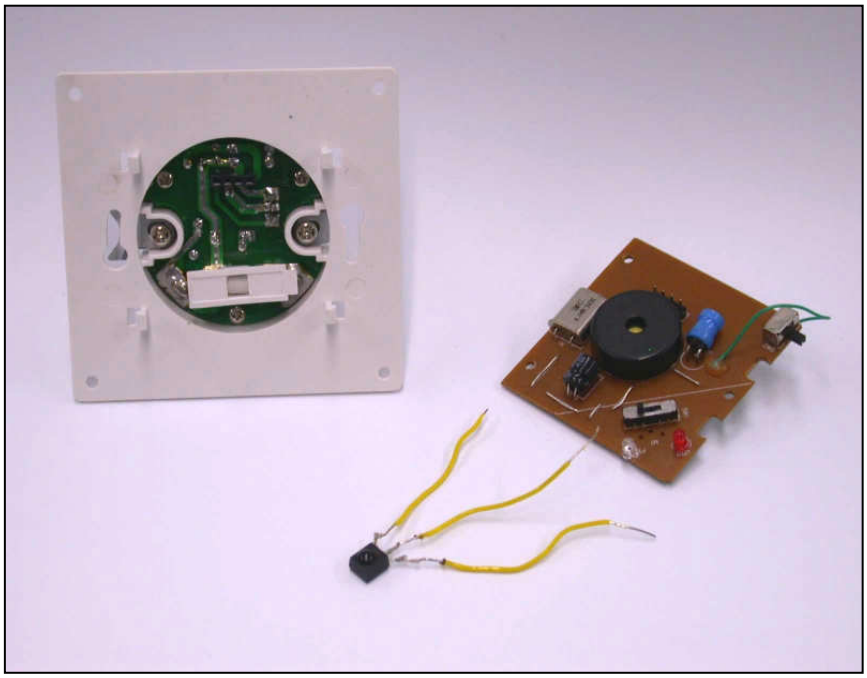


Abb. 7: Die Innereien des Wandschalters

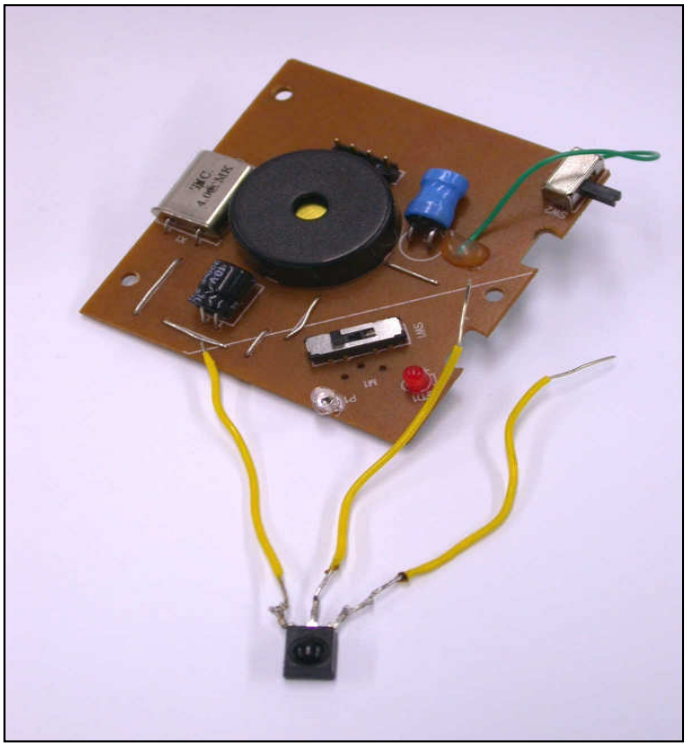


Abb. 8: Die Empfangsdiode

Ich stelle allerdings fest, dass der IR-Empfänger 3 Anschlüsse hatte. Außer Plus und Minus gab es noch einen dritten Pin. Es musste wohl einen sogenannter Output sein, der ein Signal sendet, sobald der IR-Strahl auf die Diode trifft. Diese Funktionsweise erinnerte mich stark an einen Foto-Transistor. Um diese Vermutung zu bestätigen, baute ich einen Versuch auf, mit dem ich ein Output-Signal messen wollte. Und tatsächlich stellte ich fest, dass ein Signal an einem der 3 Pins zu messen war, wenn die Fernsteuerung auf die Diode leuchtete. Nach weiteren Versuchen war die Diode aber schließlich defekt und ich konnte sie nicht weiter benutzen. Für meinen Zweck wäre die gesamte Schaltung sowieso zu groß gewesen.

7. Die IR-Lichtschranke

Um auch letzte Zweifel über die Schaltung mittels IR-Diode zu vertreiben kaufte ich eine IR-Lichtschranke, die aufklären sollte wie eine Schaltung mittels einer IR-Diode funktioniert. Nach der Beschreibung sollte diese Lichtschranke einen Alarm auslösen, sobald das Signal mit dem Sender verloren geht um so Einbrecher vertreiben. Für meine Zwecke also ideal.

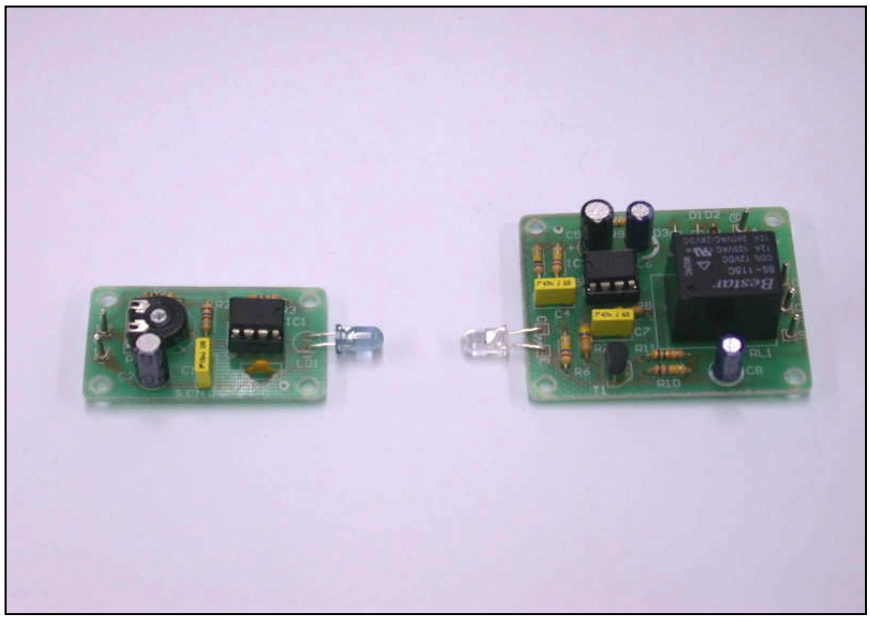


Abb. 9: Die Lichtschranke

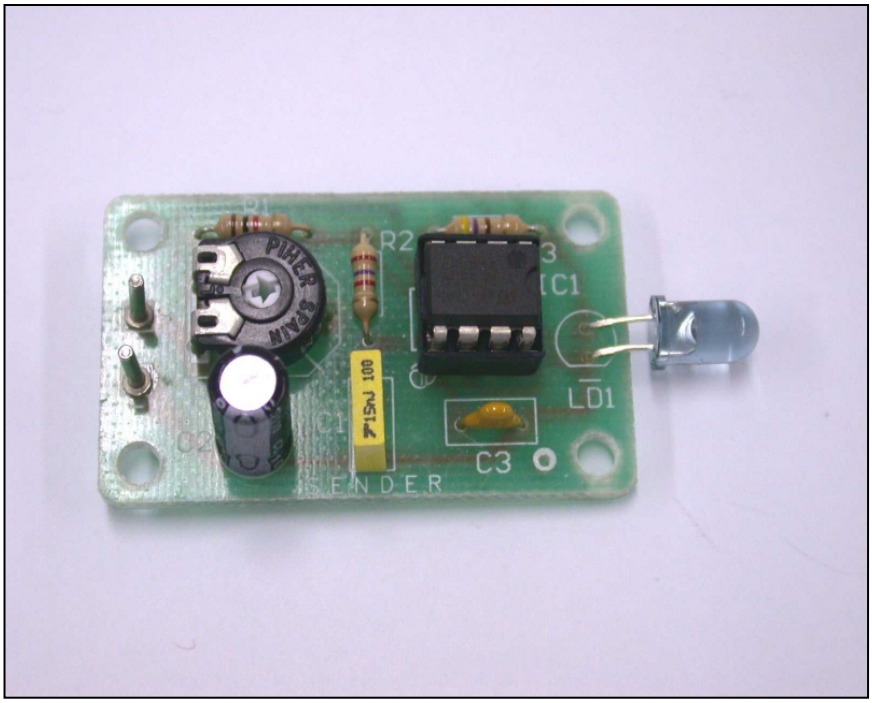


Abb. 10: Die Sendeeinheit der Lichtschranke

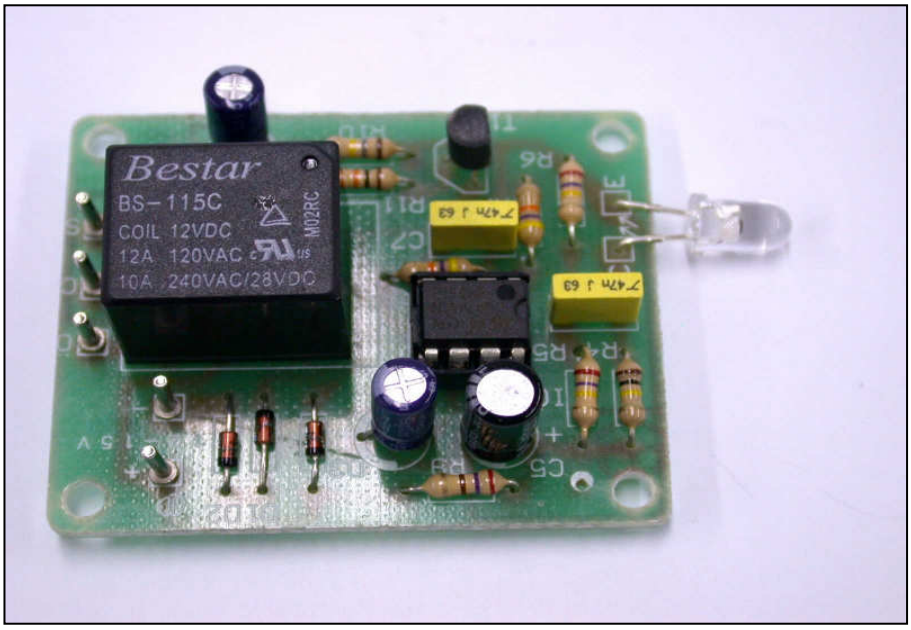


Abb. 11: Die Empfangseinheit der Lichtschranke mit Relais

Die Lichtschranke bestand aus einem Set zum Selbstbau und so konnte ich mir die Schaltung gut anschauen. Nach einer Stunde mit dem Lötkolben war die Lichtschranke fertig und ich fing meine Versuche an. Ein Vorteil von dieser Lichtschranke war, dass sie nur maximal 5V brauchte um ihren Dienst zu tun. So rückte der sichere Laserpointer in greifbare Nähe, denn man könnte die Sicherheitsvorrichtung mit den Batterien vom Laserpointer betreiben. Beim Anschluss und ersten Funktionstest zeigten sich dann erste Probleme, denn die Lichtschranke benutzte zum Schalten ein großes Relais,dass sobald man das Signal unterbrach, eine Verzögerung von etwa 1-2 Sekunden aufwies bis es schaltete. Deswegen wurde auch diese Idee von mir verworfen, denn der Laserpointer würde erst zu spät reagieren und würde immer noch einen erhöhtes Sicherheitsrisiko darstellen. Es musste also eine Lösung her die einfach ist, schnell reagiert und trotzdem preiswert ist. Und so kam ich schließlich zu meiner ersten eigenen Schaltung.

8. Die analoge Schaltung

Die analoge Schaltung war ein große Schritt zum sicheren Laserpointer. Sie besteht aus einem Schwingkreis und einem Foto-Transistor, der die IR-Strahlen erkennt (Abb. 12). Der Foto-Transistor lässt den Strom nur fließen, wenn Licht auf seine Basis fällt. Da die Fernbedienung hochfrequentes Licht aussendet, habe ich den Schwingkreis so angepasst, dass er bei dieser Frequenz sperrt. D.h., er besitzt dann einen besonders großen Widerstand und an der Basis des normalen Transistors liegt somit eine so hohe Spannung an, dass er durchschaltet und die Lampe (Laserersatz) leuchtet. Somit hatte ich mein Ziel erreicht, da nun ein sicherer Betrieb gewährleistet ist und der Laserpointer könnte wieder an Schulen benutzt werden.

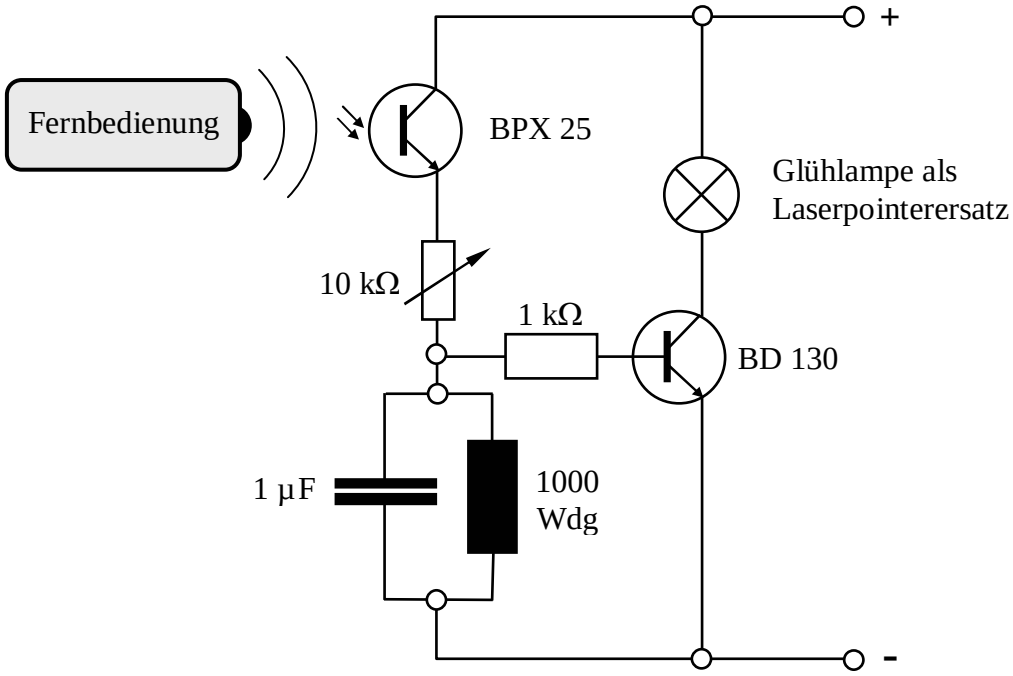


Abb. 12: Die analoge Schaltung

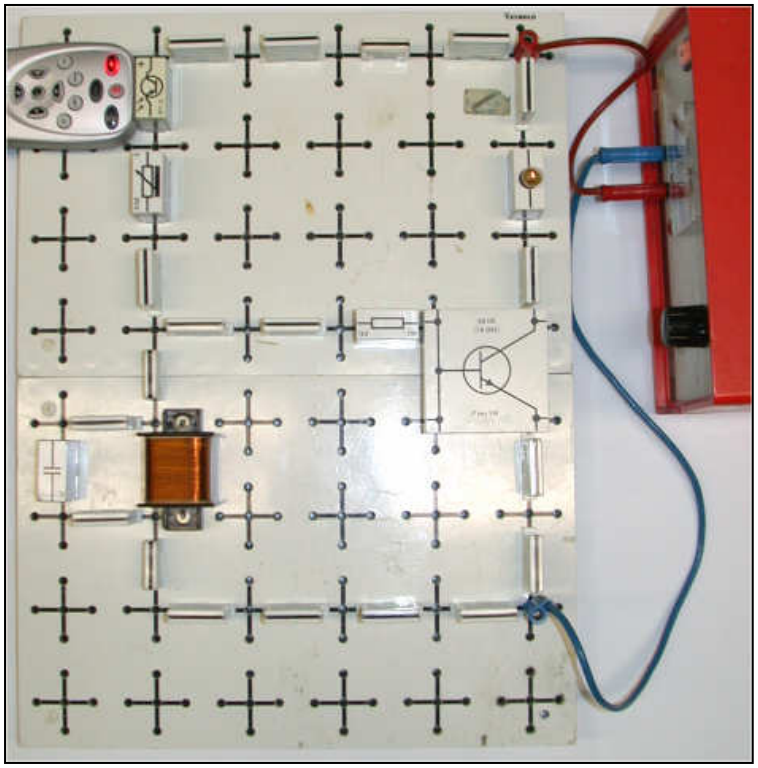


Abb. 13: Die analoge Schaltung auf dem Steckbrett

9. Die digitale Schaltung

Diese Schaltung ist der Schritt zum sicheren Betreib des Laserpointers. Diese Schaltung wurde von mir mit C-Control gefertigt und steuert den Laserpointer. Sobald ein Signal der Fernsteuerung am IR-Empfänger ankommt schaltet der IR-Empfänger und sendet ein Signal vom Output weiter zum C-Control-Modul. Dieses erkennt durch einen digital Eingang die anliegende Spannung und schaltet, sobald die vorgegebene Spannung gegeben ist, den Laserpointer ein. In meinem Fall schaltet das Modul bei etwa einem Volt. Um die hochfrequente Rechteckspannung vom Output des IR-Empfängers zu einer verwertbaren Spannung zu wandeln und so dem C-Control-Modul zu helfen das Signal zu erkennen, musste die Spannung noch durch einen Kondensator geglättet werden. Diese Technik ist sicher und schaltet zuverlässig. Diese Schaltung kann in einen kleinen IC integriert werden und passt so ideal auf den Laserpointer. Doch auch diese Schaltung hat ihre Probleme da ein IC zumeist teuer zu produzieren ist. So kam ich wieder zurück zur Analogenlösung und so zur Endschaltung

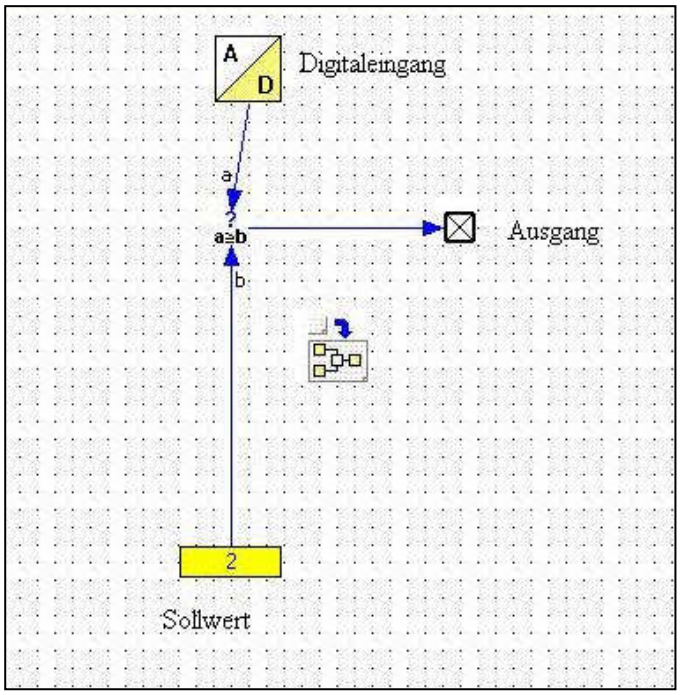


Abb. 14: Mein in C-Control-Plus geschriebenes Programm

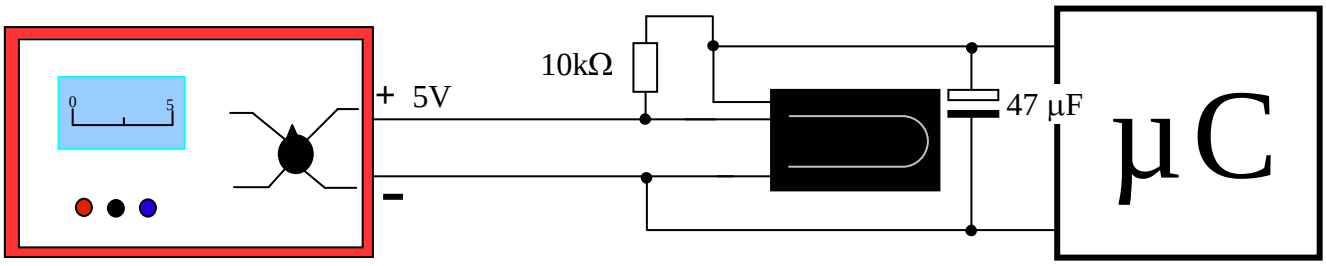


Abb. 15: Der Schaltplan meiner digitalen Lösung

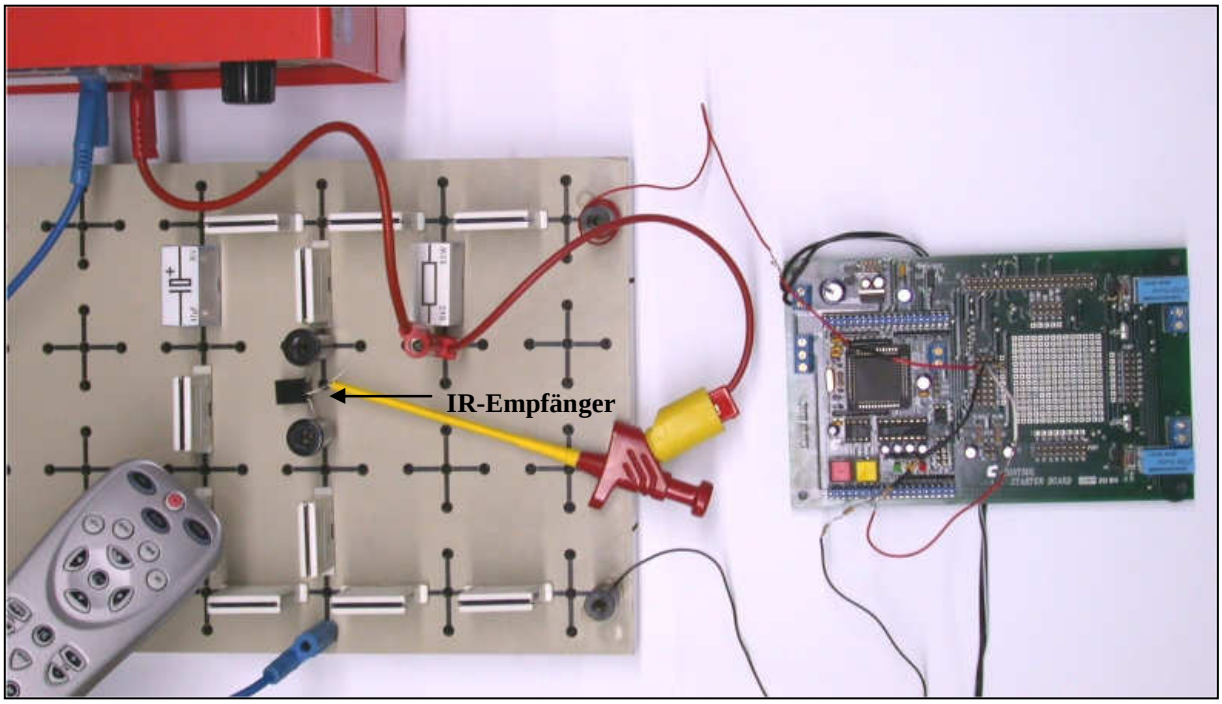


Abb. 16: Aufbau der digitalen Lösung

10. Die zweite analoge Lösung

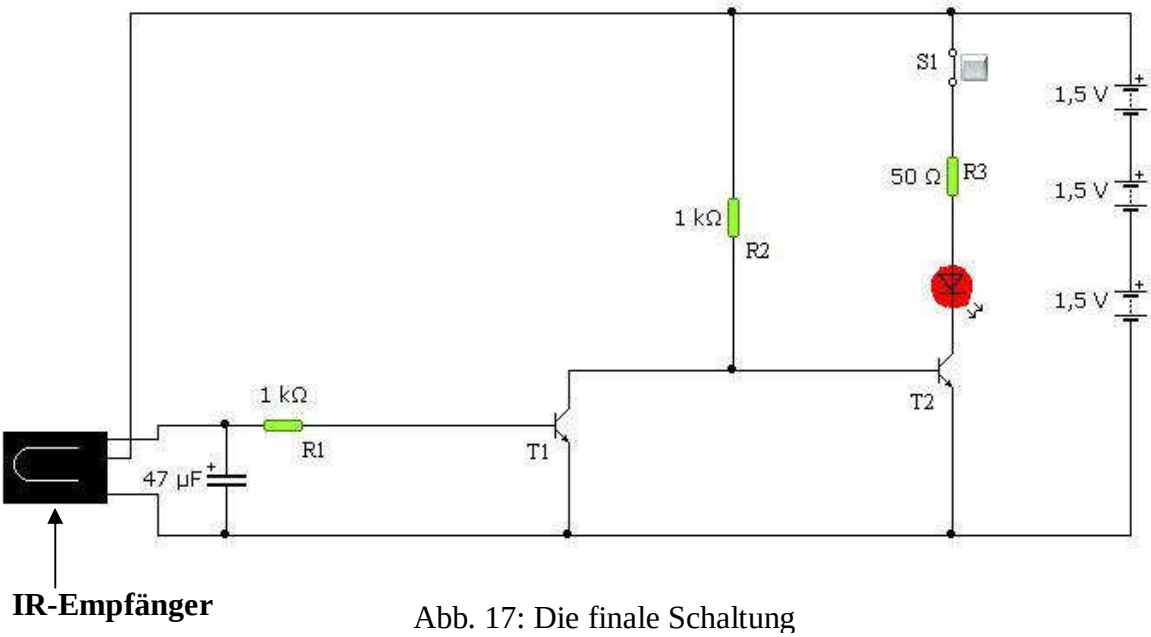


Abb. 17: Die finale Schaltung

Diese Schaltung ist der finale Schritt zum sicheren Laserpointer. Sie bietet optimalen Schutz und macht den Laserpointer damit sicher und trägt zum Arbeitsschutz bei. Sie besteht wieder aus einem IR-Empfänger der dauerhaft ein Rechtecksignal ausgibt, wenn er kein Infrarot-signal vom Sender empfängt. Dieses Signal wird durch einen Kondensator geglättet und geht dann weiter an die Basis von dem Transistor T1. T1 schaltet durch. Da R2 und T1 einen

Spannungsteiler bilden, ist die Spannung an der Basis von T2 nun so gering, dass T2 nicht durchschaltet. Das heißt, die Laserdiode kann über den Schalter S1 nicht eingeschaltet werden. Sobald das IR-Signal von der Fernbedienung empfangen wird, wird kein Signal von IR-Empfänger an T1 gesendet. T1 sperrt und T2 kann nun durchschalten, sodass durch die Betätigung von S1 die Laserdiode eingeschaltet werden kann.

So habe ich mein Ziel, einen sicheren Laserpointer zu bauen, mit dieser kleinen und preiswerten Schaltung erreicht.

11. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich noch kurz allen Leuten danken, die mich auf dem beschwerlichen Weg zum sicheren Laserpointer unterstützt haben. Sie haben mir in scheinbar aussichtslosen Momenten geholfen und mich neu angespornt.

12. Literatur

Unfallverhütungsvorschrift für Laser: http://www.bge.de/asp/dms.asp?url=/uvv/93/titel.htm

13. Anhang

Unfallbericht: AG Schwentner, FB Physik, Freie Universität Berlin

NRL Chemiker erlitt Augenschaden durch Farbstofflaser
Der folgende Text war zu lesen in "Laser Focus", November 1981.

Ein Chemiker der 'Naval Research Laboratories', welcher in diesem Sommer von einem Laserstrahl in's Auge getroffen wurde, leidet noch immer an dieser Verletzung. Das Opfer, welches gebeten hat seinen Namen nicht zu veröffentlichen, wurde vom der Streureflektion eines 585nm Farbstofflasers getroffen die von einem feinjustierbaren Frequenzverdopplerkristall ausging, als er sich darüber beugte, um den Schrittmotorantrieb zu justieren. Obwohl sein Zustand sich teilweise wieder gebessert hat, verlor er dadurch den größten Teil des Sehvermögens auf diesem Auge, wie er 'Laser Focus' berichtet.
Der Chemiker, welcher seit fünf Jahren mit Lasern arbeitet und sich selbst als 'Laserfreak' bezeichnet war 'verblüfft', wie wenig Laserenergie es bedarf, um solch einen verheerenden Schaden anzurichten. Messungen, welche nach dem Unfall durchgeführt wurden zeigten, daß die Energie des Laserimpulses, welcher von dem Frequenzverdoppler reflektiert wurde, lediglich 25µJ betrug. Das allerdings war bereits genug, um ein Loch durch mehrere Schichten der Netzhaut zu schießen und eine Blutung im Auge auszulösen. Das Ergebnis war eine Blutbase im Sehzentrum der Netzhaut, dem Teil des Auges, welcher für die Feinauflösung des Sehvermögens zuständig und für die Erkennung von Buchstaben notwendig ist. Die Pulsenergie wäre jedoch noch vier höher gewesen - fast 2 mJ - wenn das NRL-Team nicht Tage vorher vorher Anstrengungen unternommen hätte die spontane Emission der Lichtverstärkung in der Farbstoff-Verstärkerkette zu reduzieren, wie das Opfer erzählt.
Eine überraschende und beunruhigende Entdeckung nach dem Unfall war, wie wenig Augenärzte über laserverursachte Augenverletzungen wissen. Wie der Verletzte berichtet, war selbst bei spezialisierten Augenärzten die Behandlung meist reduziert auf pure Experimentiererei nach dem 'trial-and-error' Prinzip.
Der NRL-Forscher berichtet, daß er kein Aufblitzen registrierte, als der Strahl sein Auge traf. "Ich beugte mich über die Apparatur, und plötzlich konnte ich nichts mehr sehen.", erinnert er sich. Zum Zeitpunkt des Unfalles trug er keine Schutzbrille - was gängige Praxis in dem Labor ist - wie er sagte. Einer der Gründe dafür ist das der Laser - ein YAG gepumpter Farbstofflaser - von einem Computersystem gesteuert wird und nur selten Justierungen erfordert, bei denen das Auge in die Nähe

des Strahles kommt. Weiterhin berichtet er, gegen Lasersysteme, welche mehrere Strahlen verschiedener Wellenlängen von UV bis IR gleichzeitig erzeugen, kann man sich ohnehin nur schwer mit Schutzbrillen schützen. Da keine Brille alle Strahlen blockieren kann entscheiden sich fatalerweise viele Laboranten gleich, überhaupt keine zu tragen. Weiterhin sind in einem abgedunkelten Laserraum Schutzbrillen, welche den Träger vor der Laserstrahlung schützen, selbst ein Sicherheitsrisiko, da sie die optische Wahrnehmung einschränken und so andere Risiken, wie über ein Kabel zu fallen oder sich den Kopf irgendwo anzuschlagen stark erhöhen.
Der verletzte Chemiker kritisiert die Laserhersteller wegen ihrer freien Auslegung der Strahlenschutzvorschriften. "Die Laser sind für gewöhnlich so gebaut, daß man sie erst halb zerlegen muß, um sie überhaupt benutzen zu können.", sagte er. "Laserfirmen sollten ihre Produkte so designen, daß sie tatsächlich justiert und benutzt werden können, während sie noch den gängigen Vorschriften entsprechen." Auch für die Hersteller der Frequenzverdoppler, welcher den Strahl in sein Auge lenkte, hat er harte Worte: "Eine 10$-Strahlfalle am Doppler hätte die ganze Geschichte erst gar nicht passieren lassen."
(Quelle: www.Laserfreak.net)

Warum Laserschutz?

Warum muss man sich vor Laserlicht schützen? Das Licht leistungsstarker Laser kann derart konzentriert werden, dass Leistungsdichten (= Leistung pro Fläche) erreicht werden, die groß genug sind, um Metalle oder Keramik zu verdampfen.

Es ist somit nicht verwunderlich, dass Laserstrahlung auch menschliches Gewebe schneiden oder zerstören kann. Aber es gibt ein weitaus größeres Menschenpotential: Besonders unsere Augen sind gefährdet, da sie wesentlich empfindlicher auf Licht reagieren und man bereits beim Blick in einen Laserstrahl mit geringer Leistung irreversibel erblinden kann.

Was macht einen Laser im Vergleich zu gewöhnlichen Lichtquellen so gefährlich? Die Hauptgefahr, die von einem Laser ausgeht, ist die so genannte "räumliche Kohärenz". Das bedeutet, dass die einzelnen Wellenzüge des Strahlenbündels eines Lasers eine feste Orts- und Zeitbeziehung haben.

Anders ausgedrückt heißt das, dass Laserlicht sowohl von der Richtung, in die es sich ausbreitet, als auch von der Wellenlänge sehr geordnet und regelmäßig ist. Dies bedeutet beispielsweise, dass sich Laserlicht derart ausbreiten kann, dass es über sehr weite Strecken annähernd parallel läuft (kollimierte Strahlung) und somit die Leistung, die auf eine Fläche, z.B. das Auge treffen kann, unabhängig vom Abstand zur Strahlquelle selbst ist.

Man denke an einen Laserpointer, mit dem man in verschiedensten Abständen zur Wand, auf die man deutet einen etwa gleich großen Lichtfleck erzeugt.

Vergleicht man beispielsweise eine thermische Strahlquelle, wie z.B. eine Glühbirne, mit einem Laser, so kann man mehrere Unterschiede erkennen. Die Glühbirne strahlt Licht eines breiten Wellenlängenspektrums ab und hat auch hinsichtlich der Ausbreitung keine Vorzugsrichtung. Physikalisch ausgedrückt liefert eine Glühbirne inkohärentes Licht.

Beim Vergleich einer Glühbirne zu einem Laser mit jeweils 1 W optischer Leistung nimmt allein durch die Abstrahlung der Glühbirne in alle Raumwinkel die Leistung, die in das Auge treffen kann, mit zunehmendem Abstand ab.

Im Abstand von einem Meter zwischen Auge und Lichtquelle ist die Lichtmenge, die an Laserlicht in das Auge treffen würde, im Vergleich zur Glühbirne um einen Faktor 100.000 größer (bei einem Pupillendurchmesser von 7 mm - d.h. an die Dunkelheit adaptiertes Auge).

Allein die Lichtmenge, die ins Auge treffen kann, ist aber noch nicht die einzige Gefahr. Während die Glühbirne auf der Netzhaut eines Auges ein etwa 100 µm großes Bild erzeugt, wird das Laserlicht aufgrund der guten Fokussierbarkeit zu einem Brennfleck von nur wenigen Mikrometern (~10 µm)

reduziert.

Die Lichtleistung, die ins Auge trifft, wird somit auf eine wesentlich kleinere Fläche konzentriert. Die dadurch entstehende Leistungsdichte (Leistung pro Fläche) ist so hoch, dass Gewebe, welches sich in diesem Brennpunkt befindet, sehr schnell aufgeheizt und zerstört wird. Da nun die empfindliche Stelle mit der wir sehen können - der gelbe Fleck (Fovea) auf der Netzhaut - ebenfalls nur wenige Mikrometer klein ist, kann man bereits durch einen einzigen Laserpuls erblinden.

(Quelle:http://www.lvg.com)