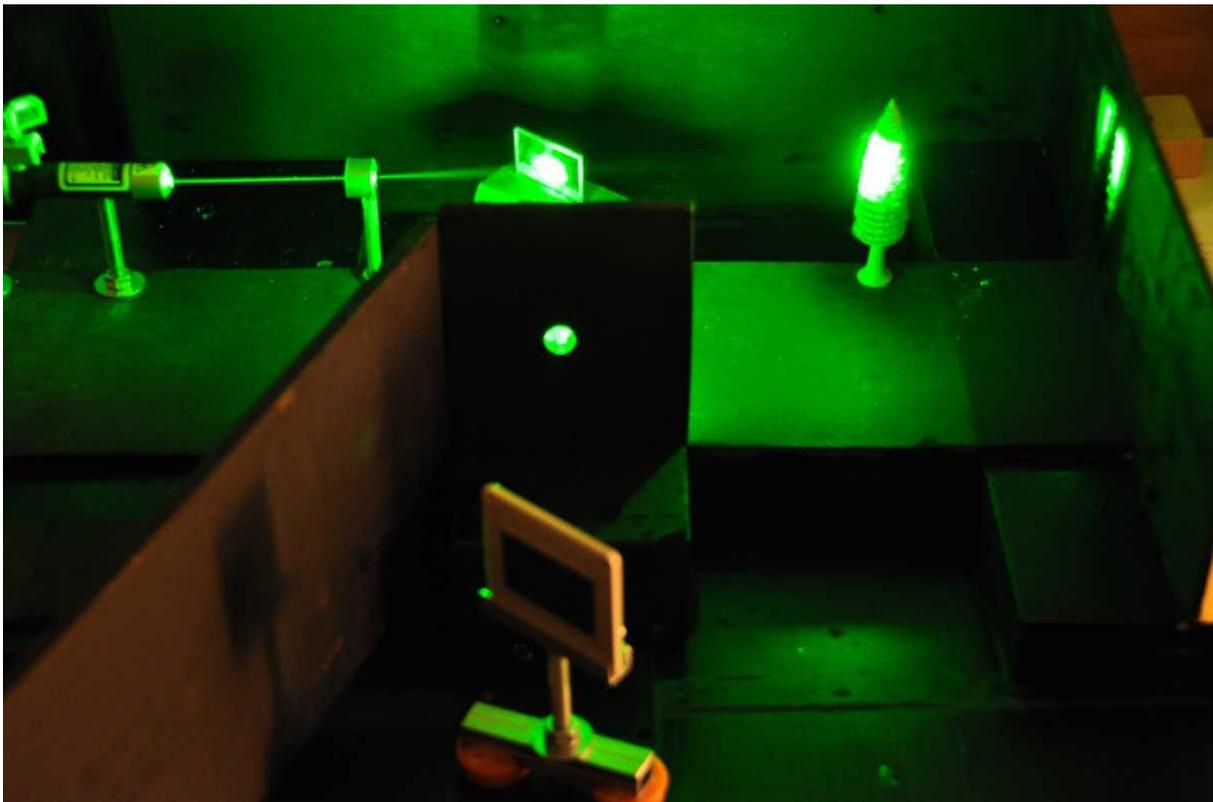


Holografie - Die Welt der Dreidimensionalität



Wettbewerb „Jugend Forscht“ 2012

Malte Misfeldt (17 Jahre) und Henrike Reinecke (18 Jahre)

**Arbeitsgemeinschaft "Jugend Forscht"
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg**

Leitung: StD Thomas Biedermann

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	- 2 -
Rückblick auf das Wettbewerbsjahr 2011.....	- 2 -
Letztes Ergebnis des optischen Aufbaus	- 2 -
Letzten Ergebnisse der Aufnahme und Entwicklung.....	- 3 -
Letzten Ergebnisse zur Erstellung eines computergenerierten Hologramms.....	- 3 -
Fehleranalyse des Aufbaus.....	- 3 -
Streulicht.....	- 3 -
Objekt	- 4 -
Verwacklung	- 5 -
Das Luftkissenpolster	- 5 -
Fahrradschlauch.....	- 5 -
Umbau des Lasers	- 5 -
Entwicklung des Strahlengangs.....	- 7 -
Version 10 des Programms.....	- 8 -
Vergleich zwischen optischem und computergenerierten Hologramm	- 9 -
Hypothesen.....	- 9 -
Vor- und Nachteile der beiden Möglichkeiten	- 9 -
Weiteres Vorgehen	- 9 -
Fazit	- 10 -
Danksagung	- 10 -

Einleitung

Die Holografie bietet die Möglichkeit das Unmögliche möglich werden zu lassen. Erst seit der Erfindung des Lasers (1964) hatte man die Möglichkeit in dem Bereich der Holografie weiter zu forschen. Da dies noch ein sehr jungfräuliches Gebiet ist, lohnt es sich in diesem Bereich weiter zu tüfteln, um viele interessante Entdeckungen zu machen. Es gibt schon in vielen verschiedenen Anwendungsbereichen Prototypen, wie zum Beispiel in der Sicherheitstechnik¹, der Archäologie² oder im Bereich des Datenspeichers³. Diese Arbeit ist eine weiterführende Arbeit auf der Grundlage des Wettbewerbsjahres 2010/2011, die sich weiterhin mit der Erstellung eines Hologramms auf optischem und computergestütztem Weg befasst.

Rückblick auf das Wettbewerbsjahr 2011

Die Jugend Forscht-Arbeit 2011 bestand insgesamt aus den vier Schwerpunkten: Grundwissen der Holografie, Optischer Aufbau von Hologrammen, Theorie von Aufnahme und Wiedergabe von Hologrammen sowie die Erstellung computergenerierter Hologramme.

Letztes Ergebnis des optischen Aufbaus

Aufgrund der Problematiken, dass sich Referenz- und Objektwelle nicht in einem Punkt trafen, die Helligkeit der Objektwelle niedriger war als die der Referenzwelle und das Streulicht von Linse zwei auf den Film traf, hatten wir den unteren Aufbau gewählt, um diese Probleme zu beheben (siehe Abbildung 1). Dabei haben wir Linse zwei mit schwarzer Pappe ummantelt, wie man auf Abbildung 2 erkennt.

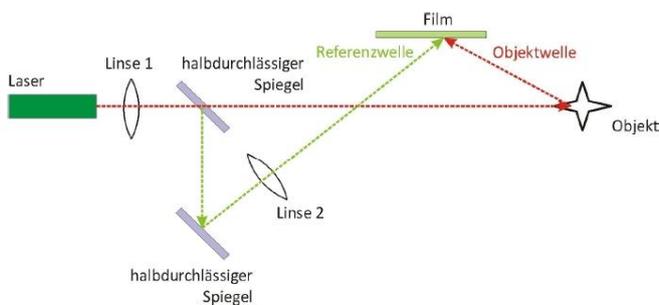


Abb. 2: Aufbau des letzten Jahres

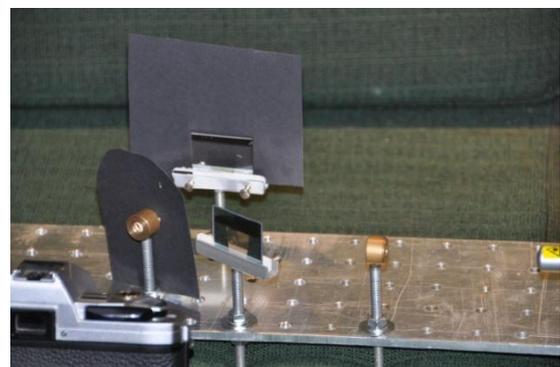


Abb. 1: Aufbau des letzten Jahres

¹ Vgl. http://www.tesa-scribos.com/deu/security_technology/tesa_holospot, Letzter Aufruf: 26.2.2011

² Vgl. <http://www.wissenschaft.de/wissenschaft>, Letzter Aufruf: 26.2.2011

³ Vgl. <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/speicher/articles/111262/>, Letzter Aufruf: 14.1.2012

Letzten Ergebnisse der Aufnahme und Entwicklung

Die letzten Ergebnisse der Jugend Forscht-Arbeit 2011 belaufen sich auf die Theorie der Aufnahme und Entwicklung, sowie auf die ersten Versuchsergebnisse, die aufgrund einzelner Fehlerquellen nicht zu unserem Ziel geführt haben. Wir hatten jedoch ein interferenzähnliches Muster, welches aber wahrscheinlich durch Verwacklungen oder Streulicht zerstört worden ist.

Letzten Ergebnisse zur Erstellung eines computergenerierten Hologramms

Unser geschriebenes Programm zur Erstellung von Interferenzmustern belief sich auf zehn Objektpunkte. Diese werden in einer Programmschleife nacheinander abgearbeitet, wodurch ein Interferenzmuster entsteht, indem der Abstand des Objekts zu jedem einzelnen Bildpunkt errechnet wurde und daraus eine Phase und somit auch eine Graustufe bestimmt wurde.

Wir haben es bis zum Abgabetermin der letzten Jugend Forscht-Arbeit nicht geschafft ein Hologramm auf einem der beiden Wege zu erstellen.

Fehleranalyse des Aufbaus

Da die ersten Versuche ein Hologramm aufzunehmen missglückt sind, musste es Fehler in unserem Aufbau geben. Bei Überlegungen diesbezüglich sind uns die Punkte Streulicht, ungünstig gewähltes Objekt zur holografischen Abbildung und die Verwacklung am gesamten Aufbau aufgefallen.

Streulicht

Ein großes Problem an dem bisherigen Aufbau war das viele Streulicht, welches durch Reflexion an den diversen glänzenden bzw. metallischen Oberflächen der Linsen und der Spiegel und deren Halterungen entstanden sind. Im vorigen Jahr wurde schon durch Pappwände versucht, dieses störende Licht zu absorbieren, doch diese Maßnahmen waren nicht umfassend genug. Daher wurde in diesem Jahr mehr unternommen, um dies zu erreichen. Die Pappwände wurden entfernt und teils durch Holzbretter ersetzt, die mit schwarzem Mattlack gestrichen wurden. Diese sind stabiler und wackeln damit auch weniger. Da schon in dem Laserkopf Streulicht entsteht, ist hier ein Schrumpfschlauch als Zylinder

montiert, somit entsteht hier weniger störendes gestreutes Licht. Außerdem ist dies für den Shutter von Bedeutung, da der Lichtstrahldurchmesser möglichst gering gehalten werden muss, damit dieser eine gute Wirkung erzielt. Zwischen dem Laser und dem Shutter ist ein weiterer Zylinder montiert, der außen um den Laser fasst. An der Halterung des halbdurchlässigen Spiegels ist außerdem eine Vorrichtung montiert, die gestreutes Licht absorbiert. Außerdem ist hinter der fixen Linse, die im Strahlengang der Referenzwelle ist, eine Blende montiert, die das Licht, das neben der Linse verläuft und damit nicht zur Referenzwelle gehört, davon abhalten soll, auf den Film zu treffen. Hinter dem Objekt ist auch eine schwarze Platte angebracht. Auf der Aluplatte, die als Grundplatte für die optischen Elemente dient, wurde Pappe aufgebracht.

Objekt

Zuerst haben wir einen Stecknadelkopf genommen, was sich jedoch im Nachhinein als unsinnig erwiesen hat, weil der Stecknadelkopf sehr klein ist und auf dem Hologramm nur einen kleiner, undefinierbarer Punkt sichtbar wäre, dessen Dreidimensionalität nicht erkennbar wäre. Darauf nahmen wir ein Prisma, das markante Formen aufwies, in der Hoffnung, dass man diese Formen später auf dem Hologramm erkennen könnte. Das Prisma erzielte den wichtigen Effekt, dass der Objektstrahl heller war als der Referenzstrahl, jedoch war nun der Objektstrahl zu hell, sodass der Film alleine durch das helle, reflektierte Licht des Objekts überbelichtet wurde. Zusätzlich braucht man in der Holografie gestreutes Licht, das von dem Objekt ausgeht und nicht reflektiertes, weil das reflektierte Licht zu intensiv ist.

Daraus folgerten wir, dass es ein Objekt sein soll, das:

- nicht stark reflektiert
- Licht nicht absorbiert
- Kanten hat
- einfach mit dem Computer zu simulieren ist

Verwacklung

Das Luftkissenpolster

Die Verwacklung von Gegenständen ist eine schwerwiegende Fehlerquelle in der Holografie. Daher sollte der optische Aufbau auf einer stabilen Unterlage sein, die Schwingungen dämpft. Wir versuchten eine Art optischen Tisch zu bauen. Dafür haben wir Luftballons und zwei Steinplatten gekauft, die ein Gesamtgewicht von 80 Kilo haben. Die Luftballons wurden aufgepumpt und unter die Steinplatten gelegt, auf die wir unseren Versuchsaufbau stellten. Wir haben die schweren Steinplatten auf die Luftballons gelegt, da durch die große Masse mehr Energie auf die Luftballons wirken muss, damit der Aufbau in Schwingung gerät. Desweiteren dienen Luftballons als Federersatz, sie müssen eine geringe Federkonstante besitzen um bestmöglich Schall und andere Schwingungen zu dämpfen.

Der Nachteil an Luftballons ist jedoch die dünne Membran. Luftballons sind nicht ausdauernd und sehr empfindlich, was die Arbeit erschwert, da man öfters die Luftballons erneuern muss, da sie platzen. Also musste ein neues Luftkissen gesucht werden.

Fahrradschlauch

Wir entschieden uns für einen Fahrradschlauch. Fahrradschläuche besitzen eine dickere und unempfindlichere Membran. Sie dienen auch als Federersatz, weil Schwingungen durch die Luft im Inneren gedämpft werden und außerdem nicht an die Platten übertragen werden, da diese erst ab einer gewissen Frequenz zu schwingen anfangen.

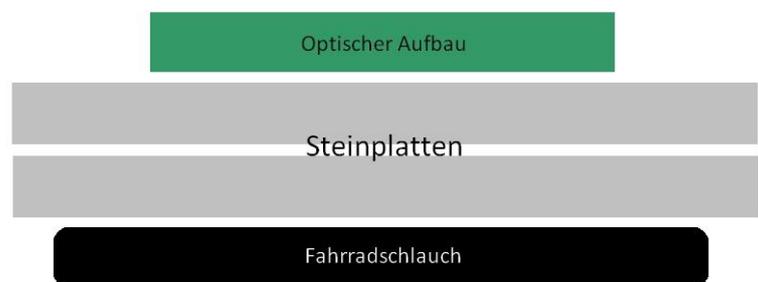


Abb. 3: Schema des eigenen optischen Tisches

Umbau des Lasers

Eine weitere Fehlerquelle stellte der Laser dar. Die Bedienung des Lasers funktionierte zunächst über eine Schraube, die in einem Gewinde direkt an der Laserhalterung befestigt wurde. Durch das Bedienen der Schraube wurde der Anschaltknopf des Laser gedrückt und das Laserlicht entbrannte. Zu diesem Zeitpunkt wurde jedoch nicht nur der Laser angeschaltet, sondern der Laser wurde verschoben und als man die Schraube wieder los ließ,

bewegte sich der Laser schnell in seine Anfangsposition zurück. Durch diese Verschiebung des Lasers wurde das Interferenzmuster von Referenz- und Objektstrahl zerstört, da die Erschütterung größer als eine halbe Wellenlänge des Lichtes war. Dieses Problem behoben wir, indem wir einen externen Anschaltknopf entwarfen. Der Laser funktioniert nun nicht mehr mit Batterien, sondern mit einer 3V Spannungsquelle, die durch die Steckdosenleiste geregelt wird.

Der umgebaute Laser hat nun außerdem den Vorteil, dass er im Dauerbetrieb benutzt werden kann und dem Laser eine konstante Energiemenge zur Verfügung gestellt wird, was bei Batterien, deren Leistung mit der Zeit schwächer wird, nicht der Fall war. Desweiteren nimmt die Häufigkeit der Justierungen des Lasers ab und der Laser muss nur einmal ganz genau eingestellt werden.

Dennoch wurde ein weiterer Fehler erkannt. Unser Laser hatte die Eigenschaft, dass er nicht sofort kohärent ist, sondern sich erst eine kurze Zeit einpendeln muss. Dieses Problem lösten wir mit einem Shutter. Diesen Shutter bauten wir aus einem alten Relais, an dem ein Arm befestigt ist. Wirkt nun eine Spannung von 24V auf das Relais bewegt der Arm sich nach oben und verdeckt den Strahlengang des Lasers. Entfernt man die Spannung, geht der Ausläufer an die Anfangsposition und die Pappe verdeckt nicht mehr den Strahlengang. Dieser Shutter hilft uns nun, indem er angeschaltet wird, bevor der Laser angemacht wird und wenn sich das Laserlicht eingependelt hat wird die Spannung am Relais entfernt, der Strahlengang ist wieder frei und die Aufnahme beginnt.

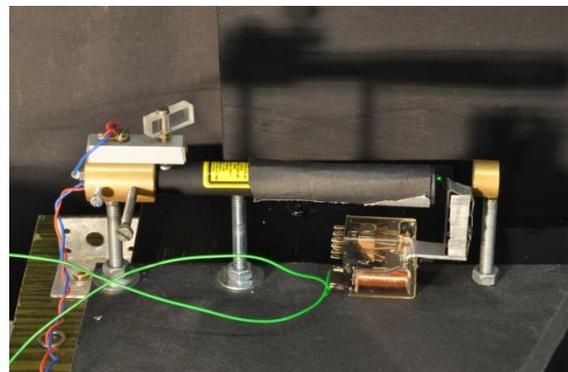


Abb. 4: Shutter-Vorrichtung

Hierbei tritt auch eine Erschütterung auf, allerdings ist diese viel geringer als die Verwacklung des Laserstrahls beim Einschwingen, da das Relais mit einem Gewicht von circa 10g bei Vibration die 80kg Steinplatten nicht zum Schwingen anregt.

Entwicklung des Strahlengangs

Der Strahlengang wurde verändert. Die Objektwelle wurde belassen wie sie war. Sie durchläuft nachwievor eine Linse, um einen großen Strahlenquerschnitt zu erreichen, dann den Strahlenteiler in gerader Richtung. Danach trifft die Welle auf das Objekt, an dem das Licht gestreut wird und die Wellenmuster des Objekts treffen auf den Film. Die Referenzwelle wurde jedoch verändert. Es wurde ein Spiegel entfernt und somit fällt der Strahl nach dem Strahlenteiler durch eine verschiebbare Linse, eine fest montierte Linse und eine Lochblende. Die Kombination der variablen und fixierten Linse ermöglicht es uns, mit Hilfe der Brennweite der veränderlichen Linse, die Helligkeit des Referenzstrahls zu variieren. Dies ist sehr hilfreich, wenn dunkle Objekte holografisch aufgenommen werden sollen, da diese einen großen Teil des Lichtes absorbieren und die Objektwelle daher sehr dunkel ist. In dem Fall muss die Helligkeit der Referenzwelle gering sein, damit die Objektwelle nicht von dieser überdeckt wird.

Da der benutzte Laser sich erst einschwingen muss, wurde ein Shutter gebaut, der den Laserstrahl unterbricht und dabei nur wenig Streulicht aussendet. Dies war notwendig, damit der Laser angeschaltet werden kann und sich einschwingt, ohne dass das Hologramm dabei belichtet wird. Zur Belichtung wird der Shutter freigeschaltet. Die Position des Shutters ist in Abbildung 5 ersichtlich. Außerdem wurde unter dem vorderen Teil des Lasers eine Stütze montiert, damit der Laser waagrecht ist.

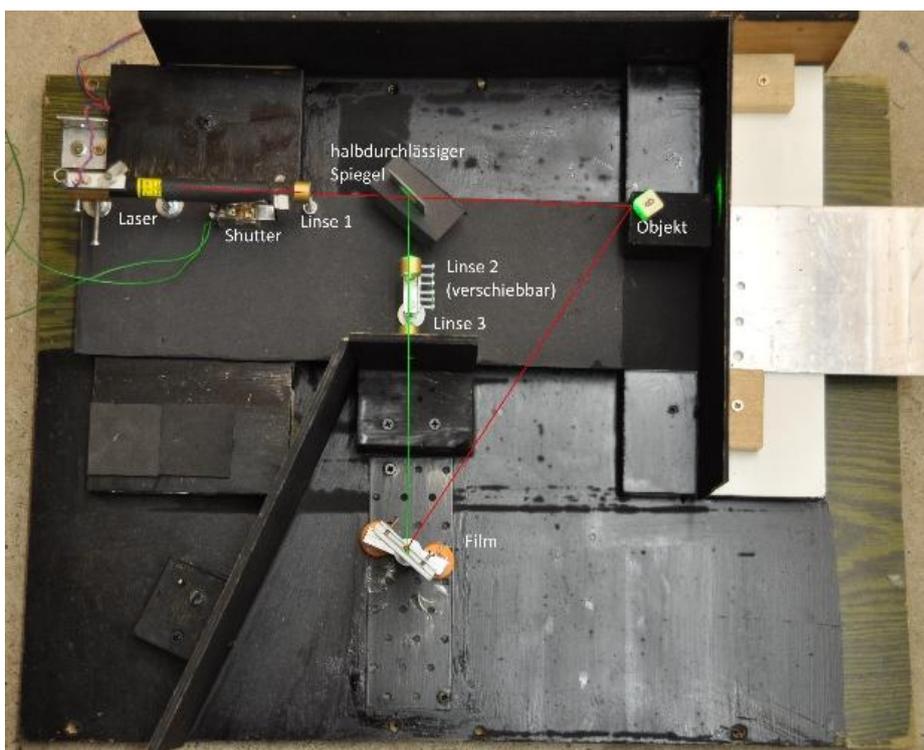


Abb. 5: Neuer Aufbau mit schematischer Darstellung

Version 10 des Programms

Das Programm, welches bisher nicht korrekt rechnete, wurde überarbeitet. Da die Berechnung des Interferenzbildes eklatante Fehler aufwies, wurde dieser Teil in dem Programm komplett erneuert. Zunächst wurde der Abstand bestimmt, den der virtuelle Objektpunkt zu dem Schirmpunkt hat, dessen Schwärzung bestimmt werden soll. Dieser Abstand wird umgerechnet in Vielfache der Wellenlänge, indem er durch diese geteilt wird. Danach wird dem Abstand das größtmögliche ganzzahlige Vielfache der Wellenlänge subtrahiert und mit $2 * \pi$ multipliziert, um die Phase (bzw. Elongation) zu erhalten. Dies wird für alle darzustellenden Objektpunkte getan und die Phasen werden zu einer Sumphase addiert, welche die Phase der Objektwelle ist. Die Annahme, die dem zugrunde liegt ist, dass die Referenzwelle parallel zum Schirm auftrifft und ihre Phase null ist. Um nun die Graustufe zu bestimmen, muss ein wenig in die Vektorrechnung eingestiegen werden, außerdem muss das Phänomen im Zeigermodell betrachtet werden. Die Graustufe ist hierbei der Betrag der Gegendiagonalen des Parallelogramms, das durch die Vektoren der Referenzwelle und der Objektwelle aufgespannt wird. In Abbildung 6 ist a die Summe der Phasen der Objektwelle, b

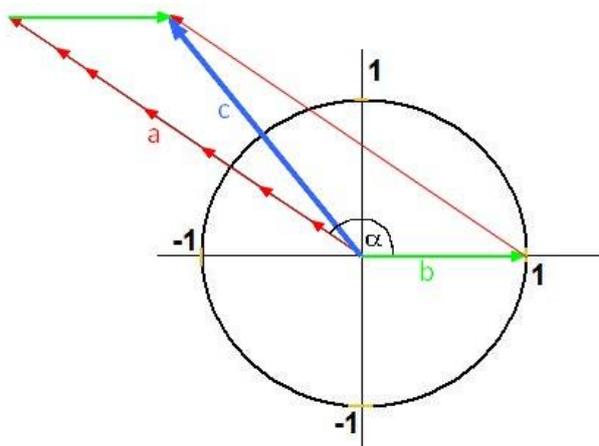


Abb. 6: Angewandter Kosinussatz

die Phase der Referenzwelle, also null und c ist die Gegendiagonale des Parallelogramms. c wird mit Hilfe des Kosinussatzes bestimmt.

$c^2 = a^2 + b^2 - 2 * a * b * \cos(\alpha)$, was umgestellt werden kann zu $c = \sqrt{2} * \sqrt{1 - \cos(\alpha)}$, unter der Berücksichtigung,

dass $a_{max} = b = 1$, da wir uns im Einheitskreis befinden. Dieser Term kann

maximal 2 werden, daher muss der Wert mit $255/2$ multipliziert werden, um die Umrechnung in die Stufen der Farbpalette zu erhalten. Die Interferenzbilder, die das Programm nun ausgibt, haben eine mittlere Schwärzung von circa 50%, was unter Berücksichtigung der Interferenzbedingungen logisch ist.

Visual Basic nutzt das 255-RGB-Farbensystem. Die Rechnung ist in der Programmiersprache von Visual Basic in Abbildung 7 zu sehen.

```

For X = a To b
  Prozent = ((X + (Breite / 2)) / Breite) * 100
  Fresnelplatte.Caption = "Hologrammberechnung" + " - " + CStr(Prozent) + " %"

  For Y = c To d
    Sumphase = 0
    For nloop = 1 To n
      With Punkt(nloop)
        .c = Sqr((X * pg - .X) * (X * pg - .X) + (Y * pg - .Y) * (Y * pg - .Y) + .Z * .Z)
        .b = .c / Lamda ' Umrechnung in Wellenlängen
        .phase = (.b - Int(.b)) * 2 * Pi ' Phase
        Sumphase = Sumphase + .phase ' Sumphase addieren
      End With
    Next nloop

    Graustufe = (255 / 2) * 2 ^ (1 / 2) * (1 - Cos(Sumphase)) ^ (1 / 2)
    Picture1.PSet (X + (Breite / 2), -Y + (Höhe / 2)), RGB(Graustufe, Graustufe, Graustufe)
  
```

Abb. 7: Programm-Code der Berechnung des Interferenzbildes

Vergleich zwischen optischem und computergenerierten Hologramm

Hypothesen

Das computergenerierte Hologramm (CGH) wird vermutlich exakter sein, dafür deutlich weniger detailreich, was an der einfachen Programmierung des Programms liegt. Das optisch erstellte Hologramm wird natürlicher aussehen, da das Programm nicht in der Lage ist, den Punkten verschiedene Intensitäten, also Helligkeiten zuzuweisen.

Vor- und Nachteile der beiden Möglichkeiten

Der Vorteil des CGH ist klar erkennbar, da hierbei der komplizierte und anfällige optische Aufbau nicht mehr benötigt wird. Es können keine Fehler durch Verschmutzung auf den optischen Elementen entstehen. Die Programmierung ist jedoch nicht leicht, da die mathematischen und physikalischen Zusammenhänge korrekt erfasst werden müssen und die Programmroutinen korrekt und komprimiert geschrieben werden müssen, da die Berechnung sonst sehr lange dauern würde. Trotzdem ist dieser Weg effizienter, denn wenn man einmal das Programm funktionstüchtig erstellt hat, ist man in der Lage innerhalb von kurzer Zeit Hologramme zu erstellen, ohne erst den optischen Aufbau justieren zu müssen.

Weiteres Vorgehen

Bis zum Wettbewerb werden wir weitere Aufnahmen am optischen Aufbau machen, sowie die Interferenzbilder der neuen Programmversion auf den Film bringen um auf beide Weisen ein Hologramm zu erzeugen.

Fazit

Auch in diesem Jahr ist uns ein weiteres Mal aufgefallen, wie kompliziert es ist, ein Hologramm zu erstellen, da sehr viele Dinge beachtet werden müssen und die Fehlerkorrektur überdurchschnittlich viel Zeitaufwand mit sich bringt. Dennoch sind wir paar Schritte weitergekommen und nähern uns unserem Ziel.

Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei unserem Jugend Forscht-Betreuer Thomas Biedermann, der uns immer mit Rat und Tat zur Seite stand. Des weiteren bedanken wir uns auch bei allen anderen Leuten, die uns mit Gesprächen, Anregungen und Material unterstützten.